

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



## “PROPUESTA DE REINGENIERÍA EN EL PROCESO DE TOMAS DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES EN PAREDES DE AGUA DE CALDERAS PARA LA EMPRESA ENCONTROL, S.A.”

Trabajo de graduación presentado por José Jorge Alarcón  
Argueta para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Industrial.

Guatemala  
2013



**“PROPUESTA DE REINGENIERÍA EN EL  
PROCESO DE TOMAS DE RADIOGRAFÍAS  
INDUSTRIALES EN PAREDES DE AGUA  
DE CALDERAS PARA LA EMPRESA  
ENCONTROL, S.A.”**

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



## “PROPUESTA DE REINGENIERÍA EN EL PROCESO DE TOMAS DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES EN PAREDES DE AGUA DE CALDERAS PARA LA EMPRESA ENCONTROL, S.A.”

Trabajo de investigación presentado por José Jorge Alarcón  
Argueta para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Industrial

Guatemala  
2013

Vo.Bo:



---

Ing. Karl Heinz Chavez Asturias



---

Ing. Héctor Alfredo Alarcón Cáceres

Tribunal examinador:



---

( Ing. Karl Heinz Chavez Asturias )



---

( Ing. Jose Antonio Medrano Garcia )



---

( Ing. Axel Rolando Fuentes Alvarado )

Fecha de aprobación: Guatemala, 27 de mayo de 2013

## PREFACIO

El descubrimiento de la radioactividad, fue el origen de un desarrollo científico extraordinario, en el campo de la física, en la química y en particular en el conocimiento del átomo y la materia. El fenómeno fue descubierto por Henri Becquerel en 1896. Estudiaba los fenómenos de fluorescencia, para lo cual colocaba un cristal de pechblenda, mineral que contiene URANIO, encima de una placa fotográfica envuelta en papel negro y la exponía al sol. Cuando desenvolvía la placa y esta estaba velada, esto lo atribuía a la fosforescencia del cristal. Sin embargo, en los días siguientes, donde no hubo sol, Becquerel dejó en un cajón una placa en vuelta en el papel negro y derramó por accidente sal de Uranio encima. Cuando sacó la placa fotográfica, estaba velada. La única explicación era que la sal de uranio emitía una radiación muy penetrante. Sin saberlo, Becquerel había descubierto lo que Marie Curie llamaría más tarde RADIOACTIVIDAD.

Marie Curie junto a su esposo Pierre Curie, empezaron a estudiar el raro fenómeno que había descubierto Becquerel. Estudiaron diversos minerales y se dieron cuenta de que otra sustancia, el torio, era "radiactiva", término de su invención. Demostraron que la radiactividad no era resultado de una reacción química, sino una propiedad elemental del átomo. El fenómeno de la radiactividad era característico de los núcleos de los átomos. En 1898 descubren dos nuevas sustancias radiactivas: el radio y el polonio, mucho más activas que el uranio. Pierre estudiaba las propiedades de la radiación, y Marie intentaba obtener de los minerales las sustancias radiactivas con el mayor grado de pureza posible. Pierre probó el radio sobre su piel, y el resultado fue una quemadura y una herida, pronto el radio serviría para tratar tumores malignos. Era el comienzo de las aplicaciones médicas que Marie Curie daría a la radiactividad. En 1903 recibieron el premio Nobel de física junto con Becquerel por el descubrimiento de la radiactividad natural.

Al poco tiempo murió Pierre Curie en un accidente debilitado por el radio. Marie Curie siguió trabajando y fue la primera mujer que ocupó un puesto en la Universidad de la Sorbona en París. Siguió investigando junto a Ernest Rutherford, quien encontró que la radiación que emitían las sustancias radiactivas, tenía tres componentes que denominó: alfa, beta y gamma (Sociedad Andaluza de educación *matemática Thales. La Radiación*. <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0504-01/radiactividad.html>). Resultando de esta manera, la radioactividad, una herramienta imprescindible para incontables usos en la actualidad, tales como los ensayos no destructivos utilizados para el aseguramiento de la calidad en todo tipo de actividades industriales.

Este trabajo está enfocado a aquellos ingenieros que quieran comprender el procedimientos e implicaciones que tienen la toma de radiografías industriales y el uso de las mismas dándole una máxima optimización a los recursos.

# ÍNDICE

PREFACIO .....	V
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	VIII
RESUMEN .....	IX
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	2
III. GENERALIDADES EN EL PROCESO DE TOMA DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES .....	3
IV. ESTÁNDARES PARA EL PROCEDIMIENTO DE TOMA DE RADIOGRAFÍAS EN PAREDES DE AGUA DE CALDERAS .....	11
V. PROCEDIMIENTO ACTUAL PARA LA TOMA DE RADIOGRAFÍAS PARA LA EMPRESA ENCONTROL, S.A. ....	19
VI. ANÁLISIS DE FALLAS EN EL PROCEDIMIENTO .....	13
VII. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA MEJORAS DE TIEMPO.....	13
VIII. COMPARACIÓN FINANCIERA ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL PROCESO PROPUESTO.....	56
IX. ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO PARA RADÍÓLOGOS .....	64
X. CONCLUSIONES .....	66
XI. RECOMENDACIONES.....	67
XII. BIBLIOGRAFÍA .....	68
XIII. ANEXOS.....	70

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Espectro Electromagnético	4
Ilustración 2. Desprendimiento de radiación	5
Ilustración 3 TÉCNICA DE DOBLE PARED	21
Ilustración 4 TÉCNICA DE DOBLE PARED (2)	22
Ilustración 5. Manivela de apertura	23
Ilustración 6. Operación de la típica cámara de Isotopo	24
Ilustración 7. Tiempo de colocación de rótulos versus Número de Radiografía	26
Ilustración 8. Pico Inicial colocación de rótulos	27
Ilustración 9. Picos en colocación de rótulos	28
Ilustración 10. Histograma colocación de rótulos	29
Ilustración 11. Colocación de películas	31
Ilustración 12. Picos superiores en colocación de películas	32
Ilustración 13. Picos inferiores en colocación de películas	32
Ilustración 14. Cambio de pendiente en colocación de película	33
Ilustración 15 Histograma colocación de película	34
Ilustración 16. Tiempo colocación de fuente radioactiva	36
Ilustración 17 Histograma de colocación de fuente radioactiva	37
Ilustración 18. Proceso de rotación de manivela	38
Ilustración 19. Tiempo de apertura y cierre	39
Ilustración 20. Histograma Apertura y cierre	40
Ilustración 21. CPM Proceso actual	41
Ilustración 22. Colocación de Fuente propuesta	44
Ilustración 23. Histograma colocación de fuente propuesta	45
Ilustración 24. Tiempo colocación de película	46
Ilustración 25. Histograma colocación de película	47
Ilustración 26. CPM proceso propuesto	49
Ilustración 27. CPM método propuesto 2	51
Ilustración 28 Procedimiento estándar	63
Ilustración 29. Ciclo estándar	63

## RESUMEN

Esta tesis está dividida en siete capítulos, en el primero se desarrollan conceptos básicos de los Ensayos No Destructivos, y generalidades en el proceso de toma de radiografías industriales tales como la energía gamma, aspectos que pueden incidir en la toma de una radiografía industrial y su calidad, y la descripción de equipos y herramientas a utilizar.

En el capítulo dos se desarrollan diferentes estándares para la toma de radiografías a paredes de agua de calderas los cuales más adelante, en el capítulo tres, se utilizarán para determinar el proceso el cual la empresa ENCONTROL, S.A. debe realizar. Se adquieren datos en tiempos con sus respectivas tendencias en cuanto a la cantidad de radiografías tomadas, para determinar algunas mejoras.

En el capítulo tres se determina el procedimiento actual que maneja la empresa Encontrol, S.A. con sus tiempos respectivos y en el capítulo cuatro se determinan las fallas de mismo.

En el capítulo cinco, se desarrolla una implementación al proceso descrito en el capítulos tres, la cual se cree, será una mejora en los tiempos determinados anteriormente, comparándolos con los nuevos tiempo obtenidos. Esta corresponde en la construcción de una herramienta móvil para la mayor rapidez en el proceso de colocación de la fuente radioactiva y la realización de dos rótulos de placas en paralelo.

En el capítulo seis, se comparan los costos en que se incurren en cada uno de los procedimientos utilizando los tiempos anteriores para determinar una cantidad aproximada de radiografías que serán realizadas de ahora en adelante, para concluir cual aparenta ser mejor o menos costoso y se realiza un análisis financiero.

En el capítulo siete se determina un procedimiento estandarizado para que los radiólogos trabajen al máximo y tengan el mínimo de tiempos ociosos.

# I.INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, constituye un análisis técnico y económico que pretende establecer una nueva metodología, orientada a mejorar los métodos de trabajo en el control de calidad en soldaduras de tubería de paredes de agua de calderas, las cuales se construyen de acuerdo al código ASME Sección I, Power Boiler, a través de un análisis de reingeniería.

Se tienen por objetivos; realizar un proceso que reduzca el tiempo del previamente implementado, realizar un proceso 20% menos costoso que el actual, estandarizar un procedimiento para la toma de radiografías industriales en paredes de agua de calderas para que los operadores manejen mejor su tiempo y no divaguen al momento de realizar el procedimiento. En general, proponer un proceso de toma de radiografías industriales a paredes de agua de caldera que produzca más ganancias a la empresa Encontrol, S.A.

Este trabajo se enfocará directamente en el análisis de la toma de las radiografías, no en el resto del proceso el cual es la revelación de las películas y la realización y entrega del reporte y películas al cliente. También se tomará en cuenta que para propósitos de este trabajo, el decaimiento de la fuente radioactiva de cero (0), esto debido a que se tomó un tiempo constante de 54.23 segundos para la exposición de cada película ya que a la fecha, la fuente contaba con 47 Curies de potencia. El costo de la nueva implementación será nulo, debido al bajo costo que representaría y a que la misma empresa, cuenta con el material suficiente y la mano de obra necesaria para realizarlo a un costo sumamente bajo. Para confidencialidad de la empresa, no se expondrán costos de materia prima ni de los proveedores que no hayan sido autorizados.

La metodología para realizar el trabajo, fue realizar visitas de campo realizadas para la toma de tiempos, esto debido a que es la única manera de adquirirlos debido a las condiciones adversas en las que se encontraban los radiólogos y ayudantes. Contribuyendo de esta manera a la veracidad del trabajo.

De esta manera, al finalizar el trabajo, se concluyó que el método propuesto de un móvil, que evite la demora que tiene el radiólogo en la medir las distancias y ángulos para la correcta toma de la radiografía, y la implementación del “doble rótulo”, se logra reducir de manera significativa el costo del proceso y aumentar las ganancias de la empresa considerablemente.

## II. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL:

Proponer un proceso de toma de radiografías industriales a paredes de agua de caldera que produzca más ganancias a la empresa Encontrol, S.A.

### B. OBJETIVOS ESPEFÍCOS:

- Realizar un proceso que reduzca el tiempo del previamente implementado en un 30%.
- Realizar un proceso 20% menos costoso que el actual.
- Realizar un proceso que reduzca la variación de los tiempos para tener mejor control en los mismos.
- Estandarizar un procedimiento para la toma de radiografías industriales en paredes de agua de calderas para que los operadores manejen mejor su tiempo y no divaguen al momento de realizar el procedimiento.

### III. GENERALIDADES EN EL PROCESO DE TOMA DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES

#### A. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Non-Destructive Tests o Ensayos No Destructivos es cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. El propósito de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas. Los materiales que se pueden inspeccionar son los más diversos, entre metálicos y no - metálicos, normalmente utilizados en procesos de fabricación, tales como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones. Los ensayos son realizados bajo procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como el ASME, ASTM, API y el AWS entre otros. Los inspectores son calificados como Nivel I, II y III por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing) según los requisitos de la Práctica Recomendada SNT-TC-1A, CP-189

Ensayos no destructivos más comunes que pueden aplicarse en la detección de fallas en materiales.

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

Discontinuidades superficiales:

- Ensayo de líquidos penetrantes
- Ensayo de partículas magnéticas

Discontinuidades internas:

- Ensayo radiográfico
- Ensayo ultrasónico

Ensayos aplicables para la detección de discontinuidades del material o de los procesos de soldaduras superficiales abiertos al exterior y para la detección de discontinuidades internas del material, abiertas o no al exterior. Otros tipos de pruebas que se pueden realizar en la industria para el aseguramiento de la calidad son Inspección Visual, Electro Magnetismo, Emisión Acústica, Pruebas de Fuga, etc. (*Thermoequipos C.A. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. [http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo\\_06.pdf](http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf)*)

## B. RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES

Las radiografías industriales son uno de los métodos más efectivos de los ensayos no destructivos. Gracias a las capacidades de penetración y absorción de la radiación X y Gamma, la radiografía es utilizada en una variedad muy alta de productos metálicos y no metálicos como soldaduras, piezas de fundición, piezas forjadas y fabricaciones. Debido a que es capaz de revelar discontinuidades (variaciones en las composiciones de los materiales o densidades) en una variedad de materiales diferentes, la prueba radiográfica es una de las principales pruebas no destructivas que se utilizan estos días.

La prueba radiográfica usualmente requiere de exponer película a rayos X o Gamma que han penetrado en un espécimen, procesando la película expuesta, e interpretando el resultado radiográfico. Existen muchas variables en este procedimiento y una finalización con éxito de cualquier prueba es dependiente de la comprensión y el control de estas variables.

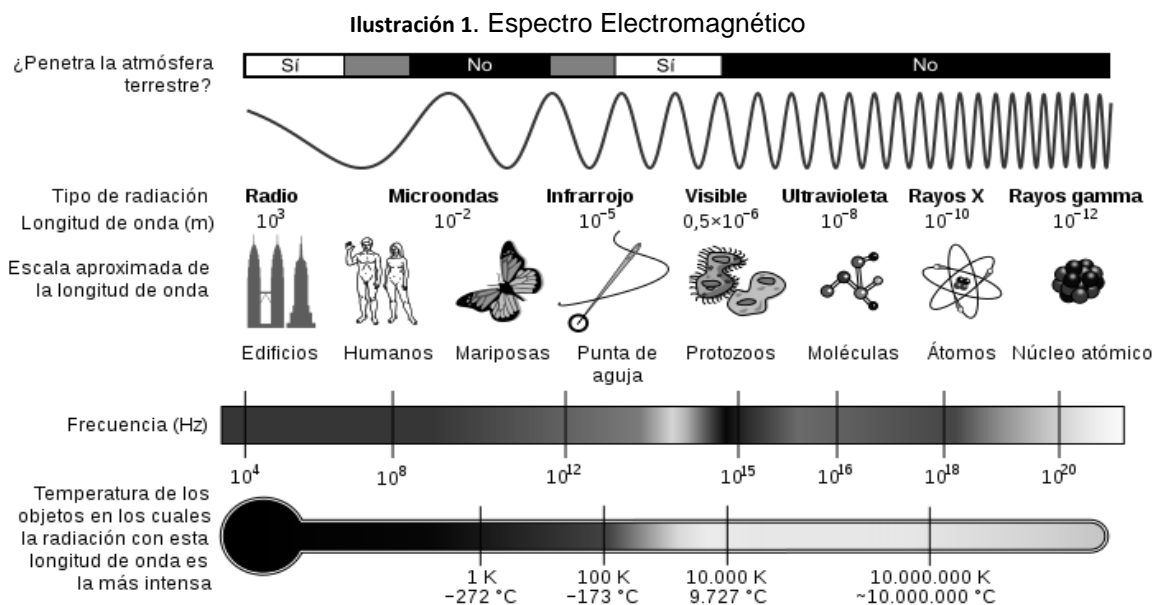
- Ventajas de las pruebas radiográficas:
  - Puede ser usada con la mayoría de materiales.
  - Provee una imagen permanente que queda grabada en el espécimen o en la película cuando es requerida.
  - Revela las discontinuidades de un material.
  - Da a conocer errores de fabricación e indica acciones correctivas necesarias.
  
- Limitaciones:

Existen limitaciones físicas y económicas para el uso de las pruebas radiográficas. Los requerimientos de exposición geométrica hacen a las pruebas radiográficas imprácticas para el uso en especímenes de geometría compleja. Si no existe una orientación de la fuente radiográfica, espécimen y película apropiada, la prueba es de poco uso. Similarmente, cuando un espécimen no presta acceso a los dos lados de si mismo, no puede ser inspeccionada por este método. Como las radiografías tienen un patrón con la diferencia de densidad de material en el espécimen, no son buenas detectando discontinuidades que no son paralelas a las líneas de radiación. Si las discontinuidades de tipo laminar, son sospechadas en un espécimen, la fuente radioactiva, el espécimen y la película deben estar orientadas para presentar la mayor discontinuidad en la densidad a los rayos. La mayor dimensión de las discontinuidades sospechadas debe ser paralela al rayo de la radiación. Las consideraciones de seguridad impuestas por rayos gamma y rayos X deben ser consideradas una limitación.

- El objetivo de las pruebas radiográficas no destructivas es asegurar la confianza del producto proveyendo de:
  - Obtener una imagen concreta del interior de los materiales.
  - Revelar la naturaleza de los materiales sin menoscabar su utilidad.
  - Separar el material aceptable y el inaceptable de acuerdo con estándares predeterminados.
  - Evidenciar errores de manufactura.
  - Revelar discontinuidades estructurales, fallas mecánicas y errores de ensamblaje.
- Ninguna prueba es completamente exitosa hasta que una evaluación de los resultados se haga. La evaluación de los procedimientos y resultados de la prueba, requiere del entendimiento de los objetivos de la misma.

Las ondas de la radiación electromagnética se compone de crestas y valles, la distancia entre estas se denominan longitud de onda ( $\lambda$ ). La frecuencia de la onda está determinada por las veces en que ella corta en una unidad determinada de tiempo, esta frecuencia es la parte más importante de la radiación y normalmente se da en Hertz.

La luz visible, es decir, las ondas electromagnéticas que puede percibir el ojo humano se encuentra entre las longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros. Debido a esto, las ondas de radio, que pueden llegar a tener longitudes de kilómetros y las menores a los 400 nanómetros, son imperceptibles para el ojo humano, siendo este el caso de la radiación Gamma los cuales se encuentran entre  $10^{-4}$  hasta  $10^{-2}$  nanómetros.

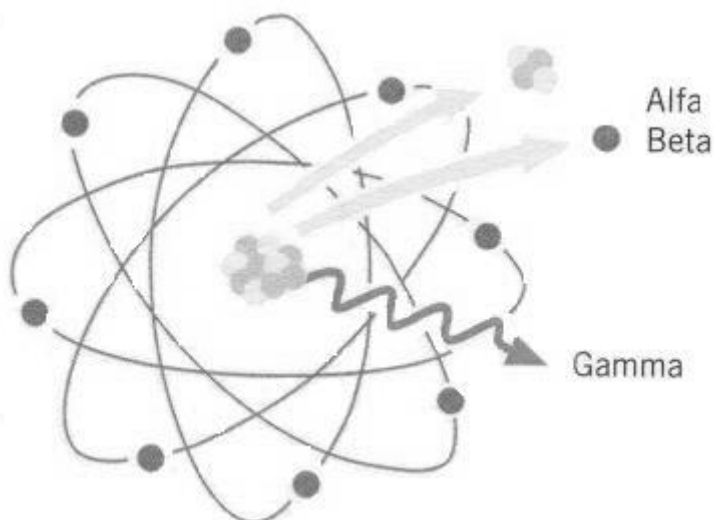


**1. Rayos Gamma.** Las "partículas" gamma son radiaciones electromagnéticas, ondas, que acompañan a la emisión de partículas alfa o beta. Una radiación también puede considerarse como una partícula de acuerdo con la Teoría de De Broglie que afirma que toda onda lleva una partícula asociada, las ondas luminosas llevan asociados los fotones.

Las características de los rayos gamma son:

- No tendrían masa en reposo, se mueven a la velocidad de la luz. No tienen carga eléctrica, por lo que no son desviadas por campos eléctricos ni magnéticos.  
Tienen poco poder ionizante, aunque son muy penetrantes, son ondas como las de la luz pero más energéticas aún que los rayos X.
- Los Rayos Gamma no poseen carga ni masa; por tanto, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo, no conlleva cambios en su estructura, sino simplemente la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante. Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos. Algunos átomos son inestables (llamados radio nucleídos) y se transforman en átomos de otros elementos. En esta transformación los átomos emiten radiaciones. Y esto es lo que se conoce como la radioactividad.

**Ilustración 2.** Desprendimiento de radiación



**a. La Película Radiográfica**, una de las grandes ventajas del ensayo radiográfico como se mencionó anteriormente, es el hecho que nos proporciona documentos permanentes de la prueba realizada. Este documento se conoce como PELÍCULA RADIOGRÁFICA DE USO INDUSTRIAL, en adelante llamada como PELÍCULA.

Una película radiográfica se compone de:

- Un soporte de triacetato de celulosa o poliéster.
- Ambos lados del soporte están provistos de:
  - Una capa de gelatina endurecida que protege la emulsión.
  - Una capa de emulsión
  - Una capa muy delgada llamada substrato, que asegura la adherencia de la capa de emulsión al soporte.

La emulsión fotográfica sensible a la luz y a las radiaciones X y gamma, que cubren las películas, está constituida por una mezcla de gelatina y cristales de halogenuro de plata microscópico. Antes del proceso de revelado y fijado, la capa de emulsión de una película radiográfica presenta un tono verde claro.

Entre las propiedades de una película radiográfica, se encuentran las siguientes:

- Presenta dos capas de emulsión, una por cada lado del soporte, lo que permite reducir los tiempos de exposición y obtener una imagen contrastada.
- La acción de la radiación electromagnética sobre la película da lugar a la formación de la imagen latente, la cual es puesta de manifiesto por el tratamiento de revelado y fijado adecuado.
- La emulsión es sensible a las radiaciones electromagnéticas.

En el mercado existen varios tipos de película, que generalmente, proporcionan resultados óptimos para las diferentes clases de trabajo en la radiografía de producción. Sin embargo, no pueden formularse reglas definidas en la selección de películas, puesto que ello depende de los requisitos específicos del usuario tales como: nivel de calidad radiográfico y el tiempo de exposición máximo. El usuario que quiere obtener las óptimas condiciones de las mismas, se puede abocar a los estándares internacionales.

Ahora que se ha descrito las características principales de las películas, se informará acerca de cómo es que estas se deben manejar y utilizar antes, durante y después de ser expuestas a la fuente de radiación.

Las películas expuestas, deben almacenarse de tal forma que sean protegidas de los efectos de la luz, la presión, calor excesivo, humedad excesiva, vapores de gases o radiación penetrante.

Las películas deben manejarse bajo las condiciones de luces de seguridad recomendadas por el fabricante.

La limpieza es el más importante de los requisitos para obtener una buena radiografía. Deben mantenerse limpios el chasis y las pantallas, no sólo porque la humedad retenida pueda causar exposición o afectar el procesado de la radiografía, sino porque también la suciedad puede ser transferida a la mesa de carga y subsecuentemente a otra película o pantalla. Debe mantenerse limpia la superficie de la mesa de carga. Es necesario tener un cuarto oscuro, en el cual se tenga la mesa de trabajo a un lado y al otro las tinas de revelado, para evitar la contaminación.

Las películas deben manejarse solo por sus orillas, con las manos limpias y secas, o bien, con guantes de algodón. De no ser así, quedarán impresas las huellas digitales. Debe evitarse el doblado y la presión excesiva y su manejo brusco.

Con igual cuidado se deberán manejar las películas durante el proceso de revelado, ya que de nada sirve haber aplicado una técnica impecable en el proceso de carga y toma de películas, si cuando se están revelando, no se aplican las medidas de seguridad necesarias, como son; Asegurarse que el cuarto en que se efectúa el revelado este totalmente oscuro, que las luces negras que se utilizan, sean las recomendadas, que los líquidos del proceso de revelado sean los propicios y que se encuentren limpios y en buenas condiciones. Que las películas no se dañen al momento de sacarlas de los porta películas y colocarlas en la canasta de revelado o en el contenedor de revelado, asegurarse que los tiempos que se mantendrán las películas en cada uno de los líquidos son los adecuados en relación a la temperatura y manipularlas con extrema precaución.

La película ya revelada e interpretada deberá almacenarse empleando el mismo cuidado que para cualquier otro registro importante. Mantenerse en un sobre protegido para cuando quiera ser vista en cualquier momento.

**b. Variables que inciden en la calidad de una radiografía.** Para obtener una radiografía de óptima calidad hay que tomar en cuenta varios factores, aparte del manejo cuidadoso de la película, que se mencionó anteriormente. Entre estos factores se pueden mencionar:

**1) Selección de la película adecuada.** Escoger, según sean los requerimientos del trabajo, la película con las características adecuadas:

- La emulsión fotográfica (foto sensible o radio sensible), que cubre las películas radiográficas, esta constituida por una mezcla de gelatina y microscópicos cristales de

halogenuro de plata, generalmente bromuros. El tamaño de estos cristales, determina el tamaño de grano de las películas y éste a su vez la calidad de la imagen obtenida. A menor tamaño de grano, mayor calidad.

- Las películas radiográficas industriales se clasifican de acuerdo con la norma ASTM E-94-68, en cuatro grandes grupos o tipos, en función de su rapidez, contraste y tamaño del grano. En la siguiente tabla se da la calificación de las distintas películas radiográficas industriales.

**Tabla I. Características de las películas**

<i>Película Tipo</i>	<i>Características</i>		
	<i>Rapidez</i>	<i>Contraste</i>	<i>Tamaño de Grano</i>
1	Lenta	Muy alto	Muy Pequeño
2	Media	Alto	Pequeño
3	Alta	Media	Grande
4 (a)	Muy Alta (a)	Muy Alto (a)	(b)
(a) Película para ser utilizada con pantallas reforzadas fluorescentes. Cuando estas películas se exponen directamente o con pantallas de plomo, su rapidez, contraste y tamaño de grano son medios.			
(b) El tamaño de grano depende de las características de las pantallas fluorescentes utilizadas.			

**2) La rapidez.** Se define como la velocidad a la cual la película se ennegrece cuando es sometida a una exposición.

**3) El contraste.** Es el grado de diferencia entre dos campos o zonas contiguas de una radiografía que presentan diferentes densidades.

**4) La densidad.** Se define como el grado de ennegrecimientos de una película expuesta a la radiación.

La comparación cuantitativa de estas características de las películas, se presentan en las curvas sensitométricas que relacionan la exposición aplicada a la película con la densidad resultante, obtenidas en condiciones de procesado previamente establecidas y normalizadas.

**c. Radiografías de uniones soldadas.** La radiografía de uniones soldadas, cualquiera que sea su tipo, se obtendrá por el método de transparencia. Situando la unión a radiografiar entre la película y la fuente de radiación.

De acuerdo con esta disposición y la imagen radiográfica obtenida sobre la película, los tipos de radiografía que se pueden considerar son:

- De una sola pared con interpretación de una sola pared.
- De doble pared, con interpretación en una sola pared.
- De doble pared con interpretación de la imagen de las dos paredes atravesadas por la radiación.

Estos tipos de radiografías, se pueden dividir a su vez en varios tipos de técnicas, dependiendo de factores tales como el diámetro de la tubería que se está radiografiando, la accesibilidad que haya para trabajar sobre la junta y el espesor de material que se pretende atravesar. Por la amplitud de este tema nos concentraremos en un solo tipo de tubería, técnica y tipo de radiografiado el cual explicará detalladamente más adelante.

## IV. ESTÁNDARES PARA EL PROCEDIMIENTO DE TOMA DE RADIOGRAFÍAS EN PAREDES DE AGUA DE CALDERAS

### A. ALCANCE

**1. Estándar 1.** Este procedimiento se aplicará para el examen radiográfico de materiales ferrosos y no ferrosos y soldaduras para los recipientes a presión, calderas eléctricas, conductos de alimentación y la calificación del soldador.

**2. Estándar 2.** Este procedimiento describe los requisitos generales de seguridad, materiales, equipo, personal, técnica y criterios de aceptación. Cuando existen diferencias entre este procedimiento y las especificaciones técnicas, las especificaciones técnicas deberán gobernar.

**3. Estándar 3.** La gama de materiales (aceros al carbono, aceros inoxidable, etc.) y el espesor (min. 2 mm hasta máx. 250 mm) puede ser examinada en los manuales y esto determina la extensión de la exploración, la cual debe estar de acuerdo con el dibujo de fabricación.

**4. Estándar 4.** El material soldado de base conjunta y adyacente de por lo menos (13 mm) en cada lado de la soldadura debe ser incluido en el examen.

**5. Referencias.** Los siguientes códigos y normas se denominan aquí:

ASME. Sec. I Calderas de energía (2007 Edition)

ASME sec. V Art. 2 Examen no destructivo (2007 Edition)

ASME Sec.VIII ,Div. 1 y 2 recipientes a presión (2007 Edition)

ASME sec. IX Soldadura y Calificación (2007 Edition)

ASME B31.1 Poder de Tuberías (2007 Edition)

SNT-TC-1A NDT Calificación y Certificación de Personal (2001 Edition)

## **6. Requisitos generales**

**a. Requisitos de radiación.** Toda la radiografía se realizará de acuerdo con el procedimiento de Global TechnologyService Co., Ltd. (en lo sucesivo, "GTS"). Control de Radiación Seguridad, GTS-RM-0001 que cumplan con los requisitos de la ordenanza para el control de isótopos radiactivos y protección contra la radiación emitida por el MOST (Ministerio de Ciencia y Tecnología).

**b. Procedimiento de calificación.** Calificación. Este procedimiento cumple con los requisitos de ASME Sección, V, VIII, I y B31.1

**c. Calificación personal.** El personal que realice el examen no destructivo se calificarán de acuerdo con ECM Cualificación de Personal y Procedimientos de Certificación (GTS-QP-0602, Rev. 0), que cumple con los requisitos del número ASNT Práctica Recomendada SNT-TC-1A.

## **7. Equipo y materiales**

### **a. Energía Radioactiva:**

**1)** La energía de la radiación empleada para cualquier técnica radiográfica deberá lograr la densidad y requisitos IQI (ImageQualityIndicators) de este procedimiento.

**2)** La dirección de la radiación. La dirección de la viga central de la radiación debe estar centrada en los intereses de cada práctica.

**b. Máquina de rayos X.** Las máquinas de rayos X se utilizarán operando a 350 kVp (voltaje máximo). La verificación del tamaño del punto focal será aceptable de acuerdo con las publicaciones de los fabricantes tales como manuales técnicos. Cuando la fabricación o de las publicaciones del proveedor no están disponibles, el tamaño de la mancha focal se puede determinar por el método de agujero de alfiler (GTS-QP-0702 App. 6 y ASME SE-1165)

**c. Iridium-192 (IR-192) y Cobalt 60-(Co- 60).** IR-192 & Co-60 se puede utilizar como una fuente para todos los exámenes radiográficos siempre que tengan la capacidad de penetración adecuado.

La verificación de tamaño de fuente (IR-192) deberá ser aceptable de acuerdo con las publicaciones de los fabricantes, tales como técnica de fabricación o manuales. Cuando las publicaciones del proveedor no están disponibles, el tamaño de fuente se puede determinar por ASME SE-1114.

El espesor máximo para el uso de isótopos radiactivos es principalmente dictada por el tiempo de exposición, por lo tanto, el límite superior no se muestran. La limitación mínima recomendada espesor puede reducirse cuando las técnicas radiográficas utilizadas demuestran que la densidad deseada y la imagen IQI se ha obtenido.

Tamaño máximo de la fuente (X-ray, Ir-192, Co-60) tamaño máximo de fuente que se utilizará el examen radiográfico mediante el uso de rayos X de la máquina, Ir 192-60-Co o será como sigue:

- De rayos X de la máquina: 3,0 mm x 3,0 mm (0,12 pulg x 0,12 pulg)
- Ir-192: 3,0 mm x 3,5 mm (0,12 pulgadas x 0,14 pulgadas)
- Co-60: 4,0 mm x 5,0 mm (0,16 pulg x 0,20 pulgadas) 4.4Film 1) Selección.

**d. Película**

**1) Selección.** Las Radiografías deben hacerse usando película radiográfica industrial.

**2) Procesamiento.** La guía estándar para el control del proceso para la calidad

de las películas radiográficas. SE-999 o párrafo del 23 al 26 de Estándar Guide for Radiographic Examination SE-94 debe ser usados como guía para el procesamiento de la película.

**3)** La marca de la película y su designación son las siguientes:

FILM	Description			FILM designation	
	Speed	Contrast	Graininess	Kodak	Fuji
TYPE I	Low	Very Low	Very Low	MX or T	#50 or #80
TYPE II	Medium	High	Low	AA	#100

**e. Pantallas.** Las pantallas guías intensificadoras deben ser utilizadas y

directamente contactadas con la película, el frente y trasero de la pantalla debe tener un mínimo de (.13mm) de grosor usando Iridium-192.

**f. Radiación dispersa.** Para reducir la radiación dispersa, de nuevo llevar la pantalla o placa posterior principal que deberá ser colocado en el soporte de película o detrás del soporte de la película durante la exposición.

Para comprobar la radiación retro dispersada, una ventaja símbolo "B", con unas dimensiones mínimas de ½ pulgadas (13 mm) de altura y 1/16 pulgadas (1,5 mm) de espesor, deberá adjuntarse a la parte trasera de cada soporte de película.

Si una imagen de la luz de la "B", se especifica en el párr. 4.6. (2), aparece en un fondo más oscuro de la radiografía, la protección de la retro dispersión es insuficiente y la radiografía se considera inaceptable. Una imagen oscura de la "B" en un fondo más claro no debe ser causa de rechazo.

**g. El Indicador de Calidad de Imagen (IQI) Diseño.** El diseño estándar del IQI deberá ser del tipo de agujero o tipo de alambre. IQIs tipo agujero deberá ser fabricado e identificados de acuerdo con los requisitos o suplentes permitidas en SE-1025. IQIs tipo alambre, deberá ser fabricado e identificados de acuerdo con los requisitos, o alterna permitidas en SE-747, excepto que el número más grande de alambre o el número de identidad puede ser omitido. ASME IQIs estándar estará integrado por los de la Tabla 1 para el tipo de agujero y los de la Tabla 2 para el tipo de cable.

Alternativa Diseño IQIs diseñado y fabricado de acuerdo con otras normas nacionales o internacionales, podrán utilizarse siempre que los requisitos de cualquiera de (1) o (2) a continuación. y los requisitos materiales de 2.5.4.1) se cumplen.

**1)** IQIs tipo agujero. La sensibilidad calcula Equivalente ICI (EPS), por SE 1025, Apéndice X1, es igual o mejor que el estándar necesario agujero tipo ICI.

**2)** IQIs tipo cables. El diámetro del alambre alternativo IQI esencial es igual o menor que el alambre estándar necesaria IQI esencial.

**h. Sistema de identificación.** La identificación y ubicación de plomo símbolos se utilizan. Un sistema se puede utilizar para una identificación permanente en la radiografía trazable al contrato, componentes, soldadura o costura de soldadura, o números de parte. según sea apropiado. Además, el símbolo o nombre del fabricante y la fecha de la radiografía debe ser claramente legibles e indelebles incluido en la radiografía. Este sistema de identificación no requiere necesariamente que la información aparecen como imágenes radiográficas. En cualquier caso, esta información no oscurecer el área de interés.

Cuando se vuelve a radiografiar áreas de reparación, una carta de plomo "R" se utilizará la siguiente manera: 1<sup>o</sup> Reparación - R1, 2<sup>a</sup> Reparación - R2, etc.

**i. Densitómetro y paso de comparación de porción de película**

**1)** Densitómetros. Los densitómetros se calibrarán al menos cada 90 días durante el uso de la siguiente manera:

**a)** Una tabla de peldaños estándar o una película calibradora con porciones de peldaños estándar nacionales a menos que, antes de usarlo por primera vez, se ha mantenido en el envase original sellado hermética a la luz y al agua suministrada por el fabricante.

- b)** Las instrucciones paso a paso del fabricante del densitómetro para la operación del densitómetro debe ser seguida
- c)** La densidad de los peldaños más cercanos a 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 en la tabla de peldaños nacional debe ser leído.
- d)** El densitómetro es aceptable si las lecturas de densidad no varían más de  $\pm 0.05$  unidades de densidad de la densidad actual establecida en la tabla de peldaños nacional.

## **8. Examinación**

### **a. Preparación de la superficie**

**1)** Materiales. Las superficies deben satisfacer los requerimientos de las especificaciones aplicables de los materiales en la sección del código de referencia, con condicionantes adicionales si es necesario, por cualquier proceso adecuado al grado que la imagen radiográfica resultante, debido a cualquier irregularidad de la superficie, no pueda enmascarar o ser confusa con la imagen de alguna discontinuidad.

**2)** Soldaduras. La ondulación de soldadura o de las irregularidades de soldadura de superficie, tanto en el interior (donde accesible) y fuera será eliminado por cualquier procedimiento adecuado, a tal grado que la imagen radiográfica resultante debido a las irregularidades de la superficie no pueda enmascarar o ser confundida con la imagen de cualquier discontinuidad. La superficie acabada de todas las juntas soldadas a tope puede estar al ras con el material de base o puede tener coronas razonablemente uniforme. Con refuerzo de no sobrepasar la especificada en la sección de código que hace referencia.

**b. Técnica para Radiografiar.** Una técnica de exposición de pared simple se utilizará para la radiografía cuando sea práctico. Cuando no es práctico utilizar una técnica de una sola pared, una técnica de doble pared se utilizará. Un número adecuado de exposiciones se hizo para demostrar que la cobertura requerida ha sido obtenida.

**1)** Técnica de pared simple. En la técnica de una sola pared, la radiación pasa a través de sólo una pared de la soldadura (material), que se considera para su aceptación en la radiografía.

**2)** Técnica de doble pared. Cuando no es práctico utilizar una técnica de una sola pared, una de las siguientes técnicas de pared doble se empleará:

**a)** Pared de visualización sencilla. Para los materiales y de las soldaduras en componentes, esta técnica puede utilizarse en la cual la radiación pasa a través de dos paredes y sólo la soldadura (material) en la pared lateral de película se han visitado para su aceptación en la radiografía. Cuando la cobertura completa es necesario para soldaduras circunferenciales (materiales), un mínimo de tres exposiciones tomadas 120 grados. Unos a otros se harán.

**b)** Visualización doble pared. Para materiales y soldaduras en componentes de 3 ½ in. (89mm) o menos de diámetro exterior nominal, una técnica debe ser usada, donde la radiación pasa a través de dos paredes y la soldadura se ve en ambos paredes para su aceptación en la misma radiografía. Para la visualización de doble pared, solo un IQI del lado de la fuente debe ser utilizado. Se debe tener cuidado para asegurar los requerimientos geométricos y asegurarse de no exista una falta de nitidez, donde tal sería el caso, se deberá utilizar la técnica de visualización con una sola pared.

(a) Para las soldaduras, el haz de radiación puede ser compensado desde el plano de la soldadura en un ángulo suficiente para separar las imágenes de las partes de lado de la fuente y de la película de lado de la soldadura de manera que no hay solapamiento de las áreas que se ha interpretado. Cuando la cobertura completa se requiere, un mínimo de dos exposiciones tomadas a 90 grados entre ellas se hará para cada articulación.

(b) Como alternativa, la soldadura puede ser radiografiada con el haz de radiación colocado de modo que las imágenes de ambas paredes se superponen. Cuando se necesita cobertura completa, un mínimo de tres exposiciones ya sea de 60 o 120 grados entre ellos se hará para cada junta.

(c) La exposición adicional se realizará si en la cobertura radiográfica requerida no se puede obtener utilizando el mínimo número de exposiciones que se indica en (a) o (b) anterior.

## **V. PROCEDIMIENTO ACTUAL PARA LA TOMA DE RADIOGRAFÍAS PARA LA EMPRESA ENCONTROL, S.A.**

### **A. Preparación del equipo y el área de trabajo**

Debido a que se trabaja con energía radioactiva, se deben hacer algunas inspecciones antes de iniciar el trabajo para que se mantenga la seguridad industrial.

Al llegar al lugar donde se va a trabajar, se inspecciona el área para evitar posibles accidentes. Las salidas de escape, obstáculos y todo tipo de objetos que puedan obstruir el trabajo apropiado, para evitar que personas ajenas y contratadas por la empresa no corran riesgos de exposición a la radiación controlada.

Se notifica al supervisor del área, que se realizarán trabajos de radiografía en la ubicación, para tomar algunas medidas de precaución con su personal de trabajadores.

Revisión de equipo de seguridad de aparatos de medición de radiación, para asegurarse que los radiólogos no se expongan a si mismos a la radiación, tales como el Geiger (ANEXOS), los radiómetros (ANEXOS) y los dosímetros individuales (ANEXOS), que miden la cantidad de radiación que se ha recibido. Se revisa también contar con todo el equipo de seguridad industrial necesario, tal es el caso de los cascos, lámparas, botas de punta de acero, chalecos, pantalones cerrados, guantes y lentes protectores.

Verificación de las medidas del material al que se deberá radiografiar, para determinar con las normas de control y estándares ASME, que técnica se debe utilizar para cada caso.

Preparar las películas y los rótulos que sean necesarios para la toma radiográfica, especificando el tipo de tubería, la sección a que corresponde y el número específico de la

misma, para que en el caso de que se necesite alguna reparación, se pueda encontrar la posición exacta de la misma.

Instalar los cables a la fuente radiográfica, necesarios para aplicar la técnica correspondiente a la tubería.

## **B. Proceso de toma**

En el proceso de toma de radiografía industrial de tubería en paredes de calderas, se cuenta con dos equipos (grupos) de trabajo; cada equipo cuenta con 2 radiólogos y un ayudante, cada persona con un dosímetro, y cada equipo con detectores de radiación, un Geiger y una fuente de radiación, que en este caso, serán fuentes de rayos Gamma (Iridium-192),

### **1. El trabajo en los grupos de trabajo se divide de la siguiente manera:**

**a. El encargado de colocar los rótulos.** Siendo estas letras de plomo colocadas con cualquier tipo de adhesivo, el cual tiene que ser cambiado constantemente con la placa y tubo que corresponda.

**b. El encargado de la colocación de la película.** Radiográfica en el tubo correspondiente, en el ángulo correcto.

**c. El encargado de la colocación y apertura de la fuente radiográfica.**

**2. Colocación de rótulos con letras de plomo en la película.** Para poder tener registro en las películas tomadas, debido a que se debe manejar de manera de “archivo”, debemos integrar un rótulo que sirva como título de la misma para poder identificarla.

Este rótulo para que pueda estar “impreso” en la radiografía, debe existir un cambio en la escala de radiación recibida. Es por esto que para la colocación de rótulos, se utilizan letras de plomo. Debido a su elevada densidad y por ser un metal pesado, el plomo es buen aislante de radiaciones corpusculares (alfa y beta) y radiaciones electromagnéticas de alta energía (gamma). Este rótulo se coloca con una cinta de adhesivo a la película (en este caso maskin tape).

**a.** Para este procedimiento se siguen los siguientes pasos:

1. Se colocan las coordenadas de la pared de tuberías (estas coordenadas son colocadas de acuerdo con los planos, dependiendo de las mismas se sabe la posición exacta de donde está la pared de caldera, su diámetro y espesor, pero no tiene el número de tubo al que se está radiografiando).

2. Se coloca el número de tubería, especificado en la misma con un cordón de soldadura. Esta es la variable que se cambia en cada rótulo.

3. Se coloca la IQI (ImageQualityIndicator (figura.3)) respectiva.

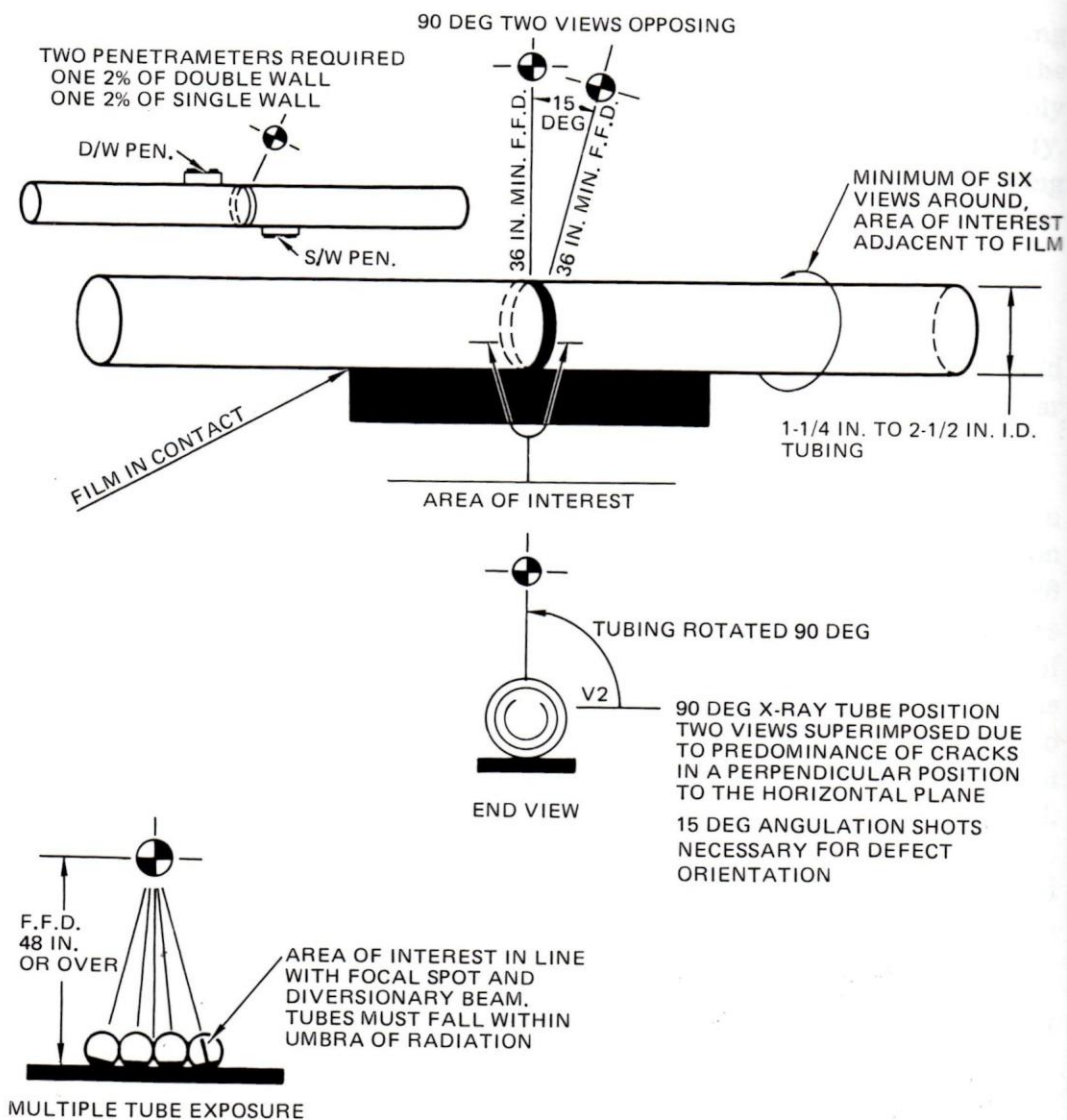
4. Se coloca la cinta adhesiva a la película en una posición donde no moleste la imagen de la soldadura radiografiada.

**3. Colocación de la película en la tubería.** La colocación de esta película, consiste en tomar la película cargada en su estuche determinado, con su identificación, es decir, el rótulo de la respectiva tubería y colocarla en la posición correcta.

En este caso debido a que las tuberías tienen menos de 3 ½ pulgadas, es apropiado utilizar la técnica de visión de doble pared, debido a que se ahorra gran cantidad de toma de radiografías y tiempo.

En esta técnica como se explicó previamente, se toman 2 radiografías, las 2 a 15 grados de la perpendicular vertical de la tubería.

## Ilustración 3 TÉCNICA DE DOBLE PARED



Y se realizan 2 tomas, a 90 grados, para poder tener el 100% de la imagen de la soldadura, teniendo una película por cada toma a 90 grados de igual manera pero del lado contrario del tubo.

Ilustración 4 TÉCNICA DE DOBLE PARED (2)

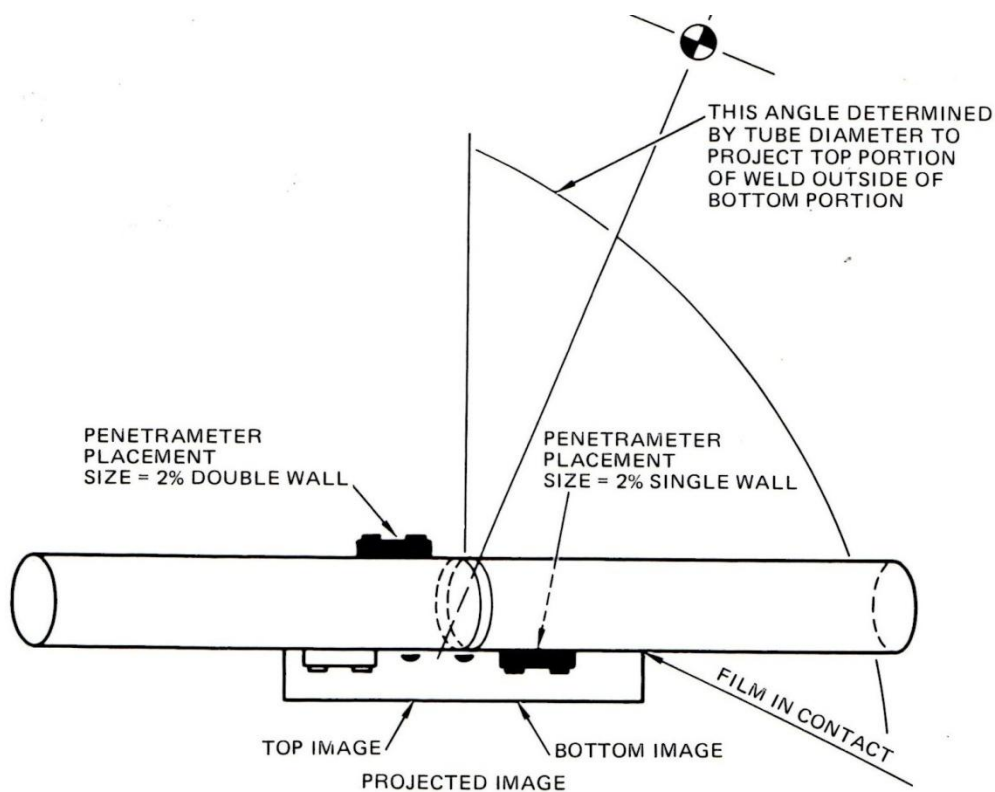


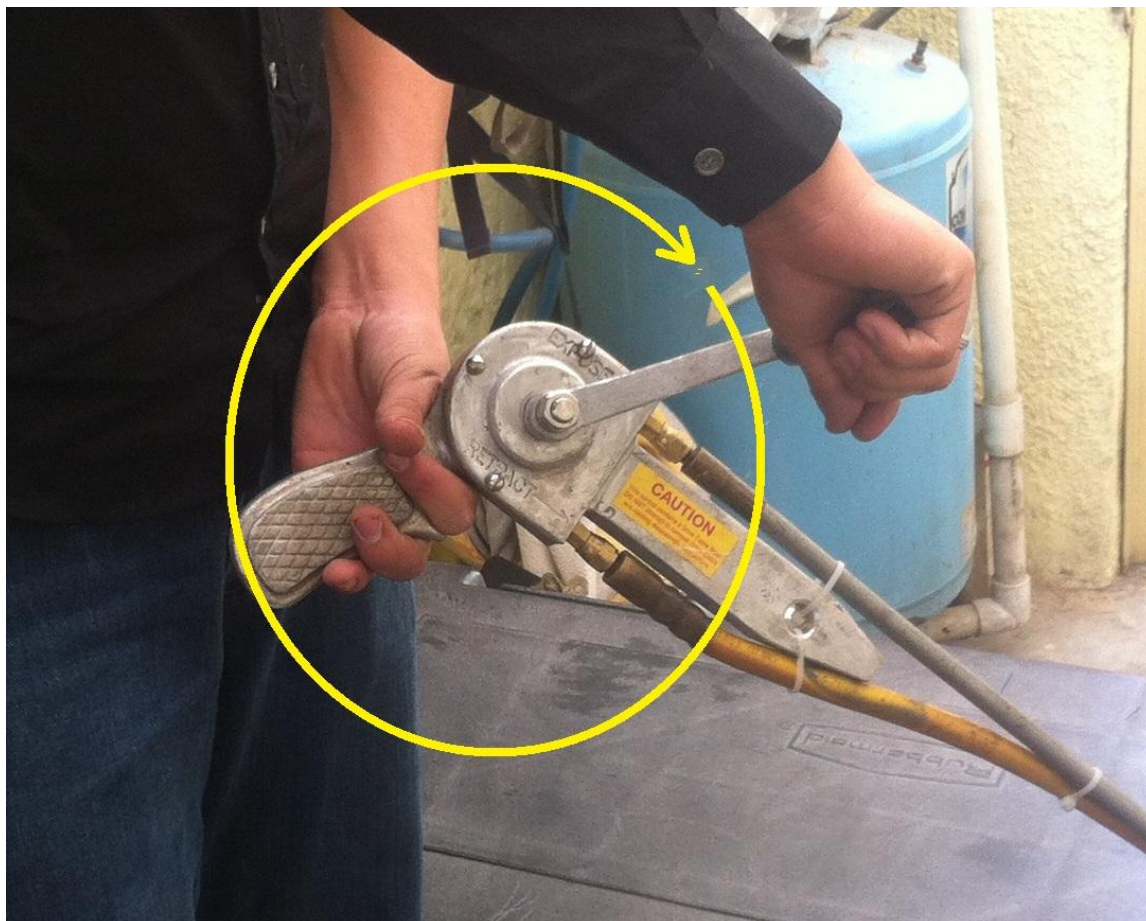
Figure 6-30. Double Wall Application with Tube Size Less Than 1-1/4 Inch Inside Diameter

De tal manera que cada vez que se tenga que realizar una toma, el radiólogo debe introducirse a la parte inferior de la tubería y colocar la película exactamente alineada con la energía radioactiva.

**4. Apertura y cierre de la fuente radioactiva.** El cierre y la apertura de la fuente radioactiva, consiste en sacar la fuente radioactiva del estuche blindado al lugar de exposición. Para realizar este procedimiento el radiólogo debe rotar con una manivela la cual está del otro extremo del lugar de exposición. Del estuche blindado al lugar de exposición existen aproximadamente 8 pies de distancia y del estuche blindado a la manivela hay una longitud de 25 pies, dando 33 pies de distancia entre el radiólogo y el lugar de exposición, para asegurar que no se someta a energía radioactiva.

En la (Figura 5) podemos diferenciar el procedimiento de rotación de la manivela, esta tiene aproximadamente una palanca de 23cm de longitud para reducir el esfuerzo que el usuario tenga que realizar.

Ilustración 5. Manivela de apertura



En la Figura 6. Tras realizar el respectivo movimiento rotacional, podemos observar la manera en que la fuente sale del estuche blindado hacia el lugar de exposición, las mangueras son blindadas y la fuente se expone hasta el momento de llegar al otro extremo de la misma.

Ilustración 6. Operación de la típica cámara de Isotopo

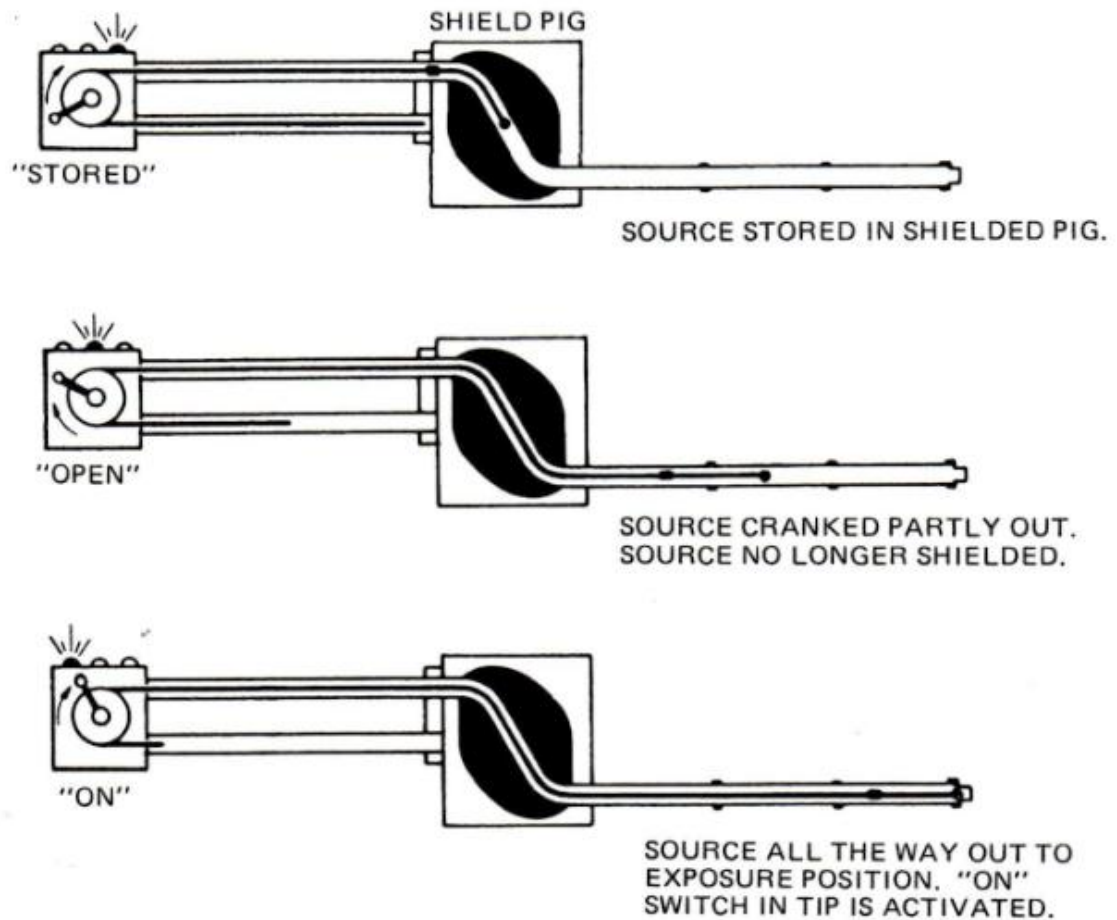


Figure 3-11. Operation of Typical Isotope Camera

El mismo encargado de la apertura y cierre de la fuente radioactiva es el mismo que coloca la fuente la fuente radioactiva en la posición correcta en cada tubo al momento de tomar cada radiografía.

El encargado de la apertura y cierre de la radiografía también es el encargado de colocar la fuente en su posición correcta; Debe medir aproximadamente 5 pulgadas de la soldadura al extremos que colocará la fuente y medir el ángulo de la misma para aplicar la técnica de doble pared.

### C. Toma de tiempos del proceso actual

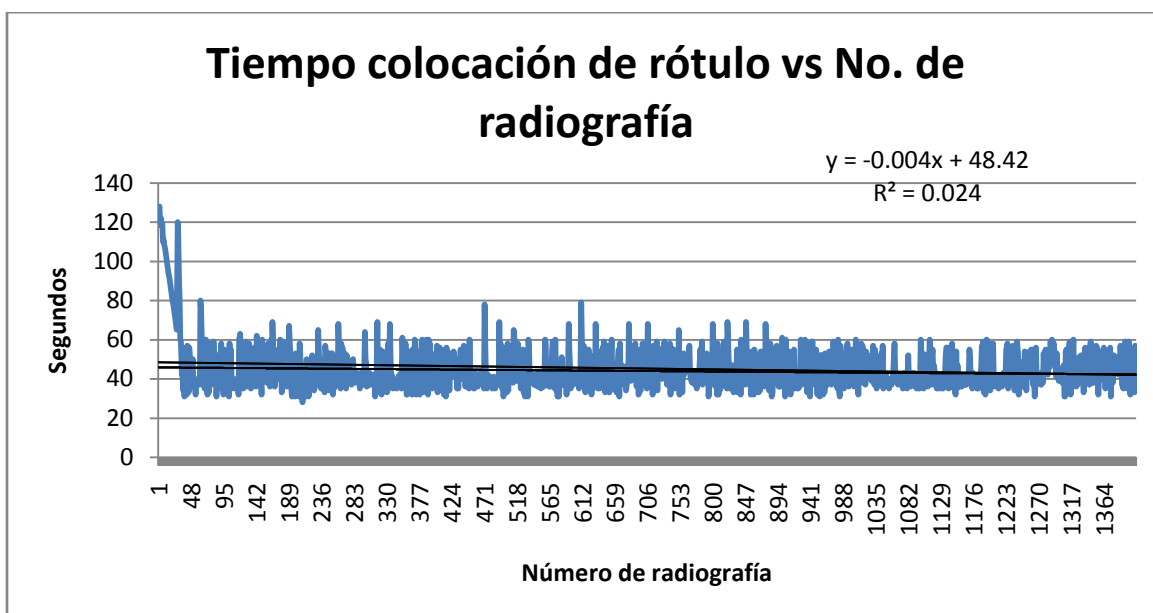
Durante 3 meses, se hicieron diferentes tomas radiográficas, en las cuales los radiólogos y el ayudante tomaban el tiempo de cada una de sus funciones para tener una base de datos con la cual podamos encontrar las fallas y los cuellos de botella.

**1. Toma de tiempos en colocación de rótulos.** El tiempo de la colocación de rótulos consiste el tiempo en que el ayudante se tarda en retirar el rótulo de la radiografía que acaba de ser tomada y cambiar solamente el número de tubería del rótulo anterior, debido a que se encuentran en la misma pared de caldera a menos que se haya terminado la tubería de la misma y se tenga que cambiar las coordenadas de la pared de caldera. Al tener listo el cambio del rótulo, se coloca en una película nueva. De igual manera en el rótulo, se coloca un ImageQuality Control.

<i>Estadística descriptiva de colocación de rótulos</i>	
	(segundos)
Media	45.2630699
Moda	40
Desviación estándar	11.7744516
Varianza de la muestra	138.63771
Coefficiente de asimetría	2.68689364
Rango	100
Mínimo	28
Máximo	128
Suma	63820.9286
Cuenta	1410

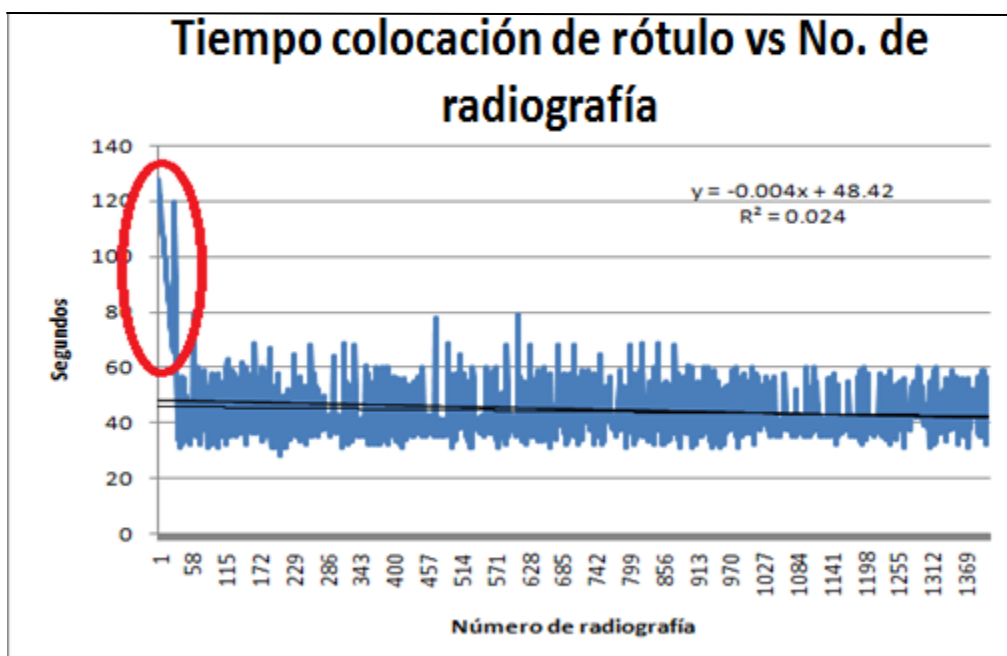
Estos datos estadísticos indican que el tiempo promedio para remover el número de la cinta adhesiva son 45.26 segundos. Esto puede ser debido a que se debe pegar al revés de manera que cuando se pegue, viéndolo desde el contrario de la película, este en el orden correcto, el mismo efecto de un espejo, generando confusión en el ayudante.

Ilustración 7. Tiempo de colocación de rótulos versus Número de Radiografía



El gráfico anterior indica el tiempo en segundos que el ayudante se demora en quitar el rótulo, cambiar las piezas, colocar las nuevas y colocar el rótulo en la nueva película. Se demuestra que en la ecuación el coeficiente que acompaña a la variable (X) es negativo, esto es debido a la prolongación tan alta en que el ayudante cambiaba los rótulos al inicio de las tomas.

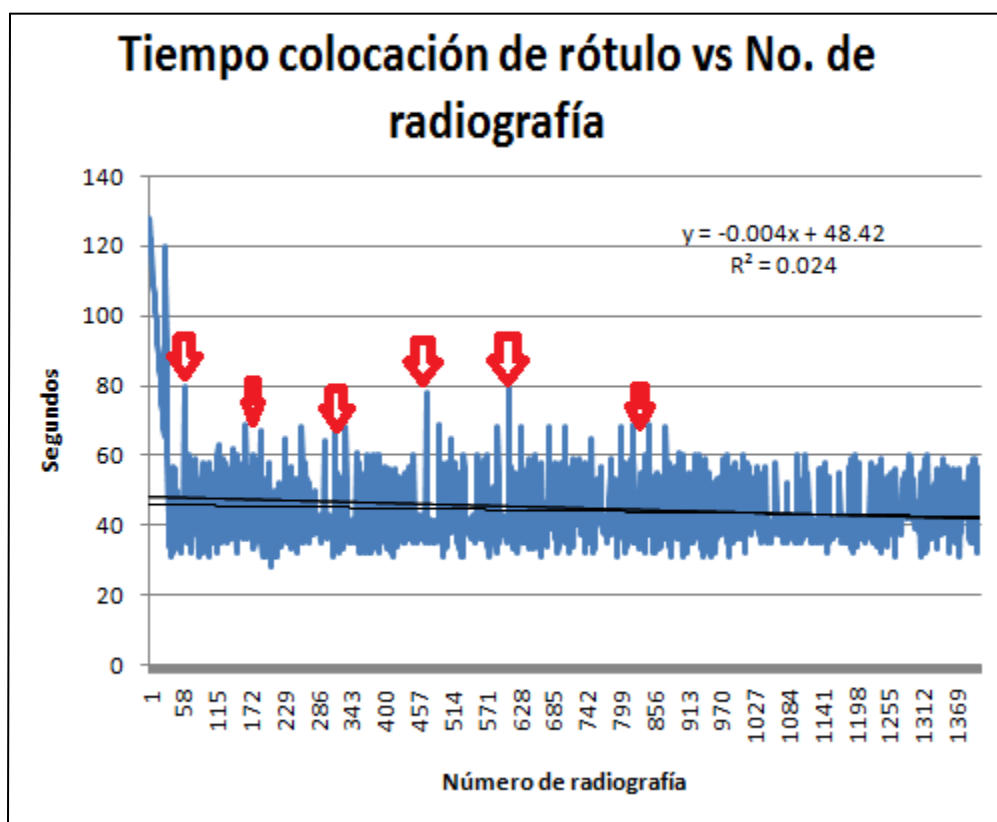
Ilustración 8. Pico Inicial colocación de rótulos



En las primeras radiografías, podemos observar que existen los tiempos más altos en la colocación de los rótulos, esto es debido a que por ser las primeras veces, es probable que no existiera ningún tipo de entrenamiento ya que los ayudantes son contratados por proyectos para reducir costos y este no haya tenido un trabajo parecido.

Según la teoría de la curva de aprendizaje dependiendo de la habilidad de aprendizaje del ayudante, el tiempo debería de bajar exponencialmente hasta encontrar un tiempo promedio, de igual manera como se demuestra en la gráfica. La tendencia que más se asemeja a los datos es la lineal, pero debido a la alta desviación, podemos observar que el  $R^2$  es muy cercana a cero y por esto la ecuación de la línea no es confiable.

Ilustración 9. Picos en colocación de rótulos

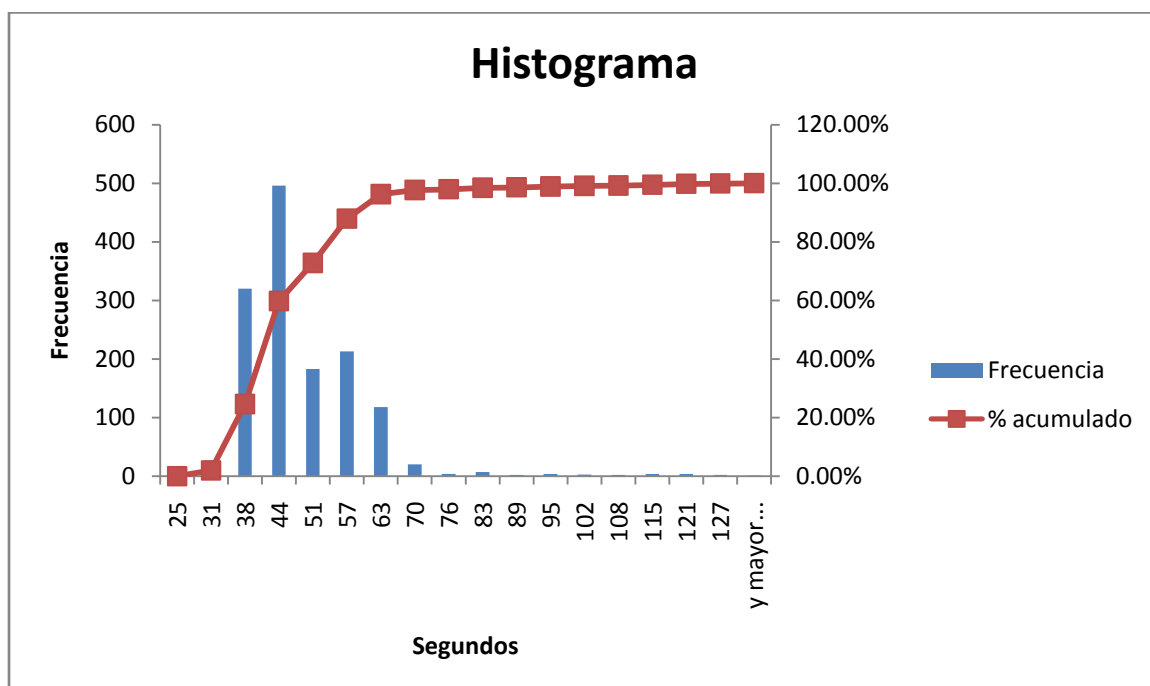


En el caso de los otros tiempos altos durante las siguientes radiografías, son debido a que haya existido un cambio en las coordenadas de las paredes de caldera y se tenga que cambiar no solo el número del tubo sino también el resto de las letras en el rótulo, que se haya tenido que cambiar de rollo de adhesivo o algún cambio en el adhesivo que haya perdido su pegamento.

Datos de tomas de tiempos para colocación de rótulos

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
25	0	0.00%
31	27	1.91%
38	320	24.61%
44	496	59.79%
51	183	72.77%
57	213	87.87%
63	118	96.24%
70	20	97.66%
76	4	97.94%
83	7	98.44%
89	2	98.58%
95	4	98.87%
102	3	99.08%
108	2	99.22%
115	4	99.50%
121	4	99.79%
127	2	99.93%
y mayor...	1	100.00%

Ilustración 10. Histograma colocación de rótulos



El histograma nos demuestra que existe una distribución normal un poco orientada a la derecha, esto es debido a que los tiempos pueden ser lo más prologados posibles debido a cualquier problema, pero los tiempos no pueden ser menores ya que sin importar cuán rápido sea el ayudante, va a encontrar un límite de tiempo en su procedimiento.

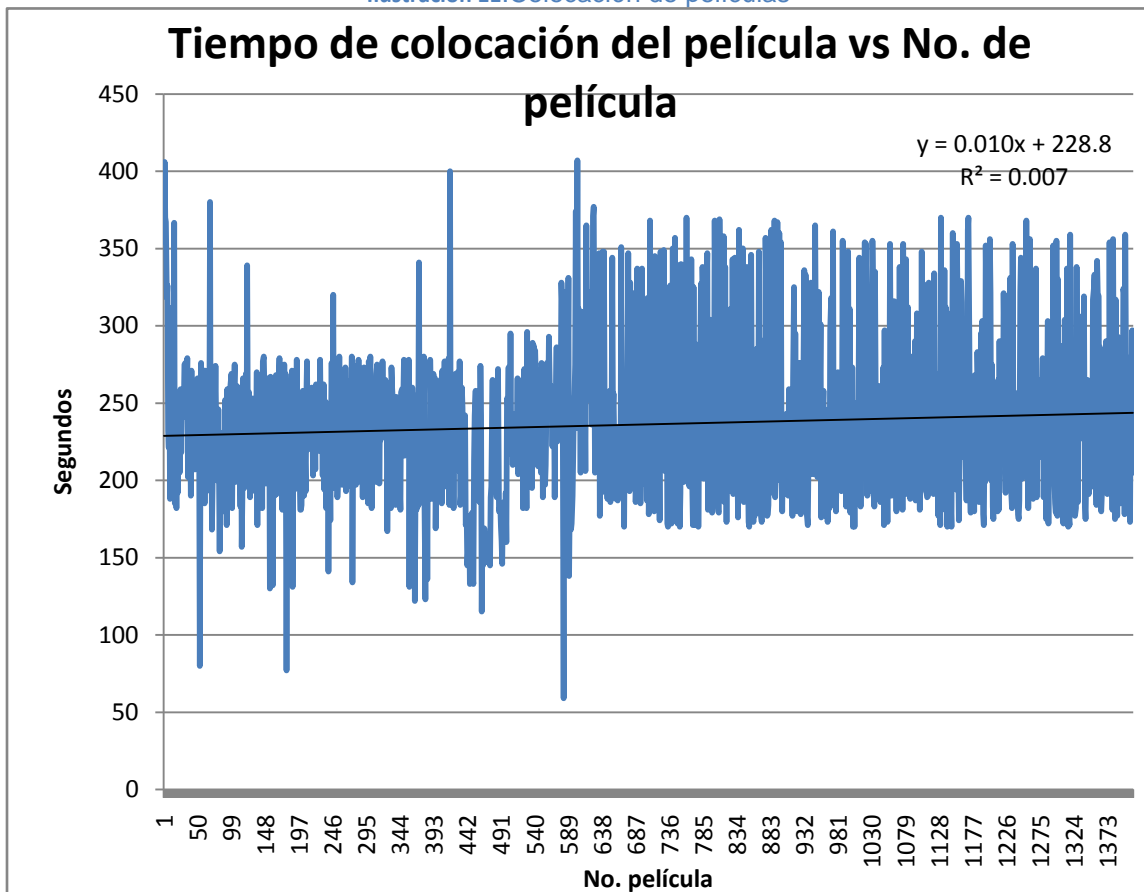
**2. Tiempo de colocación de la película.** Este procedimiento, consiste en la colocación en la posición exacta de la película en el tubo para que en la radiografía se puedan observar de manera detallada las juntas de soldadura y tener una buena definición de los cordones. Esta se coloca con dos imanes, uno en cada extremo, para no desperdiciar en insumos adhesivos y hacerlo de manera fácil y rápida. El conteo del tiempo en segundos comienza al momento en que el primer radiólogo regresa la fuente al estuche blindado.

<i>Estadística descriptiva de colocación de películas</i>	
	(segundos)
Media	236.26106
Desviación estándar	50.7896127
Varianza de la muestra	2579.58476
Rango	348
Mínimo	59
Máximo	407
Suma	333128.095
Cuenta	1410

Los datos estadísticos, indican que el tiempo promedio para la colocación de las películas en las tuberías es de 236.26 segundos, es decir, 3 minutos 56 segundos.

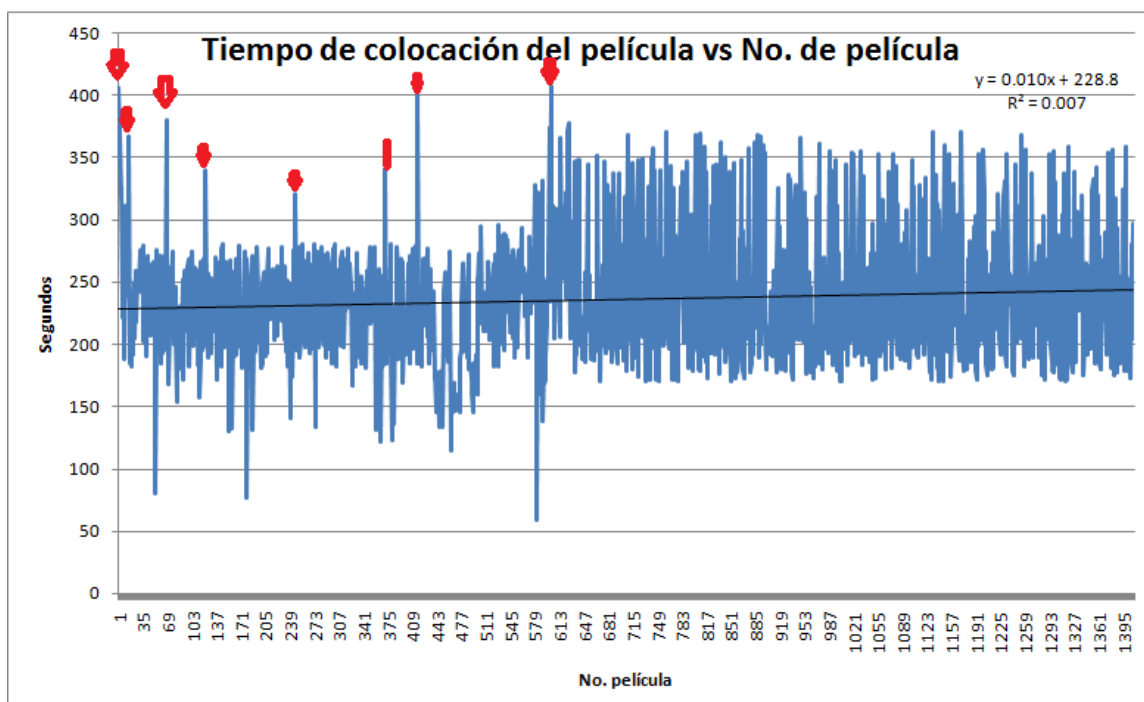
La desviación estándar es de 50.79 segundos, dando una diferencia muy alta entre las tomas la cuales se presentarán a continuación.

Ilustración 11. Colocación de películas



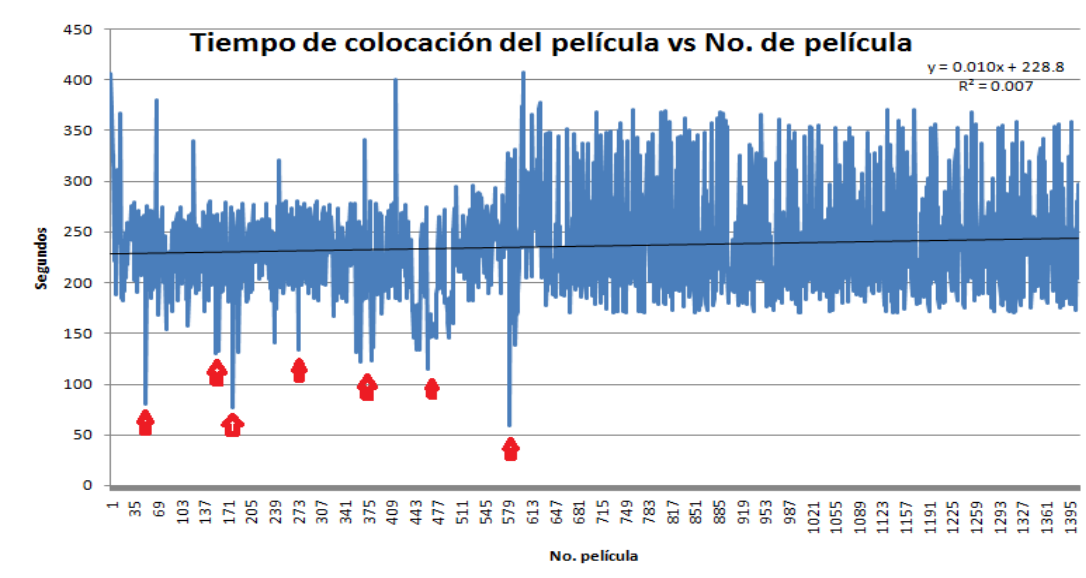
Esta gráfica nos demuestra que el comportamiento de los tiempos en la colocación de las películas varía mucho, esto se debe a que las calderas al momento de ser soldadas se encuentran a la intemperie y el terreno puede estar en muy malas condiciones, siendo inclusive hasta la condición física y tamaño del operario, un factor importante a tomar en cuenta. La ecuación de la línea de tendencia con un coeficiente que acompaña a la variable (X) positivo, nos indica que existe un cambio al final de la toma de radiografías donde aumenta el tiempo de la colocación de la película, lo cual más adelante se explicará.

Ilustración 12. Picos superiores en colocación de películas



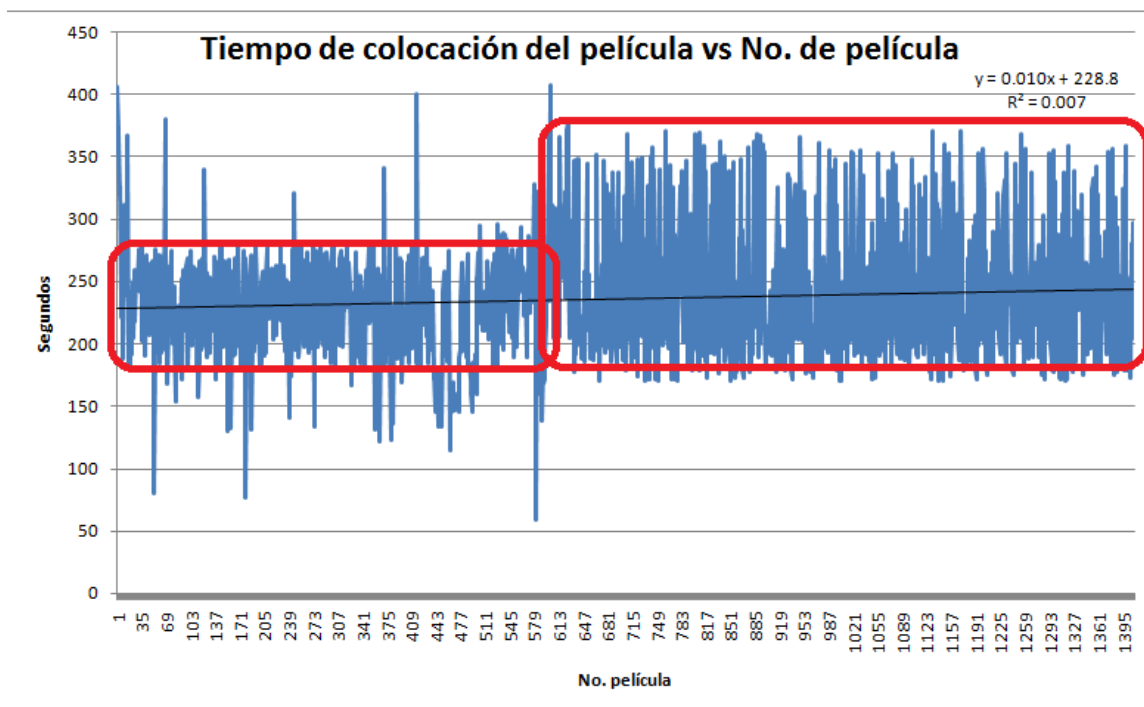
Existen altas variaciones en ciertas tomas de tiempo, esto nos indica que existió algún error en el proceso o hubo algún bloqueo en el que el radiólogo tuvo problemas ingresando la parte inferior de la pared de caldera.

Ilustración 13. Picos inferiores en colocación de películas



En el caso de los picos inferiores, los radiólogos indican que existían unas señas en el lugar donde se debía colocar la tubería y los tubos estaban en las orillas así que tenían muy fácil acceso.

Ilustración 14. Cambio de pendiente en colocación de película

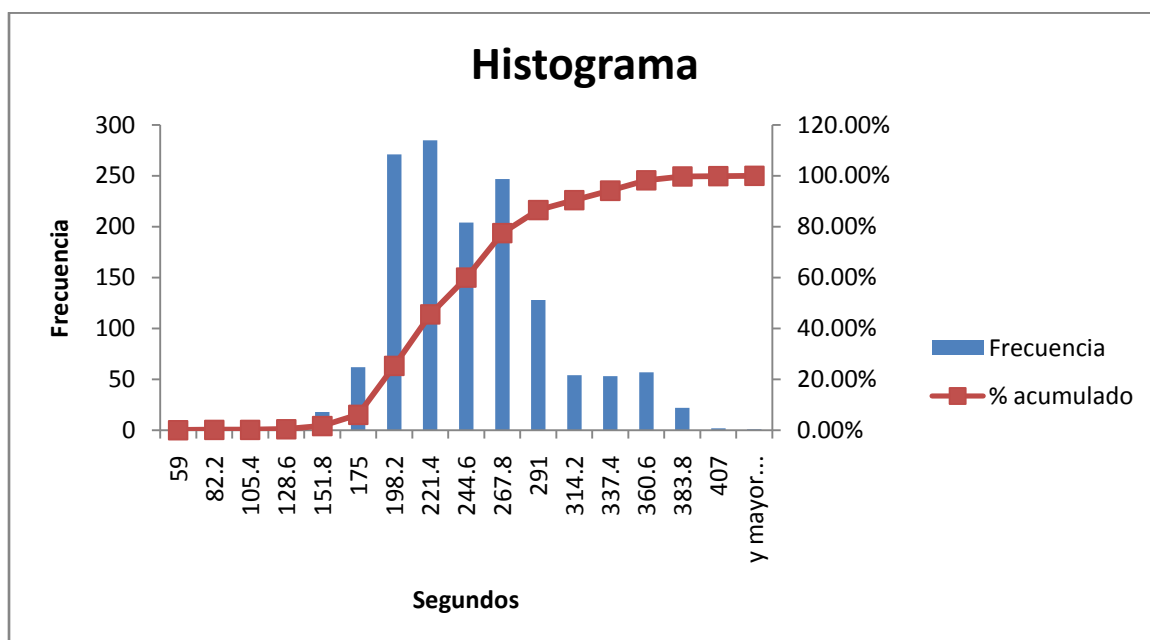


Como se describió en la primera gráfica, la línea de tendencia va en aumento, y esto implicaba que existe un aumento en el tiempo al final de la toma de tiempos. Después de hacer una investigación, el mes en que se realizaron las tomas de tiempo que comenzaron a aumentar, fue a mediados del mes de mayo y siendo el lugar de trabajo cerca de la costa de Guatemala, se creó el factor lluvia, el cual afecta de sobremanera tanto el terreno como la toma de las radiografías ya que el agua arruina la película y esta se hace inservible, es por esto que se realizan los procedimientos con mucho mayor cuidado, es por eso el aumento del tiempo al final de la muestra.

## Tomas de tiempos de colocación de película en la tubería

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
59	1	0.07%
82.2	2	0.21%
105.4	0	0.21%
128.6	3	0.43%
151.8	18	1.70%
175	62	6.10%
198.2	271	25.32%
221.4	285	45.53%
244.6	204	60.00%
267.8	247	77.52%
291	128	86.60%
314.2	54	90.43%
337.4	53	94.18%
360.6	57	98.23%
383.8	22	99.79%
407	2	99.93%
y mayor...	1	100.00%

Ilustración 15 Histograma colocación de película



En el histograma podemos observar una distribución normal orientada a la derecha, esto es debido al aumento gracias a las fuertes lluvias y al difícil terreno al que los radiólogos están sometidos.

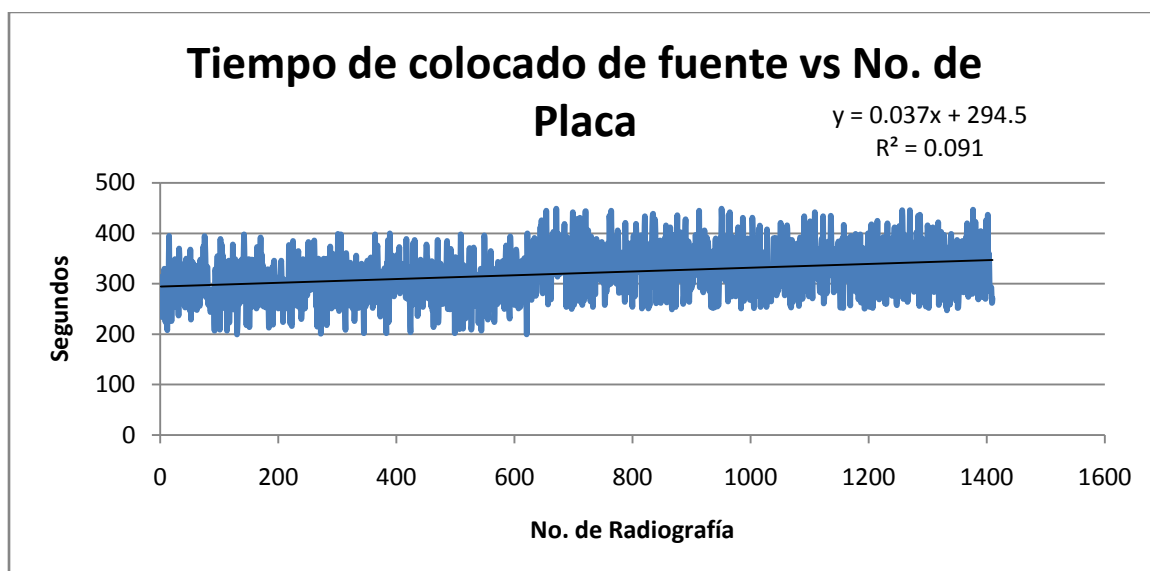
**3. Tiempo de colocación de Fuente Radioactiva.** El tiempo de colocación de la fuente radioactiva, consiste en el tiempo que tarda el radiólogo en colocar el foco de la fuente radioactiva en el ángulo y posición correcta, exactamente a 180 grados de la circunferencia del tubo, de la película.

<i>Estadística descriptiva colocación de fuente radioactiva</i>	
	(Segundos)
Media	320.6702128
Desviación estándar	49.73022786
Varianza de la muestra	2473.095563
Rango	248
Mínimo	201
Máximo	449
Suma	452145
Cuenta	1410

Los resultados estadísticos nos demuestran que el tiempo promedio de la colocación de la fuente son 320.67 segundos, aproximadamente 5 minutos 21 segundos. La demora extra que tiene el radiólogo que coloca la fuente en su respectivo lugar, es que además de colocarla alineada a la película, este tiene que medir el ángulo y la distancia de la soldadura a la base de la fuente.

Tiene una desviación estándar promedio de 49.73 segundos, esto nos da poca confianza si queremos determinar algún tiempo exacto para este proceso.

Ilustración 16. Tiempo colocación de fuente radioactiva

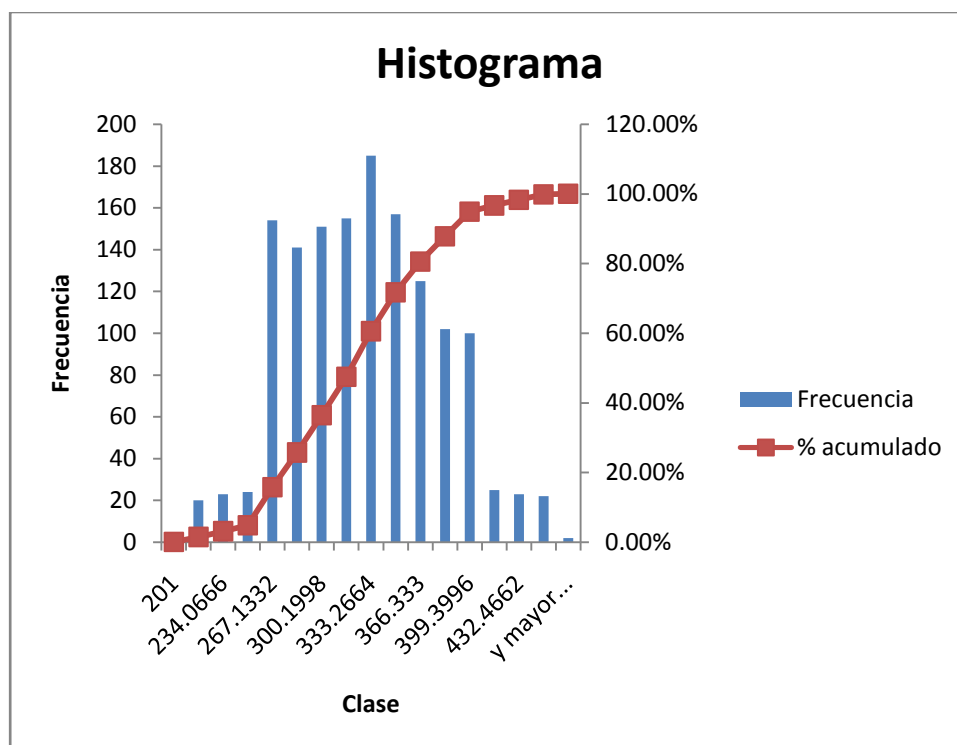


La ecuación nos demuestra que existe un ascenso en cuanto a la toma de los tiempos al final del período, esto de igual manera que con la colocación de la película en la tubería aumento luego de que comenzaron las lluvias en el lugar de trabajo, según la gráfica aproximadamente en la radiografía 650.

Toma de tiempos de colocación de la fuente radiográfica

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
201	1	0.07%
217.5333	20	1.49%
234.0666	23	3.12%
250.5999	24	4.82%
267.1332	154	15.74%
283.6665	141	25.74%
300.1998	151	36.45%
316.7331	155	47.45%
333.2664	185	60.57%
349.7997	157	71.70%
366.333	125	80.57%
382.8663	102	87.80%
399.3996	100	94.89%
415.9329	25	96.67%
432.4662	23	98.30%
448.9995	22	99.86%
y mayor...	2	100.00%

Ilustración 17 Histograma de colocación de fuente radioactiva



El histograma demuestra una distribución normal, con media en 320 aproximadamente.

**4. Tiempo de apertura y cierre de la fuente radioactiva.** El tiempo de apertura y cierre de la fuente radioactiva, consiste en el tiempo en que el radiólogo tiene que rotar la manivela de apertura hasta que la fuente llegue a el punto de exposición. Al momento en que la fuente llega al lugar de exposición, la manivela deja de rotar y esto indica que el proceso llegó a su final. De igual manera al regresar la fuente del lugar de exposición de regreso al estuche blindado.

*Estadística descriptiva de apertura de  
fuente radioactiva*

	(segundos)
Media	4.39078014
Desviación estándar	1.27699527
Varianza de la muestra	1.63071692
Rango	5
Mínimo	3
Máximo	8
Suma	6191
Cuenta	1410

Los datos estadísticos indican que el tiempo promedio de apertura y cierre es de 4.39 segundos, los radiólogos procuran realizar este procedimiento de la manera más rápida posible

debido a que la fuente radioactiva al salir del estuche blindado se encuentra más cerca de ellos que en cualquier otro momento, tal y como se muestra a continuación.

Ilustración 18. Proceso de rotación de manivela

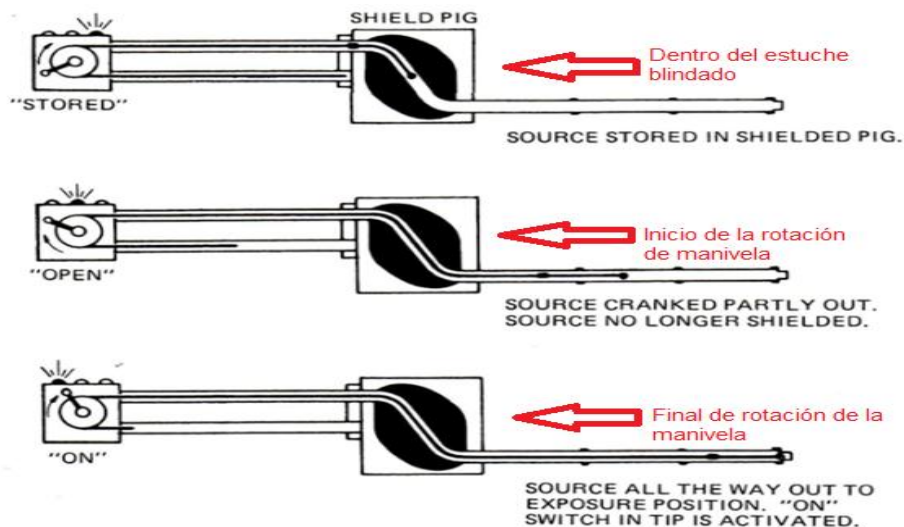
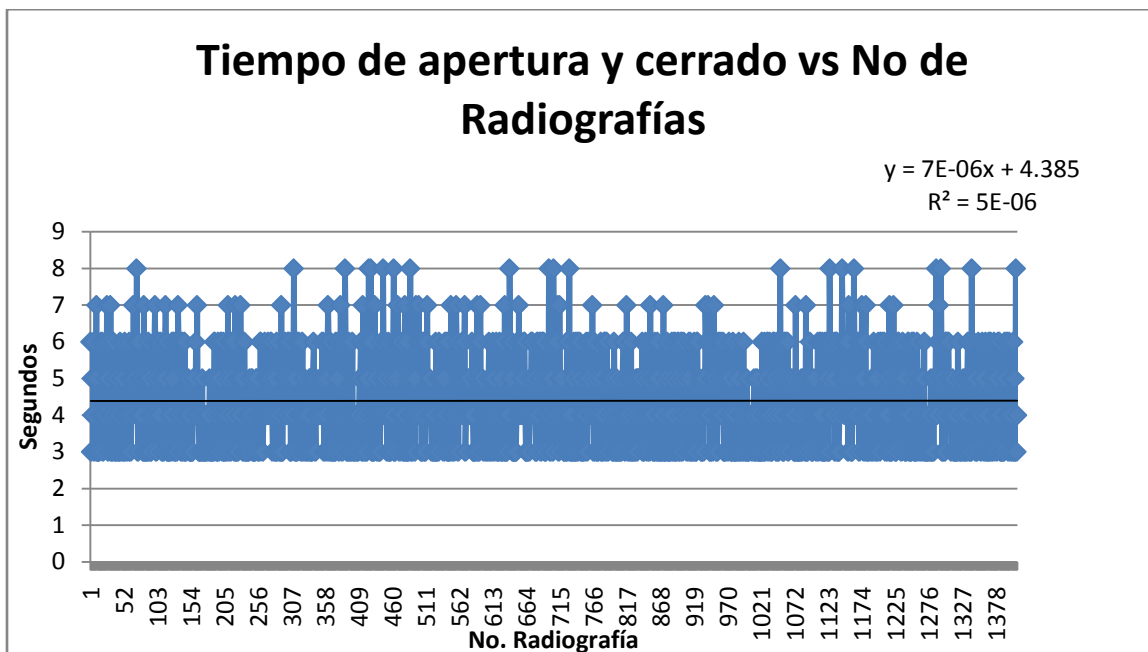


Figure 3-11. Operation of Typical Isotope Camera

Al momento en que la fuente se encuentra en el lugar de exposición los radiólogos están fuera de peligro de recibir radiación.

Ilustración 19. Tiempo de apertura y cierre

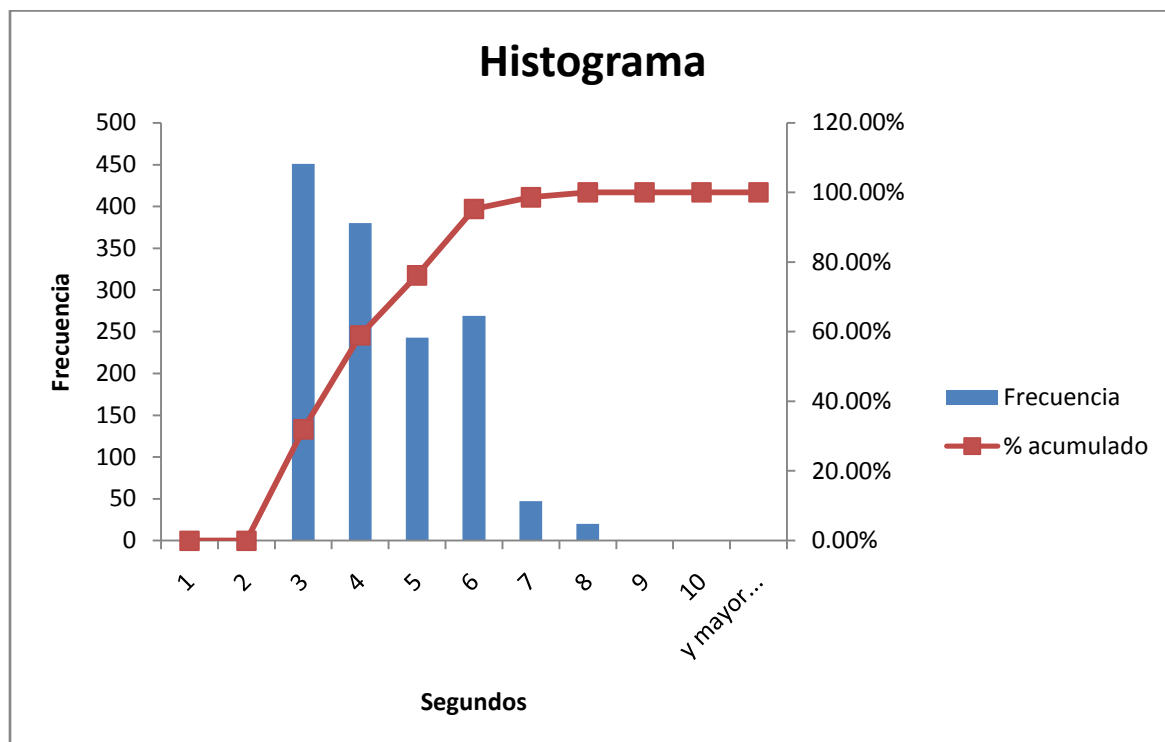


Los datos están poco dispersos, se mantienen entre los 8 y 3 segundos. La constante que multiplica a la variable (X) en la ecuación de la línea de tendencia es un número muy cercano a cero, esto nos indica que la pendiente es casi horizontal así que el tiempo no varía mucho en cuanto al aumento del número de radiografías.

*Toma de tiempos de apertura de fuente radiográfica*

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
1	0	0.00%
2	0	0.00%
3	451	31.99%
4	380	58.94%
5	243	76.17%
6	269	95.25%
7	47	98.58%
8	20	100.00%
9	0	100.00%
10	0	100.00%
y mayor...	0	100.00%

Ilustración 20. Histograma apertura y cierre

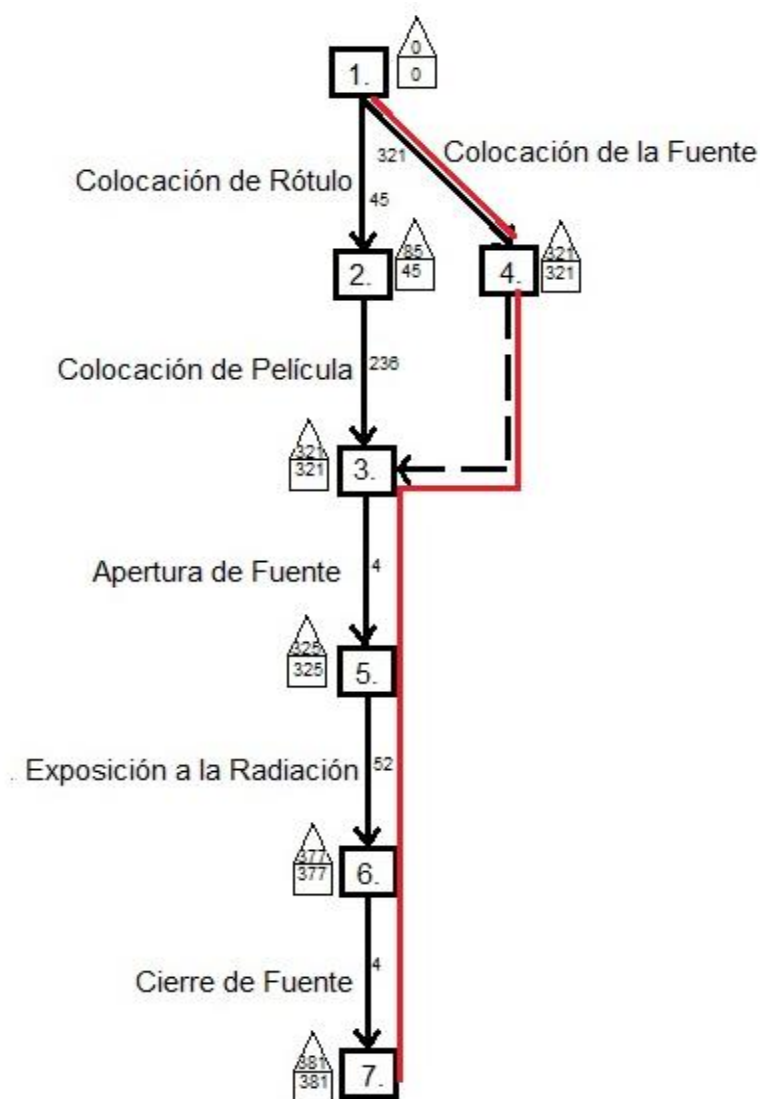


Existe una distribución normal, pero no existe ningún dato menor de 3 segundos, esto solo sería posible si el radiólogo hiciera un esfuerzo extremo. Al final de cada día de trabajo se registran los tiempos más altos.

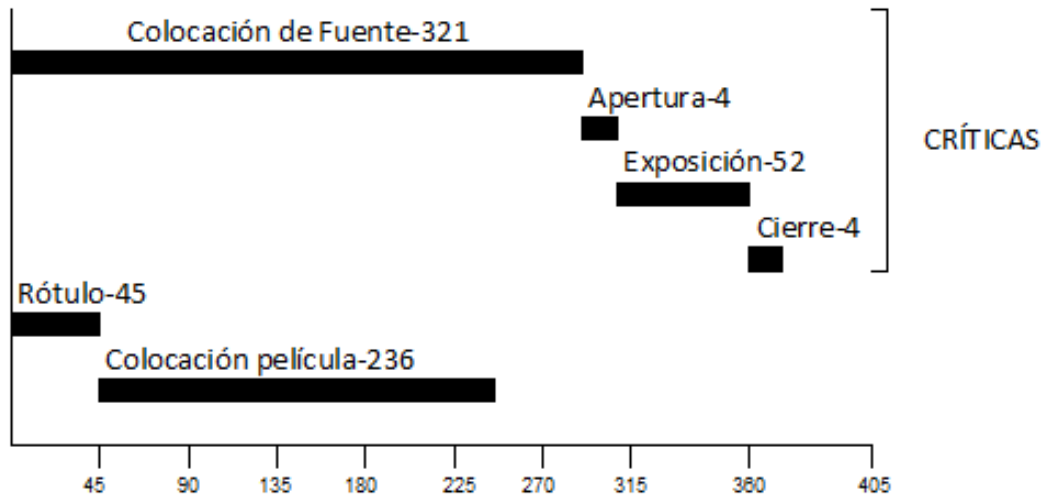
**EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN QUE SE ESTABA UTILIZANDO A UNA VELOCIDAD DE 52 CURIE/MINUTOS ERA DE 54.23 SEGUNDOS, YA QUE AL 2 DE ABRIL DEL 2012, LA FUENTE CONTABA CON 47 CURIES.**

**D. CPM (CriticalPathMethod) Método de Ruta Crítica en procedimiento actual de la empresa ENCONTROL, S.A.**

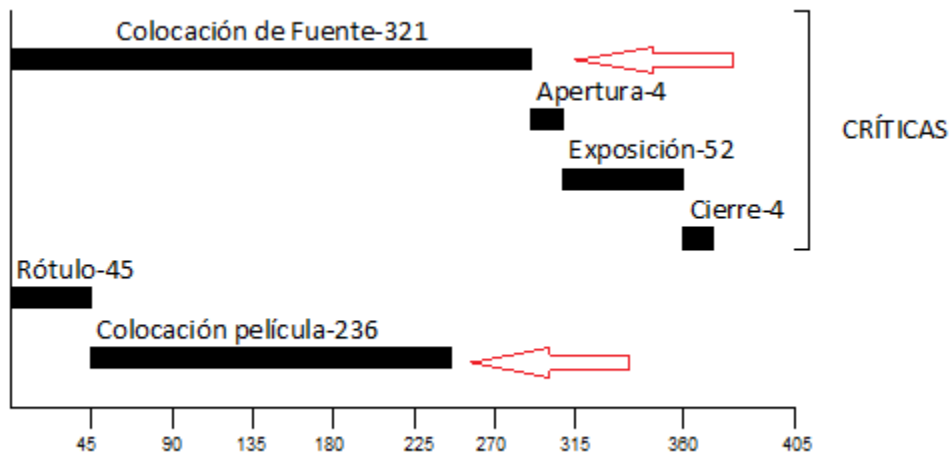
Ilustración 21. CPM Proceso actual



Con lo cual podemos observar que:



De esta manera determinamos que el tiempo que hay que mejorar es el de la colocación de la fuente, sobretodo porque gran parte de la colocación de la película depende de esta.



**Al reducir estos dos renglones, se reducirá drásticamente nuestra ruta crítica y por ende, el tiempo de nuestro proceso.**

## VI. ANÁLISIS DE FALLAS EN EL PROCEDIMIENTO

### A. Análisis de tiempos

El proceso normal de una toma de radiografía en situaciones similares a las de este proceso descrito, toma aproximadamente 1 minuto 43 segundos. La diferencia de este tiempo a comparación de los tiempos registrados en el proceso de toma de radiografías en paredes de caldera, se debe a que en este caso se procede con respecto a la norma, la cual requiere de alta rigurosidad en la toma de medidas de distancia y ángulos, atrasando el proceso de sobre manera. Debido a que se trabaja por contrato, y este se define por una cantidad de películas totales, el proceso se vuelve más eficiente mientras se aumenta la cantidad de películas tomadas al día, es decir, reduciendo el tiempo de la toma de cada una de las películas.

Partiendo del CPM, podemos observar que el tiempo de la toma radiográfica depende en su mayoría del tiempo de la colocación de la película radiográfica y la colocación de la fuente radiográfica. Estos procesos son los más lentos debido a que los radiólogos antes de colocarlos deben hacer las respectivas medidas para la correcta colocación de las mismas debido a que si existe un error en las medidas se aumentaría el rechazo de las películas y disminuiría su eficiencia.

### B. Análisis de descripción estadística de datos obtenidos

Partiendo de la frase “LO QUE NO SE PUEDE MEDIR NO SE PUEDE MEJORAR”, los datos que estamos midiendo, deben ser datos confiables.

Los datos adquiridos en las mediciones de tiempo de algunos de los procesos que actualmente se realizan tienen alta variabilidad, demostrándolo con la siguiente tabla:

PROCESO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR
Colocación de rótulos	45	11.774
Colocación de película	236	50.7896
Colocación de Fuente	321	49.73
Apertura y cierre	4	1.277

Estos datos nos demuestran que la desviación estándar de la colocación de la película y la fuente son muy altas. Esto puede llegar a ser un problema ya que mientras más alta sea esta desviación, será menos confiable la media debido a que la dispersión será más alta.

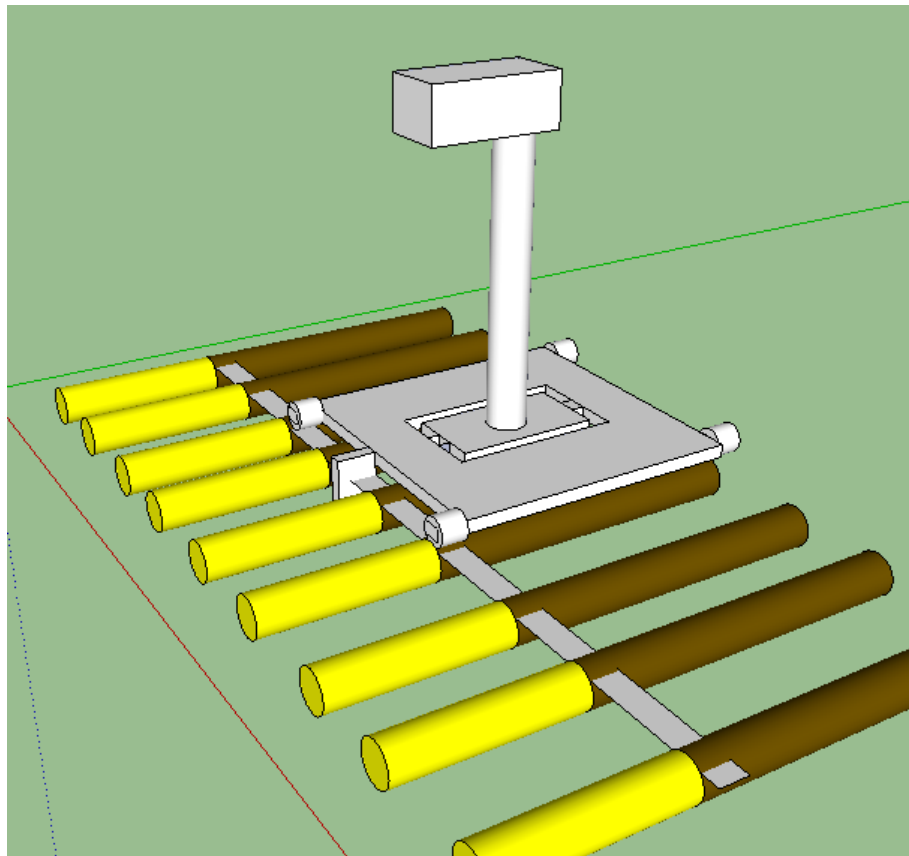
**1. Perspectiva de radiólogos.** Tras realizar el análisis de los datos, se desea conocer el motivo de alta desviación estándar y la mejor manera es preguntar a las personas que están detrás de los procesos.

Los radiólogos indican que a pesar de ser un trabajo con el mismo procedimiento y las mismas etapas, al momento de medir los ángulos y las distancias la falta de visibilidad y la posición en que ellos deben estar, hace que varíe el tiempo en que colocan tanto la película como la fuente radioactiva.

### C. Probable solución

Luego de analizar los datos obtenidos, se cree que la mejor solución pueda ser algún método que reduzca el tiempo de las mediciones de distancias y ángulos y sea un proceso fácil y rápido para que los radiólogos no necesiten demorarse sin que se aumente la cantidad de rechazos de las películas radiográficas.

Ilustración 22 DISEÑO DE MODELO 3D



## VII. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA MEJORAS DE TIEMPO

### A. Implementación de un carro en un carril

Para reducir los tiempos, debemos tener en cuenta que los tiempos más altos son la colocación de la película y la fuente radioactiva, esto debido (según información adquirida de los radiólogos) es que en cada toma de radiografía se deben realizar las debidas medidas para alinear ambas.

Para evitar que los radiólogos tengan que realizar estas mediciones, debemos implementar un proceso en el cual estas mediciones ya sean estándar.

El diseño “carriles con objeto móvil” es una de las opciones que mejor se acercan a nuestro objetivo de reducir los tiempos de medición en las tomas radiográficas. Este funciona colocando unos carriles a la medida de donde se encuentra la soldadura hasta donde debe estar colocada la fuente radioactiva, esto nos permite no tener que realizar la medición de la distancia y el objeto móvil tiene un sistema con un eje que le permite rotar los ángulos exactamente a donde se deben tomar las radiografías y ahorrarse el tiempo de la toma de la medición del ángulo.

#### a. Toma de tiempos en colocación de fuente radiográfica

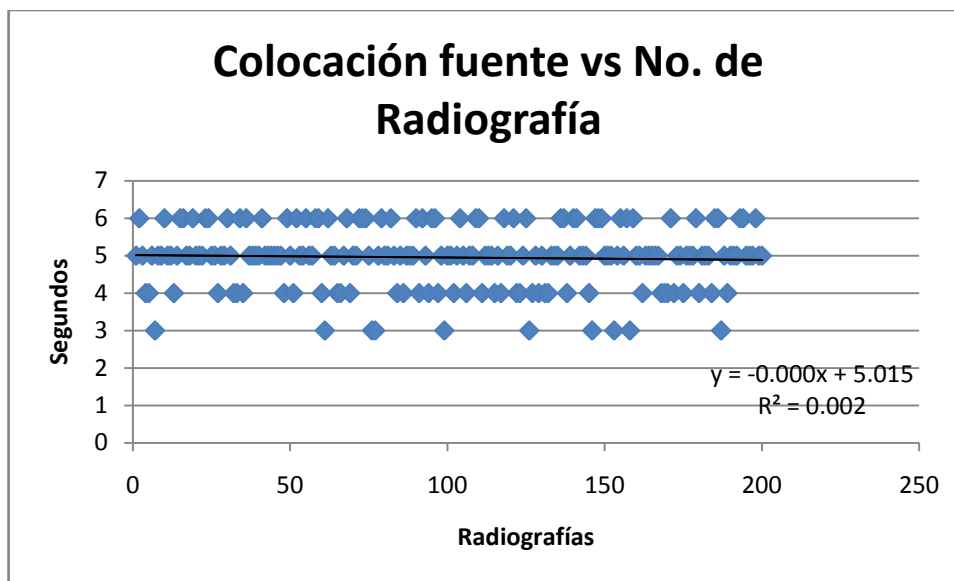
---

*Resumen estadístico de colocación de  
fuente radioactiva con el objeto móvil*

---

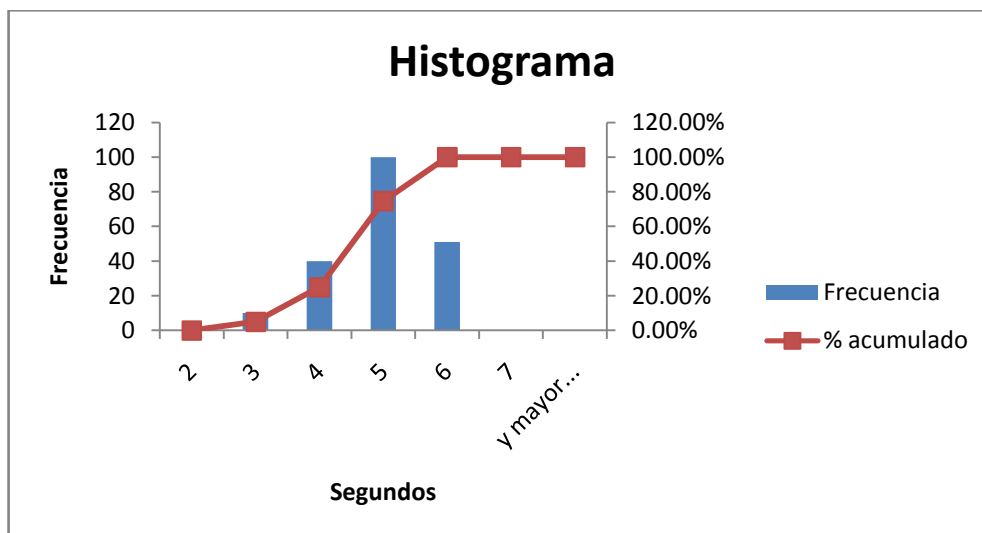
Media	4.95522388
Desviación estándar	0.80807492
Varianza de la muestra	0.65298507
Rango	3
Mínimo	3
Máximo	6
Suma	996
Cuenta	201

Ilustración 23. Colocación de Fuente propuesta



Clase	Frecuencia	% acumulado
2	0	0.00%
3	10	4.98%
4	40	24.88%
5	100	74.63%
6	51	100.00%
7	0	100.00%
y mayor...	0	100.00%

Ilustración 24. Histograma colocación de fuente propuesta



**b.** Toma de tiempos en colocación de película

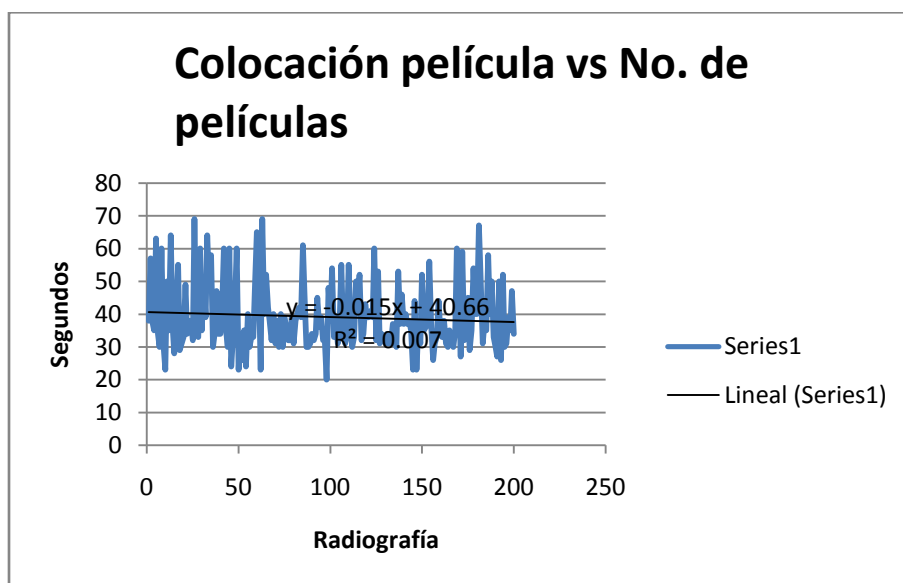
---

*Estadística descriptiva de colocación de película, con el objeto móvil*

---

Media	39.115
Desviación estándar	10.4030231
Varianza de la muestra	108.222889
Rango	49
Mínimo	20
Máximo	69
Suma	7823
Cuenta	200

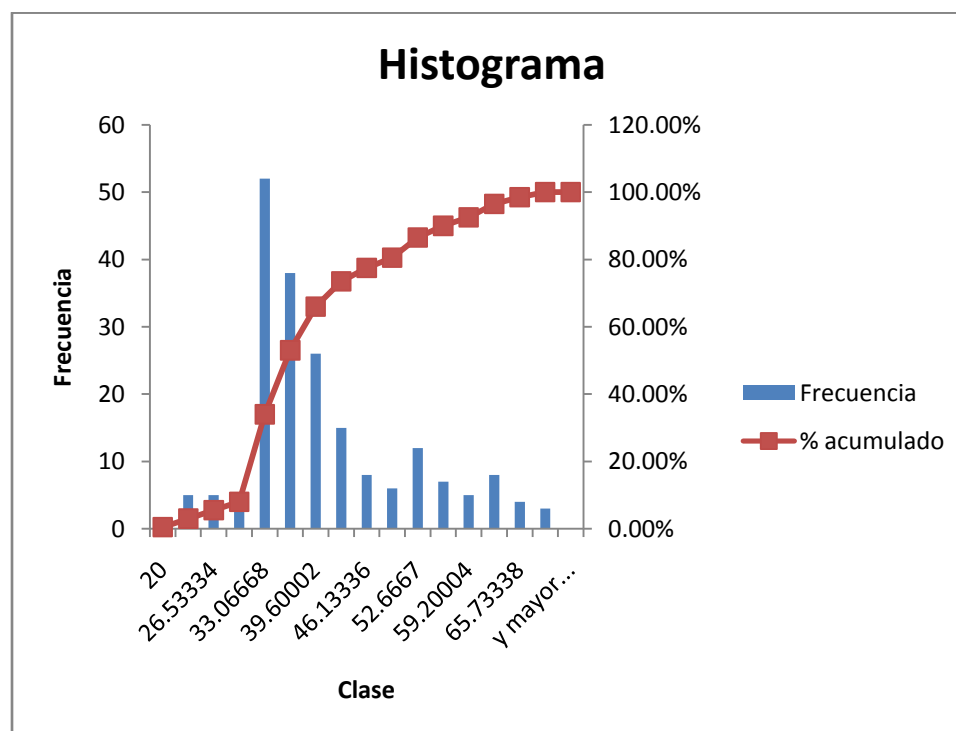
Ilustración 25. Tiempo colocación de película



*Toma de tiempos en colocación de película con objeto móvil*

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
20	1	0.50%
23.26667	5	3.00%
26.53334	5	5.50%
29.80001	5	8.00%
33.06668	52	34.00%
36.33335	38	53.00%
39.60002	26	66.00%
42.86669	15	73.50%
46.13336	8	77.50%
49.40003	6	80.50%
52.6667	12	86.50%
55.93337	7	90.00%
59.20004	5	92.50%
62.46671	8	96.50%
65.73338	4	98.50%
69.00005	3	100.00%
y mayor...	0	100.00%

Ilustración 26. Histograma colocación de película

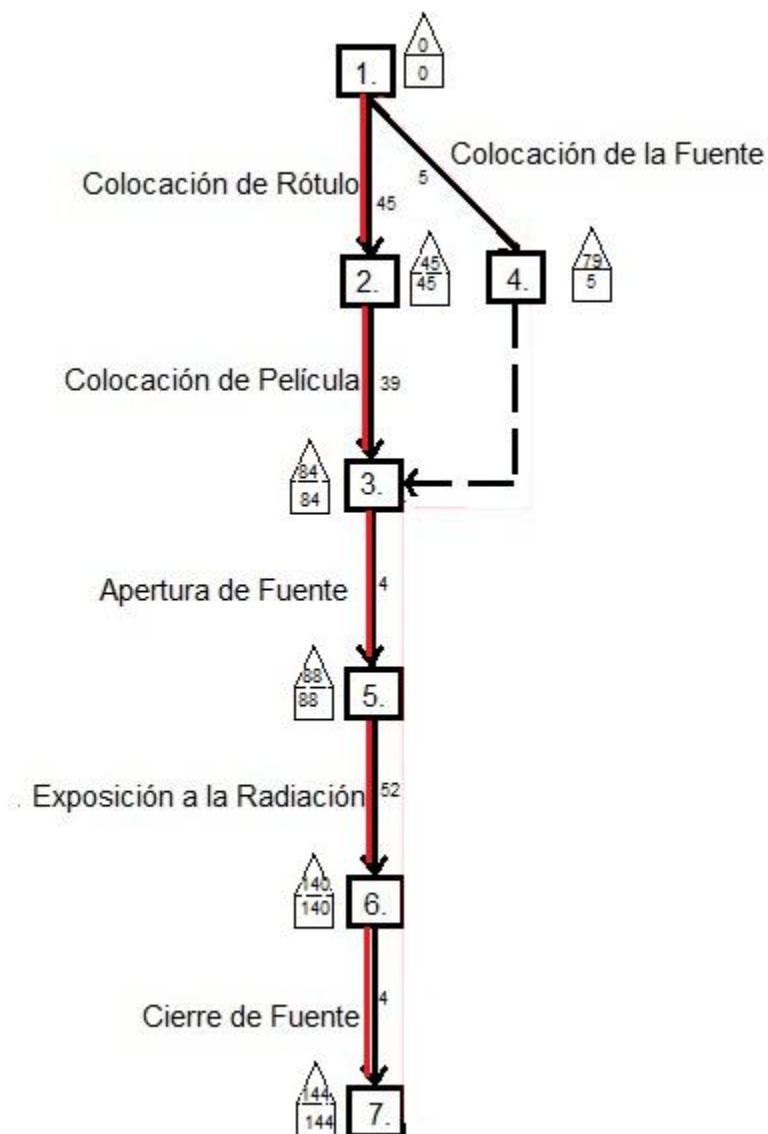


Los tiempos nuevos registrados con el nuevo método son de 4.95 en la colocación de la fuente radioactiva, este tiempo con distribución normal, reduciendo el tiempo anterior en 315.72 segundos un 98.4% menos que el tiempo del proceso anterior de 320.67 segundos. También se mostró una reducción en el tiempo de la colocación de la película, ya que según indican los radiólogos, al momento en que ya tienen el ángulo de referencia de la fuente radiográfica, es mucho más fácil colocar la película en la posición correcta. El nuevo tiempo registrado fue de 39.12 segundos, este tiempo se redujo en 197.14 segundos reduciendo un 83.44% el tiempo en el proceso anterior.

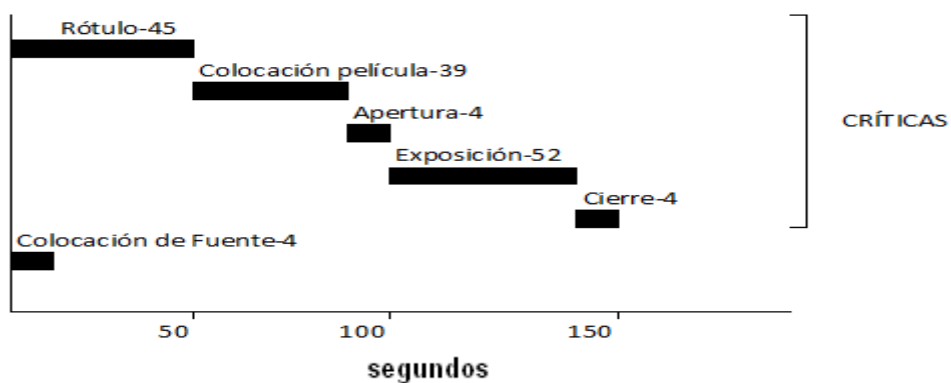
Con estos nuevos tiempos registrados, es probable que el proceso en el trabajo real sea mejorado, también existen ciertas variables que debemos tomar en cuenta, los tiempos registrados fueron tomados en un ambiente controlado y con techo así que no existe el factor lluvia, el cual retrasaba el proceso en el campo. Ta  
Otra variable a tomar en cuenta es que el “carro móvil” es un prototipo hecho de madera, el cual fue utilizado sin colocarle la fuente ya que esta se colocaría con imanes, los cuales no tienen efecto en la madera. El real debe de ser de un material resistente, sólido y de preferencia un material que no sea corrosivo.

**c. CPM (CriticalPathMethod) Método de Ruta Crítica en propuesta para procedimiento a la empresa ENCONTROL, S.A.**

Ilustración 27. CPM proceso propuesto



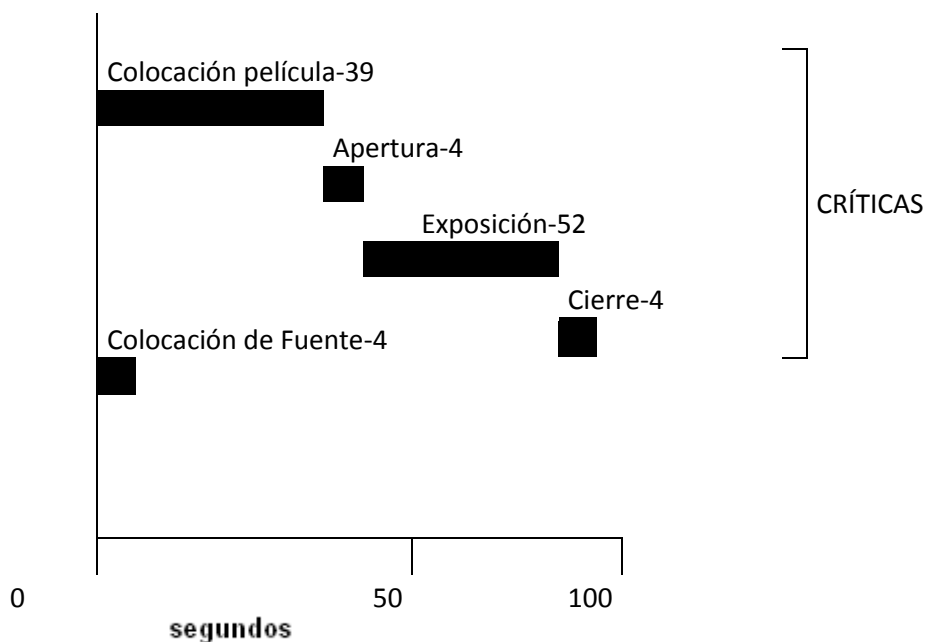
Lo que demuestra que:





Este diagrama nos demuestra que con la reducción del tiempo de colocación de rótulos, se reduce el tiempo de la ruta crítica en un 33.33% (a 96 segundos) y que ahora el proceso “colocación de rótulos” es un proceso ficticio ya que no toma tiempo pero si existe.

Resultando:



**CON ESTE NUEVO PROCESO APLICADO, SE PUEDE ANULAR UNA DE LAS TRES PERSONAS EN CADA EQUIPO DE TRABAJO YA QUE EL RADIÓLOGO ENCARGADO DE LA COLOCACIÓN DE LA FUENTE Y EL AYUDANTE TIENEN TIEMPOS MUERTOS LO SUFICIENTEMENTE LARGOS PARA REALIZAR CUALQUIERA DE LOS PROCESOS EXTRAS.**

**VIII. COMPARACIÓN FINANCIERA ENTRE EL PROCESO ACTUAL Y EL PROCESO  
PROPUESTO**

**A. Costos del proceso actual**

COSTOS FIJOS MENSUALES					
Costo	Descripción	Unidades	Costo Unitario (los sueldos son tomados como sueldos de proyecto)	Costo total	Costo total acumulado por renglones
Planilla					
	Gerente General	1	Q4,000.00	Q4,000.00	
	Encargado Financiero	1	Q3,000.00	Q3,000.00	
	Contador	1	Q1,000.00	Q1,000.00	
	Secretaria	1	Q2,600.00	Q2,600.00	
	Supervisor de proyecto (radiólogo)	1	Q6,000.00	Q6,000.00	
	Radiólogo	3	Q5,000.00	Q15,000.00	
	Ayudantes	2	Q2,500.00	Q5,000.00	Q36,600.00
Viáticos y combustibles					
	Desayuno	132	Q20.00	Q2,640.00	
	Almuerzo	132	Q30.00	Q3,960.00	
	Cena	132	Q25.00	Q3,300.00	
	Combustible	22	Q80.00	Q1,760.00	Q11,660.00
	Iridio-192	2	Q1,816.82	Q3,633.65	Q3,633.65
			<b>COSTO FIJO TOTAL</b>		<b>Q51,893.65</b>

\*La Fuente Radio Activa ya incluye el costo de Envío de la misma e impuesto al Valor Agregado al ingresar al país

\*Para determinar el costo de la Fuente Radioactiva se tomó la vida útil 390 días

\*Las comidas son para cada uno de las 6 personas trabajando en el proyecto

\*En los Sueldos ya están incluidos los Q.250.00 de la bonificación Decreto 37-2001

**COSTOS VARIABLES**

Costo	Descripción	Costo Unitario
Kit de Revelado	Kit revelado Juama Guatemala	Q1.00
Película Radiográfica	AGFA-Geavert D7 (ASTM Class 2)	Q4.80
	Costo Total	Q5.80

\*El costo Unitario parte de la compra de 6 rollos de 305 metros de radiografías, cada unidad tiene 10 pulgadas de distancia.

\*El costo del Kit de revelado tiene un costo de Q326.00 y tiene límite de 326 películas

GASTOS MENSUALES					
Instalaciones de oficina					
	Teléfono	2	Q500.00	Q1,000.00	
	Electricidad			Q289.00	
	Renta			Q2,500.00	
	Agua			Q360.00	
	Teléfonos Móviles	6	Q300.00	Q1,800.00	Q5,949.00
Útiles de oficina					
	Papel	4	Q36.00	Q144.00	
	Depreciación equipo de oficina	4	Q62.50	Q250.00	
	Tinta	2	Q315.00	Q630.00	
	Lapiceros	15	Q1.00	Q15.00	Q1,039.00
Seguros					
	personales	4	Q39.58	Q158.33	
	contra incendio	1	Q92.00	Q92.00	
	Automóviles	1	Q957.65	Q957.65	Q1,207.98

**RESUMEN DE COSTOS MENSUALES**

Costo de Materia Prima Usada en Producción		Q6,365.44
Mano de Obra Directa	Q26,000.00	
Bono 14	Q2,165.80	
Aguinaldo	Q2,165.80	
Indemnización	Q2,165.80	
Vacaciones	Q1,084.20	
Cuota Patronal	Q3,294.20	
Costo de Mano de Obra Directa		<u>Q36,875.80</u>
<b>COSTO PRIMO</b>		<u>Q43,241.24</u>
Mano de Obra Indirecta	Q10,600.00	
Bono 14	Q882.98	
Aguinaldo	Q882.98	
Indemnización	Q882.98	
Vacaciones	Q442.02	
Cuota Patronal	Q1,343.02	
Costo de Mano de Obra Indirecta		Q15,033.98
Viáticos y Combustibles		<u>Q11,660.00</u>
<b>Costos Indirectos de Fabricación</b>		<u>Q26,693.98</u>
<b>Costos Incurridos en Producción</b>		Q69,935.22
Inventario inicial de producto en proceso	Q0.00	
Costo de productos en proceso durante el mes	Q69,935.22	
(-)Inventario final producto en proceso	Q0.00	
<b>Costo de los bienes manufacturados</b>		Q69,935.22
Bienes producidos	471.00	
<b>Costo unitario de bienes manufacturados</b>		Q148.48
Inventario inicial producto terminado	Q0.00	
Costo de los artículos disponibles para la venta	Q69,935.22	
(-)Inventario final producto terminado	Q0.00	
<b>Costo de los artículos vendidos</b>		Q69,935.22
Bienes vendidos	465	
<b>Costo unitario de bienes vendidos</b>		Q150.40
<b>Precio de venta (con un 62.626% de ganancia)</b>		Q244.59
<b>PUNTO DE EQUILIBRIO (UNIDADES)</b>		96
<b>MERMA DEL 1.27%</b>		



**LA INFORMACIÓN PRESENTADA NOS INDICA QUE EL COSTO UNITARIO DE RADIOGRAFÍAS MANUFACTURADAS ES DE Q.148.48 Y COSTO DE RADIOGRAFÍAS VENDIDAS ES DE Q.150.40 EN EL PROCESO ACTUAL DE TOMA DE RADIOGRAFÍAS.**

FLUJO DE CAJA 1													
	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Saldo inicial de efectivo	0	522,864	548,550	516,706	486,549	455,211	424,547	393,040	361,196	331,039	300,544	269,375	0

**INGRESOS**

Ventas al contado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobros a clientes	111,288	116,180	112,511	114,957	113,245	114,224	113,001	112,511	114,957	114,468	113,490	113,979	1,364,812
Prestamos empresariales recibidos	500,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500,000
Suma ingresos	611,288	116,180	112,511	114,957	113,245	114,224	113,001	112,511	114,957	114,468	113,490	113,979	1,864,812

**EGRESOS**

Sueldos y salarios	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	51,910	622,917
Cuentas por pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compra Materias Primas	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	76,385
Costo Producción	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	11,660	139,920
Gastos administrativos	2,269	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	36,024
Gastos de ventas	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	71,388
Impuesto	10,272	11,540	10,403	11,161	10,631	10,934	10,555	10,403	11,161	11,010	10,706	10,858	129,635
Maquinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compra Materias Primas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización de prestamos			55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	550,000

Suma egresos	88,425	90,493	144,356	145,114	144,583	144,887	144,508	144,356	145,114	144,963	144,659	144,811	1,626,269
--------------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	-----------

Flujo neto	522,864	25,687	-31,845	-30,157	-31,338	-30,663	-31,507	-31,845	-30,157	-30,494	-31,170	-30,832	238,543
------------	---------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Saldo final de efectivo	522,864	548,550	516,706	486,549	455,211	424,547	393,040	361,196	331,039	300,544	269,375	238,543	238,543
-------------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

**B. Costos con el proceso propuesto**

COSTOS FIJOS MENSUALES					
Costo	Descripción	Unidades	Costo Unitario (los sueldos son tomados como sueldos de proyecto)	Costo total	Costo total acumulado por renglones
Planilla					
	Gerente General	1	Q4,000.00	Q4,000.00	
	Encargado Financiero	1	Q3,000.00	Q3,000.00	
	Contador	1	Q1,000.00	Q1,000.00	
	Secretaria	1	Q2,600.00	Q2,600.00	
	Supervisor de proyecto (radiólogo)	1	Q6,000.00	Q6,000.00	
	Radiólogo	3	Q5,000.00	Q15,000.00	
	Ayudantes	0	Q2,500.00	Q0.00	Q31,600.00
Viáticos y combustibles					
	Desayuno	88	Q20.00	Q1,760.00	
	Almuerzo	88	Q30.00	Q2,640.00	
	Cena	88	Q25.00	Q2,200.00	
	Combustible	22	Q80.00	Q1,760.00	Q8,360.00
	Iridio-192	2	Q1,816.82	Q3,633.65	Q3,633.65
			COSTO FIJO TOTAL		Q43,593.65

\*La Fuente Radio Activa ya incluye el costo de Envío de la misma e impuesto al Valor Agregado al ingresar al país

\*Para determinar el costo de la Fuente Radioactiva se tomó la vida útil 390 días

\*Las comidas son para cada uno de las 4 personas trabajando en el proyecto

\*En los Sueldos ya están incluidos los Q.250.00 de la bonificación Decreto 37-2001

## COSTOS VARIABLES

Costo	Descripción	Costo Unitario
Kit de Revelado	Kit revelado Juama Guatemala	Q1.00
Película Radiográfica	AGFA-Geavert D7 (ASTM Class 2)	Q4.80
	Costo Total	Q5.80

\*El costo Unitario parte de la compra de 6 rollos de 305 metros de radiografías, cada unidad tiene 10 pulgadas de distancia.

\*El costo del Kit de revelado tiene un costo de Q326.00 y tiene límite de 326 películas

GASTOS MENSUALES					
Instalaciones de oficina					
	Teléfono	2	Q500.00	Q1,000.00	
	Electricidad			Q289.00	
	Renta			Q2,500.00	
	Agua			Q360.00	
	Teléfonos Móviles	6	Q300.00	Q1,800.00	Q5,949.00
Útiles de oficina					
	Papel	4	Q36.00	Q144.00	
	Depreciación equipo de oficina	4	Q62.50	Q250.00	
	Tinta	2	Q315.00	Q630.00	
	Lapiceros	15	Q1.00	Q15.00	Q1,039.00
Seguros					
	personales	4	Q39.58	Q158.33	
	contra incendio	1	Q92.00	Q92.00	
	Automóviles	1	Q957.65	Q957.65	Q1,207.98

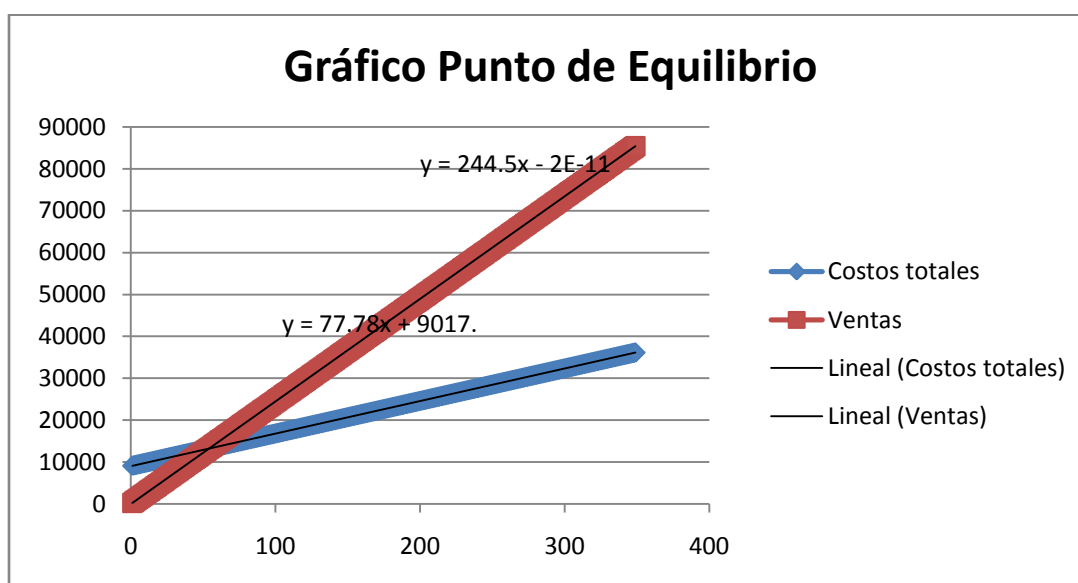
**RESUMEN DE COSTOS MENSUAL**

Costo de Materia Prima Usada en Producción		<b>Q8,273.64</b>
Mano de Obra Directa	<b>Q21,000.00</b>	
Bono 14	Q1,749.30	
Aguinaldo	Q1,749.30	
Indemnización	Q1,749.30	
Vacaciones	Q875.70	
Cuota Patronal	<u>Q2,660.70</u>	
Costo de Mano de Obra Directa		<b>Q29,784.30</b>
<b>COSTO PRIMO</b>		<b>Q38,057.94</b>
Mano de Obra Indirecta	Q10,600.00	
Bono 14	Q882.98	
Aguinaldo	Q882.98	
Indemnización	Q882.98	
Vacaciones	Q442.02	
Cuota Patronal	<u>Q1,343.02</u>	
Costo de Mano de Obra Indirecta		Q15,033.98
Viáticos y Combustibles		<u>Q8,360.00</u>
<b>CIF</b>		<b>Q23,393.98</b>
<b>Costos Incurridos en Producción</b>		<b>Q61,451.92</b>
Inventario inicial de producto en proceso	Q0.00	
Costo de productos en proceso durante el mes	Q61,451.92	
(-)Inventario final producto en proceso	<u>Q0.00</u>	
<b>Costo de los bienes manufacturados</b>		Q61,451.92
Bienes producidos	<b>800.00</b>	
<b>Costo unitario de bienes manufacturados</b>		<b>Q76.81</b>
Inventario inicial producto terminado	Q0.00	
Costo de los artículos disponibles para la venta	Q61,451.92	
(-)Inventario final producto terminado	<u>Q0.00</u>	
<b>Costo de los artículos vendidos</b>		Q61,451.92
Bienes vendidos	<b>790</b>	
<b>Costo unitario de bienes vendidos</b>		<b>Q77.79</b>
<b>Precio de venta</b>		<b>Q244.59</b>
<b>PUNTO DE EQUILIBRIO (UNIDADES)</b>		<b>54</b>
<b>Con un Merma del 1.27%</b>		

	Precio/costo Unitario	Unidades	Gastos
Ventas	<b>Q244.59</b>	790.00	Q193,226.10
Costos	Q77.79	800.00	Q62,232.00
Contribución Marginal	68.2%		
Margen Bruto			Q130,994.10

## Gastos

Gasto de ventas			Q5,949.00
Gastos administrativos			Q2,268.63
Gastos de representación			Q800.00
Gastos Total			Q9,017.63
Utilidad Operativa			Q121,976.47
Gasto por pago de ISR			Q37,812.71
Utilidad Neta			Q84,163.77



PUNTO DE EQUILIBRIO                      DE 54.0879371 UNIDADES  
 Q13,229.37

<b>FLUJO DE CAJA 2</b>												<b>TOTA</b>	
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abri</b>	<b>May</b>	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Ago</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>L</b>
Saldo inicial de efectivo	0	583,014	669,404	698,262	728,808	758,173	788,212	817,408	846,266	876,812	907,020	936,553	0

**INGRESOS**

Ventas al contado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobros a clientes	190,780	195,672	192,003	194,449	192,737	193,715	192,492	192,003	194,449	193,960	192,982	193,471	2,318,713
Prestamos empresariales recibidos	500,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500,000
<b>Suma ingresos</b>	<b>690,780</b>	<b>195,672</b>	<b>192,003</b>	<b>194,449</b>	<b>192,737</b>	<b>193,715</b>	<b>192,492</b>	<b>192,003</b>	<b>194,449</b>	<b>193,960</b>	<b>192,982</b>	<b>193,471</b>	<b>2,818,713</b>

**EGRESOS**

Sueldos y salarios	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	44,818	537,819
Cuentas por pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compra Materias Primas	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	8,274	99,284
Costo Producción	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	8,360	100,320
Gastos administrativos	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	3,069	36,824
Gastos de ventas	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	5,949	71,388
Impuesto	37,296	38,813	37,675	38,434	37,903	38,206	37,827	37,675	38,434	38,282	37,979	38,130	456,654
Maquinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compra Materias Primas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización de prestamos	107,766	109,282	163,145	163,903	163,372	163,676	163,297	163,145	163,903	163,752	163,448	163,600	1,852,289
<b>Flujo neto</b>	<b>583,014</b>	<b>86,390</b>	<b>28,858</b>	<b>30,546</b>	<b>29,364</b>	<b>30,040</b>	<b>29,196</b>	<b>28,858</b>	<b>30,546</b>	<b>30,208</b>	<b>29,533</b>	<b>29,871</b>	<b>966,424</b>

Saldo final de efectivo	583,014	669,404	698,262	808,728	758,173	788,212	817,408	846,266	876,812	907,020	936,553	966,424	966,424
-------------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Los datos analizados en la propuesta del proceso de toma de radiografías tiene diferencias de gran importancia, tales como el aumento de la cantidad de radiografías tomadas gracias a la reducción del 70.4% de tiempo por toma. Debido a que en este proyecto existen más de 5000 juntas, es viable el garantizar que se realizarán 800 mensualmente. Esta reducción del tiempo también permite la anulación del ayudante durante el proceso, reduciendo costos en mano de obra directa y viáticos.

El nuevo costo unitario manufacturado de cada radiografía tomada es de Q76.81 y el nuevo costo unitario de venta es de Q.77.79

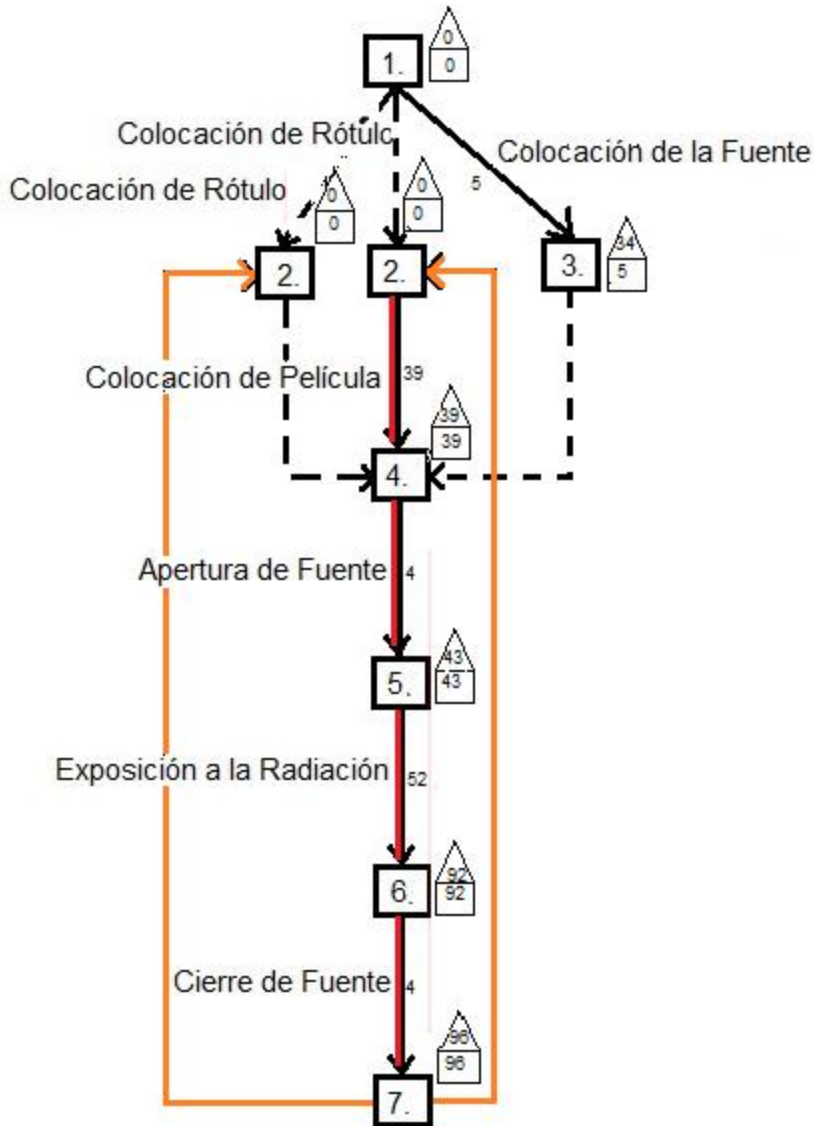
EL COSTO UNITARIO DE VENTA CON EL PROCEDIMIENTO PROPUESTO ES 48.20% MENOR QUE EL PROCEDIMIENTO ACTUAL, TENIENDO UN AUMENTO EN LA UTILIDAD NETA DE Q.60, 787.73 CON RESPECTO AL PROCEDIMIENTO ACTUAL, HACIENDO DE ESTE, UN PROCEDIMIENTO MAS RENTABLE.

EN EL NUEVO PROCESO PROPUESTO, EXISTEN SALDOS POSITIVOS A DIFERENCIA DEL MÉTODO ANTERIOR, QUE A PESAR DE QUE SE ESTA PAGANDO UN PRÉSTAMO, LOS INGRESOS LOGRAN SER MAYORES A LOS EGRESOS.

## IX. ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO PARA RADÍOLOGOS

El nuevo proceso propuesto nos sugiere que ya no es necesario contar con un ayudante por equipo, que solo los dos radiólogos son necesarios para la óptima realización del procedimiento.

El procedimiento se concluyó que sería el siguiente:



En este procedimiento existen dos radiólogos, los cuales se dividirán el procedimiento de la siguiente manera:

Ilustración 29 Procedimiento estándar

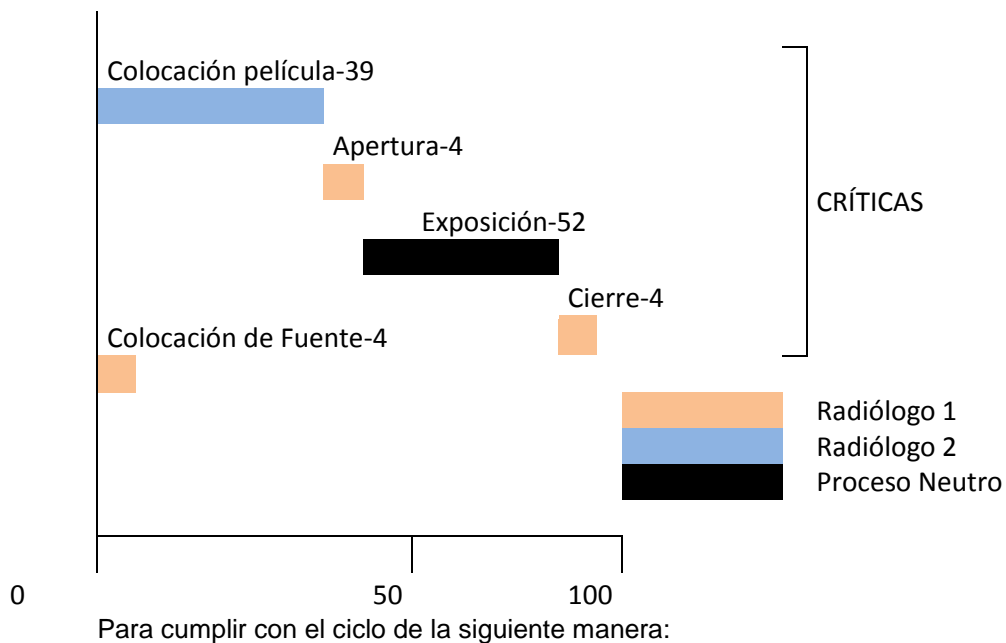


Ilustración 30. Ciclo estándar



## X. CONCLUSIONES

1. La utilidad neta del proceso propuesto aumenta un 360.04% a comparación del actual, siendo esta de Q.84,163.77 a comparación de Q23,376.04 del proceso actual.
2. El costo unitario de venta con el procedimiento propuesto, reduce el costo unitario de venta del proceso actual a un 48.28%
3. Existen flujos netos positivos en el método propuesto, a diferencia del método anterior, incrementando de manera significativa las ganancias.
4. La implementación del “doble rótulo” elimina al 100% el tiempo de colocación de rótulo.
5. Se reduce la desviación estándar en la colocación de película a 10.40 segundos y en colocación de fuente radioactiva a .8 segundos, haciendo el procedimiento mas controlable y mucho más confiable.
6. El proceso propuesto tiene un tiempo 74.80% menor que el actual.
7. El tiempo se reduce en un 33.33% del proceso actual.

## **XI. RECOMENDACIONES**

- Realizar un análisis con la implementación de un sistema con el cual se puedan anular las variables climáticas que afectan el proceso.
- Automatizar el sistema para anular la variable humana en el proceso
- Realizar el análisis con otro método de Pruebas No Destructivas y discutir si los resultados son los que se necesitan para la aprobación de las soldadoras en el proceso.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

Benjamín W. Niebel, A. 1990, Ingeniería industrial, métodos, tiempos y movimientos, Ed. Alfaomega, México.

Leland Blank, Anthony Tarquin, A. 2002, Engineering Economy, Ed. McGraw Hill, New York.

Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial, Métodos, estándares y diseño del trabajo*. Mexico: McGrawHill.

*NONDESTRUCTIVE TESTING* 1983 California Convair Division

TAHA, H. A. (2004). *Investigación de Operaciones* (7ma. ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.

William Mendenhall, Dennis D. Wackerly, Richard L. Scheaffer, A. 1994, Estadística matemática con aplicaciones, Ed. Grupo editorial Iberoamérica.

[http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/cc\\_rad\\_index.htm](http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/cc_rad_index.htm)

<http://www.carestream.com/nondestructivetesting.html>

<http://www.ge-mcs.com/en/radiography-x-ray.html>

<http://www.lmats.com.au/services/non-destructive-testing/radiographic-test-rt.html>

<http://www.foronuclear.org/es/tags/radiograf%C3%ADa-industrial>

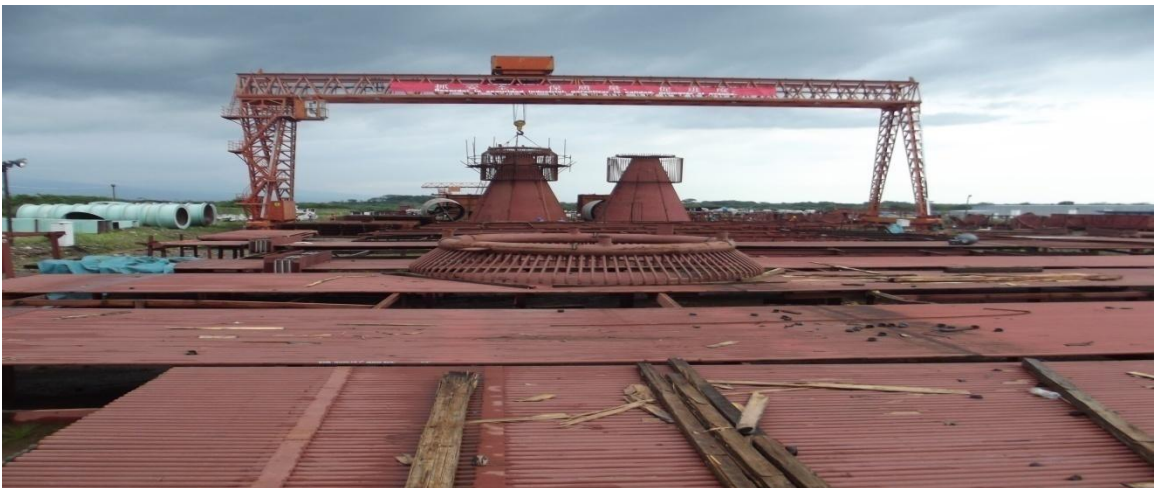
[http://www.csn.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14391&Itemid=676&lang=es](http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=14391&Itemid=676&lang=es)

<http://www.tuv-nord.com/es/ensayos-no-destructivos/radiografia-industrial-501.htm>

### XIII. ANEXOS

#### PARED DE AGUA DE CALDERAS







Equipo utilizado por radiólogos para detección de radiación:

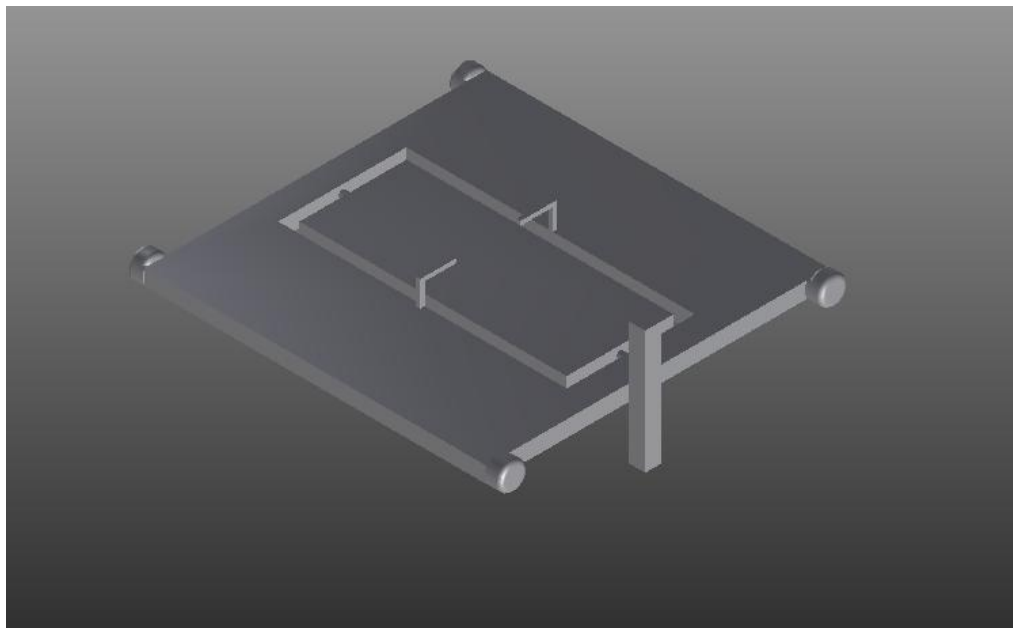
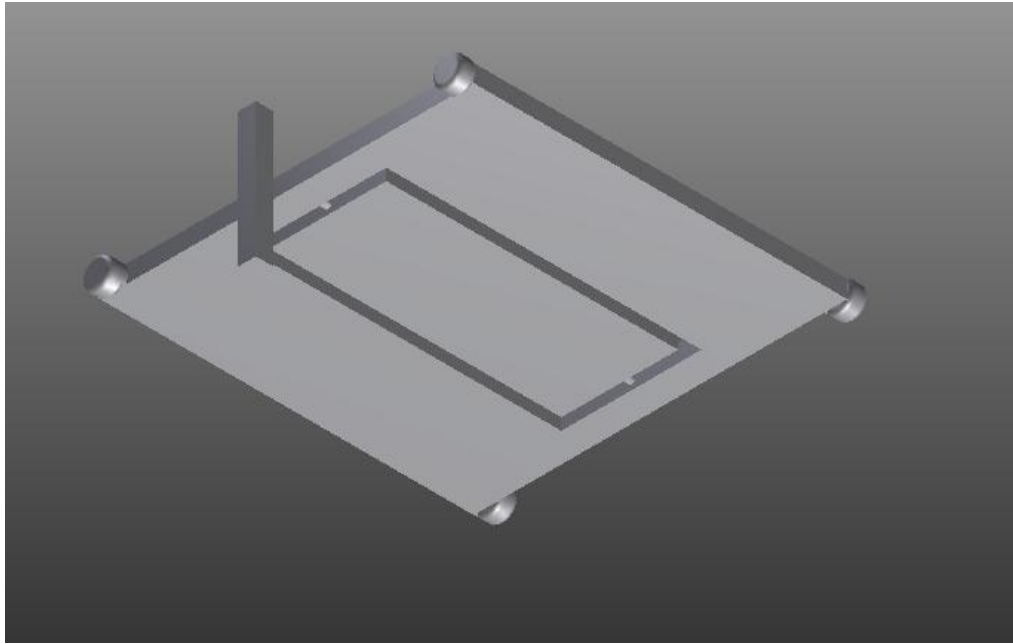
Radiómetro

Dosímetro

Geiger



## PROTOTIPO DE CARRO MÓVIL:



Set de letras de plomo:



IQI:



Ejemplo de películas cargadas con su respectivo rótulo:



Procedimiento actual:

