



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA UNA
EMPRESA DEL RAMO DE INSPECCIÓN METALÚRGICA**

TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN CONTÍNUA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

PRESENTA

ALEJANDRO ESTEBAN CÁRDENAS ROJAS



MÉXICO, D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **ING. JORGE MARTÍNEZ PENICHE**

VOCAL: **ING. GERARDO ARÁMBURO PÉREZ**

SECRETARIO: **L. A. I. IVETTE ARIADNA RAFAEL PÉREZ**

1er. SUPLENTE: **ING. JOSÉ ANTONIO CHICO MORALES**

2° SUPLENTE: **ING. ESTEBAN HERNÁNDEZ TREJO**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**ESCUELA DE EXTENSIÓN ACADÉMICA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM,
TACUBA, D.F.**

ASESOR DEL TEMA:

L.A.I. Ivette Ariadna Rafael Pérez

SUSTENTANTE:

Alejandro Esteban Cárdenas Rojas

Índice

Introducción.....	iii
1. Antecedentes	1
1.1. La norma ISO 9001:2008	1
1.2. Sistema de Gestión de la Calidad	3
1.3. Enfoque de procesos	3
1.4. Indicadores de gestión	5
1.4.1. Características de un indicador de gestión.....	6
1.4.2. Ventajas del uso de los indicadores de gestión.....	7
1.4.3. Limitantes de los indicadores de gestión.....	8
1.5. Pruebas hidrostáticas de tuberías y equipo	9
1.5.1. Requisitos preliminares para la prueba hidrostática NRF-150- PEMEX.....	11
1.5.2. Cálculos preliminares a la prueba hidrostática	12
1.5.3. Ejecución de la Prueba hidrostática (Ph).....	14
1.6. Soldadura de arco metálico con electrodo revestido.....	16
1.6.1. Introducción a la técnica SMAW	16
1.6.2. Posiciones de soldadura.....	18
1.7.3. Criterios de aceptación	21
1.8. Inspección de defectos de soldadura.....	21
1.8.1.1.3. Concavidad en la raíz.....	25
1.8.1.1.4. Socavado	25
1.8.1.1.5. Salpicaduras.....	26
2. Objetivo	28

3. Identificación de indicadores	29
3.1. Indicadores aplicables en general	29
3.2. Indicadores aplicables a los insumos	31
3.3. Indicadores aplicables al proceso clave	32
3.3.1. Indicadores aplicables al proceso de inspección de hermeticidad por prueba de presión hidrostática.....	32
3.3.2. Indicadores aplicables al proceso de inspección de soldadura por técnica SMAW	35
4. Conclusiones.....	37
Bibliografía	39
Anexo A. Glosario general	42
Anexo B. Glosario de indicadores de gestión para la prueba hidrostática	44
<i>Anexo C. Glosario para los indicadores de gestión de la soldadura por técnica SMAW</i>	46

Introducción

Dentro del contexto industrial contemporáneo, se hace patente la necesidad de contar con un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) robusto, con la capacidad de controlar, medir, documentar, registrar y mejorar continuamente los procesos que utilizan. Hoy en día, una empresa del ramo industrial es incapaz de permanecer en el mercado si no cuenta con algún tipo de control de sus procesos y productos; la competitividad en la industria debida a la globalización de los mercados, trae consigo nuevos retos a las compañías que decidan incursionar en ellos. La Organización Internacional de Estandarización (ISO), con sede en Suiza, es una Federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales, normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo.

La organización Internacional de Estandarización tiene como función el coadyuvar a las partes interesadas a implementar normas y procedimientos con el fin de ayudar a mejorar su desempeño. Este propósito lo logra a través de la edición y revisión continua de normas y recomendaciones dirigidas a las organizaciones pertinentes. El catálogo de normas de la ISO abarca una gran parte de las actividades de producción y de prestación de servicios.

La tarea principal de los comités técnicos dentro de la ISO es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos y se envían a los organismos miembros para su votación.

Dentro del catálogo de normas existentes en la ISO, existe una familia de normas dirigidas a calidad, que dictan lo que cualquier organización, sin importar su tamaño ni actividad, debe cumplir para asegurar la provisión de un producto o servicio que cumpla con los requerimientos del cliente: la familia de normas ISO 9000; destaca dentro de ésta gama de pautas la norma ISO 9001, por incluir en sí las exigencias con las que cualquier organización debe cumplir para demostrar ante organismos externos (clientes y partes interesadas) su competencia para proveer a sus clientes un producto o servicio que cumpla con sus expectativas.

La industria metalúrgica, desde luego, no es ajena a ésta situación, por ello, se debe implementar una metodología que sea capaz de monitorear y medir sus procesos y procedimientos, para detectar a tiempo irregularidades, evitándose así gastos innecesarios: paros de producción, retrabajos, reprocesos o reclamaciones

del cliente. Estos problemas, de otra forma, serían difíciles (o imposibles) de detectar.

Encaminar voluntades para tomar medidas y acciones con el fin de evitar rechazos por parte del cliente puede entonces ahorrar a la empresa tiempo y recursos. Una forma práctica para encauzar estos esfuerzos, se puede encontrar en el uso de mediciones periódicas del proceso, que arrojen como resultado un criterio de evaluación del estado del procedimiento en cuestión.

En el presente trabajo se criterios de gestión encaminados a monitorear el desarrollo de las pruebas no destructivas que se usan en la industria:

- Pruebas hidrostáticas de tuberías y equipo: prueba que se aplica en la industria del gas y petróleo, para garantizar la integridad estructural y hermeticidad de válvulas y recipientes a presión.
- Proceso de soldadura de arco metálico con electrodo revestido: Técnica de soldadura usada ampliamente para construir estructuras, o bien, para unir ductos.

Basados en el principio de calidad *“lo que no se mide, no se puede mejorar”*, el presente trabajo toma como eje rector a los puntos de la norma ISO 9001:2008 8.4 y 8.5, correspondientes a la Medición, análisis y mejora, y pretende contribuir al desarrollo de indicadores para la supervisión de las pruebas hidrostáticas en recipientes sujetos a presión; así como para la supervisión de las soldaduras que se efectúan en las plataformas petroleras de PEMEX Exploración y Producción, como una primera aproximación a los indicadores de gestión para ésta rama

industrial, con el fin de ser usada como referencia para implementadores y expertos en calidad dentro del contexto de mejora continua y monitoreo de procesos industriales para el Sistema de Gestión de Calidad, para cumplir con los puntos 8.5.2 y 8.5.3 de la norma ISO 9001:2008, puntos que serán tratados más adelante.

1. Antecedentes

1.1. La norma ISO 9001:2008

Esta norma, de observancia voluntaria para cualquier organización, ha cobrado relevancia en nuestro país y el mundo, debido a que proporciona directrices y requisitos claros a cumplir por la entidad que decida tomar como parte de sus objetivos estratégicos el implementar un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC).

La Norma ISO consta de 8 capítulos, de los cuales, los capítulos 4 al 8 son los capítulos con los que la organización debe cumplir. Los capítulos en la norma son:

- Objetivo y campo de aplicación.
- Referencias normativas.
- Términos y definiciones.
- Documentación.
- Responsabilidad de la dirección.
- Recursos.
- Diseño y desarrollo.
- Medición, análisis y mejora.

Cada uno de estos capítulos está relacionado, en mayor o menor medida, con todos los demás, ya que se trata de un Sistema que comparte responsabilidades en cada una de las diversas áreas involucradas dentro de la organización, desde la alta dirección hasta los empleados dentro de la base de la pirámide organizacional. Para cumplir con éste objetivo, el SGC debe ser entendido y asimilado por cada persona dentro de la institución, en proporción a la responsabilidad que cada elemento de la organización tiene con el producto o servicio final.

Por otro lado, el punto 8.2.3 de la norma ISO 9001:2008, *Seguimiento y medición de los procesos*, indica: *“La organización debe aplicar métodos apropiados para el seguimiento, y cuando sea aplicable, la medición de los procesos del sistema de gestión de la calidad. Estos métodos deben demostrar la capacidad de los procesos para alcanzar los resultados planificados. Cuando no se alcancen los resultados planificados, deben llevarse a cabo correcciones y acciones correctivas, según sea conveniente.”*; y el punto 8.2.4, *Seguimiento y medición del producto*, indica *“La organización debe hacer el seguimiento y medir las características del producto para verificar que se cumplen los criterios del mismo. Esto debe realizarse en las etapas apropiadas del proceso de realización del producto de acuerdo con las disposiciones planificadas. Se debe mantener evidencia de la conformidad con los criterios de aceptación”*. Haciendo énfasis en estos puntos de la norma, el presente trabajo de investigación tendrá como eje rector el desarrollo de indicadores de gestión enfocados a la industria metalúrgica, que servirán como criterios de diagnóstico a su proceso clave.

1.2. Sistema de Gestión de la Calidad

Un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), es un conjunto de normas, procedimientos, indicadores, directrices y documentos que sirven como referencia para cualquier organización. Este sistema tiene como objetivo coordinar las interacciones entre los recursos (humanos, materiales y financieros) para obtener la satisfacción del cliente, que se consigue si el producto o servicio adquirido por él es conforme con sus expectativas. El implementar un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica de la organización, y la comprende en su totalidad, comenzando, por supuesto, con la alta dirección, quien dicta la política que debe permear a través de todo el organigrama.¹

1.3. Enfoque de procesos

Un proceso se define como *“el conjunto de actividades que utiliza recursos, y que se coordinan con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados”*².

Los procesos pueden ser mejorados cumpliendo con lo dictado por la norma ISO 9001:2008. Para tal fin, se han desarrollado herramientas administrativas y estadísticas, buscando la eficacia, y en último término, la eficiencia de los mismos. La norma ISO 9001:2008 recomienda un enfoque de procesos, debido a que bajo éste esquema es posible separar cada conjunto de acciones encaminadas a generar algún producto o servicio, delimitándose así las responsabilidades u oportunidades de mejora dentro de cada uno. Este conjunto de acciones puede

¹ Hernández y Rodríguez, 2002

² Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C., 2008

incluir acciones coordinadas, acciones aisladas o concatenadas. El enfoque basado en procesos se representa en la Ilustración 1-1.

Los procesos se pueden clasificar de la siguiente manera³:

- **Proceso clave (o sustantivo):** Es aquel proceso medular de la organización. Es el proceso cuyo resultado es el producto o servicio intencionado, sin el cual, la organización no tendría razón de existir.
- **Proceso secundario (o adjetivo):** Es la colección de acciones que sirven como soporte al proceso clave, y cuyo desarrollo impacta en el progreso del proceso clave.

Un Sistema de Gestión de la Calidad abarca todos los aspectos y departamentos de la organización en cuestión, es decir, para que un sistema de calidad cumpla su función, todas las áreas directamente relacionadas con el proceso clave, y entre sí deben operar armónicamente.

³ Mora Estrella, 2011

por las normas aplicables al mismo, por el cliente que recibe el producto o servicio derivado del proceso, o por la misma organización (como parte de sus objetivos estratégicos). El resultado de ésta comparación es llamado *indicador de gestión*, y la organización ha de tomarlo en cuenta como un diagnóstico para evaluar su eficacia y eficiencia, y como base cuantitativa importante para dar pie a acciones preventivas y correctivas indicadas por la norma ISO 9000:2008 en los puntos 8.5.2 y 8.2.3, respectivamente. Un indicador tiene la capacidad de accionar mecanismos de alerta; al mismo tiempo, suele usarse como base para cambiar o mejorar objetivos tácticos de la empresa.

Los indicadores son útiles para analizar rendimientos, pueden expresar relaciones de causa y efecto entre los insumos de un proceso, su actividad y los resultados del mismo. Un indicador de gestión es un buen inicio en la consecución de los objetivos tácticos de la empresa.

1.4.1. Características de un indicador de gestión

- Un indicador de gestión debe dar información inmediata acerca del estado del proceso
- Debe proporcionar información relevante que dé lugar a acciones preventivas o correctivas de forma inmediata y expedita
- Debe ser fácil de calcular
- Debe ser fácil de interpretar y medir
- Debe proporcionar información a cualquier persona, aunque no sea especialista en el ramo

1.4.2. Ventajas del uso de los indicadores de gestión

- Proporcionan el estado del proceso rápidamente
- Sirven como criterios confiables en la toma de decisiones, tanto estratégicas como operativas
- Aportan estados cuantitativos del proceso
- Arrojan resultados objetivos
- Puede ser usado para motivar al personal
- De su estudio pueden derivarse acciones preventivas

A largo plazo, reflejan ahorros en la organización, ya que éstos tienen la característica de revelar las fortalezas y debilidades de la organización, así como de dejar ver áreas de oportunidad de mejora de manera inmediata.

Los indicadores, al ser graficados contra alguna otra variable (generalmente tiempo o lote), dan origen a las gráficas de control. Estas gráficas tienen gran importancia en el control estadístico de los procesos, puesto que su inspección y análisis es el siguiente paso obligado de cualquier profesional de la calidad, o cualquier directivo para conocer o modificar sus procesos, soportados por la evidencia en ellas mostrada.

1.4.3. Limitantes de los indicadores de gestión

Conocer el estado de salud de algún paciente a través del algún análisis clínico es el primer paso para conocer su posible tratamiento, y no lo exime de darle seguimiento a su enfermedad después de haber sido sometido al tratamiento prescrito por el médico. Así como el caso del paciente, el conocimiento de los indicadores de gestión no es suficiente para que la empresa en cuestión mejore. Son necesarias acciones correctivas (y, de ser posible, acciones preventivas) para que el uso de indicadores de gestión se vea reflejado en la mejora de la empresa, y darle seguimiento a las acciones tomadas para verificar su efectividad.

1.5. Pruebas hidrostáticas de tuberías y equipo

El procedimiento NRF-150-PEMEX-2011 revisión 0, aprobado por PEMEX el 2 de julio de 2011, es una norma emitida por PEMEX, que dicta la forma de llevar a cabo pruebas para evaluar la presión hidrostática máxima de trabajo. El objetivo de ésta prueba es conocer la integridad mecánica de los ductos, tuberías, sistemas de tuberías, equipos y recipientes a presión nuevos o en operación en centros de trabajo, así como detectar fugas en las uniones y mecanismos de control de flujo.

Una prueba hidrostática es la aplicación de una presión a un equipo o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar la hermeticidad de los accesorios bridados y la soldadura, utilizando como elemento principal el agua o en su defecto un fluido no corrosivo. Todo equipo nuevo debe ser sometido a una prueba de presión (hidrostática), en los talleres del fabricante, o bien, en campo, con el equipo fuera de operación.

Los códigos de diseño de los equipos y sistemas de tuberías (American Society of Mechanical Engineers, American Petroleum Institute, Tubular Exchanger Manufacturers Association, entre otros), establecen claramente las prácticas recomendadas para realizar la prueba hidrostática, con el fin de garantizar la integridad física de las personas y los equipos.

Por lo general, un equipo que haya sido probado en los talleres del fabricante no debería ser probado nuevamente después de su instalación, a menos que sea requerido por algunas de las autoridades locales o si existe alguna sospecha de

que el equipo haya sufrido algún daño durante el transporte, por lo que la prueba se llevará efecto de acuerdo al código de diseño o a las especificaciones del caso. La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplazan o se reparan líneas existentes. Ésta nos permite:

- Determinar la calidad de la ejecución del trabajo de fabricación o reparación de la línea o equipo.
- Comprobar las condiciones de operación para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.
- Detectar fugas.
- Verificar la resistencia mecánica.
- Probar la hermeticidad de los accesorios.

El campo de aplicación del procedimiento general es de observancia obligatoria para la aceptación de los servicios que se lleven a cabo dentro de este sector industrial, cuando estos comiencen su operación, o cuando hayan sido reparados o modificados que se utilizan en la perforación de pozos petroleros, ya sea en tierra firme o en plataformas de perforación marina.

1.5.1. Requisitos preliminares para la prueba hidrostática NRF-150-

PEMEX

- Las tuberías de presión, bancos de prueba, probadores, conexiones y equipo de prueba deberán ser adecuados al propósito que se persigue.
- Todas las válvulas deberán ser probadas, cada válvula deberá ser sometida a las pruebas que indica esta especificación a menos que se acepte o se modifique bajo instrucciones específicas o desviaciones aprobadas por parte del departamento de ingeniería del producto o por requerimientos específicos del cliente.
- Las válvulas motivo de inspección deberán ser sometidas a las pruebas que se indican respetando el orden indicado.
- Los tiempos indicados dentro de esta especificación para las diferentes pruebas deberán verificarse a partir de que la válvula esté presurizada al rango correspondiente de presión y ésta última se encuentre estable.
- Requisitos del agua de prueba: Debe contener un inhibidor de corrosión, y debe tener una proporción de 7 a 8 gramos de inhibidor por litro de agua. La viscosidad de la combinación agua-inhibidor no debe ser mayor a la del agua sola, no debe tener más de 30 partes por millón de cloro; debe estar libre de basura o agentes extraños que pueden dañar las áreas de sello de las válvulas.
- Las pruebas deben ser realizadas a temperatura ambiente, observando que la temperatura del fluido de prueba no exceda de 52° C.

- El aire atrapado en el interior de la válvula debe ser liberado antes de elevar la presión hidrostática. Los extremos de la válvula deben ser sellados perfectamente, de forma que no se filtre agua afuera de la válvula.
- La válvula puede ser probada en posición horizontal o vertical.

1.5.2. Cálculos preliminares a la prueba hidrostática

Los cálculos que aplican para el caso de equipos y tuberías nuevas para la presión de prueba hidrostática, son:

Tuberías nuevas	Recipientes a presión nuevos
$P_{ph} = 1.5P_d \left(\frac{S_{tp}}{S_{td}} \right)$	$P_{ph} = 1.3P_d \left(\frac{S_{tp}}{S_{td}} \right)$

Donde:

P_d : Presión de diseño en kPa

P_{ph} : Presión de prueba hidrostática en kPa

S_{tp} : Esfuerzo permisible a la temperatura de Ph en kPa

S_{td} : Esfuerzo permisible a la temperatura de diseño en kPa

Los cálculos que aplican para el caso de equipos y tuberías que ya han prestado servicio, son:

Tuberías	Recipientes a presión
$P_{ph} = 1.5P_o \left(\frac{S_{tp}}{S_{to}} \right)$	$P_{ph} = 1.3P_o \left(\frac{S_{tp}}{S_{to}} \right)$

Donde:

P_{ph} : Presión de prueba hidrostática en kPa

P_o : Presión de operación en kPa

S_{tp} : Esfuerzo permisible a la temperatura de presión hidrostática en kPa

S_{to} : Esfuerzo permisible a la temperatura de operación en kPa

1.5.3. Ejecución de la Prueba hidrostática (Ph)

En concordancia con la norma NRF-150-PEMEX-2011, se deben considerar, como mínimo, los siguientes aspectos para desarrollar la Ph:

- Obtener el permiso de trabajo correspondiente para llevar a cabo la Ph.
- Barrer y/o limpiar la tubería, sistema de tuberías o recipiente a probar.
- Medir la concentración de mezclas explosivas y/o peligrosas.
- Aislar la tubería, sistema de tubería o recipiente sujeto a presión del resto de la instalación.
- Verificar los puntos de cierre, en los que se debe colocar juntas ciegas.
- Colocar el drenaje en el punto más bajo.
- Colocar en el punto más alto, tanto el venteo y como el dispositivo de relevo de presión.
- Inspeccionar visualmente para detectar y en su caso corregir, cualquier fuga de líquido.
- El fluido de prueba será agua, con las características anteriormente descritas.
- La presión de prueba debe estar de acuerdo con lo que indica la Tabla 1.5.1-2, y el tiempo de sostenimiento de la presión se hará con base en la Tabla 1.5.1-1.
- Las fugas visibles de líquido no son aceptables en ninguna concentración, y por lo tanto son causa de rechazo.

Tabla 1.5.1-1 Tiempo mínimo en minutos de la prueba hidrostática en función de la medida del ducto (in)

Medida (pulgadas)	Clase				
	150	300	600	900	1500
2 -4	2	2	2	2	2
6 -10	5	5	5	5	5
12 -18	15	15	15	15	15
>20	30	30	30	30	30

Tabla 1.5.1-2 Presión mínima en psi que deba soportar cada válvula en función del material de construcción

Material	Clase				
	150	300	600	900	1500
A105N, A350, LF2	430	1100	2225	3300	5560
A182, F316	415	1080	2160	3240	5400
WC8	450	1125	2450	3375	5625
A351, Cf8M	425	1110	2175	3250	5400

1.6. Soldadura de arco metálico con electrodo revestido

1.6.1. Introducción a la técnica SMAW

El método de soldadura con electrodo revestido, también conocida como SMAW (por las siglas *Shielded Metal Arc Welding*), soldadura de arco, soldadura con varilla, o soldadura con electrodo, es la técnica más usada dentro de la construcción y mantenimiento de instalaciones costa afuera, debido a que es una técnica económica, fácil de usar, y cumple con las especificaciones que dicta la ASME B31.3, en el apéndice J, que establece las especificaciones para el tamaño de la soldadura para uniones en tipo filete.

Para la construcción de plataformas costa afuera, se debe cumplir con la observancia de la norma NRF-186-PEMEX-2001 *Soldadura en acero estructural para plataformas marinas*.

Dentro de los métodos de soldadura manual, éste método de soldadura funciona estableciendo un arco eléctrico entre la fuente de poder, el electrodo, el arco de soldar, la pieza de trabajo y de regreso a la fuente de poder. Los electrones que fluyen a través del espacio entre los electrodos y la pieza de trabajo producen un arco que genera el calor necesario para fundir tanto al propio electrodo como al metal base. La temperatura del arco puede sobrepasar los 3300° C y calienta tanto al electrodo como a la pieza de trabajo. En la punta del electrodo, se forman glóbulos de metal derretido, los cuales caen y se mezclan con el charco de metal fundido que se forma en la pieza de trabajo. Cuando se retira el electrodo del charco, la mezcla de los metales se solidifica y con esto se completa la soldadura.

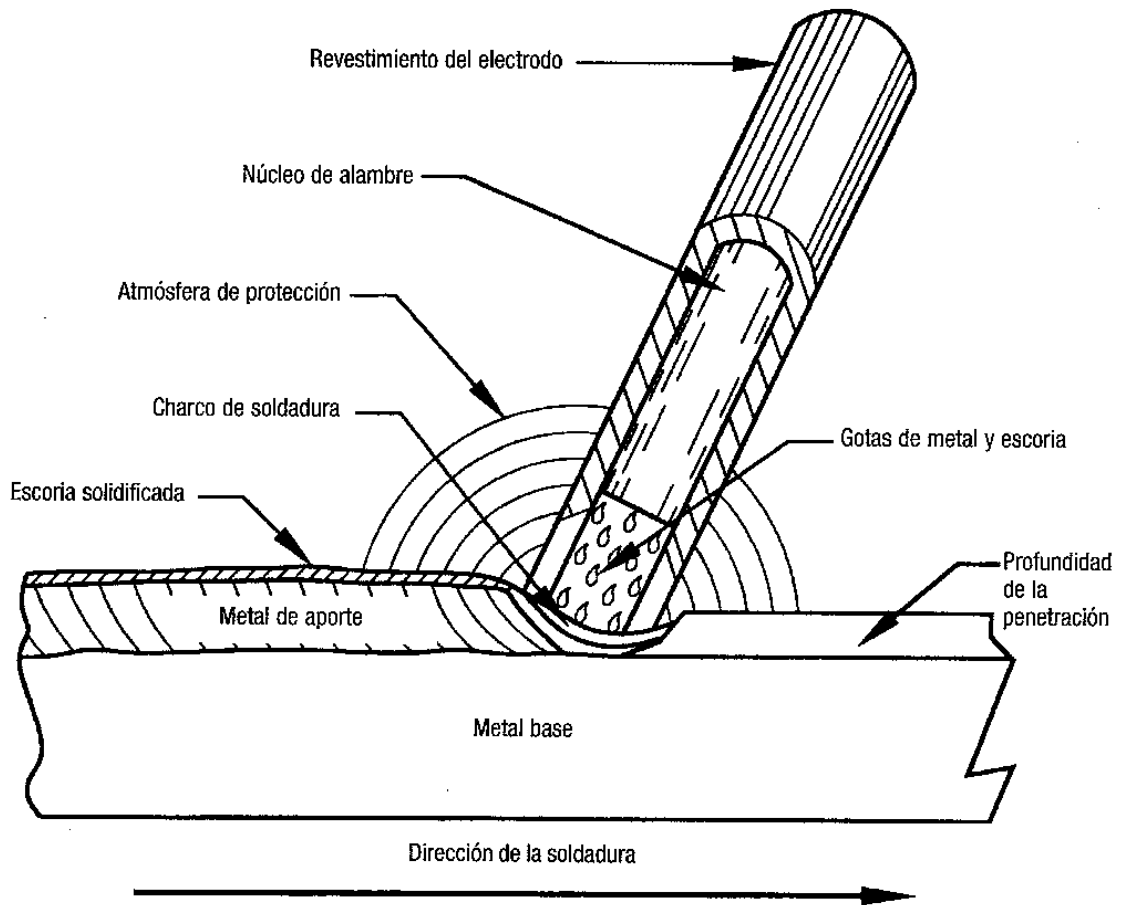
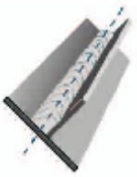
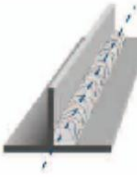

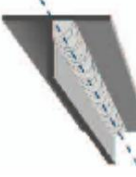
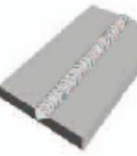









Ilustración 1-2 Proceso de la soldadura de arco metálico con electrodo revestido (Tomado de Galvery, et. al., pág. 109)

1.6.2. Posiciones de soldadura

Tabla 1.6-1. Posiciones de soldadura posibles

	Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
Uniones de filete	 1F	 2F	 3F	 4F
Uniones Biseladas	 1G	 2G	 3G	 4G
Tuberías	La tuberías se rota mientras se suelda  1G	 2G	La tuberías no se rota mientras se suelda  5G	 6G

En la posición horizontal o plana, la transferencia de metal desde el electrodo se realiza por gravedad, por la expansión de los gases que generan los materiales de recubrimiento del electrodo, por las fuerzas electromagnéticas y por la tensión superficial. En otras posiciones, la gravedad se opone a éstas fuerzas. El electrodo está recubierto con un fundente. El calor producido por la corriente eléctrica provoca la combustión y la descomposición de éste fundente, lo que genera una nube de gases que protege de la contaminación atmosférica la punta del electrodo, la pieza de trabajo y el charco de metal fundido. El fundente también contiene materiales que recubren las gotas de metal fundido que transfieren metal de aporte y se convierte en escoria cuando se enfría. Esta escoria flota sobre la

superficie del baño de soldadura y después se solidifica sobre el cordón de soldadura, donde protege al metal fundido y disminuye la velocidad de enfriamiento. El recubrimiento de algunos electrodos consumibles contiene polvo metálico que, al quemarse, genera calor adicional, así como aporta el metal necesario, y así se compensan las propiedades químicas, eléctricas, mecánicas y metalúrgicas de la soldadura, así como las características del porta electrodo.

1.6.3. Requisitos del cliente para aceptar los trabajos de soldadura.

En ésta sección, se tratarán los requisitos para la inspección y pruebas, criterios de aceptación para las discontinuidades y procedimientos para ensayos no destructivos (NDT). Los resultados se deben reportar al cliente para evitar retrasos en el trabajo.

1.7. Evaluación de materiales de soldadura

Se debe comprobar que solamente se utilicen materiales que cumplan con los requisitos establecidos por el cliente.

1.7.1. Evaluación del procedimiento y del equipo de soldadura

Se debe verificar que todas las Especificaciones de Procedimiento de soldadura (Welding Procedure Standard, o WPS, por sus siglas en inglés) y procedimientos que se utilicen en el trabajo cumplan con los requisitos del cliente. Se debe verificar que el equipo para soldar que se utilizará para el trabajo sea el correcto.

1.7.2. Evaluación del trabajo y registros

Se debe verificar lo siguiente:

- Que el tamaño, longitud y localización de todas las soldaduras cumplan con los requisitos de la NRF-186-20-PEMEX-2007 y a los descritos en los planos de Ingeniería de detalle y que ningún procedimiento de soldadura sea agregado sin la aprobación correspondiente.
- Que se utilicen solamente las WPS que cumplan con los requisitos de la NRF-020-PEMEX-2005.
- Que los electrodos se utilicen en las posiciones, tipo de corriente y polaridad para el cuál estén especificados.
- Que la preparación de las juntas, prácticas de ensamble, las técnicas de la soldadura y ejecución de cada uno de los soldadores, operadores y punteadores cumplan con lo establecido en la Sociedad Estadounidense de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés)
- Que el tamaño y el contorno de las soldaduras sean medidos con calibradores verificados. Se debe realizar la inspección visual para detectar grietas en la soldadura, metal base y otras discontinuidades con la ayuda de luz fuerte, lupas u otros dispositivos.
- Que se identifique con marcas distintivas u otros métodos de registro todas las partes o juntas que se han inspeccionado y aceptado. Está prohibido marcar con números de golpe miembros de carga cíclica sin la aprobación de Ingeniería.

- Que se guarden los expedientes con las calificaciones de los soldadores, operadores y punteadores, calificaciones de la WPS ú otras pruebas que se hagan y otra información que se requiera.

1.7.3. Criterios de aceptación

Todas las soldaduras se deben inspeccionar y se deben aceptar visualmente siempre y cuando cumplan con los criterios dados en la norma NRF-020-PEMEX-2005

1.8. Inspección de defectos de soldadura

Una soldadura defectuosa puede conducir a pérdidas financieras, daños a la propiedad, lesiones personales y hasta la muerte, así que es importante saber si cubrirá los requisitos de su diseño. Estos requisitos son establecidos por el diseñador, el fabricante, el cliente o los ordenamientos legales, dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar. Con el fin de asegurar el cumplimiento de estos requisitos, es necesario establecer un programa de inspección de soldadura. El programa de inspección, el mantenimiento de un registro de la calificación del soldador, la prueba de los materiales que se utilizan, el mantenimiento de un registro y la inspección de la soldadura.

Discontinuidades y defectos

Una discontinuidad es una interrupción en la estructura típica de la soldadura; es decir, un lugar de la soldadura que no es como las demás partes sanas de ésta.

Puede ser un cambio en las características mecánicas, metalúrgicas o físicas de la soldadura o en las partes colindantes del metal base. La discontinuidad sólo se vuelve un defecto, cuando su tamaño o número impide a la soldadura satisfacer la norma de aceptación aplicable. Por otra parte, la aparición de un defecto hace que la soldadura sea inaceptable. Aun cuando una concentración de defectos o discontinuidades puede no provocar la falla inmediata de una soldadura, con el paso del tiempo se producen grietas, que son puntos localizados de fallas, que eventualmente pueden provocar una falla catastrófica de la estructura.

1.8.1. Métodos de inspección de soldadura

Los métodos de inspección de soldadura se dividen en destructivos y no destructivos. Este trabajo se enfocará a identificar indicadores para a los métodos no destructivos, por ser estos rápidos, tener la ventaja de hacerse *in situ*, y ser posibles en todas las uniones.

1.8.1.1. Discontinuidades detectables por inspección visual



Ilustración tomada de: <http://extreme-oman.com/wp-content/gallery/other-services/welding-inspection1.jpg>

La inspección visual consiste en observar la soldadura sin usar otra herramienta que la vista. En esta inspección se registran su forma y sus dimensiones, así como la calidad de aplicación de la soldadura. Esta forma de inspección es el primer paso para detectar cualquier anomalía antes o durante el proceso de soldadura.

Por medio de la inspección visual, se pueden detectar los siguientes defectos:

1.8.1.1.1. Exceso de penetración

Se produce por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Causa que el material chorree al interior y puede retener no escoria en su interior. Para el caso de gasoductos, puede producir desgaste por erosión.

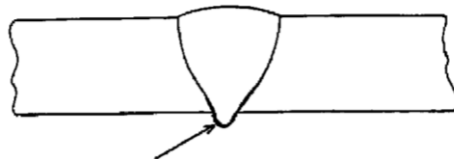


Ilustración 1.8.1.1.1-1 Aspecto del exceso de penetración en la soldadura

1.8.1.1.2. Falta de penetración

Generalmente, la raíz de la soldadura no quedará adecuadamente rellena con metal dejando un vacío. Puede ser debida a una separación excesivamente pequeña de la raíz, a un electrodo demasiado grueso, a una corriente de soldadura insuficiente, a una velocidad excesiva de pasada, penetración incorrecta en la ranura. Este defecto por lo general no es aceptable y requiere la eliminación del cordón de soldadura anterior y repetición del proceso.

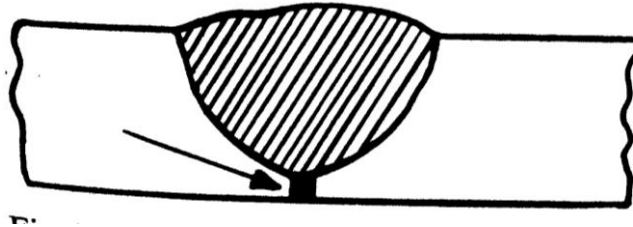


Ilustración 1.8.1.1.2-1 Aspecto de la falta de penetración en la soldadura (Rosario Francia, 2012)

1.8.1.1.3. Concavidad en la raíz

La concavidad en la raíz es una ranura poco profunda que se produce en la base (o raíz) de una soldadura. La concavidad en la raíz es causada por el encogimiento del charco de soldadura a través del espesor en dirección de la soldadura. También tiene como causa una velocidad de soldadura excesiva.

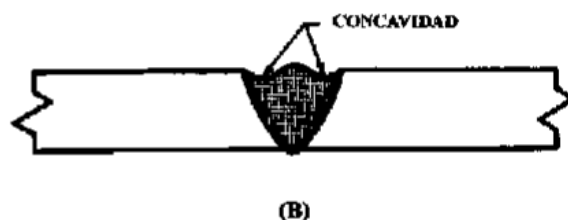


Ilustración 1.8.1.1.3-1. Esquema de la concavidad

1.8.1.1.4. Socavado

Este tipo de defecto ocurre cuando el plasma del arco de soldar remueve más metal de la cara de la unión del que reemplaza con el metal de aporte. El socavado es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la superficie, que no ha sido llenada por el metal de soldadura.

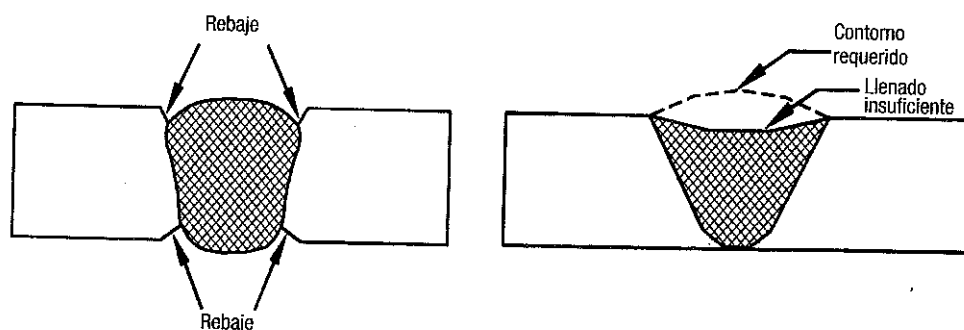


Ilustración 1.8.1.1.4-1 Aspecto del socavado (Galvery & Marlow, 2011).

1.8.1.1.5. Salpicaduras

Son imperfecciones consistentes en esferas de metal fundido depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. Generalmente no tienen importancia respecto a la calidad de la soldadura., pero sí en el acabado estético de la misma.



Ilustración 1.8.1.1.5-1 Aspecto de la salpicadura en la soldadura (Rosario Francia, 2012)

Si la soldadura pasa la inspección visual, el siguiente paso consiste en aplicar otros métodos, tales como:

Prueba de penetración: Revela discontinuidades superficiales, como grietas, socavamiento y porosidades. Consiste en aplicar un líquido penetrante en el área de soldadura, remover el exceso de líquido y secarla con un trapo o con aire caliente. Como siguiente paso, se aplica un líquido revelador que hace notar las fisuras que no se pueden ver a simple vista, con ayuda de luz blanca o ultravioleta (dependiendo del tipo de líquido penetrante que se utilice).

Prueba de ultrasonido: Detecta la mayoría de las discontinuidades subsuperficiales de la soldadura, incluyendo grietas, escoria embebida y partes

mal fundidas. Cuando los pulsos de ultrasonido chocan con alguna discontinuidad o defecto interno, son revelados a través de la pantalla integrada al equipo.

2. Objetivo

El objetivo de éste trabajo es identificar y presentar indicadores de gestión que sirvan a industria de la exploración y producción de petróleo crudo para evaluar el estado de hermeticidad de sus ductos a través de pruebas hidrostáticas; así como para la supervisión de las uniones soldadas que se presentan en el citado ramo industrial que arrojen información útil para la mejora de los procesos de inspección por éstas dos técnicas.

Se espera que estos indicadores sirvan como criterio para la toma de decisiones o para tomar acciones preventivas y correctivas, siguiendo los procedimientos que se indiquen en las normas aplicables.

3. Identificación de indicadores

3.1. Indicadores aplicables en general

Como paso previo a comenzar con la identificación de los indicadores de gestión para la industria de inspección metalúrgica, se enumeran los indicadores propuestos para cada parte de los mismos, así como los indicadores aplicables a cualquier parte del subproceso.

Los indicadores que pueden ser aplicables a las tres partes del proceso, son principalmente financieros, y comprenden:

- Tiempos muertos

Este índice se expresa por el cociente

$$t_m = 1 - \frac{t_o}{d_c}$$

Donde:

t_m : Tiempo muerto; t_o : Tiempo efectivo de operación; d_c : Tiempo del ciclo

- Asistencia del personal

Este indicador puede calcularse cuantitativamente como:

$$A = \frac{d_a}{d_c}$$

Donde

A : Nivel de asistencia; d_a : Días de asistencia; d_c : Días del ciclo

Este indicador toma el valor de 1 a 0, y el valor al que debe acercarse debería ser 1.

- Indicador de accidentes

Aplicado a cada área independientemente, el indicador de accidentes es un instrumento que destaca el área con mayor peligro para trabajar, así como posiblemente una variable más para medir costos de operación y estudiar una posible interrelación con los tiempos muertos.

Para este indicador, se sugiere un factor, mismo que depende de la gravedad del accidente, así, se dará un valor de 2 a un accidente que obligue al afectado a dejar de trabajar debido a la incapacidad, y 1 a un accidente que permita al afectado seguir laborando.

$$I_a = g \frac{n_a}{d_c}$$

- Nivel de satisfacción del cliente

Este indicador puede ser usado en el proceso clave y en el producto final. Tiene por objetivo ser un indicador cuantitativo de la satisfacción del cliente, a través de la relación de pedidos conformes con el cliente.

$$N_s = \frac{P_r}{P_t}$$

N_s : Nivel de satisfacción; P_r : Número de productos regresados; P_t : Total de productos ingresados por el proveedor

3.2. Indicadores aplicables a los insumos

Para poder conocer la confiabilidad de los insumos, se requiere desarrollar indicadores que muestren el comportamiento de los proveedores, y así detectar posibles anomalías en la recepción de la materia prima necesaria para obtener el servicio.

Por otra parte, este grupo de indicadores permite detectar si se está recibiendo un servicio de calidad adecuado por parte de los proveedores en cuando a calidad, rapidez de entrega y eficiencia del servicio.

Los indicadores que se sugieren para esta parte del proceso son:

- Pedidos mal realizados por parte de la organización

$$P_{mo} = \frac{P_{fe}}{T_p}$$

- Pedidos mal surtidos por parte del proveedor

$$P_{ms} = \frac{P_{fp}}{T_p}$$

- Comparación entre precio real y precio presupuestado del insumo.

$$I_p = \frac{\$r}{\$p}$$

3.3. Indicadores aplicables al proceso clave

En esta parte del proceso, es importante tener indicadores sobre el adecuado funcionamiento del mismo, ya que esto es el proceso directamente relacionado con el giro industrial, y del éste emanan las ganancias principales del mismo. Los indicadores deben ser especialmente explícitos en monitorear el proceso en este punto, puesto que impactarán directamente en el ulterior desarrollo de la industria metalúrgica a la cual sea aplicado.

3.3.1. Indicadores aplicables al proceso de inspección de hermeticidad por prueba de presión hidrostática

Con base en la norma NRF-150-PEMEX-2011, los indicadores que se proponen para monitorear el desempeño de las pruebas hidrostáticas se muestran a continuación. Asimismo, se indicará el punto de la citada norma que se busca monitorear.

Tabla 3-1. Secciones aplicables, descripciones y utilidades de cada indicador para prueba hidrostática

Sección de la norma (si aplica)	Descripción y relevancia del indicador	Indicador
8.1.1.4 El personal de inspección debe estar certificado como Nivel 2 ó 3 en los métodos de inspección visual y de fuga	Porcentaje del personal con nivel 2 ó 3 en inspección. Necesario para determinar la capacidad de llevar a cabo el trabajo	$\% N_{2-3} = \frac{n_{2-3}}{n_{pi}} \times 100$
8.1.1.6 La Pph de recipientes a presión, nuevos o en operación, no debe ser menor al valor de multiplicar 1.1 por la presión de calibración del dispositivo.	Relación a cumplir entre la presión de prueba hidrostática y presión de calibración del dispositivo	$\frac{P_{ph}}{P_{cd}} \geq 1.1$
8.1.1.7 La Pph para sistemas de tuberías no debe ser menor de 1.5 veces la Pd.	Revela si el rango de presión en el que se desarrolla la prueba es el adecuado	$P_{ph} \geq 1.5P_d$
8.1.1.9 El valor calculado de la Pph no debe exceder el 90% del esfuerzo de cedencia del material a la temperatura de la Ph	Este indicador calcula cuantitativamente el nivel máximo de presión que se puede alcanzar	$P_{ph} \leq 0.9\sigma_y$
N/A	Número de personas calificadas por orden de trabajo	$I_h = \frac{n_{2-3}}{n_{ot}}$
N/A	Tiempo desde la última calibración, en meses (varía con cada instrumento a calibrar)	t_{uc}

N/A	Fracción de pruebas que no pasaron la prueba hidrostática	$\% P_F = \frac{n_{pf}}{N_{ph}}$
N/A	Tiempo promedio por prueba hidrostática, minutos	$\bar{t}_{ph} = \frac{\sum(t_{ph})_i}{N_{ph}}$
N/A	Proporción de pruebas realizadas a válvulas por clase (clase 150, 300, 600, 900 o 1500)	$N_{pv} = \frac{n_{150}, n_{300}, n_{600}, n_{900}, n_{1500}}{N_{phv}}$
	Proporción de pruebas realizadas a válvulas por tamaño de válvula	$N_{pt} = \frac{n_{2"}, n_{3"}, n_{6"}, n_{12"}, n_{24"}}{N_{phv}}$

3.3.2. Indicadores aplicables al proceso de inspección de soldadura por técnica SMAW

Como último punto, se identificarán algunos indicadores de gestión para monitorear el proceso de supervisión de la soldadura, integrando tanto el cumplimiento con la norma y cumpliendo con el SGC.

Tabla 3-2. Secciones aplicables, descripciones y utilidades de cada indicador para la inspección de soldadura

Sección de la norma (si aplica)	Descripción y relevancia del indicador	Indicador
	Porcentaje de rechazo en soldadura (general)	$\% R_{wt} = \frac{N_{wt}}{N_{wf}} \times 100$
	Porcentaje de rechazo debido a exceso de penetración	$\% R_{ep} = \frac{n_{ep}}{N_{wf}} \times 100$
	Porcentaje de rechazo debido a falta de penetración	$\% R_{fp} = \frac{n_{fp}}{N_{wf}} \times 100$
	Porcentaje de rechazo debido a socavado	$\% R_{sc} = \frac{n_{sc}}{N_{wf}} \times 100$
	Porcentaje de rechazo debido a salpicadura	$\% R_{sp} = \frac{n_{sp}}{N_{wf}} \times 100$
	Porcentaje de rechazo debido a concavidad en la raíz	$\% R_{cr} = \frac{n_{cr}}{N_{wf}} \times 100$
8.3.2 Temperatura de precalentamiento y entre pasos	Tiempo de precalentamiento (si aplica)	t_{p-cal}

	Rapidez de soldado (m/min)	$\% R_{cr} = \frac{n_{cr}}{N_{wf}}$
	Porcentaje de rechazo en de uniones 1F	$\% R_{1F} = \frac{n_{1F}}{N_F} \times 100$
	Porcentaje de rechazo en de uniones 2F	$\% R_{2F} = \frac{n_{2F}}{N_F} \times 100$
	Porcentaje de rechazo en de uniones 3F	$\% R_{3F} = \frac{n_{3F}}{N_F} \times 100$
	Porcentaje de rechazo en de uniones 4F	$\% R_{4F} = \frac{n_{4F}}{N_F} \times 100$
	Porcentaje de rechazo en uniones de tubería 1G	$\% R_{T1G} = \frac{n_{T1G}}{N_{TG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de tubería 2G	$\% R_{T2G} = \frac{n_{T2G}}{N_{TG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de tubería 3G	$\% R_{T3G} = \frac{n_{T3G}}{N_{TG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de tubería 4G	$\% R_{T4G} = \frac{n_{T4G}}{N_{TG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de bisel 1G	$\% R_{B1G} = \frac{n_{B1G}}{N_{BG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de bisel 2G	$\% R_{B2G} = \frac{n_{B2G}}{N_{BG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de bisel 3G	$\% R_{B3G} = \frac{n_{B3G}}{N_{BG}} \times 100$
	Porcentaje de uniones de bisel 4G	$\% R_{B4G} = \frac{n_{B4G}}{N_{BG}} \times 100$

4. Conclusiones

Los indicadores de Calidad dentro de la industria de inspección metalúrgica cobran importancia, porque proporcionan evidencia objetiva de los procesos, aportan un valor de referencia y una visión sobre las metas planeadas y el desempeño logrado al dar alternativas a la organización para la implementación de sus sistema al ratificar y/o afinar el rumbo; creando robustez al SGC.

Asimismo, los indicadores contribuyen con el rediseño de un proceso que genere valor, identifican aquellos con alto gasto y poco valor, buscan la mejor utilidad comercial; incrementan la aceptación del producto y/o servicio, con alto grado de satisfacción para los clientes y los niveles más altos de eficiencia para la organización.

En el Sistema de Gestión de la Calidad, los indicadores de gestión participan también con la información del desarrollo de las pruebas de inspección. Estos indicadores servirán a su vez como insumos a los procesos de medición y mejora continua, como en el punto 8.2.3 y 8.2.4, con el propósito de eliminar desperdicios y retrabajos; aumentando así la eficacia y eficiencia de la organización.

El conocimiento acertado de los indicadores de calidad permitirá concentrar la atención en aquellos procesos que generan valor, evitando malgastar recursos, tanto humanos como materiales.

En el presente trabajo, se identificaron 7 indicadores relativos a la administración operativa, 10 indicadores relativos al desarrollo de pruebas hidrostáticas, y 18 indicadores relativos a la inspección visual de soldadura. Con esto, se espera que estos indicadores marquen un avance en la medición, análisis y mejora del proceso de inspección visual de discontinuidades en la soldadura de arco metálico con electrodo revestido, y en la supervisión de las pruebas de presión hidrostática para válvulas; ambas pruebas necesarias para el funcionamiento seguro y correcto de la industria petrolera, particularmente para la Paraestatal PEMEX.

Después de éste análisis, es conveniente implementar estas mediciones en la práctica, con el fin de verificar su eficacia. Después de la implementación, se sugiere hacer una reunión de seguimiento que involucre tanto a operativos como a mandos medios en calidad, en la cual se sugieran nuevas mediciones a hacer, y se discuta la eficacia de la implementación, como parte del proceso de mejora continua, y así también tomar acciones preventivas o correctivas de los procesos de inspección de plataformas petroleras, y del sector de inspección industrial en general.

Bibliografía

American Society of Mechanical Engineering. (2009). *Process Piping Guide*.

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos subsidiarios.

(2005). *NRF-032-PEMEX-2005 Sistemas de tubería en plantas industriales - diseño y especificaciones de materiales*.

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

(2007). *NRF-186-20-PEMEX-2007 Certificación de Soldadores y Soldadura*.

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

(2008). *NRF-158-PEMEX-2008 Juntas y empaques*.

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

(2009). *NRF-029-PEMEX-2009 Espárragos y tornillos de acero de aleación y acero inoxidable para servicios de alta y baja temperatura*.

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y organismos subsidiarios.

(2010). *NRF-028-PEMEX-2010 - Diseño y construcción de recipientes a presión*.

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos subsidiarios.

(2011). *NRF-150-PEMEX-2011 - Pruebas hidrostáticas de tuberías y equipo*.

Galvery, W., & Marlow, F. (2011). *Guía de soldadura para el técnico profesional*.

(E. T. Alexander, Trad.) Ciudad de México: Limusa.

Hernández Trejo, E. (2012). Auditoría de Sistemas de Gestión de la Calidad. Centro de Extensión Académica de la Facultad de Química, UNAM.

Hernández y Rodríguez, S. (2002). *Administración, pensamiento, proceso, estrategia y vanguardia* (1a ed.). Distrito Federal, México: Mc Graw-Hill.

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. (2008). *Sistemas de Gestión de la Calidad- Requisitos*. Distrito Federal, México: Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C.

Mora Estrella, R. (2011). Interpretación de la Norma ISO 9000:2008. Centro de Extensión Académica de la Facultad de Química, UNAM.

Piedra, M. (2012). Técnicas estadísticas y otras herramientas de mejora de la calidad. Centro de Extensión Académica de la Facultad de Química de la UNAM.

Rafael Pérez, I. (2011). Introducción a la Calidad. Centro de Extensión Académica de la Facultad de Química de la UNAM.

Rangel Aguilar, J. L. (2012). Documentación e implementación de Sistemas de Gestión de la Calidad. Escuela de Extensión Académica de la Facultad de Química de la UNAM.

Rosario Francia, S. (2012). *soldadura.org.ar*. Recuperado el 1 de Mayo de 2012, de

http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=186
:imperfeciones-en-soldadura-tipos-de-
discontinuidades&catid=20:investigaci-desarrollo&Itemid=70

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1996). *Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. México.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1996). *Límites Máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano ó municipal*. México.

Trujillo Arceo, S. (2008). *Los indicadores de la Calidad en la Organización y su importancia en el sistema de Calidad*. Ciudad de México.

Walworth Corp. (2009). *Especificación de pruebas de presión para válvulas de hierro y acero*.

Anexo A. Glosario general

AWS: American Welding Society

Bisel: Frontera física de una placa de acero para soldar

DTI: Diagrama de Tubería e Instrumentación

NDT: Ensayo No Destructivos (Non-destructive Testing)

Oquedad: Hueco dentro de un cuerpo sólido

Pcd: Presión de calibración del dispositivo

Pd: Presión de diseño

Ph: Presión hidrostática

PMPT: Presión Máxima Permitida de Trabajo

Po: Presión de operación en kPa

Pph: Presión de prueba hidrostática

S_{td}: Esfuerzo permisible a la temperatura de diseño en kPa

S_{to}: Esfuerzo permisible a la temperatura de Ph en kPa

S_{tp}: Esfuerzo permisible a la temperatura de Ph en kPa

σ_y : Esfuerzo de cedencia

WPS: Especificación del procedimiento de soldadura (*Welding Procedure Specification*)

Anexo B. Glosario de indicadores de gestión para la prueba hidrostática

d_c Duración del ciclo

d_a Días de asistencia

g Factor de gravedad

I_a Indicador de accidentes

I_p Indicador de precio

A Nivel de asistencia por ciclo

N_s Nivel de satisfacción

n_a Número de accidentes

n_{ot} Número de órdenes de trabajo pendientes

n_{2-3} Número de personas dentro de la organización con nivel 2 ó 3 en inspección

n_p Número de personas dentro de la organización dedicada a la inspección general

P_{fe} Pedidos fuera de especificación

P_{mo} Pedidos mal realizados por parte de la organización

P_{fp} Pedidos mal surtidos por el proveedor

$\%N_{2-3}$ Porcentaje de personas dentro de la organización con nivel 2 ó 3 en inspección

$\$ _p$ Precio presupuestado

$\$ _r$ Precio real

P_{cd} Presión de calibración del dispositivo

P_{ph} Presión de prueba hidrostática

P_r Productos regresados

t_o Tiempo efectivo de operación

T_p Total de pedidos

t_m Tiempos muertos

P_t Total de productos ingresados

Anexo C. Glosario para los indicadores de gestión de la soldadura por técnica SMAW

n_{cr} Número de defectos de concavidad en la raíz

n_{fp} Número de defectos de falta de penetración

n_{ep} : Número de defectos de exceso de penetración

n_{sp} Número de defectos de salpicadura

n_{sc} Número de defectos de socavado

$\%R_{cr}$ Porcentaje de rechazo debido a concavidad en la raíz

$\%R_{fp}$ Porcentaje de rechazo debido a falta de penetración

$\%R_{ep}$ Porcentaje de rechazo debido a exceso de penetración

$\%R_{sp}$ Porcentaje de rechazo debido a salpicadura

$\%R_{sc}$ Porcentaje de rechazo debido a socavado

N_{wt} Número de soldaduras realizadas en el ciclo

N_{wf} Número total de soldaduras que registran defectos, donde:

$$N_{wf} = n_{ep} + n_{fp} + n_s + n_{cr}$$

SMAW: Soldadura de arco metálico con electrodo revestido (*Shielded Metal Arc*

Welding, por sus siglas en inglés)