



TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

*IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA SIX SIGMA
EN EL PROCESO DE INSPECCION DE TUBERIA PEAD EN
LA EMPRESA FIMEX S.A DE C.V*

PARA OBTENER EL TITULO DE

Ingeniero(a) Industrial

PRESENTA

Esmeralda Martel Julio

DIRECTOR DE TESIS

M.I.I Rocio Sanchez Escobar

CO- DIRECTOR DE TESIS

Ing. Froylan Mateos Valladares



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a dios por darme la sabiduría y el entendimiento de poder lograr mi meta académica de ser ingeniero industrial y especialmente a mi madre María Guadalupe Julio Hernández por su apoyo incondicional palabras de aliento para poder lograr mis sueños y metas sin olvidar su apoyo incondicional de mis hermanos Mario, Rodrigo, Guadalupe, Laura, Rosa Isela, Luis Ángel y Luis Felipe gracias por todo su apoyo mostrado a lo largo de mi vida no me queda más que decirles gracias

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. Así, quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.

Un agradecimiento a la Empresa FIMEX S.A DE C.V por el apoyo brindado en la realización del presente proyecto. Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi tutora Rocío Sánchez Escobar, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para cada etapa de desarrollo del trabajo.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, en especial a mi madre y mis hermanos, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

¡Muchas gracias por todo!



RESUMEN

En esta presente tesis se implementó la metodología Seis Sigma en el proceso de inspección de tubería en la empresa Fluidos Industriales Mexicanos S.A de C.V. Con el objetivo de mejorar el proceso de inspección, tomando las medidas necesarias para tener un proceso de calidad. Se realizo un estudio R&R para medir la repetibilidad y reproductibilidad en los inspectores con los instrumentos de medición utilizados. Seis Sigma es una estrategia de mejora continúa empleada en muchas empresas de clase mundial.

ABSTRACT

In this present thesis, the Six Sigma methodology was implemented in the pipeline inspection process at the company Fluidos Industriales Mexicanos S.A de C.V. In order to improve the inspection process, taking the necessary measures to have a quality process. An R&R study was carried out to measure the repeatability and reproducibility in the inspectors with the measurement instruments used. Six Sigma is a continuous improvement strategy employed in many world-class companies.



ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
ÍNDICE.....	III
Índice de figuras.....	IV
Índice de tablas.....	IV
Índice de graficas.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes de la empresa.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	8
1.3 Justificación.....	9
1.4 Hipótesis.....	10
1.5 Objetivos generales y particulares.....	10
MARCO TEÒRICO.....	11
2.1 El significado de Seis Sigma.....	11
2.2 Historia de Seis Sigma.....	11
2.3 La estrategia y método de Seis Sigma.....	13
2.4 Sistema de inspección para el control de calidad.....	15
2.5 Norma ISO 9001:2015.....	20
ESTADO DE ARTE.....	22
METODOLOGÍA.....	24
4.1 <i>Etapa 1: Descripción del proceso de inspección de tubería e identificación del problema.....</i>	24
.....	24
4.2 <i>Etapa 2: Medición del nivel sigma de la empresa.....</i>	26
4.3 <i>Etapa 3: Análisis de la causa raíz del problema en el proceso de inspección.....</i>	27
4.4 <i>Etapa 4: Propuesta de un modelo para capacitación efectiva en el proceso de inspección de tubería.....</i>	36
4.5 <i>Etapa 5: Control del proceso de inspección a tubería.....</i>	39
ANÀLISIS Y DISCUSIÒN DE RESULTADOS.....	41
CONCLUSIONES.....	42
ANEXOS.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS.....	47



Índice de figuras

FIGURA 1. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA FIMEX S.A DE C.V	7
FIGURA 2. MICRÓMETRO	19
FIGURA 3. CINTA PI	20
FIGURA 4. FLEXÓMETRO.	20
FIGURA 5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE INSPECCIÓN DE TUBERÍA.	24
FIGURA 6. DIAGRAMA ISHIKAWA.	27
FIGURA 7 GESTIÓN DE CAPACITACIÓN.	37

Índice de tablas

TABLA 1. COSTOS DE TUBERÍA DEFECTUOSA (BIMESTRE OCTUBRE-NOVIEMBRE).....	25
TABLA 2. DEFECTOS DE LA TUBERÍA.	26
TABLA 3. ESTUDIO R&R DEL MICRÓMETRO.....	28
TABLA 4. ESTUDIO R&R DE LA CINTA PI.....	31
TABLA 5. ESTUDIO R&R DEL FLEXÓMETRO.	34
TABLA 6 CONTROL DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.	39
TABLA 7 HOJA DE VERIFICACIÓN DE ENTREGA DE EQUIPO DE TRABAJO.	40
TABLA 8 DEFECTOS DE TUBERÍA.....	41

Índice de graficas

GRAFICA 1. COSTOS DE TUBERÍA.....	25
GRAFICA 2. INFORME R&R DEL MICRÓMETRO.....	30
GRAFICA 3. INFORME R&R DE LA CINTA PI.....	33
GRAFICA 4. INFORME R&R DEL FLEXÓMETRO.....	36



INTRODUCCIÓN

La gestión de la calidad se traduce en una búsqueda permanente de la mejora con el objetivo de situarnos en una posición ventajosa, adquiriendo un posicionamiento estratégico en nuestro sector. Hoy en día buscamos productos certificados por sellos de calidad. Esperamos que lo que pagamos por ello vaya en proporción a su durabilidad, a su usabilidad e incluso a la satisfacción que nos proporcione lo que hemos comprado. A veces asumimos que la calidad es cara. Pero ¿no es más caro comprar algo que luego no me sirva o me satisfaga menos de lo esperado? Muchas veces culpamos a los sistemas de calidad de generar más trabajo, más trámites y más problemas en el funcionamiento de una empresa. Pero un sistema bien gestionado, en continuo funcionamiento y revisión evita multitud de fallos a la empresa y posibles reclamaciones de clientes. Un sistema de gestión es una obra eternamente inacabada. Este debe estar abierto a que todos los trabajadores participen del mismo, e incluso los proveedores y clientes. Si ese sistema que controla un producto, bien o servicio es de calidad, satisfará a la empresa, a los trabajadores, a los proveedores y por supuesto al cliente, que al fin y al cabo es el jefe en la sombra de cualquier empresa.

En este proyecto tiene el objetivo de implementar la metodología six sigma en el proceso de inspección de tubería para poder mejorar el proceso. La metodología Six Sigma fue un concepto creado en los 80 por Bill Smith. Esta metodología fue creada para reducir la variabilidad para reducir o eliminar los defectos o fallos en la entrega de un producto o servicio al cliente/usuario. El objetivo de Six Sigma es conseguir detectar 3,4 defectos por millón, es decir, cualquier desperfecto que presente el producto o servicio y que no logre cumplir los requisitos del cliente. Six Sigma constituye un modelo de gestión de calidad que también se conoce como DMAIC, siglas de las palabras en inglés: define, measure, analyze, improve y control. En español: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Estas son las cinco fases que se han de aplicar en cada proceso.



1.1 Antecedentes de la empresa

Fluidos Industriales Mexicanos S.A. de C.V. (FIMEX) es una empresa con Sistema de Gestión de Calidad certificado en ISO 9001-2015 y con oficinas corporativas y planta en Monterrey, México. FIMEX ha estado en la industria de tubería plásticas y geomembranas durante más de 25 años al servicio de los mercados mexicano y estadounidense. Nuestra fábrica de tubería de polietileno está equipada con algunas de las líneas de extrusión más modernas y actualizadas de América del Norte con capacidad para co-extruir múltiples capas y franjas para satisfacer las diversas necesidades de la industria.

La planta de conexiones prefabricados utiliza algunos de los equipos de producción más altamente precisos del mundo para la termofusión de piezas a partir de gajos y silletas, y así poder suministrar conexiones, tanto de línea como personalizadas incluyendo cabezales y ensambles según el diseño de cada cliente.

El personal técnico y de ingeniería de FIMEX tiene más de 100 años de experiencia en la industria de termoplásticos que sirven a América del Norte. FIMEX a través de su marca registrada TKP, está comprometida con el desarrollo continuo de nuevos productos para resolver las necesidades de la industria, como la nueva tubería resistente a la temperatura TKP-TR para diversas aplicaciones y la tubería resistente a la abrasión TKP-AR para extender la vida útil de la tubería en esas aplicaciones difíciles y reducir así los costos de reposición.

Su prioridad es la satisfacción de sus clientes, es por ello por lo que en cada proceso cuentan con un estricto sistema de calidad que garantizan la durabilidad y resistencia de sus productos, brindando soluciones a problemas de corrosión y conducción eficiente de fluidos asegurando el diseño para durar toda una vida. Ofrecen soluciones integrales en la conducción de fluidos, con sistemas confiables y duraderos, siendo la mejor alternativa de costo beneficio en el mercado.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

Sus productos satisfacen las necesidades de diversas industrias como: minera, energética, industrial, alimenticia, farmacéutica, infraestructura y otros mercados.

El área de calidad tiene como función asegurar el cumplimiento de la política de la empresa en este campo. Es decir, verifica que los objetivos que se han planteado en las etapas previas se cumplan dentro de los plazos previstos y con los recursos que han sido asignado.

La planta cuenta con un laboratorio equipado para verificar las cualidades de nuestros productos:

- Densidad
- Índice de fluidez
- Resistencia a la Tensión
- Contenido de negro de humo
- Resistencia a la presión hidrostática

Historia de la empresa

Empresa 100 % mexicana fundada en 1994 dedicada a la comercialización de materiales termoplásticos de alta tecnología ofreciendo alternativas para la solución de problemas presentados con el manejo del agua potable, redes de drenaje sanitario y pluvial, además de fluidos corrosivos-abrasivos en la industria química, petroquímica, minería, farmacéutica, alimentos y bebidas, sistemas de alta pureza, para los organismos de agua y sanidad a nivel Nacional. Los productos termoplásticos ofrecidos por nuestra empresa buscan la satisfacción y seguridad de nuestros clientes además de estar comprometida a ofrecer productos innovadores con la intención de agregar alternativas para la solución de problemas de corrosión y conducción eficiente de fluidos con el mayor tiempo de vida disponible.

En el año 2017 decidió arrancar con su primera planta productora TKP. Con el objetivo de comercializar e instalar plásticos termoformados y eligieron un producto que no se



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

comercializaba en México. En esa fecha se apoyaban el 90 por ciento con productos importados.

Política de calidad

El compromiso de TKP Inc. es acercarse a nuestros clientes para conocer sus necesidades y satisfacerlos con productos que cumplan con los requisitos de funcionalidad y calidad, buscando mejorar continuamente nuestro desempeño, logrando el crecimiento de nuestra organización.

Misión

Crear valor a sus clientes, mejorando la productividad y competitividad en conjunto, a través de una base tecnológica e industrial de alta eficiencia y una red comercial especializada.

Visión

Ser la empresa líder en plásticos a nivel nacional, comprometida con el desarrollo de sus clientes y distribuidores, manteniéndose siempre a la vanguardia, en parámetros industriales, tecnológicos y destacada por la excelencia de sus recursos humanos.

Layout de la empresa

“El layout hace referencia a la forma en que se encuentra distribuida el área de trabajo, es decir, el diseño que se siguió para distribuir las computadoras, mesas de trabajo, áreas de reuniones, espacios para recreación y descanso, así como los comedores y baños o áreas de aseo. El layout tiene que ver con el diseño de la propia oficina o empresa y la forma en que esta se encuentra está distribuida en sus distintas áreas.” (Anónimo, 2021)



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

La importancia del layout para el área de mantenimiento es el flujo ordenado de los equipos, como se encuentran distribuidos por toda la planta a si tener conocimiento del área donde se encuentran los equipos más críticos de la empresa y ser monitoreados con mayor relevancia.

Descripción de áreas en que se divide la empresa FIMEX

- Oficina general: se compone por el personal administrativo como recursos humanos, la gerencia, los jefes y los contadores, los cuales se encargan de dirigir a los subordinados.
- Almacén: es el área en que se guardan la materia prima, las refacciones, la maquinaria no pesada y las piezas prefabricadas, así como algunas terminadas.
- Área de embarque: aquí es donde se cargan y embarcan los lotes de tubería terminada para su distribución logística.
- Área de prefabricados: en ella se realizan cortes, empates, codos con equipos de termo fusión para realizar diversas piezas.
- Área de producción: esta es el área más importante, ya que es aquí donde se procesa la materia prima por medio de máquinas extrusoras pasando por tanques de vacío y de enfriamiento para ser cortados a una medida específica, para luego ser flejados por paquetes de tres a seis piezas.
- Área de triturados: esta área se encarga de cortar, triturar y moler los tubos rechazados para recuperar material y ser reutilizarlo.
- Área de calidad: es la encargada de inspeccionar, aprobar y rechazar el producto terminado.
- Laboratorio: se encarga de realizar pruebas de resistencia, densidad, dureza y elasticidad a la materia prima y al producto.
- Área de mantenimiento: es la que conserva todos los equipos de la planta realizando mantenimientos preventivos y correctivos.
- Área de silos: en esta área se almacena la resina o material virgen y se clasifica de acuerdo con si el material es suave o duro, mismo que se utiliza para la producción.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

Esta es distribuida por un sistema a presión y distribuido por medio de ductos a sacos para que sean trasladados a líneas extrusoras.

- Área de torno: en esta área se fabrican adaptaciones, bridas y piezas de diferentes especificaciones para el área de prefabricados.
- Área de bombas: en esta área se encuentra el sistema de enfriamiento que se encarga de circular agua fría por medio de una cisterna, dos bombas se encargan de enviar agua al equipo chillers, el cual se utiliza para enfriar el agua, por medio de dos circuitos es enviado a las líneas de producción a los tanques de enfriamiento que se encargan de enfriar el tubo.
- Oficinas de mantenimiento: dentro de ésta se llevan a cabo diversas actividades como solicitar cotizaciones a diversos proveedores tanto locales como foráneos para más tarde realizar el pedido de refacciones o reparaciones necesarias para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento, programar los mantenimientos, verificar diariamente el estado en que se encuentran las máquinas y equipos, capturar el historial de fallas mensuales y proporcionar los materiales y las herramientas a los técnicos para realizar su trabajo.
- Comedores: es el área destinada al consumo de alimentos por parte de todos los trabajadores.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

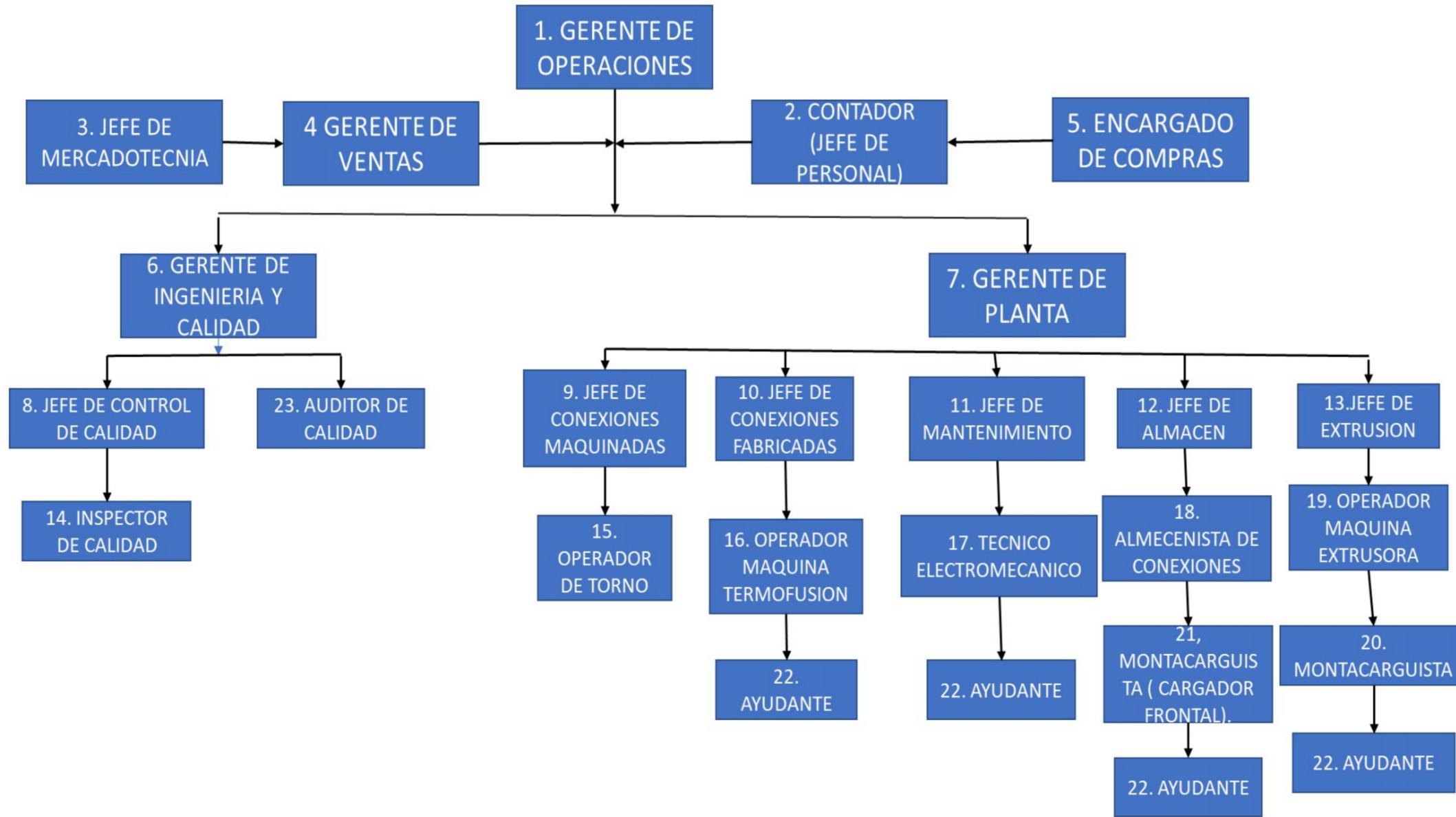


Figura 1. Organigrama de la empresa FIMEX S.A DE C.V

Fuente: Empresa Fimex



1.2 Planteamiento del problema

No hace falta decir que una medición dimensional correcta es un factor clave en la fabricación. La realización de mediciones con la misma referencia en todos los procesos, desde la recepción de los materiales hasta el procesamiento, ensamblaje, inspección y envío, hace posible crear productos que coincidan exactamente con el diseño y garantizar la calidad de estos. Incluso si sólo una persona realiza mediciones inexactas, la calidad de los productos puede verse comprometida. Si esto conduce a que productos defectuosos se mezclen con los buenos, el resultado será un peor rendimiento. Además, la salida de productos defectuosos como productos terminados dará lugar a quejas de los clientes. En otras palabras, es esencial que todos los miembros de una organización realicen las mediciones correctamente en cada paso del proceso de fabricación. El principio básico para las mediciones correctas es garantizar que todos los involucrados en la fabricación, sean expertos en la medición y que los instrumentos de medición se manejen y utilicen correctamente.



1.3 Justificación

En un mundo empresarial muy competitivo, posicionarse como una empresa eficiente y que apuesta por la calidad es cada vez más indispensable. La importancia de implementar un sistema de gestión de la calidad radica en el hecho de que sirve de plataforma para desarrollar al interior de la organización, una serie de actividades, procesos y procedimientos, encaminados a lograr que las características del producto o del servicio cumplan con los requisitos del cliente; que sean de calidad, lo cual incrementa las posibilidades de que sean adquiridos por el cliente, logrando así el porcentaje de ventas planificado por la organización.

Cualquier empresa quiere retener a sus clientes; en efecto, éste es un factor clave para el éxito, donde la lealtad y retención de los clientes es el resultado de los altos niveles de satisfacción que el cliente espera. Las encuestas sugieren que las razones por las cuales la mayoría de los clientes no vuelven, son su insatisfacción por una mala experiencia, la variabilidad en el servicio y la actitud de los empleados. A menudo, una empresa ni siquiera sabe que tiene un cliente insatisfecho. La implementación de Six Sigma reduce el riesgo de tener clientes insatisfechos. La aplicación de Six Sigma dentro de la organización ayuda a que los empleados manejen sus tiempos con mayor eficacia, lo que resulta en una mayor productividad.



1.4 Hipótesis

H0: Con la implementación de la metodología DMAIC no se logra elevar el nivel sigma del proceso de inspección de tubería.

H1: Con la implementación de la metodología DMAIC se logra elevar el nivel sigma del proceso de inspección de tubería.

1.5 Objetivos generales y particulares

Objetivo General

Implementar la metodología Six Sigma en el proceso de inspección de tubería con el objetivo de elevar el nivel de calidad.

Objetivos específicos

- Describir el proceso de inspección de tubería e identificar el problema.
- Medir el nivel sigma de la empresa.
- Analizar la causa raíz del problema en el proceso de inspección.
- Proponer un modelo para capacitación efectiva en el proceso de inspección de tubería.
- Controlar el proceso de inspección a tubería.



MARCO TEÓRICO

2.1 El significado de Seis Sigma

Seis Sigma puede tener dos contextos, entre los cuales tenemos:

- Como Metodología. Es una estrategia de negocios y de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos enfocándose a las variables de importancia crítica para los consumidores.
- Como Métrica. Es una medida de la calidad. Mientras más grande es el valor de sigma de un proceso, producto o servicio, su calidad es mejor. En particular, calidad Seis Sigma significa sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades (Luis Gutiérrez Mota, 2004).

2.2 Historia de Seis Sigma

Sigma (σ) es la letra griega que se usa para denotar la desviación estándar poblacional (proceso), la cual proporciona una forma de cuantificar la variación. El nivel de sigmas que tiene un proceso es una forma de describir qué tan bien la variación del proceso cumple las especificaciones o requerimientos del cliente. En este sentido, la meta ideal es que el proceso tenga un nivel de calidad de Seis Sigma.

Seis Sigma (6σ) es una estrategia de mejora continua del negocio, que tiene diferentes significados para diferentes grupos dentro de una organización (Harry et al., 2010). A nivel empresa es una iniciativa estratégica que busca alcanzar una mejora significativa en el crecimiento del negocio, su capacidad y en la satisfacción de los clientes. En el nivel operacional, Seis Sigma tiene una naturaleza táctica que se enfoca a mejorar métricas de eficiencia operacional, como tiempos de entrega, costos de no calidad y defectos por unidad. Mientras que a nivel proceso Seis Sigma es utilizada para reducir la variabilidad, y con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, así como disminuir los costos directos.

Por lo que Seis Sigma es una iniciativa estratégica y táctica para la gestión del negocio, que tiene la capacidad de enfocar la empresa hacia las necesidades de los clientes y alcanzar su



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

satisfacción. En su nivel más elemental la meta de 6σ , que le da el nombre, es lograr procesos con una calidad Seis Sigma, es decir, que como máximo generen 3.4 defectos por millón de oportunidades de error. Esta meta se pretende alcanzar mediante un programa vigoroso de mejora, diseñado e impulsado por la alta dirección de una organización, en el que se desarrollan proyectos 6σ a lo largo y ancho de la organización con el objetivo de lograr mejoras, así como eliminar defectos y retrasos de productos, procesos y transacciones.

En 1987, Seis Sigma fue introducida por primera vez en Motorola por un equipo de directivos encabezados por Bob Galvin, presidente de la compañía, con el propósito de reducir los defectos de productos electrónicos. Desde ese entonces 6σ ha sido adoptada, enriquecida y generalizada por un gran número de compañías. Además de Motorola, dos organizaciones que contribuyeron a consolidar la estrategia Seis Sigma y sus herramientas son Allied Signal,¹ que inició su programa en 1994, y General Electric (GE),² que inició en 1995. Un factor decisivo de su éxito fue que sus presidentes, Larry Bossidy y Jack Welch, respectivamente, encabezaron de manera entusiasta y firme el programa en sus organizaciones. En Latinoamérica, la empresa Mabe es una de las organizaciones que ha logrado conformar uno de los programas Seis Sigma más exitosos. Los resultados logrados por Motorola, Allied Signal y GE gracias a Seis Sigma se muestran en seguida (vea Hahn et al., 2000 y Harry, 1998):

- Motorola logró aproximadamente 1 000 millones de dólares en ahorros durante tres años, y el premio a la calidad Malcolm Baldrige en 1988.
- Allied Signal ahorró más de 2 000 millones de dólares entre 1994 y 1999.
- GE alcanzó más de 2 570 millones de dólares en ahorros en tres años (1997-1999).

Esto que pasó en estas tres grandes empresas se empezó a generalizar en los siguientes años, de tal forma que las grandes empresas de manufactura han buscado aplicar la estrategia 6σ , con resultados diversos. Se puede decir que, en el siglo XXI, en este tipo de empresas, la estrategia se ha institucionalizado como parte de las buenas prácticas organizacionales, con frecuencia reforzada con otros elementos, como por ejemplo con lo que se conoce como lean manufacturing, de la que hablamos más adelante. Éste es el caso de GE, donde en pleno año 2012 se dice “El entorno competitivo actual no deja lugar para el error. Debemos satisfacer



a nuestros clientes y sin descanso buscar nuevas formas de superar sus expectativas. Ésta es la razón por la que Calidad Seis Sigma se ha convertido en parte de nuestra cultura”; <http://www.ge.com/en/company/companyinfo/quality/whatis.htm> (consultada el 19 de

agosto de 2012). Esto fortalece el hecho de que Seis Sigma ha tenido un alto nivel de popularidad por un largo periodo de tiempo, cosa que no es común. Adicionalmente la estrategia se viene enriqueciendo para aplicarse a procesos de servicios y a empresas pequeñas. Por todo esto en los países latinoamericanos hay una gran brecha por recorrer en cuanto a lograr difundir y aplicar adecuadamente 6σ en organizaciones de todo tipo, para aspirar que la gestión se haga con base en los principios de 6σ

2.3 La estrategia y método de Seis Sigma

Esta estrategia gerencial y métodos de mejora incorporan el concepto del desempeño libre de errores. Este concepto se aplica tanto a los procesos de la línea base de las operaciones como a los procesos gerenciales, ya que se considera que no hay razones industriales para tener diferentes estándares de satisfacción en este sentido.

Fundamentalmente se basan en un concepto que va alternando el análisis abstracto y la experiencia de la organización, con los datos del desempeño demostrable. Para el análisis se incorporan métodos, herramientas y técnicas de análisis crítico y mejora de los procesos y para los datos se incorporan métodos estadísticos intermedios y avanzados.

El concepto Seis Sigma tiene normalmente tres ámbitos. El primero es el de las estrategias y procesos gerenciales, donde los aspectos más característicos son el diseño o la validación de las métricas con las cuales se da cuenta y mide el desempeño del negocio. Para este proceso, se utilizan técnicas estadísticas que van más allá de las meramente descriptivas que se basan en planillas y promedios, utilizándose por ejemplo técnicas de análisis de capacidad de los procesos, entre otras. También considera la elaboración de la línea base del negocio con la cual se da cuenta del desempeño estadístico demostrable en él o los últimos años, lo que servirá de referencia para el mejoramiento.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

Finalmente, este ámbito considera la creación de condiciones organizacionales y la ejecución de un proceso de análisis con el cual se obtiene una cartera de oportunidades de mejora con las estimaciones a nivel de perfil de los impactos operacionales y contables. Esta constituirá permanentemente la fuente de los procesos de mejora que se describen en el siguiente ámbito.

El segundo ámbito lo constituye el desarrollo de competencias y la ejecución de los proyectos de mejora con los cuales se materializan las oportunidades y se logra el impacto en la línea base del negocio. Se considera también la estandarización y réplicas de las mejoras logradas hacia otros procesos de la empresa.

Esta estrategia de mejora se conoce como DMAMC o por sus siglas en inglés DMAIC (Definition-Measurement-Analysis-Improvement-Control) y tiene las siguientes fases:

- a) Definición-Medición, donde se establecen los objetivos, las métricas con las cuales se medirá la evolución, la línea base, las brechas, impedimentos y barreras estructurales para el proceso de cambio. Se analiza en detalle el desempeño pasado y se obtienen las relaciones de causa y efecto entre todas las variables claves involucradas.
- b) Análisis, se establecen las relaciones y niveles de causalidad entre los procesos y los resultados, se identifican los aspectos críticos a partir de los cuales se puede modificar la situación actual utilizando bases y métodos estadísticos intermedios. Se estudian los modos de falla y los efectos de la variabilidad Se establecen los efectos principales e interacciones derivadas del análisis pasivo y los compromisos tanto operacionales como financieros.
- c) Mejoramiento, se intervienen activamente los procesos mediante pruebas y experimentación estadística. Se definen las estrategias para lograr los cambios en el desempeño, la socialización, la aceptación y las definiciones claves para los planes de puesta en marcha o el mejoramiento del diseño de control.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

- d) Control, Se definen los métodos y mediciones para implementar y sustentar la mejora en el tiempo. Se realiza el desarrollo de competencias al personal de operación y el monitoreo de las variables en el tiempo.

La ejecución de estos proyectos se realiza con personal que recibe un entrenamiento avanzado en técnicas y tratamiento estadístico, análisis de procesos, técnicas de trabajo en equipo y herramientas de calidad.

El tercer ámbito lo constituye la definición y utilización de Seis Sigma como métricas con las cuales se mide y compara el desempeño de todos los procesos claves para el negocio. Los procesos se miden en un lenguaje común de niveles sigma o de defectos por millón de oportunidades, lo que le proporciona al nivel directivo o gerencial un lenguaje con el cual conocer la evolución y efectividad del proceso de mejora.

Como estrategia gerencial, Seis Sigma se desarrolla en ocho etapas en las cuales participan los diferentes niveles de la organización. A las cuatro ya mencionadas se agregan dos etapas iniciales de identificación y definición de carteras de proyectos y otras dos etapas posteriores que se refiere a la estandarización e integración a nivel empresa de las mejoras logradas en los proyectos individuales.

Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)

El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa¹ es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas

2.4 Sistema de inspección para el control de calidad

Los Sistemas de Inspección sirven para examinar y medir las características de un producto, así como los componentes y materiales de que está elaborado, o de un servicio o proceso determinado, todo ello utilizando instrumentos de medición, patrones de comparación o



equipos de pruebas y ensayos, todo con el fin de verificar si cumple o no con los requisitos especificados. Por tanto, sirven para confirmar que el sistema de calidad funciona según lo previsto.

Inspección por muestreo:

Los sistemas de inspección por muestreo, también conocidos como muestreo de aceptación o muestreo de lotes, es un procedimiento en el que se verifica una o más muestras del lote para determinar su calidad. El muestreo es usado para reducir la necesidad de inspeccionar cada artículo o producto, y reducir así el tiempo y gastos de inspección. La inspección por muestreo tiene cierto número de ventajas sobre la inspección 100 %. La fatiga de los inspectores originada por operaciones repetitivas puede ser un obstáculo serio para una buena inspección 100 %, es más económica y requiere de menor tiempo para su realización.

Algunos de los factores por considerar en la inspección por muestreo serán el nivel de confianza en los proveedores, el costo en que se incurre al aceptar productos defectuosos, y el riesgo del muestreo, que siempre existirá por la naturaleza estadística del proceso.

En general, existen dos tipos de errores con probabilidad de ocurrir, el primero es llamado error tipo I, y ocurre cuando rechazamos un lote que cumple con las especificaciones de calidad y el segundo es llamado error tipo II, y ocurre cuando aceptamos un lote que no cumple con las especificaciones de calidad.

Dentro de la inspección por muestreo de la calidad, se distinguen principalmente dos tipos de inspección para controlar los procesos productivos. Estos procesos son los llamados “Inspección por Atributos” e “Inspección por Variables”.

Inspección por atributo:

La inspección por atributos se puede considerar aquel tipo de inspección de muestras aleatorias de unidades en el que cada artículo o producto es clasificado de acuerdo con ciertos atributos como aceptable o defectuosa, es decir, consiste en averiguar si el material en consideración cumple o no cumple con lo especificado, sin interesar la medida de la característica.



Para la inspección por atributos el tamaño de las muestras y el intervalo entre las mismas debe ser tal que se inspeccione aproximadamente un 5 % de la producción. En procesos muy masivos que no presentan dificultades frecuentes o el porcentaje de producción defectuosa no es grave, este porcentaje se puede reducir a menos de un 5 % donde se recomienda que debe existir como mínimo 25 defectuosos en cada muestra para lograr establecer un comportamiento adecuado del proceso.

Inspección por variables:

La inspección por variables es un tipo de inspección que consiste en medir y registrar una unidad de medida en la que una característica específica de calidad es medida con una escala continua para revisar su variación.

Los métodos estadísticos aplicables a la inspección por variables se basan sobre el supuesto de una distribución normal y no sobre una distribución de proporciones como sucede con la inspección por atributos. Para los métodos aplicables, y con las mediciones obtenidas, se calculará un estadístico, que generalmente estará en función de la media y la desviación estándar muestral, y dependiendo del valor de este estadístico al compararlo con un valor permisible, se aceptará o rechazará todo el lote.

Las ventajas que tiene este método con respecto al método de inspección por atributos serían que se puede obtener la curva característica de operación con un tamaño muestral menor que lo requerido por un plan de muestreo por atributos, además, cuando se utilizan pruebas destructivas, el muestreo por variables es particularmente útil para reducir los costos de inspección. Por otra parte, los datos de mediciones proporcionan normalmente más información sobre el lote que los datos de atributos.

Por el contrario, se debe de conocer la distribución de la característica de calidad, se debe de usar un plan para cada característica de calidad que hay que inspeccionar y es posible que el uso de un plan de muestreo por variable lleve al rechazo de un lote, aunque la muestra que se inspecciona realmente no tenga ningún artículo defectuoso.



En el caso de la inspección del proceso por variables, los tamaños muestrales más empleados son entre 1 y 25 unidades. Las muestras de dos o tres unidades son poco empleadas, por su baja sensibilidad, y se usan sólo cuando el costo de las mediciones es muy alto. Por tanto, cuando se desee una mayor sensibilidad en el gráfico, los tamaños de muestras deberán ser mayores.

Tipos de errores cometidos

Los tipos de errores que pueden cometerse durante una inspección de calidad de un proceso son:

- Error tipo I: es el error que se comete cuando se rechaza un producto siendo este correcto, cumpliendo con todos los parámetros que hemos definido como de buena calidad.
- Error tipo II: se trata del error que se comete cuando se da como buena una muestra que en realidad no se encuentra dentro de los parámetros que hemos definido como válidos, y dicha muestra es admitida cuando aún tiene efectos no deseados.

Así pues, estos errores generan errores en la clasificación de los productos derivados del proceso, y conllevan consecuencias no deseables en el control de calidad de una empresa.

Métricas Seis Sigma

Calidad Seis Sigma o los procesos Seis Sigma se refieren a un concepto que plantea una aspiración o meta común en calidad para todos los procesos de una organización. El término se acuñó en el decenio de 1980-1989, y le dio su nombre al programa de mejora Seis Sigma. Por medio de los conceptos vistos antes es fácil analizar y entender el nivel de calidad en términos del número de sigmas.

El nivel sigma es un indicador de variación el cual corresponde a cuantas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso.



Métrica Seis Sigma para atributos (DPMO)

El índice Z se emplea como métrica en Seis Sigma cuando la característica de calidad es de tipo continuo; sin embargo, muchas características de calidad son de atributos. En este caso se utilizará como métrica a los Defectos por millón de oportunidades de error (DPMO). Métrica Seis Sigma para procesos y atributos que cuantifica los defectos esperados en un millón de oportunidades de error.

Estudio largo de repetibilidad y reproducibilidad

La repetibilidad de un instrumento de medición se refiere a la precisión o variabilidad de sus mediciones cuando se obtienen varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares (mismo operador); mientras que la reproducibilidad es la precisión o variabilidad de las mediciones del mismo objeto, pero en condiciones variables (diferentes operadores).

En los estudios R&R se evalúa de modo experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.

Micrómetro.

Un micrómetro, también llamado Tornillo de Palmer, es un instrumento de medición cuyo funcionamiento está basado en el tornillo micrométrico y que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión, del orden de centésimas de milímetros (0,01 mm) y de milésimas de milímetros (0,001mm). La función de micrómetro en el proceso de inspección es para la medición de espesores de pared de la tubería. Los resultados obtenidos del estudio del instrumento se muestran a continuación.



Figura 2. Micrómetro



Cinta PI

Cinta métrica de acero flexible y retráctil de tamaño de bolsillo, con medidas de diámetro (OD medición) y medidas enteras estándar. La principal función es la medición de diámetros de la tubería.



Figura 3. Cinta PI

Flexómetro.

El flexómetro es un instrumento que sirve para medir longitudes en superficies rectas o curvas. Fue inventado en 1868 por Alvin Fellows. Al patentarlo, lo describió como una cinta métrica fabricada en metal, auto-enrollable, compactada al interior de una carcasa portátil. Descubre todo lo que necesitas saber para sacarle el máximo provecho a tu flexómetro y tomar medidas como un profesional. Su función principal en el proceso es la medición de los extremos M7-M3 Y M1-M5 para la obtención del porcentaje de ovalidad de la tubería.



Figura 4. Flexómetro.

2.5 Norma ISO 9001:2015

La ISO 9001 es una norma ISO internacional elaborada por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) que se aplica a los Sistemas de Gestión de Calidad de organizaciones públicas y privadas, independientemente de su tamaño o actividad empresarial. Se trata de un método de trabajo excelente para la mejora de la calidad de los productos y servicios, así como de la satisfacción del cliente.



El sistema de gestión de calidad se basa en la norma ISO 9001, las empresas se interesan por obtener esta certificación para garantizar a sus clientes la mejora de sus productos o servicios y estos a su vez prefieren empresas comprometidas con la calidad. Por lo tanto, las normas como la ISO 9001 se convierten en una ventaja competitiva para las organizaciones.

El 23 de septiembre de 2015, se publicó la nueva versión ISO 9001:2015. La revisión de la norma surgió por la necesidad de adaptar la norma a los tiempos actuales en los que se ven envueltas las organizaciones.

Es por esto, que los responsables o coordinadores de la calidad deberán hacer frente a:

Estructura de la norma 9001:2015

Tras la publicación en 2012 del Anexo SL, todas las normas ISO que estén siendo elaboradas o sometidas a revisión tendrán la misma estructura. Con esta “Estructura de Alto Nivel” la integración entre los diferentes Sistemas de Gestión ISO se verá favorecida, logrando que los tiempos y recursos invertidos en su gestión se reduzcan a niveles considerables.

La estructura de la nueva ISO 9001:2015 incluye dos nuevos requisitos:

1. Alcance
2. Referencias Normativas
3. Términos y Definiciones
4. Contexto de la Organización
5. Liderazgo
6. Planificación
7. Soporte
8. Operación
9. Evaluación del Desempeño
10. Mejora

Además, con esta nueva estructura, algunos requisitos se han visto modificados, eliminados o se han añadido como nuevos. Por ejemplo, la gestión de documentos y registros, que hasta el momento se localizaban en el apartado 4.2 pasa a ser el 7.5 y además adquiere el nuevo término de información documentada. A nivel estructural, otro cambio se observa en el capítulo 7.4 de la actual ISO 9001:2008 “Suministro” pasa a formar parte del nuevo 8.6 “Liberación de productos y servicios”. La cláusula 7.4 “Compras” modifica su nomenclatura



y posición, convirtiéndose en el 8.4 “Control de los productos y servicios suministrados externamente”.

ESTADO DE ARTE

Desde que en 1987 Galvin puso en marcha el programa de calidad llamado “El Programa de Calidad Six Sigma”, mucho se ha escrito sobre qué es Six Sigma, en que se basa su metodología, sus herramientas y sus aplicaciones. Debido a su nacimiento dentro del seno de la manufacturación, este es el sector que más se ha exprimido dentro de todas las publicaciones existentes, seguido por el de servicios, con apenas menciones al sector de la construcción. Aunque si nos regimos por los temas hacia los cuales las publicaciones iban orientadas, el mayor peso recae sobre sus herramientas y técnicas, seguido muy de lejos por el enfoque en sus fases (DMAIC), volviendo a existir pocas referencias en cuanto hablamos de su implementación.

- Siguiendo el estudio de Mohamed Gamal, (Gamal Aboelmaged, 2010), podemos ver en la gráfica XXX como se distribuyen a través de los años los distintos artículos técnicos que se han publicado desde que apareciese el concepto de Six Sigma por primera vez en una revista cualificada.
- Así pues, el primer artículo con el que nos encontramos aparece en la revista *Managing Service Quality*, como no, por título “Six Sigma” (Delsanter, 1992) corresponde a una pequeña explicación del enfoque que se le dio a la filosofía Six Sigma desde Motorola y General Electric principalmente.
- Al año siguiente fue el ingeniero de Motorola, Bill Smith, uno de los precursores de Six Sigma como ya se ha explicado, quien publicó sus experiencias en un caso de aplicación práctica desarrollado en la propia empresa, (Smith, 1993).
- Después de un año sin ninguna aparición en las revistas científicas, aparece “Customer satisfaction measurement and analysis using Six Sigma” (Behara, 1995), que se centra por primera vez, en la consecución primordial de la obtención de la satisfacción del cliente, expresando el afán del principal objetivo de Six Sigma como único y verdadero fin de la filosofía de trabajo.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

- Es a partir del año 2000 cuando se multiplican los artículos, llegándose a contabilizar 22 en este año, cifra que se incrementará rápidamente hasta los 83 en el año 2006. De todos ellos podemos destacar por su originalidad el de “Six Sigma on continuous processes: how and why it” (Hild, Sanders, & Cooper, 2000) que justifica el uso de Six Sigma en la mejora de procesos, también por lo novedoso destaca “Six Sigma analysis with human creativity” (Biedry, 2001) que relaciona la capacidad creativa del hombre con el uso de Six Sigma.
- Otro artículo importante a destacar es el de “Developing an SME based six sigma strategy” (Thomas & Barton, 2006), que desarrolla aplicación de Six Sigma en pequeñas y medianas empresas, demostrando, que esta no es únicamente una filosofía para multinacionales o grandes empresas.
- Además, como resulta obvio, también se han publicado multitud de libros que han logrado acercar Six Sigma al gran público y que desarrollan con mayor o menor éxito su filosofía y su entendimiento, entre ellos, destaca claramente “Las claves de Six Sigma” (Pande, 2002), que se ha traducido a multitud de idiomas y convertido en un superventas del género.

Por último, hay que destacar la publicación de conferencias, trabajos finales de grado o tesis de máster, que han ayudado a la expansión de Six Sigma en el mundo de la investigación, desarrollo e innovación.

METODOLOGÍA

4.1 Etapa 1: Descripción del proceso de inspección de tubería e identificación del problema

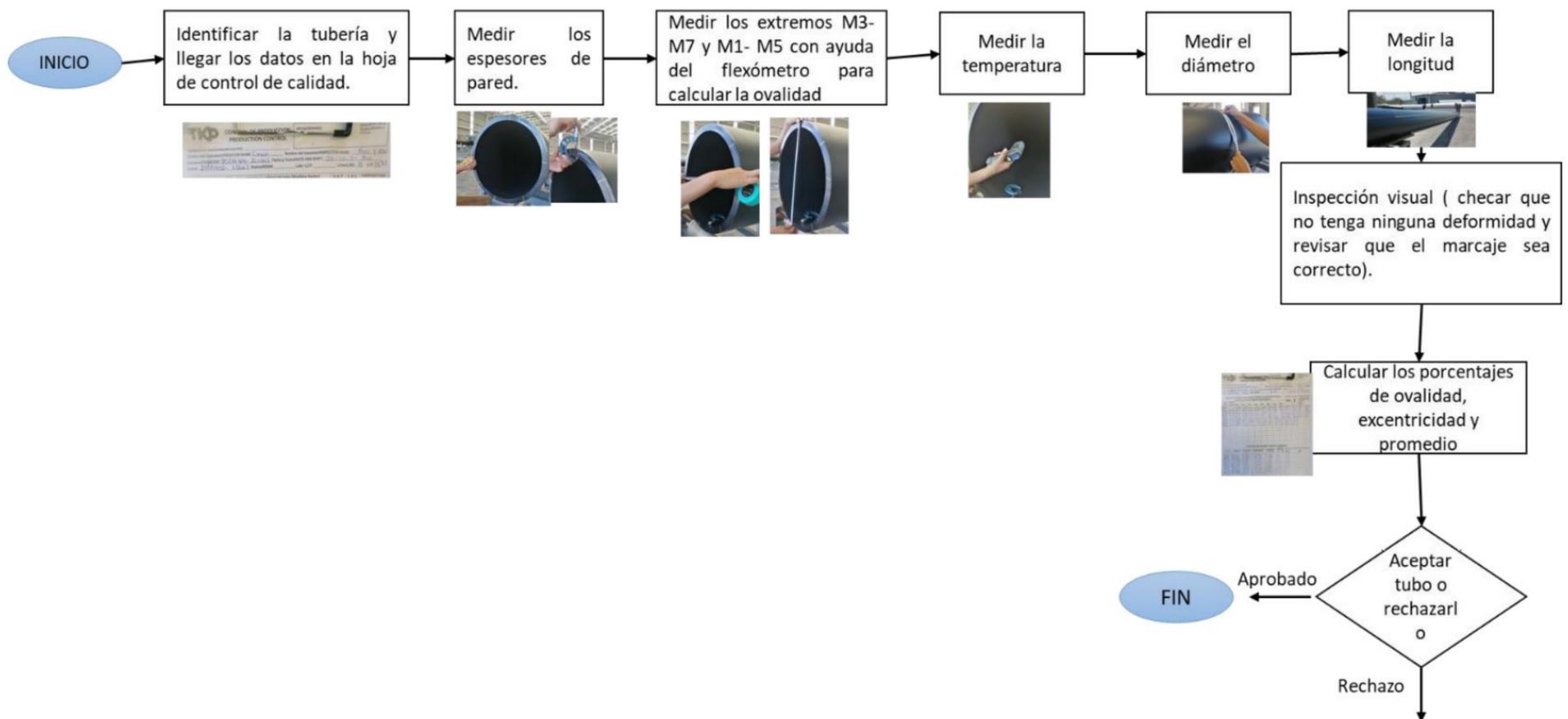


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de inspección de tubería.

Fuente: Elaboración propia.

El proceso de inspección consiste en verificar todas las unidades de los lotes, se mide espesor de pared, temperatura, diámetro, longitud y ovalidad de la tubería. Sin embargo, el problema ocurre cuando en alguna parte del proceso de inspección un operador no realiza alguna medición de manera correcta debido a que si no cumple con las especificaciones necesarias pasa a ser un producto no conforme. Por otra parte, un producto no conforme implica una pérdida económica por reprocesamiento.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

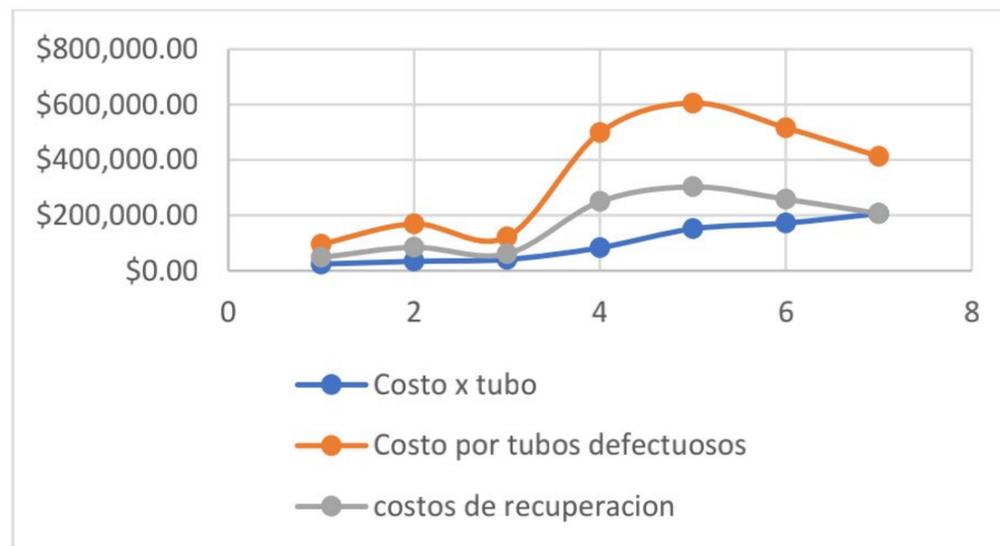
En este sentido en la tabla 1 se muestra la cantidad de tubería defectuosa en el periodo de estudio, así como el costo por consumo de resina.

Tabla 1. Costos de tubería defectuosa (bimestre octubre-noviembre).

Tubería	Tubería defectuosa	Cantidad de resina(Kg)	Costo x tubo	Costo por tubos defectuosos	Costos de recuperación
10"	4	343.08	\$24,015.60	\$96,062.40	\$48,031.20
12"	5	482.76	\$33,793.20	\$168,966.00	\$84,483.00
14"	3	581.88	\$40,731.60	\$122,194.80	\$61,097.40
20"	6	1188.00	\$83,160.00	\$498,960.00	\$249,480.00
30"	4	2161.44	\$151,300.80	\$605,203.20	\$302,601.60
36"	3	2458.20	\$172,074.00	\$516,222.00	\$258,111.00
42"	2	2948.28	\$206,379.60	\$412,759.20	\$206,379.60
total	27	10163.64	\$711,454.80	\$2,420,367.60	\$1,210,183.80

Fuente: Elaboración propia.

Cuando los tubos *salen* con defectos la empresa pierde en la materia prima virgen, derivado de ese problema se busca la forma de reducir las mermas a través de la trituración y reprocesamiento de la materia prima. Lo cual con se puede obtener un porcentaje de recuperación de hasta el 50 % de los costos de la tubería defectuosa como se muestra en la gráfica 1.



Grafica 1. Costos de tubería.



4.2 Etapa 2: Medición del nivel sigma de la empresa

La empresa fluidos industriales mexicanos opera 7 líneas de producción de tubería, se realiza una inspección bimestral para identificar la cantidad de tubos defectuosos en ese periodo. En la tabla 2 se observan los resultados de una muestra de 2500 tubos.

Tabla 2. Defectos de la Tubería.

CTQ`s	Oportunidades	Defectos
Excéntrico	1	38
Ovalidad alta	1	26
Poros	1	19
Anillado	1	15
Deformaciones	1	9
Diámetro alto	1	23
Total	6	130

Fuente: Elaboración propia.

Se determina el nivel sigma con la siguiente fórmula.

$$DPMO = \frac{\text{Defectos} * 1,000,000}{\text{Unidades} * \text{Oportunidades}} = \frac{130 * 1,000,000}{2,500 * 6} = \frac{130,000,000}{15,000} = 8.666.67$$

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Figura 3. Parámetros de Seis sigmas.

Fuente: PDCA Home



Con el resultado y analizando la tabla anterior podemos decir que la empresa se encuentra con un nivel entre 3 y 4 sigma.

4.3 Etapa 3: Análisis de la causa raíz del problema en el proceso de inspección

Después de conocer el nivel de calidad del proceso se elaboró un diagrama de causa/efecto como el que se muestra en la figura de abajo.

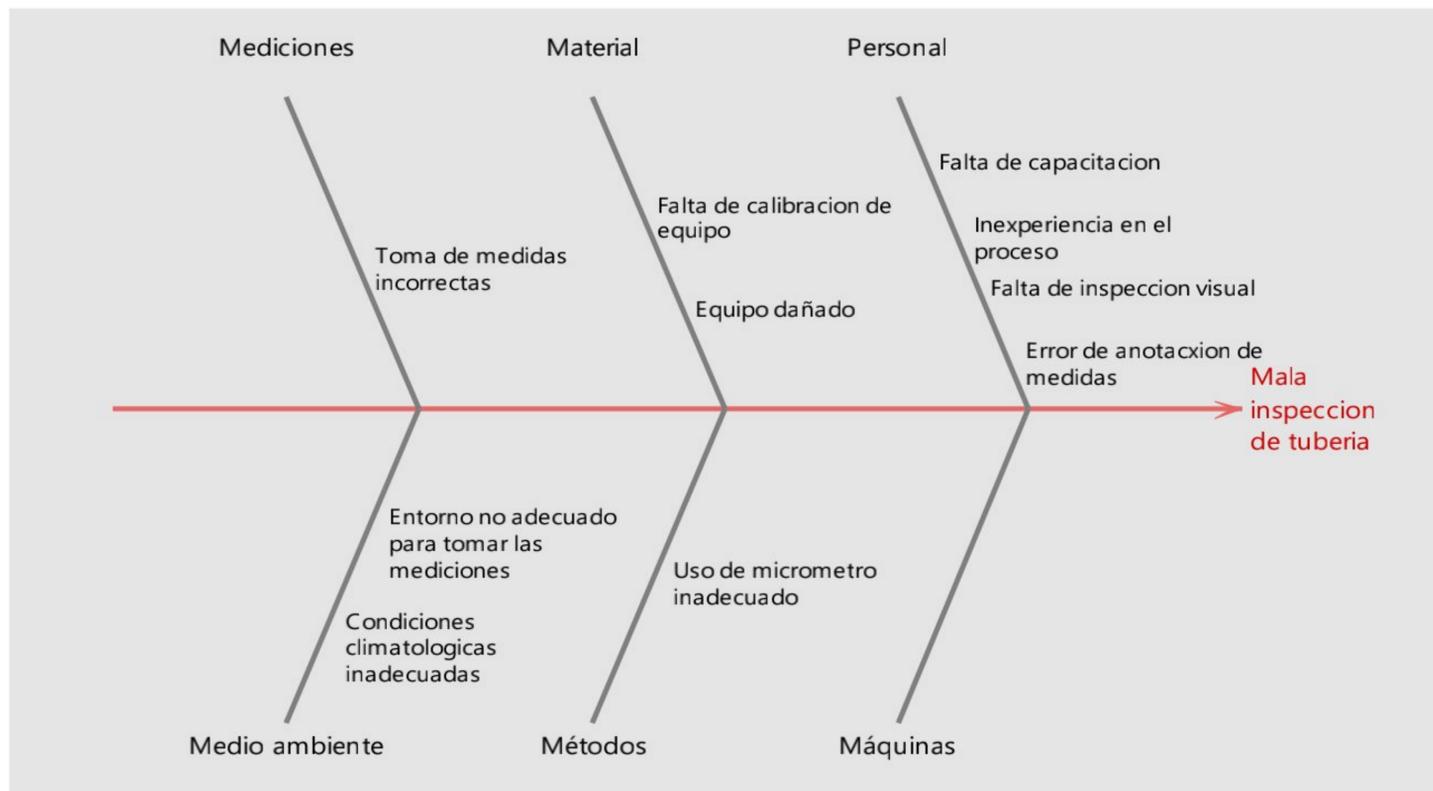


Figura 6. Diagrama Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia.

Mediante este diagrama se logró evaluar los factores que intervienen en el proceso de inspección, identificándose que se debe a la medición incorrecta del personal y en ocasiones a la falta de calibración de los equipos.

Otra forma de analizar la causa raíz de un problema en la inspección es a través de los estudios R&R, estos estudios permiten tener una evaluación del proceso de medición en un periodo corto; el estudio se debe repetir cada cierto tiempo para conocer el estado del proceso de medición.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

La empresa *Fimex* realizó un estudio de repetibilidad y reproducibilidad en el participaron tres inspectores, cada uno de ellos con dos ensayos usando micrómetro, cinta pi y flexómetro; el cual se presenta a continuación.

Tabla 3. Estudio R&R del Micrómetro.

ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO									
(METODO LARGO)									
Personal responsable							Fecha: 25-OCTUBRE-2021		
							Estudio: _____		
							Departamento: _____		
							Tipo de gage: _____		
							Núm de gage: _____		
Límite inferior de especificación (EI): 1.325			Límite superior de especificación (ES): 1.460			Tolerancia (ES-EI): 0.135			
Numero de partes	Inspector A			Inspector B			Inspector C		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango
1	1.388	1.387	0.001	1.385	1.38	0.005	1.412	1.41	0.002
2	1.37	1.369	0.001	1.378	1.379	0.001	1.397	1.398	0.001
3	1.402	1.403	0.001	1.395	1.392	0.003	1.418	1.422	0.004
4	1.433	1.43	0.003	1.435	1.433	0.002	1.454	1.453	0.001
5	1.408	1.41	0.002	1.412	1.415	0.003	1.431	1.432	0.001
6	1.345	1.342	0.003	1.365	1.368	0.003	1.385	1.385	0
7	1.34	1.34	0	1.338	1.335	0.003	1.366	1.369	0.003
8	1.367	1.365	0.002	1.36	1.36	0	1.42	1.418	0.002
9	1.372	1.375	0.003	1.388	1.384	0.004	1.376	1.374	0.002
10	1.4	1.4	0	1.38	1.381	0.001	1.385	1.386	0.001
Total	13.825		0.0016	13.836		0.0025	14.044		0.0017
	13.821			13.827			14.047		
Suma	27.646		Suma	27.663		Suma	28.091		
XA	1.382		XB	1.383		XC	1.405		

RA	0.0016
RB	0.0025
RC	0.0017
Suma	0.0058
R	0.0019

Máx X	1.405
Mín. X	1.382
X Dif	0.023

LCS = (R) (D4)
LCS = 0.0063

Ensayos	D4
2	3.27
3	2.57



Repetibilidad (variación del equipo):

$$VE = \bar{R} k_1 = (0.0019)(4.56) = 0.0088$$

$$\sigma_{repeti} = \frac{VE}{5.15} = 0.0017$$

k_1 ensayos y k_2 operadores	2	3
k_1	4.56	3.05
k_2	3.65	2.70
n = número de partes,		
t = número de ensayos		

Reproducibilidad (variación de operador):

$$VO = \sqrt{((\bar{X}_{Dif})(k_2))^2 - \frac{(VE)^2}{nt}} = \sqrt{((0.023)(2.70))^2 - \frac{(0.0088)^2}{(10)(2)}}$$

$$= \sqrt{0.0039 - 0.0000038} = \sqrt{0.00389} = 0.0624$$

$$\sigma_{reprod} = \frac{VO}{5.15} = 0.0121$$

Reproducibilidad y repetibilidad:

$$EM = R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} = \sqrt{(0.0088)^2 + (0.0624)^2}$$

$$= \sqrt{0.000077 + 0.0038} = \sqrt{0.003877} = 0.0622$$

$$\sigma_{R\&R} = \frac{R\&R}{5.15} = 0.01208$$

Análisis en % de tolerancias:

$$\%VE = \frac{100(VE)}{\text{tolerancia}} = \frac{0.88}{0.135} = 6.51 \%$$

$$\%VO = \frac{100(VO)}{\text{tolerancia}} = \frac{6.24}{5.15} = 1.21 \%$$

$$P/T = \% R\&R = \sqrt{(6.51)^2 + (1.21)^2} = \sqrt{42.38 + 1.46} = \sqrt{43.84} = 6.62 \%$$

Criterio de aceptación:

Abajo de 10% → Excelente proceso

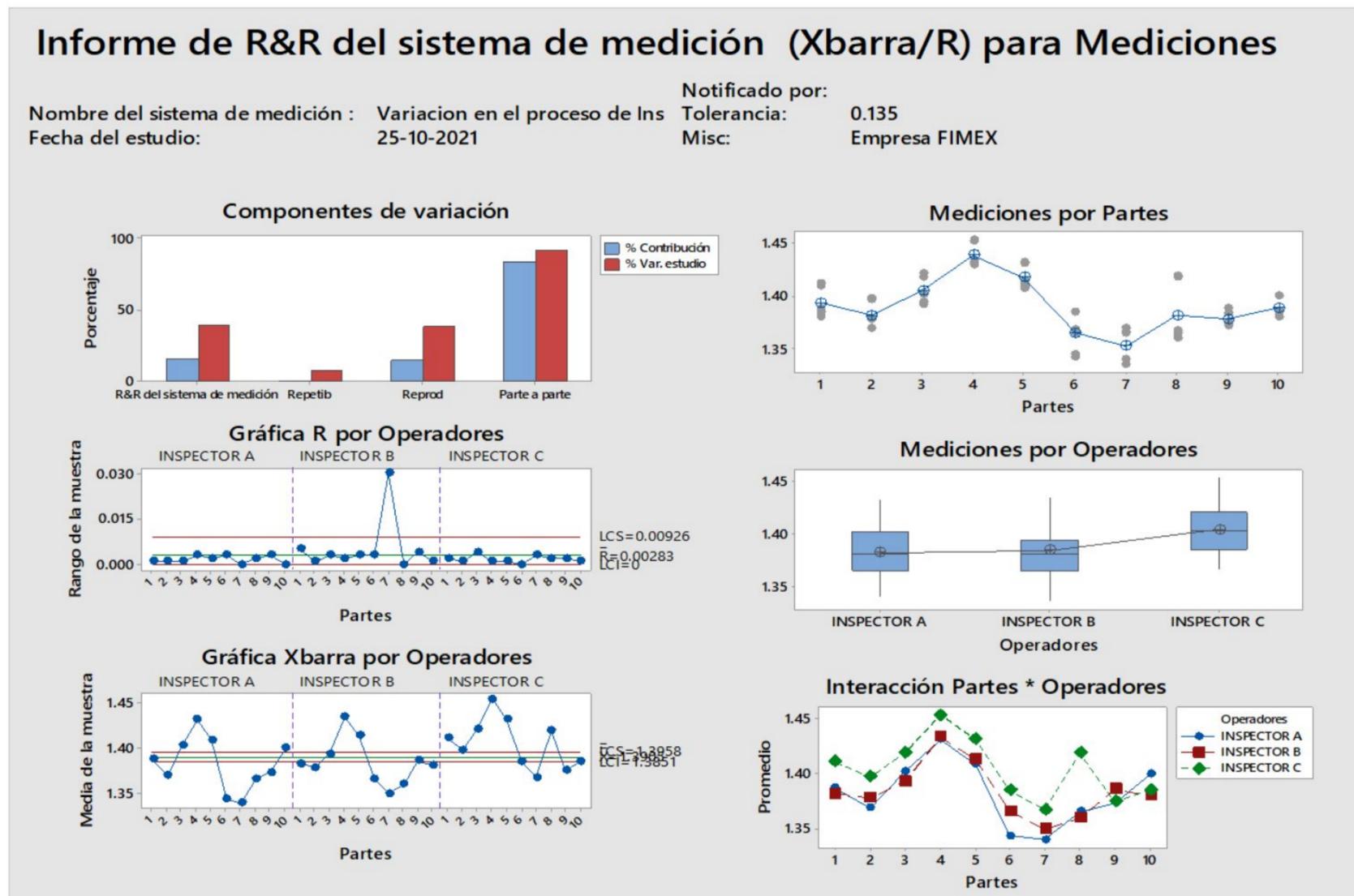
De 10 a 20% → Bueno, aceptable



De 20 a 30% → Marginalmente aceptable

Arriba de 30% → Inaceptable y debe ser corregido

Con los criterios de aceptación y el porcentaje obtenido del estudio podemos decir que el proceso de medición del micrómetro se encuentra en un *excelente proceso*.



Grafica 2. Informe R&R del Micrómetro.

En la figura anterior se observa el análisis gráfico que entrega el Minitab del estudio, de lo que resulta lo siguiente:

- En el gráfico X-barra se observa que parte de los puntos están situados fuera de los límites de control y otra parte dentro de los mismos, lo cual refuerza la idea de que existe variación en el sistema de medición.
- En el diagrama de barras se muestra que prácticamente toda la variación se encuentra en la columna de reproducibilidad.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

- En el gráfico Mediciones por inspector se puede decir que existen diferencias en las mediciones realizadas por los inspectores.

Tabla 4. Estudio R&R de la Cinta Pi.

ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO									
(METODO LARGO)									
Personal responsable _____							Fecha: _____		
							Estudio: _____		
							Departamento: _____		
							Tipo de gage: _____		
							Núm de gage: _____		
Límite inferior de especificación (EI): 14.030			Límite superior de especificación (ES): 14.090			Tolerancia (ES-EI): 0.060			
Numero de partes	Inspector A			Inspector B			Inspector C		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango
1	14.07	14.072	0.002	14.06	14.06	0	14.07	14.075	0.005
2	14.07	14.075	0.005	14.06	14.065	0.005	14.07	14.073	0.003
3	14.07	14.06	0.01	14.06	14.059	0.001	14.07	14.065	0.005
4	14.08	14.085	0.005	14.07	14.065	0.005	14.07	14.07	0
5	14.08	14.082	0.002	14.07	14.077	0.007	14.075	14.074	0.001
6	14.09	14.093	0.003	14.07	14.08	0.01	14.075	14.07	0.005
7	14.04	14.038	0.002	14.05	14.06	0.01	14.05	14.05	0
8	14.04	14.037	0.003	14.05	14.055	0.005	14.05	14.048	0.002
9	14.04	14.04	0	14.05	14.047	0.003	14.05	14.05	0
10	14.04	14.037	0.003	14.05	14.055	0.005	14.05	14.055	0.005
Total	140.62		0.0035	140.59		0.0051	140.63		0.0026
	140.619			140.623			140.63		
Suma	281.239		Suma	281.213		Suma	281.26		
XA	14.062		XB	14.061		XC	14.063		

RA	0.0035
RB	0.0051
RC	0.0026
Suma	0.0112
R	0.0037

Máx X	14.063
Mín. X	14.061
X Dif	0.002

LCS = (R) (D4)
LCS = 0.0122

Ensayos	D4
2	3.27
3	2.57



Repetibilidad (variación del equipo):

$$VE = \bar{R} k_1 = (0.0037)(4.56) = 0.0170$$

$$\sigma_{repeti} = \frac{VE}{5.15} = 0.0033$$

k_1 ensayos y k_2 operadores	2	3
k_1	4.56	3.05
k_2	3.65	2.70
n = número de partes,		
t = número de ensayos		

Reproducibilidad (variación de operador):

$$VO = \sqrt{((\bar{X}_{Dif})(k_2))^2 - \frac{(VE)^2}{nt}} = \sqrt{((0.02)(2.70))^2 - \frac{(0.0170)^2}{(10)(2)}}$$

$$= \sqrt{0.0029 - 0.000014} = \sqrt{0.00288} = 0.053$$

$$\sigma_{reprod} = \frac{VO}{5.15} = 0.0103$$

Reproducibilidad y repetibilidad:

$$EM = R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} = \sqrt{(0.0170)^2 + (0.053)^2}$$

$$= \sqrt{0.00029 + 0.0028} = \sqrt{0.00309} = 0.056$$

$$\sigma_{R\&R} = \frac{R\&R}{5.15} = 0.0109$$

Análisis en % de tolerancias:

$$\%VE = \frac{100(VE)}{\text{tolerancia}} = \frac{1.7}{0.060} = 28.33 \%$$

$$\%VO = \frac{100(VO)}{\text{tolerancia}} = \frac{5.3}{5.15} = 1.029 \%$$

$$P/T = \% R\&R = \sqrt{(28.33)^2 + (1.029)^2} = \sqrt{802.58 + 1.058} = \sqrt{803.64} = 28.34 \%$$



Criterio de aceptación:

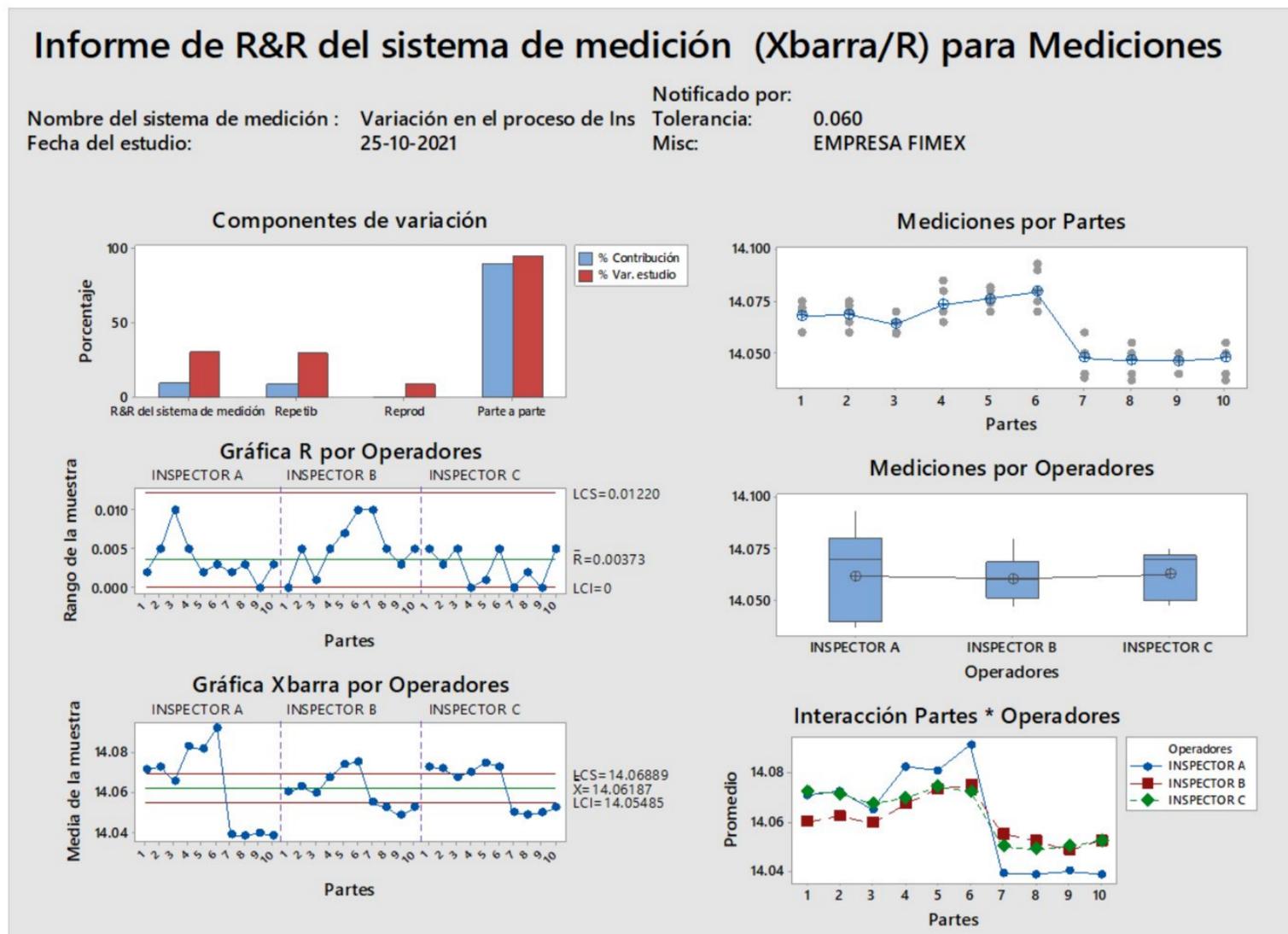
Abajo de 10% → Excelente proceso

De 10 a 20% → Bueno, aceptable

De 20 a 30% → Marginalmente aceptable

Arriba de 30% → Inaceptable y debe ser corregido

El porcentaje de R&R del proceso de medición del instrumento cinta pi es del 28.34 lo cual se encuentra en el criterio *marginalmente aceptable*.



Grafica 3. Informe R&R de la cinta PI.

En los anteriores gráficos podemos observar variación del estudio R&R se muestra por inspectores.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

Tabla 5. Estudio R&R del Flexómetro.

ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO									
(METODO LARGO)									
Personal responsable _____							Fecha: _____		
							Estudio: _____		
							Departamento: _____		
							Tipo de gage: _____		
							Núm de gage: _____		
Límite inferior de especificación (EI): 35			Límite superior de especificación (ES): 37				Tolerancia (ES-EI): 2		
Numero de partes	Inspector A			Inspector B			Inspector C		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango	Ensayo 1	Ensayo 2	Rango
1	36	36.2	0.2	35.9	35.7	0.2	36	35.9	0.1
2	35.8	35.9	0.1	35.4	35.5	0.1	35.6	35.5	0.1
3	36	35.8	0.2	35.9	36	0.1	36	36	0
4	35.7	35.5	0.2	35.4	35.3	0.1	35.6	35.6	0
5	36.1	36.2	0.1	36	36.2	0.2	35.9	36	0.1
6	35.7	35.75	0.05	35.5	35.3	0.2	35.6	35.7	0.1
7	36.1	35.9	0.2	36	35.9	0.1	35.9	36	0.1
8	35.7	35.8	0.1	35.5	35.5	0	35.6	35.5	0.1
9	36	35.9	0.1	36	36	0	36	36.1	0.1
10	35.5	35.4	0.1	35.5	35.7	0.2	35.6	35.5	0.1
Total	358.6		0.135	357.1		0.12	357.8		0.08
	358.35			357.1			357.8		
Suma	716.95		Suma	714.2		Suma	715.6		
XA	35.848		XB	35.710		XC	35.780		

RA	0.135
RB	0.12
RC	0.08
Suma	0.335
R	0.112

Máx X	35.853
Mín. X	35.71
X Dif	0.143

LCS = (R) (D4)
LCS = 0.3652

Ensayos	D4
2	3.27
3	2.57

Repetibilidad (variación del equipo):

$$VE = \bar{R} k_1 = (0.112)(4.56) = 0.509$$

$$\sigma_{repeti} = \frac{VE}{5.15} = 0.099$$

k ₁ ensayos y k ₂ operadores	2	3
k ₁	4.56	3.05
k ₂	3.65	2.70
n = número de partes,		
t = número de ensayos		



Reproducibilidad (variación de operador):

$$VO = \sqrt{((\bar{X}_{Dif})(k_2))^2 - \frac{(VE)^2}{nt}} = \sqrt{((0.143)(2.70))^2 - \frac{(0.509)^2}{(10)(2)}} \\ = \sqrt{0.1490 - 0.013} = \sqrt{0.136} = 0.369$$

$$\sigma_{reprod} = \frac{VO}{5.15} = 0.0717$$

Reproducibilidad y reproducibilidad:

$$EM = R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} = \sqrt{(0.509)^2 + (0.369)^2} \\ = \sqrt{0.259 + 0.136} = \sqrt{0.395} = 0.6284$$

$$\sigma_{R\&R} = \frac{R\&R}{5.15} = 0.122$$

Análisis en % de tolerancias:

$$\%VE = \frac{100(VE)}{tolerancia} = \frac{50.9}{2} = 25.45 \%$$

$$\%VO = \frac{100(VO)}{tolerancia} = \frac{36.9}{5.15} = 7.16 \%$$

$$P/T = \% R\&R = \sqrt{(25.45)^2 + (7.16)^2} = \sqrt{647.70 + 51.26} = \sqrt{698.96} = 26.43 \%$$

Criterio de aceptación:

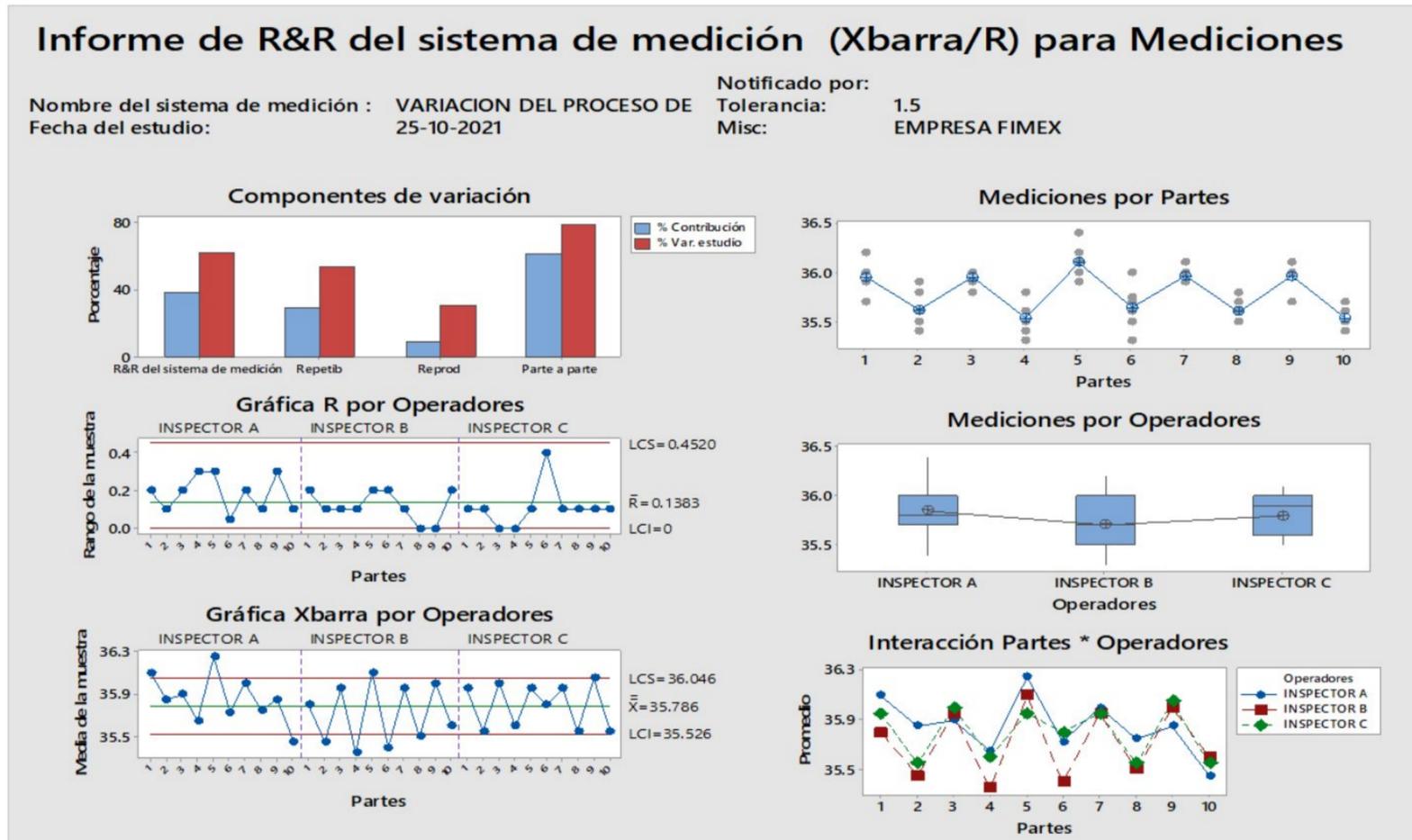
Abajo de 10% → Excelente proceso

De 10 a 20% → Bueno, aceptable

De 20 a 30% → Marginalmente aceptable

Arriba de 30% → Inaceptable y debe ser corregido

Los resultados del estudio R&R del proceso de medición con el instrumento flexómetro es del 26.43 % lo cual se encuentra en el criterio *marginalmente aceptable*.



Grafica 4. Informe R&R del flexómetro.

Como resultado de los tres estudios realizados se identificó que la variabilidad se debe a la medición incorrecta de los inspectores en el uso de la cinta pi y flexómetro.

4.4 Etapa 4: Propuesta de un modelo para capacitación efectiva en el proceso de inspección de tubería

Para mejorar la capacitación de los inspectores se realiza una propuesta de gestión de capacitación de calidad la cual se basa en distintos modelos, complementado con elementos y necesidades propias de la organización.

Esta propuesta ha sido diseñada pensando en que la organización pueda implementar efectivamente un modelo de gestión de capacitación a través de la Subgerencia de Recursos Humanos, y, por lo tanto, contempla una fuerte orientación práctica que busca constituirse en una guía para su aplicación.

A continuación, se presenta la propuesta de intervención para la gestión de capacitación en cuatro fases:

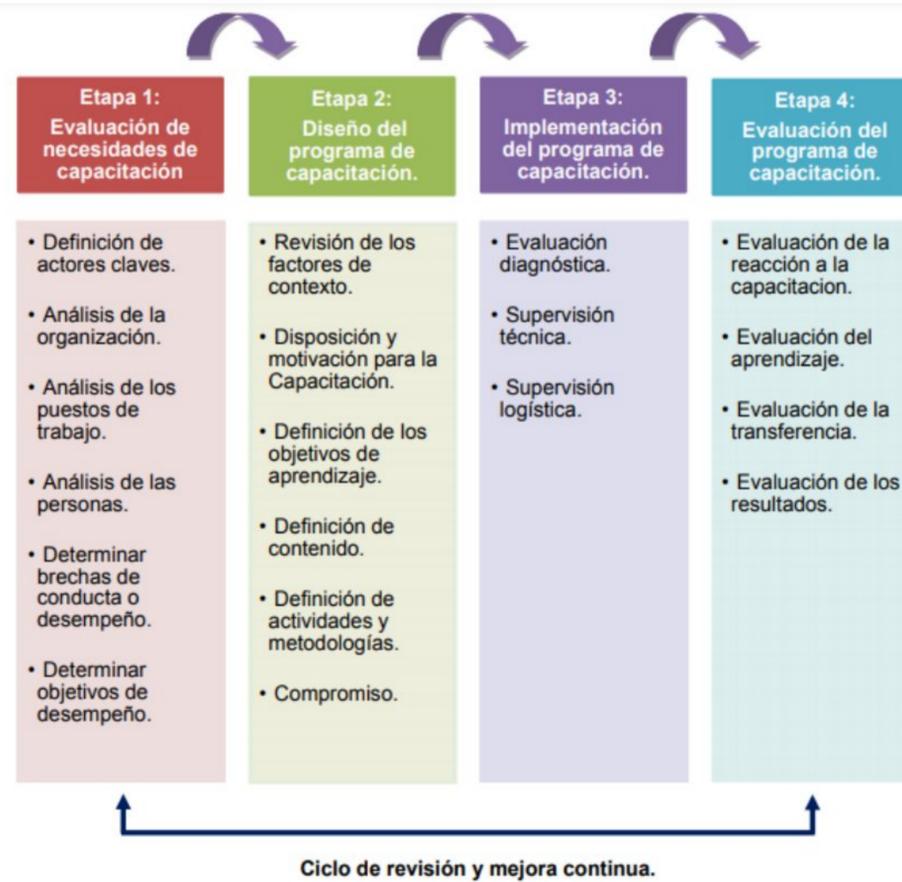


Figura 7 Gestión de capacitación.

Fuente: Arturo Evencio

Etapa 1 Evaluación de las necesidades de capacitación.

En esta etapa se evalúa las necesidades para capacitar a los inspectores o cual son las siguientes:

- Aumento de la eficiencia individual del personal.
- Aumento de las habilidades de las personas
- Reducción del ciclo de la producción.
- Reducción del índice de errores
- Reducción de costos de operación.
- Mejora del ambiente de trabajo
- Promover la autoestima.



Etapas 2. Diseño del programa de capacitación.

Se determina el plan de capacitación del personal, tomando en cuenta la política de calidad de la empresa, estrategias, metodología e inversión. Se elaboran los programas específicos de capacitación de acuerdo con los temas que resultaron del diagnóstico de necesidades.

Las actividades de capacitación pueden ser internas o externas. Cuando las capacitaciones sean internas, los eventos se programarán con el siguiente contenido mínimo:

- Título de cada evento
- Alcance (a quien se va a capacitar)
- Objetivos
- Temas a tratar
- Tiempos
- Metodología
- Materiales y medios
- Evaluación del aprovechamiento
- Fijación de lugar, fecha y hora del evento
- Designación del o de los coordinadores
- Evaluación del evento

Etapas 3. Implementación del programa de capacitación.

Para la implementación el coordinador prepara una propuesta del programa para el desarrollo del evento y lo envía a dirección ejecutiva para su aprobación, al momento de ser autorizada y conforme a la fecha de implementación se enviará una invitación junto con el programa solo al personal definido con anterioridad, dicha invitación se hará con tres semanas como mínimo de anticipación a su implementación.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

La ejecución de las actividades de capacitación puede darse en distintas modalidades, dependiendo de la programación establecida por el coordinador las cuales pueden ser:

- Cursos.
- Talleres.
- Diplomados.
- Seminarios.
- Reuniones de actualización.
- Formación en campo.

Etapa 4. Evaluación del programa

Para evaluar el programa de capacitación a final a los inspectores se les puede aplicar un examen para evaluar los conocimientos adquiridos durante la capacitación.

4.5 Etapa 5: Control del proceso de inspección a tubería

Para llevar un control de la calibración de equipos se realizó una *hoja de control* que se muestra a continuación.

Tabla 6 Control de calibración de equipos.

<i>ID</i>	<i>Descripción</i>	<i>Número de serie</i>	<i>Alcance</i>	<i>Fecha de calibración</i>	<i>Fecha de vencimiento</i>
MDA 1	Micrómetro 0"-1" Mitotuyo	103-136	0"-1"	26-05-2021	26-01-2022
MDA 15	Micrómetro 1"-2" Mitotuyo	193-101	1"-2"	25-04-2021	25-04-2022
MDA 22	Micrómetro 2"-3" Mitotuyo	103-135	2"-3"	21-06-2021	21-06-2022

Fuente: Elaboración propia.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

También se diseñó una hoja de verificación para controlar la salida de equipos, de esta manera se sabe en qué condiciones se encuentra el equipo entre turno y turno.

Tabla 7 Hoja de verificación de entrega de equipo de trabajo.

<i>Entrega de equipo</i>					
NOMBRE DE QUIEN ENTREGA:					
NOMBRE DE QUIEN RECIBE:					
FECHA:				HORA	
EQUIPO	ESTADO		CALIBRADO		OBSERVACIONES
	BUENO	MALO	SI	NO	
MICREOMETRO 0"-1"					
MICREOMETRO 1"-2"					
MICREOMETRO 2"-3"					
MICREOMETRO 3"-4"					
CINTA PI					
TERMOMETRO					
CINTA DE LONGITUD					
ULTROSONIDO					

Fuente: Elaboración propia.



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La empresa fluidos industriales mexicanos opera 7 líneas de producción de tubería, se realiza una inspección bimestral para identificar la cantidad de tubos defectuosos en ese periodo; en la tabla se observan los resultados de una muestra de 2500 tubos.

Tabla 8 Defectos de Tubería

<i>CTQ`s</i>	<i>Oportunidades</i>	<i>Defectos/Evaluación inicial</i>	<i>Defectos/Evaluación final</i>
Excéntrico	1	38	24
Ovalidad alta	1	26	18
Poros	1	19	11
Anillado	1	15	9
Deformaciones	1	9	3
Diámetro alto	1	23	15
Total	6	130	80

Fuente: Elaboración propia.

Con el resultado de la evaluación final podemos decir que la empresa se encuentra actualmente en el nivel 4 sigma. Por lo cual podemos decir que la empresa tuvo un resultado favorable.

<i>Evaluación inicial DPMO</i>	<i>Evaluación Final DPMO</i>
$DPMO = \frac{Defectos * 1,000,000}{Unidades * Oportunidades}$	
$= \frac{130 * 1,000,000}{2,500 * 6}$ $= 8.666.67$	$= \frac{80 * 1,000,000}{2,500 * 6}$ $= 5,333.33$
3~4 sigma	4 sigma



CONCLUSIONES.

En el desarrollo de este trabajo se logró implementar de manera exitosa cada una de las etapas de la metodología Seis Sigma, cabe destacar que el éxito en la implementación de Seis Sigma depende no sólo de la difusión de conocimientos en métodos estadísticos sino del compromiso y la disposición de los dueños o gerentes encargados de liderar este cambio de cultura dentro de toda la organización.

Inicialmente se plantearon dos hipótesis: Hipótesis nula H_0 e hipótesis alternativa H_1 con el objetivo de comprobar si a través de la implementación de la metodología citada era posible elevar el nivel sigma en el proceso de inspección de tubería; en efecto se obtuvo un resultado favorable al pasar de un nivel 3 a un nivel 4 sigma. Uno de los elementos más importantes fue diseñado en la etapa de “Mejora” los cuales permitieron elevar el nivel sigma, en relación con este tema se diseñó una hoja de control de calibración, una hoja de salida de equipos para mediciones y la estrategia de capacitación de inspectores.

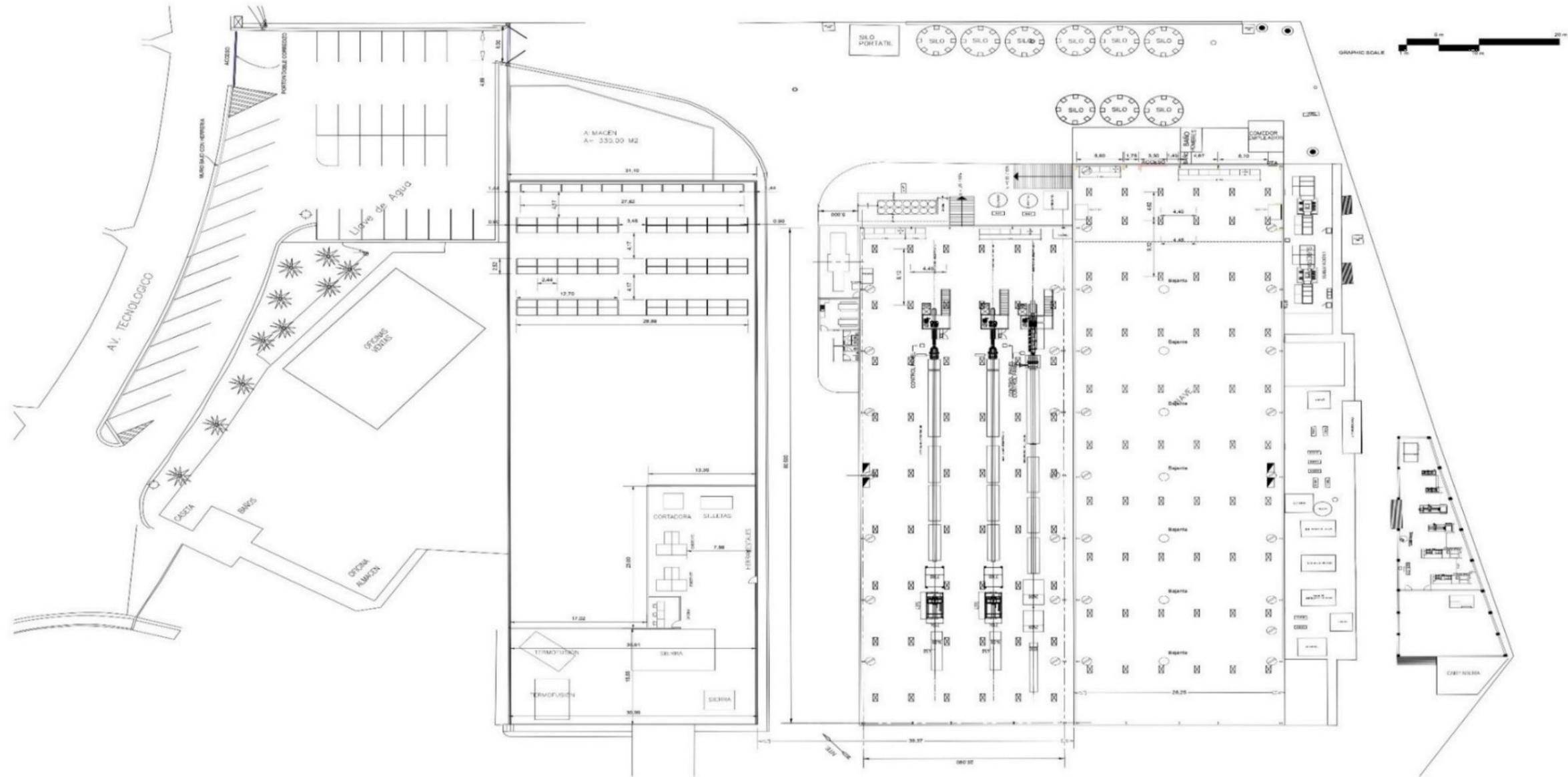
Con respecto a la materia prima, la empresa buscó una estrategia mediante la cual se recupera hasta un 50% de las mermas.

Tanto los recursos materiales como los recursos humanos permiten la motivación y propiciación de este cambio en cada uno de los empleados en todos los niveles, de adoptar una nueva metodología de mejora de la calidad y se pueda generar competitividad para la empresa al ofrecer productos y servicios que cumplan con los requisitos de calidad exigidos por los clientes.

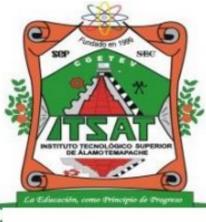


INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

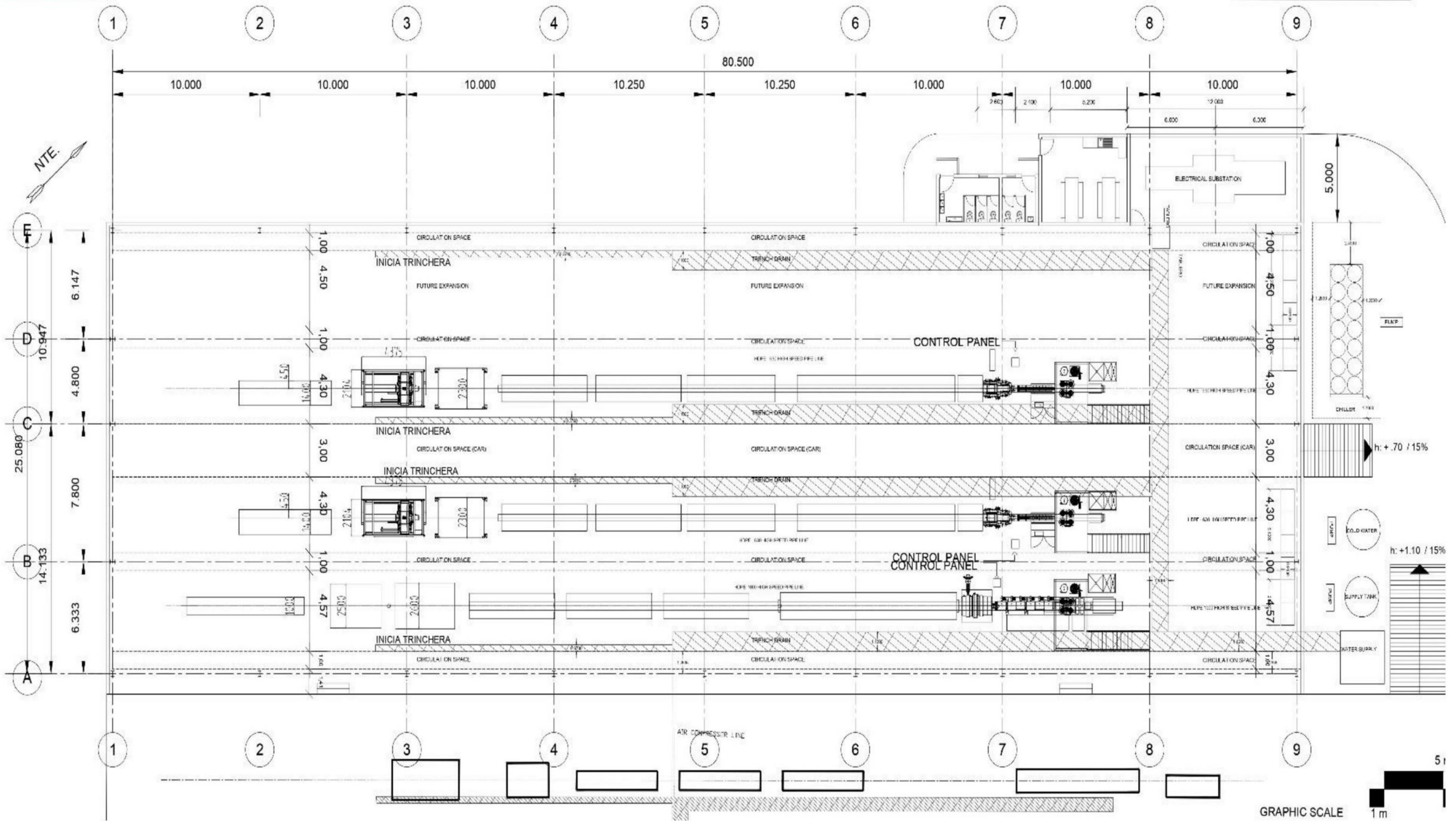
ANEXOS.



Anexo 1 Layout planta general fuente FIMEX.



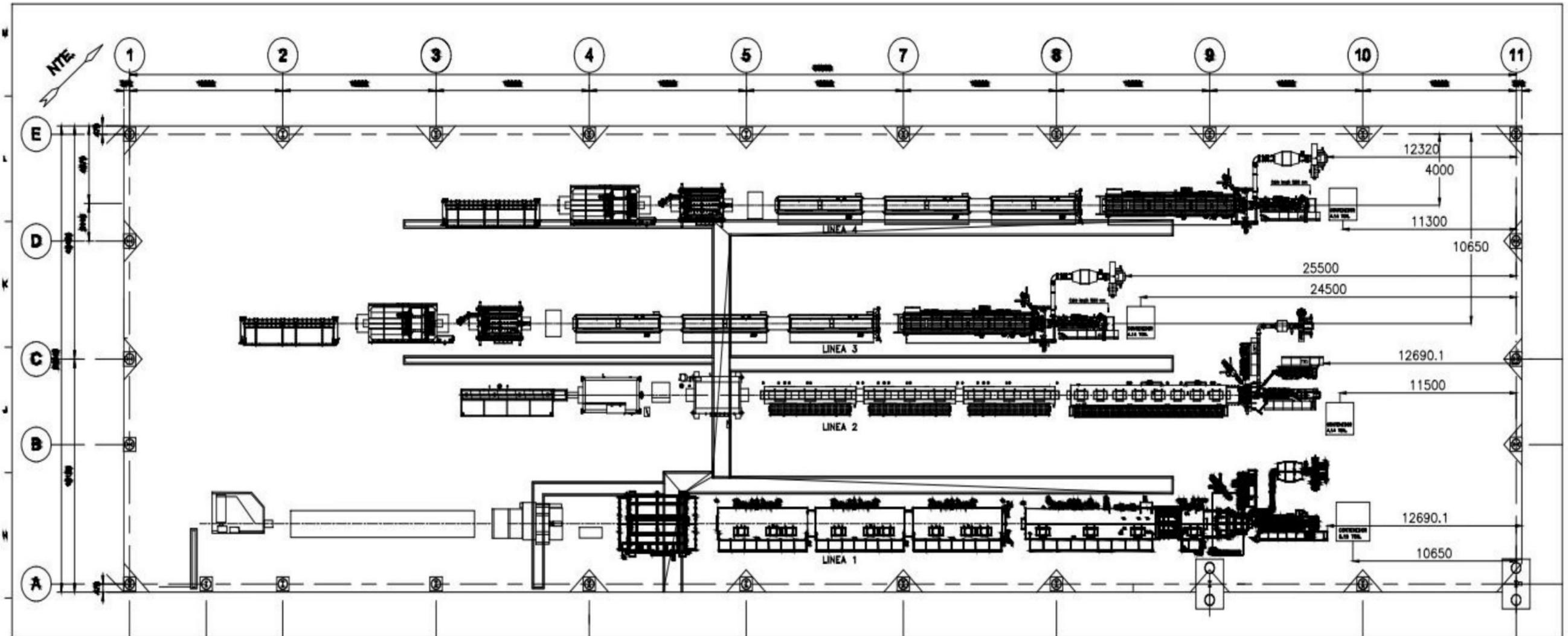
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE



Anexo 2 nave 1 fuente FIMEX



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE



PLANTA GENERAL

Anexo 3 nave 2



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE



INSPECCIÓN DIMENSIONAL



PRUEBA DE TENSIÓN



INFORMES DE ITP



INSTALACIÓN HIDRÁULICA PARA PRUEBA DE PRESIÓN



PRUEBA DE NEGRO DE HUMO

Anexo 4. Pruebas de laboratorio



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo. (7 de Noviembre de 2021). *Significados*. Obtenido de Significados: <https://www.significados.com/layout/>
- *Inspeccion y control de calidad en la aplicacion de soldadura*. (s.f.). Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- *La metodología Six Sigma*. (30 de 06 de 2016). Obtenido de Conexionesan: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/la-metodologia-six-sigma/>
- Salazar, H. G.-R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- *Sistemas de Inspección para el Control de Calidad*. (09 de 10 de 2020). Obtenido de 4pl-Mexico: <https://www.4pl-mexico.com/sistemas-de-inspeccion-de-calidad/>
- Tienda, J. L. (s.f.). *IMPLEMENTACION DE LA FILOSOFIA SIX SIGMA EN LA CONSTRUCCION*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/18241/TFM%20SIX%20SIGMA.pdf?sequence=1>