

**Título del Proyecto
de Investigación a que corresponde el Reporte Técnico:**

Uso de la metodología DMAIC para el incremento del OEE en un proceso de fabricación de condensadores automotrices.

Tipo de financiamiento

Sin financiamiento

TÍTULO DEL REPORTE TÉCNICO

Uso de la metodología DMAIC para el incremento del OEE en un proceso de fabricación de condensadores automotrices.

Autores del reporte técnico:

Luis Carlos Aguilar Cruz
Roberto Romero López
Luis Alberto Rodríguez Picón

Cd. Juárez, Chihuahua 1 de noviembre de 2021


C. Dr. Roberto Romero Lopez
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial
Presente.-

Por medio de la presente hago de su conocimiento que Luis Carlos Aguilar Cruz estudiante de la maestría en ingeniería industria de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez con numero de control 191895.

Realizo en esta empresa su proyecto de "Uso de la metodología DMAIC para el incremento del OEE en un proceso de fabricación de condensadores automotrices" con la asesoría del Dr. Roberto Romero Lopez y el Ing. Jose Adrian Garcia en el periodo comprendido del 30 de junio al 30 de octubre de 2021.

Sin mas por el momento agradeciendo las atenciones brindadas a la presente quedo de usted.

Atentamente



Ing. Jose Adrian Garcia
Process Planning Coordinator



Ing. Jaime Daniel Gardea
Process Planning Manager

MAHLE BEHR Rio Bravo, S. de R.L. de C.V.
Planta PTC
C. Tapioca No. 9411-A
Infonavit Ampliación Aeropuerto
Reg. Patronal. A8368767100
R.F.C. MBR1504245Q6
Cd. Juárez. Chih. C.P. 32690

Contribución del proyecto al bienestar social, la sustentabilidad o en el desarrollo económico de México.

El presente proyecto tiene como propósito optimizar el proceso de fabricación de un producto manufacturado en Ciudad Juárez, Chihuahua, que por contrato se fabricara en la misma locación por al menos seis años, como consecuencia de tal optimización, la empresa ha recibido un impulso para poder seguir manteniendo rentabilidad y permanecer como una compañía competitiva a través de los años, lo cual hace que se pueda mantener una fuente de empleo para la región teniendo así incidencia en la generación de bienestar social y ayuda hacia el desarrollo económico de México.

También como resultado del proyecto se ha disminuido la cantidad de piezas no conformantes generadas por el proceso de manufactura del producto, dichas piezas no pueden ser reutilizadas lo cual genera un desperdicio de todas las materias primas utilizadas, por lo tanto, también se genera un impacto positivo a la sustentabilidad al reducir el desperdicio generado.

Uso de la metodología DMAIC para el incremento del OEE en un proceso de fabricación de condensadores automotrices.

Resumen del reporte técnico en español:

Dentro de una empresa que se dedica en la fabricación de partes automotrices, cuya especialidad son los intercambiadores de calor que tienen como principal función mantener la temperatura regulada en la cabina de pasajeros. Actualmente la compañía está en un periodo de crecimiento ya que se proyecta un aumento en las ventas y en la cantidad de nuevos productos en los próximos cinco años, por lo cual se creó un departamento especializado en lanzamientos el cual está conformado por un equipo multidisciplinario que incluye a ingenieros de manufactura, industriales, de calidad, de logística y de producción.

El departamento de lanzamientos se encarga desde las cotizaciones a los potenciales clientes, el diseño de los sistemas de manufactura de los nuevos productos, la especificación y validación de maquinaria, el diseño de herramientas, además de coordinar y ejecutar las diversas tareas resultantes de la fase de lanzamiento de un nuevo producto o proceso. La fase de lanzamiento consiste en desarrollar todo el sistema de producción y en retar el nivel de desempeño de la maquinaria y equipo que conforman a la línea a través de la programación de corridas de manera periódica. Como parte de las políticas de lanzamientos de nuevas líneas de producción o productos, la empresa establece que, desde el punto de vista de procesos, la meta a alcanzar para el departamento de lanzamientos es un OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) sostenido a través de varias corridas de 85%, una vez que se alcanza ese nivel de desempeño el proceso de manufactura entra en fase de producción regular.

El condensador GE2 se encuentra en el cual en las primeras corridas piloto ha demostrado un bajo nivel de desempeño monitoreado a través del métrico de OEE, se realizaron análisis para determinar la causa raíz del bajo desempeño y se obtuvo que la caída del OEE se debe a un bajo nivel de FTQ (First Time Quality). Con esa información se desarrolló un proyecto de Seis Sigma, siguiendo la metodología DMAIC, con la intención de incrementar el OEE de proceso de fabricación del condensador GE2 a través del incremento del FTQ que se presentó en las primeras corridas piloto del producto. El modo de falla principal presentado en el condensador, que significó más del ochenta por ciento del total de rechazos fue el de fugas en la unión del tubo refrigerante y del cabezal.

El primer paso de la metodología fue identificar el proceso de manufactura, reconocer las partes críticas del proceso con el propósito de obtener los factores que pudieran tener relación con la causa raíz del problema. Una vez detectadas dichos factores, el siguiente paso fue medir su capacidad, después se ejecutó un diseño de experimentos con los diversos factores detectados a diferentes niveles. Por lo que, siguiendo metodología DMAIC, se logró detectar que la causa raíz de la problemática se encontraba en las dimensiones del tubo refrigerante, así que como

resultado y conclusión se obtuvo que alterar el dibujo entregado al proveedor que fabrica los tubos refrigerantes, cambiando sus dimensiones nominales y tolerancias, además se generaron gráficos de control, buscando monitorear la dimensión del tubo refrigerante.

Como resultado general del proyecto se logró incrementar el OEE del proceso del condensador GE2, mediante la disminución del modo de falla principal ocurrido en las primeras seis corridas piloto del lanzamiento, el cual fue fugas de tipo tubo-cabezal del tanque manifold. Por lo que, de acuerdo con las proyecciones, se pudo evitar la pérdida de hasta \$1.5 millones de dólares en los seis años de tiempo de vida del condensador GE2, debido a la disminución del desperdicio de materiales y de tiempo productivo principalmente.

Resumen del reporte técnico en inglés:

This project is realized in a company that is dedicated to the manufacture of automotive parts, whose specialty is heat exchangers whose main function is to maintain regulated the temperature in the passenger cabin. Currently the company is in a period of growth since an increase in sales and in the number of new products is projected in the next five years, therefore a department specialized in launches was created which is made up of a multidisciplinary team that includes manufacturing, industrial, quality, logistics, and production engineers.

The launch department oversees and perform quotes from potential customers, the design of the manufacturing systems for new products, the specification and validation of machinery, the design of tooling, as well as coordinating and executing the various tasks resulting from the phase launch of a new product or process. The launch phase consists of developing the entire production system and challenging the level of performance of the machinery and equipment that make up the line by scheduling runs on a regular basis. As part of the launch policies for new production lines or products, the company establishes that, from the process point of view, the goal to be achieved for the launch department is an OEE (Overall Equipment Effectiveness) sustained through several 85% runs, once this level of performance is reached, the manufacturing process enters the regular production phase.

The GE2 capacitor is found in which in the first pilot runs it has demonstrated a low level of performance monitored through the OEE metric, analyzes were carried out to determine the root cause of the low performance and it was obtained that the drop in OEE is due to a low level of FTQ (First Time Quality). With this information, a Six Sigma project was developed, following the DMAIC methodology, with the intention of increasing the OEE of the GE2 capacitor manufacturing process through the increase of the FTQ that was presented in the first pilot runs of the product. The main failure mode presented in the condenser, which accounted for more than eighty percent of the total rejections, was that of leaks at the junction of the refrigerant tube and the head.

The first step of the methodology was to identify the manufacturing process, to recognize the critical parts of the process to obtain the factors that could be related to the root cause of the problem. Once these factors were detected, the next step was to measure their capacity, then a design of experiments was carried out with the various factors detected at different levels. Therefore, following the DMAIC methodology, it was possible to detect that the root cause of the problem was in the dimensions of the refrigerant tube, so as a result and conclusion it was obtained that altering the drawing delivered to the supplier that manufactures the refrigerant tubes, changing their nominal dimensions and tolerances, in addition control charts were generated seeking to monitor the dimension of the refrigerant tube.

As a general result of the project, it was possible to increase the OEE of the GE2 condenser process, by reducing the main failure mode that occurred in the first six pilot runs of the launch, which was tube-head type leaks from the tank manifold. Therefore, according to projections, it was possible to avoid the loss of up to \$ 1.5 million dollars in the six years of life of the GE2 condenser, mainly due to the reduction of the waste of materials and of productive time.

Palabras clave:

Condensadores, Seis Sigma, DMAIC, OEE, FTQ, Fugas.

Usuarios potenciales:

El proyecto de aplicación puede ser del interés de alumnos y profesores de ingeniería interesados en la aplicación de un proyecto de seis sigma, profesionales en el área de la manufactura, mejora continua y aseguramiento de calidad, así como cualquier persona que tenga interés en la metodología DMAIC o Seis sigma.

Reconocimientos:

La realización de este proyecto de aplicación no hubiera sido posible sin la oportuna ayuda de mis colegas y compañeros de trabajo de todos los departamentos que formaron parte de la ejecución de este trabajo, al igual que la confianza que la compañía depositó en mi para coordinar y dirigir las actividades del lanzamiento del condensador GE2. De igual manera preciso agradecer a todos mis profesores de la maestría en Ingeniería Industrial que me presentaron las herramientas para la exitosa realización de este trabajo, especialmente al Dr. Roberto Romero que siempre estuvo disponible para orientarme en este proyecto como en situaciones generales de la maestría.

El más grande agradecimiento es para mi familia y amigos que siempre me mostraron su apoyo y me impulsaron a cumplir con mis metas, que fueron pacientes cuando entendieron lo demandante que es cursar una maestría. ¡Muchas gracias!

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto se lleva a cabo en una empresa manufacturera de partes automotrices, en Ciudad Juárez, Chihuahua. La compañía se especializa en la fabricación de intercambiadores de calor, tales como radiadores, condensadores, evaporadores y módulos de enfriamiento cuya función en el automóvil es la de regular la temperatura tanto en el motor como en la cabina de pasajeros.

La empresa es denominada como *tier one*, es decir que provee producto directamente a las plantas ensambladoras automotrices, por lo cual el contacto con los clientes es directo. la mayoría de los clientes están localizados en México, Estados Unidos y Europa. Actualmente la compañía está en un periodo de crecimiento ya que se proyecta un aumento en las ventas y en la cantidad de nuevos productos en los próximos cinco años, por lo cual, los procesos de adquisición y lanzamiento de un nuevo producto o nuevo han cobrado una mayor relevancia teniendo como consecuencia la creación de un departamento especializado en lanzamientos el cual está conformado por un equipo multidisciplinario que incluye ingenieros de manufactura, industriales, de calidad, de logística y de producción.

Dentro de la empresa existe un departamento de lanzamientos, el cual se encarga desde las cotizaciones a los potenciales clientes, el diseño de los sistemas de manufactura de los nuevos productos, la especificación y validación de maquinaria, el diseño de herramientas, además de coordinar y ejecutar las diversas tareas resultantes de la fase de lanzamiento de un nuevo producto o proceso, como pueden ser la calendarización y realización de corridas pilotos, el diseño de métodos, creación de estaciones de trabajo, cambios en la distribución de la planta, el establecimiento de parámetros de los equipos, resolución de problemas, balanceo de líneas, la generación de documentos como ayudas visuales, instrucciones de trabajo análisis de fallas y efecto, planes de control, entre otras actividades.

La fase de lanzamiento consiste en desarrollar todo el sistema de producción y en retar el nivel de desempeño de la maquinaria y equipo que conforman a la línea a través de la programación de corridas de manera periódica. Antes de comenzar las primeras corridas se establece la periodicidad mediante la evaluación del nivel de complejidad del producto, de la nueva maquinaria y herramientas, la disponibilidad de materias primas y componente comprados, así

como el tamaño del programa en función del volumen de ventas de acuerdo con el contrato establecido con el cliente.

Como parte de las políticas de lanzamientos de nuevas líneas de producción o productos, la empresa establece que, desde el punto de vista de procesos, la meta a alcanzar para el departamento de lanzamientos es un OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) sostenido a través de varias corridas de 85%, una vez que se alcanza ese nivel de desempeño el proceso de manufactura entra en fase de producción regular, generalmente se busca que se llegue a dicha fase antes del inicio de producción masiva establecido por el cliente para evitar problemáticas relacionadas a un proceso no maduro como pueden ser incumplimiento de los embarques, defectos o el incurrimento en costos extraordinarios.

2. PLANTEAMIENTO

2.1 Antecedentes

El área en específico donde el proyecto centra su atención es en una línea de producción de un condensador, llamado GE2, el cual es un producto de un cliente nuevo para la compañía. De acuerdo con el contrato establecido se pretenden vender 565,000 condensadores entre octubre de 2021 y diciembre del 2026, actualmente el condensador se encuentra en fase de lanzamiento que tiene fecha de terminación en octubre cuando se tiene estipulado el inicio de producción regular.

Durante las corridas programadas en la fase de lanzamiento existen varios métricos que determinan la maduración del proceso de fabricación del condensador, los principales son el OEE el costo por mala calidad, la cantidad de horas hombre invertidas para producir una pieza y los niveles de inventario. Como parte de la fase de lanzamiento del condensador GE2 se calendarizan corridas piloto con la intención de madurar el proceso de producción, generalmente se llevan a cabo cada tres semanas. El OEE de las corridas piloto debe ser consistentemente por encima de 85%, dentro de los resultados de las primeras seis corridas se identificó que el nivel de OEE estuvo por debajo la meta del lanzamiento, en la Tabla 2.1.1 se encuentra el resumen general de las corridas piloto.

Tabla 2.1.1 Resumen de resultados de las corridas piloto

Corrida Piloto #1			Corrida Piloto #2			Corrida Piloto #3		
Duración Corrida	2.5	horas	Duración Corrida	4.25	horas	Duración Corrida	1	horas
Tiempo Muerto	4.5	min	Tiempo Muerto	33	min	Tiempo Muerto	0	min
Tasa de producción ideal	60	Piezas por minute	Tasa de producción ideal	60	Piezas por minute	Tasa de producción ideal	60	Piezas por minute
Total de Piezas	149	piezas	Total de Piezas	190	piezas	Total de Piezas	59	piezas
Piezas Rechazadas	43	piezas	Piezas Rechazadas	78	piezas	Piezas Rechazadas	25	piezas
Disponibilidad	97.00%		Disponibilidad	87.06%		Disponibilidad	100.00%	
Desempeño	102.41%		Desempeño	85.59%		Desempeño	98.33%	
Calidad	71.14%		Calidad	58.95%		Calidad	57.63%	
OEE Calculado %	70.67%		OEE Calculado %	43.92%		OEE Calculado %	56.67%	
Corrida Piloto #4			Corrida Piloto #5			Corrida Piloto #6		
Duración Corrida	2.66	horas	Duración Corrida	3	horas	Duración Corrida	4.5	horas
Tiempo Muerto	5.2	min	Tiempo Muerto	16.2	min	Tiempo Muerto	3.1	min
Tasa de producción ideal	60	Piezas per minute	Tasa de producción ideal	60	Piezas per minute	Tasa de producción ideal	60	Piezas per minute
Total de Piezas	146	piezas	Total de Piezas	156	piezas	Total de Piezas	251	piezas
Piezas Rechazadas	62	piezas	Piezas Rechazadas	66	piezas	Piezas Rechazadas	91	piezas
Disponibilidad	96.74%		Disponibilidad	91.00%		Disponibilidad	98.85%	
Desempeño	94.56%		Desempeño	95.24%		Desempeño	94.04%	
Calidad	57.53%		Calidad	57.69%		Calidad	63.75%	
OEE Calculado %	52.63%		OEE Calculado %	50.00%		OEE Calculado %	59.26%	

Se puede observar que el OEE fue creciendo a través de las corridas programadas, mas no se presentó en los niveles aceptables para el lanzamiento. Dentro de los tres componentes del OEE tanto como la Disponibilidad (tiempo productivo sobre el tiempo disponible) y el Desempeño (capacidad real sobre capacidad productiva) tuvieron una tendencia positiva en cada corrida, pero el nivel de Calidad (piezas conformantes a la primera vez) o FTQ (*First Time Quality*) se presentó en un rango de 50% a 63% como máximo.

Después de las primeras seis corridas piloto del condensador GE2, se ha determinado que la razón del bajo desempeño ha sido los niveles tan altos de piezas no conformantes, lo cual a su vez deteriora el métrico de costo por mala calidad. Los defectos más comunes son fugas, piezas descuadradas, y defectos cosméticos como manchas, marcas y golpes. El nivel de FTQ es de 61.62%, es decir 38.38% han sido piezas no conformantes, de las cuales el 33.29% han sido por fugas en la unión de los tubos refrigerantes y los cabezales de los manifolds. En la Figura 2.1.1 se encuentra un diagrama de Pareto con el detalle de los rechazos presentados.

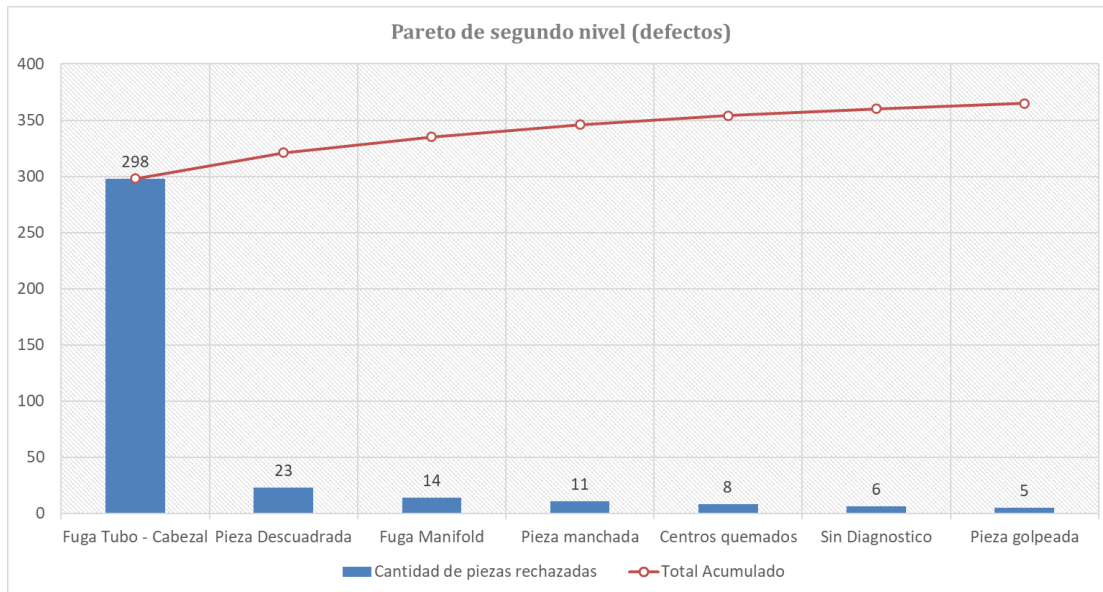


Figura 2.1.1 Pareto de segundo nivel (defectos)

El defecto principal fue fugas en el condensador en el area de union entre los tubos refrigerantes y el cabezal de los tanques manifold, se presentaron 298 fugas de este tipo lo cual representa el 81.64% del total de los defectos y el 33.29% de las piezas producidas, es decir una tercera parte de la producción del condensador GE2 presentaron este defecto, por lo tanto, para alcanzar la meta de OEE mayor a 85%, se tienen que reducir las fugas de tubo-cabezal.

Un condensador con una fuga no es funcional para el cliente dado que una vez montado en el automóvil no cumplirá con los niveles de desempeño esperados, en la Figura 2.2 se muestra un modelo solido del condensador GE2, sus componentes principales y el área del producto donde se presentan las fugas de tubo-cabezal.

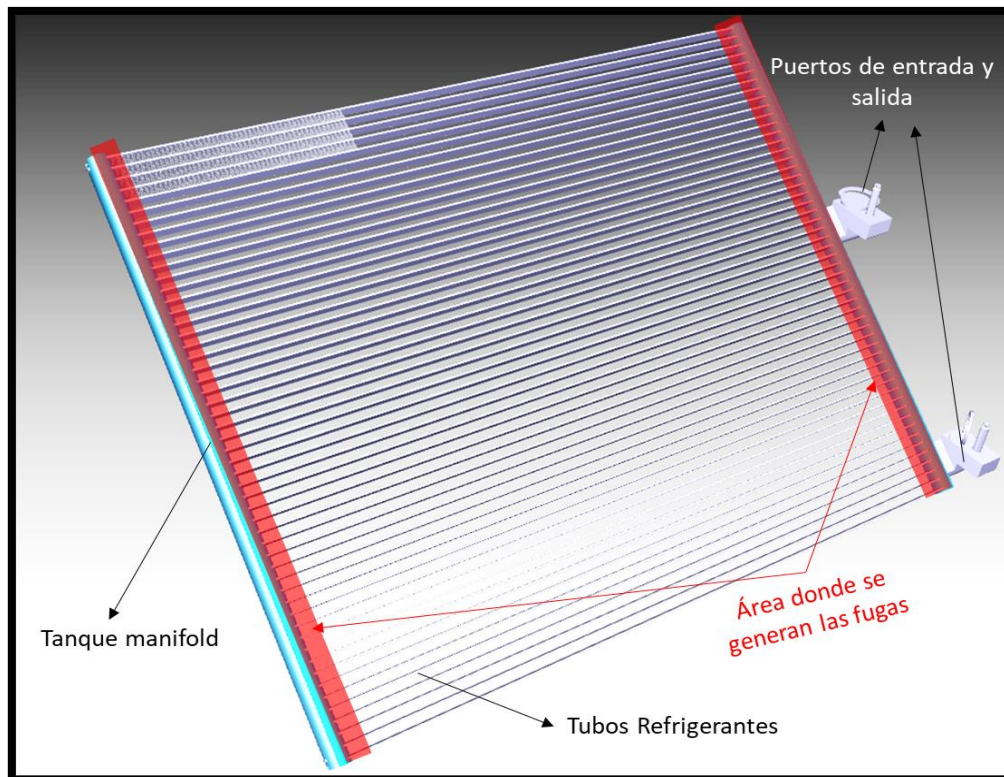


Figura 2.2. Condensador GE2

2.2 Objetivos

De acuerdo con el problema identificado, se establece el siguiente objetivo general para este proyecto:

- Alcanzar el nivel de OEE de 85% para cumplir con las metas de la empresa.

Para cumplir el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Reducir el costo por mala calidad antes de que el condensador GE2 entre a la etapa de producción regular.
- Aumentar el nivel de FTQ al 94%

2.3 Alcances y limitaciones.

En la ejecución de este el proyecto existen diversas restricciones que limitan el alcance del trabajo, como lo son:

- La restricción principal es el tiempo dado que se tendría que mejorar el desempeño del proceso de fabricación antes de octubre cuando sea el inicio de producción regular del condensador GE2.
- La línea de producción se encuentra compartida con otros productos, por lo cual no hay disponibilidad completa de los equipos para realizar pruebas o experimentos.
- Las piezas fabricadas en la fase de lanzamiento no son vendibles, por lo que todas las piezas que se realicen con fines de experimentación generaran un costo directo a la planta de manufactura.
- El equipo de lanzamientos es multidisciplinario y no están completamente dedicados a este producto.

2.3 Importancia del proyecto

La realización de este proyecto tiene un impacto positivo al negocio en varios métricos los cuales ayudan a la compañía para medir su desempeño tales como Costo, Calidad y Entrega. Este trabajo resulta critico a la Calidad dado que al reducir las fugas en el proceso de condensador se reduce la probabilidad de enviarle piezas no conformantes al cliente, por lo tanto, también se impacta al métrico de Entrega al poder cumplir con los compromisos con el cliente en termino de calidad y cantidad, de igual manera el métrico de Costo tiene una afectación positiva al reducirse el costo de mala calidad, al aumentarse el FTQ. En la Tabla 2.3.1 se encuentra puede observar que si no hubiera mejora en el proceso del condensador GE2 el proyecto generaría perdidas para la compañía.

Tabla 2.3.1. Proyección de ganancias

Fase de Lanzamiento		Producción Regular	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Total
Piezas Producidas	951	Unidades por vender de acuerdo a contrato	25000	75000	120000	120000	150000	75000	565000
Piezas no conformantes	365	Piezas defectuosas proyectadas	15572	46715	74744	74744	93430	46715	351920
Piezas conformantes	586	FTQ	61.62%	61.62%	61.62%	61.62%	61.62%	61.62%	61.62%
FTQ	61.62%	Precio de venta (USD)	\$ 32.50	\$ 32.50	\$ 32.50	\$32.50	\$32.50	\$32.50	\$32.50
Precio de venta (USD)	\$32.50	Costo de fabricación (Incluye costo por materiales, mano de obra, procesamiento y logística)	\$22.50	\$22.50	\$22.50	\$22.50	\$22.50	\$22.50	\$22.50
Costo de fabricación (Incluye costo por materiales, mano de obra, procesamiento y logística) (USD)	\$22.50	Ingresos proyectados (USD)	\$812,500.00	\$2,437,500.00	\$3,900,000.00	\$3,900,000.00	\$4,875,000.00	\$2,437,500.00	\$18,362,500.00
		Costo de unidades vendidas (USD)	\$562,500.00	\$1,687,500.00	\$2,700,000.00	\$2,700,000.00	\$3,375,000.00	\$1,687,500.00	\$12,712,500.00
Porcentaje histórico de costo de mala calidad en relación con ventas (Incluye inspecciones, embarques expeditados y retrabajos) (USD)	2.30%	Beneficio por ventas (USD)	\$250,000.00	\$ 750,000.00	\$1,200,000.00	\$1,200,000.00	\$1,500,000.00	\$ 750,000.00	\$5,650,000.00
		Costo por piezas defectuosas (condensadores procesados) (USD)	\$297,814.50	\$893,424.38	\$1,429,479.00	\$1,429,479.00	\$1,786,848.75	\$ 893,424.38	\$6,730,470.00
		Costo de componentes desperdiciados (USD)	\$ 18,687.50	\$56,062.50	\$ 89,700.00	\$ 89,700.00	\$ 112,125.00	\$ 56,062.50	\$ 422,337.50
Costo de fabricación (Incluye costo por materiales, mano de obra, procesamiento) (USD)	\$19.13	Costo por mala calidad (USD)	\$316,502.00	\$ 949,486.88	\$1,519,179.00	\$1,519,179.00	\$1,898,973.75	\$ 949,486.88	\$7,152,807.50
		Balance (USD)	\$(66,502.00)	\$(199,486.88)	\$(319,179.00)	\$(319,179.00)	\$(398,973.75)	\$(199,486.88)	\$(1,502,807.50)

De acuerdo con la proyección realizada si el nivel de FTQ no mejorara durante los seis años que tiene como vida el proyecto potencialmente habría pérdidas de hasta \$1,502,807.50 USD, para la proyección se utilizaron los datos de las corridas piloto del condensador GE2 y datos históricos de la planta relacionados a desempeño y al costo por mala calidad.

2.4 Revisión de literatura

La manufactura es la transformación de materiales a artículos de mayor valor monetario mediante uno o más procesos y/u operaciones de ensamble (Groover, 2010). Uno de los principales aspectos dentro de la manufactura es la calidad del producto, que Kalpakjian y Schmid (2002), definieron como el cumplimiento con el total de las propiedades y características que inciden en la capacidad del producto, para satisfacer una determinada necesidad y cuyos factores no solo se fundamentan en consideraciones técnicas, sino también en opiniones y percepciones subjetivas provenientes de los usuarios finales o clientes.

Por su parte la *International Organization for Standardization*, por sus siglas también llamada, ISO (2005), señala que calidad es el grado en que un conjunto de peculiaridades inherentes cumple con una o más necesidades o expectativas, ya sean obligatorias o implícitas. Apuntalando a estos conceptos, Varo (1994), sugiere que el objetivo principal de la calidad es la satisfacción de las necesidades del consumidor y que éstas pueden observarse desde diversos puntos de vista, por ejemplo, psicológicamente, económicamente, entre otras. Además, señala que la calidad también debe entenderse como una corriente de pensamiento que impregna a toda la organización. Estas percepciones de la calidad son muy afines las nociones de Juran que cita Summers (2006), donde menciona la importancia de crear una conciencia organizacional, en relación a implementar optimizaciones e integrar la mejora de la calidad a todas las actividades de una entidad, esta definición va más allá del producto a ofrecer, pues hace hincapié en la mejora total de todos los sistemas en una sociedad, y para hacerlo los miembros de ésta, deben adquirir y desarrollar ciertas habilidades y técnicas, en relación a herramientas de calidad y la resolución de problemas.

Mejorar la calidad se ha convertido en una estrategia comercial importante para muchas organizaciones, incluidos fabricantes, distribuidores, empresas de transporte, organizaciones de servicios financieros, proveedores de atención médica y agencias gubernamentales. La calidad puede llegar a ser una herramienta competitiva que puede resultar en una ventaja considerable para las organizaciones que emplean eficazmente sus principios básicos. Un negocio que puede deleitar a los clientes mejorando y controlando la calidad tiene el potencial de dominar a sus competidores. El desarrollo de una estrategia de calidad eficaz es un factor de éxito empresarial a largo plazo (Montgomery & Woodall, 2008).

Una de las causas principales de la falta de calidad en algún producto es la variación, que aunque la mayoría de los autores como Carro y Gonzales (2011) sugieren que no hay dos productos o servicios exactamente iguales por que los procesos de producción incluyen muchas fuentes de variación como el desgaste de un material, la habilidad de la persona que realizar el proceso, la temperatura ambiente, aunque no sea posible suprimir las variaciones por completo de un proceso, existen diversas herramientas para encontrar las causas de la variación con la intención de minimizarla.

Una metodología cuya principal meta es la reducción de la variación es el Seis Sigma, un enfoque disciplinado, orientado a proyectos y basado en estadísticas para reducir la variabilidad, eliminar defectos y eliminar el desperdicio de productos, procesos y transacciones hasta el nivel en el que las fallas o los defectos son extremadamente improbables, es decir seis desviaciones estándar del objetivo (Montgomery & Woodall, 2008).

El enfoque Seis Sigma fue desarrollada por Bill Smith, un ingeniero de Motorola desarrolló el programa en 1986 como respuesta a la necesidad de mejorar la calidad y reducir los defectos en sus productos. Motorola comenzó a aplicar esta metodología en toda la organización, centrándose en los procesos y sistemas de fabricación. El Seis Sigma se apoya en el procedimiento DMAIC, acrónimo en ingles de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, en la Figura 2.4.1 se presenta una descripción de cada uno de los pasos estructurados que componen el DMAIC.

Una vez que se ha implementado un programa DMAIC suele seguirse midiendo el desempeño del proceso mejorado, en la industria manufacturera existen diversos métricos que pueden dar la información suficiente del estado actual de un sistema de manufactura, algunos ejemplos son la eficiencia global de los equipos (OEE), el nivel de calidad a la primera vez (FTQ), la tasa de cumplimiento con el cliente, el costo por mala calidad, entre muchas otras opciones.

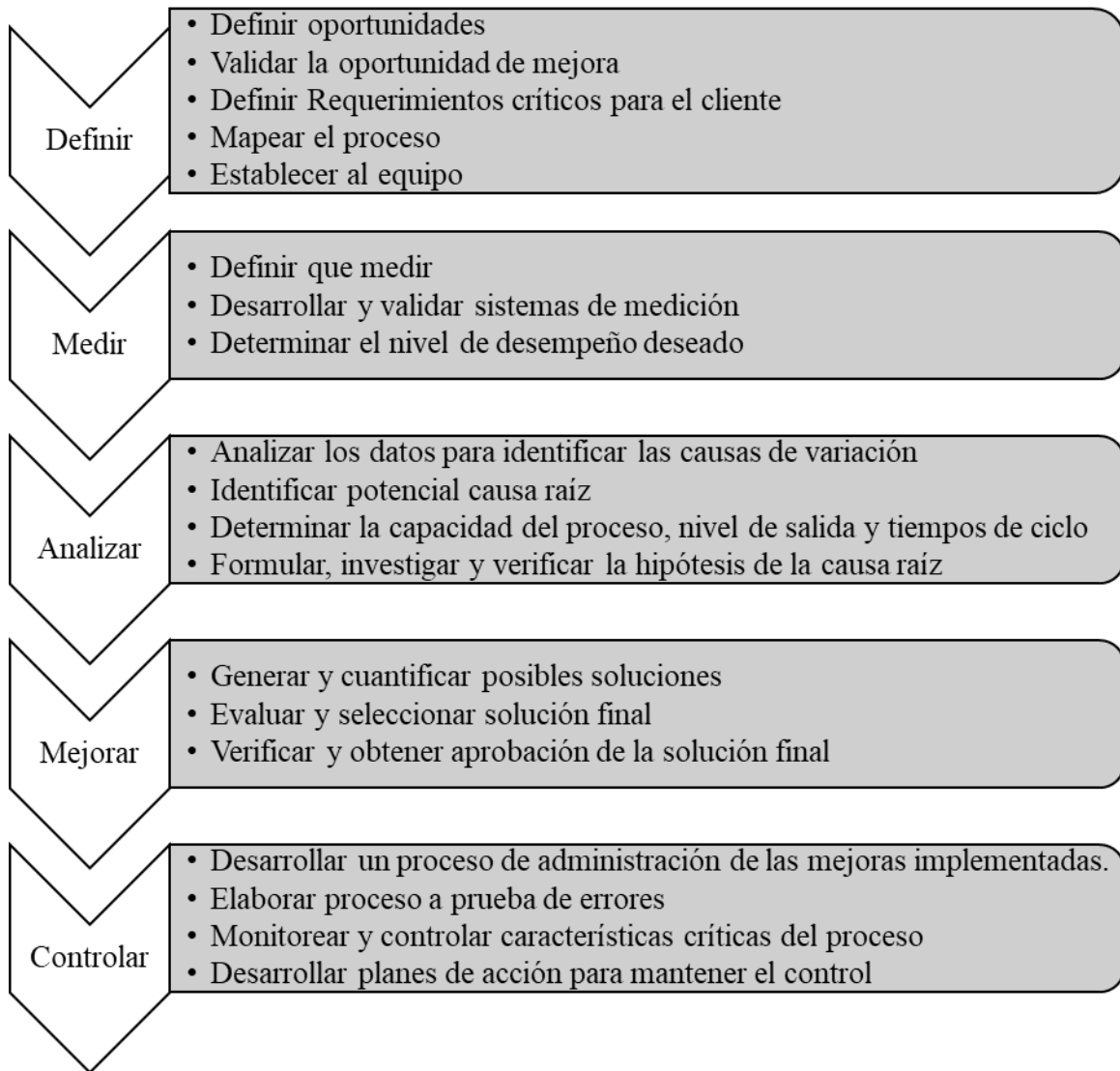


Figura 2.4.1 Proceso DMAIC

De acuerdo con Belohlavek (2006), el OEE es posible medir la producción industrial en función de la disponibilidad, desempeño y calidad de una planta. Donde la disponibilidad se mide restando el tiempo de fabricación no productivo del tiempo operativo total, el factor de desempeño que mide el desvío de la producción real y la potencial y el nivel de calidad que resulta de comprarla cantidad de productos realizados con los productos realizados que cumplan con los parámetros de calidad establecidos mediante las especificaciones del cliente.

El *First Time Quality* o calidad desde el primer momento es un indicador que muestra el porcentaje de productos conformes frente a no conformes, es un porcentaje que se obtiene al dividir las unidades conformantes sobre las unidades totales. El FTQ a su vez es un componente

del OEE y así mismo tiene relación directa con el nivel de sigmas de un proceso de manufactura (Tienda Lean, 2021), en la Tabla 2.4.1 se puede observar la relación sigma, porcentaje de FTQ y partes defectuosas por millón.

Tabla 2.4.1 Relación FTQ, nivel de sigmas y partes por millón.

Nivel de Sigmas	Porcentaje de FTQ	Partes defectuosas por millón de piezas totales
2	96%	308537
3	99.73%	66807
4	99.99%	6201
5	99.9999%	233
6	99.9999999%	3.4

Charlita (2009) define el costo por mala calidad, también abreviado COPQ (*cost of poor quality*) como la suma total de los recursos desperdiciados, tales como capital y mano de obra, por causa de la ineficiencia en la planificación y en los procedimientos de trabajo, el costo por mala calidad dos categorías: interno y externo. Algunos ejemplos de los costos internos son el pago de horas extras debido a problemas de calidad, el reprocesamiento de piezas no conformantes, las inspecciones al material procesado, las modificaciones al proceso, entre otros. Mientras que entre los costos externos por mala calidad más comunes se encuentran los rediseños, las garantías y devoluciones, el servicio al cliente por causa de errores, retirada de productos.

La tasa de cumplimiento con el cliente, también conocido como tasa de cumplimiento de entregas es un indicador que mide el número de partes provistas a los clientes por cumplimiento de entrega, considerando la fecha prometida. Este indicador generalmente presenta cuatro componentes entregas a tiempo, entregas atrasadas, no definidas y adelantados, pese a que el indicador pareciera ser solamente logístico, el desempeño de calidad de una planta tiene una relación directa con las entregas a los clientes (Mora, 2008).

3. METODOLOGÍA

Se decidió que la metodología a seguir en el presente proyecto fuera de acuerdo con los pasos de la herramienta DMAIC, por lo que un equipo multidisciplinario fue asignado para cumplir con los objetivos planteados y trabajar con las actividades consecuentes en cada fase del proyecto, en la Figura 3.1 se muestra cada actividad realizada en cada paso del DMAIC.

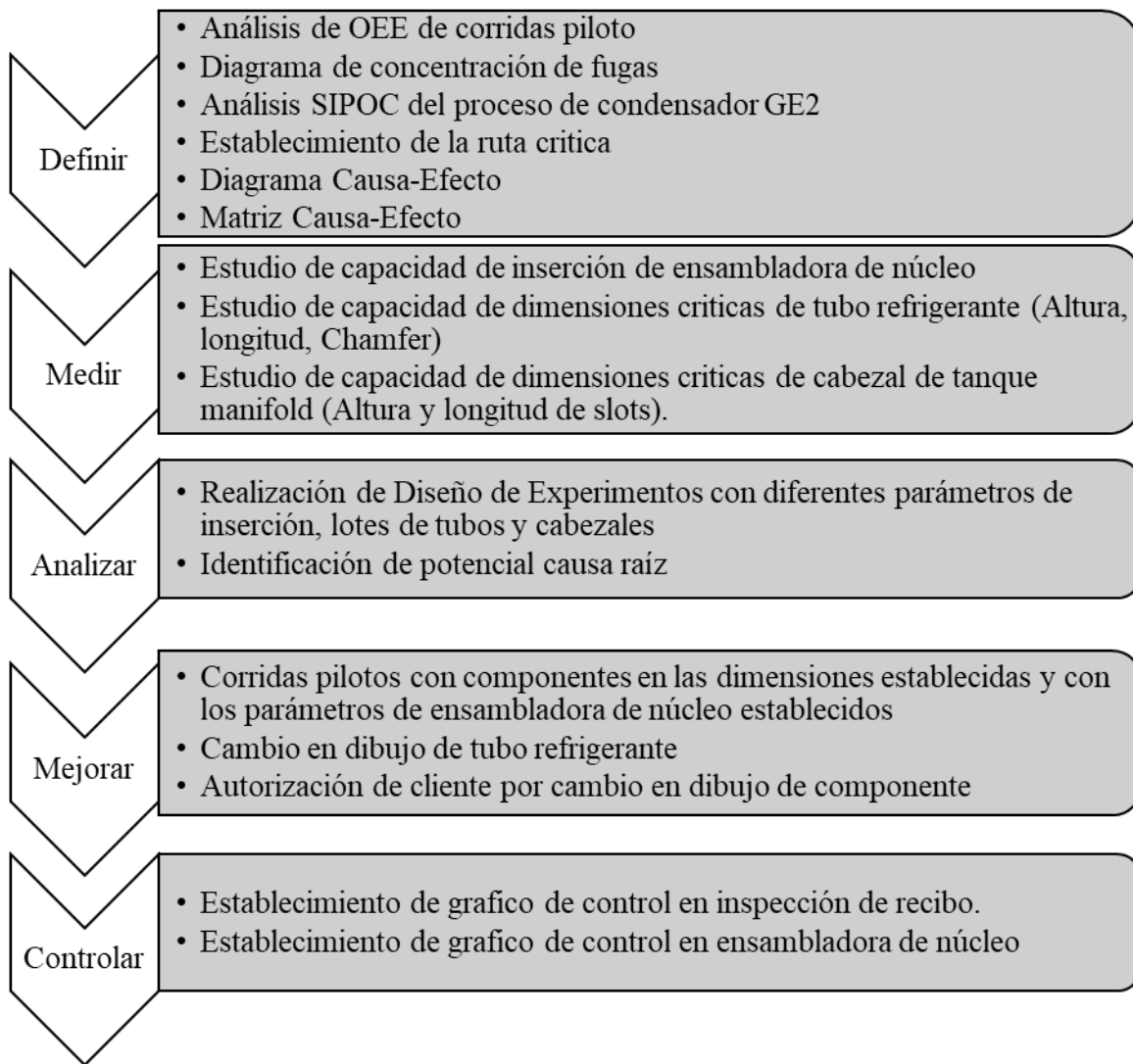


Figura 3.1 Pasos de la metodología DMAIC utilizada

Como parte de los materiales para este proyecto, los componentes principales utilizados son los necesarios para fabricar seiscientos condensadores GE2 y medirlos correctamente, el detalle se encuentra en la siguiente lista:

1. 3600 separadores de flujo
2. 1200 coberturas de tanques de manifold
3. 1200 cabezales de tanques manifold
4. 28800 tubos refrigerantes
5. 1200 puertos de entrada y salida
6. 600 etiquetas
7. 5 rollos de aluminio
8. 4 vernier
9. 5 galones de helio
10. 3 prensas neumáticas
11. 1 ensambladora de núcleos
12. Horno de Soldadura
13. Probadora de Fuga
14. Equipo de computo
15. Salas de la compañía
16. Software (MS Office, SolidWorks, Minitab)

4. RESULTADOS

Como parte de los resultados de este proyecto se presentan los pasos estructurados de un DMAIC realizado por un equipo multidisciplinario, donde el objetivo principal, como se ha mencionado en el documento, es el aumento del OEE del proceso de fabricación del condensador GE2.

4.1 Definir

En la Figura 4.1.1 se representa la comparación entre cada componente del OEE y el resultado general. De los datos presentados se puede llegar a la conclusión de que la razón principal para no alcanzar fue el bajo desempeño de FTQ, durante las seis corridas piloto se produjeron un total de 895 piezas de las cuales 365 fueron piezas rechazadas en el proceso, es decir el porcentaje de FTQ fue de 59.21%.

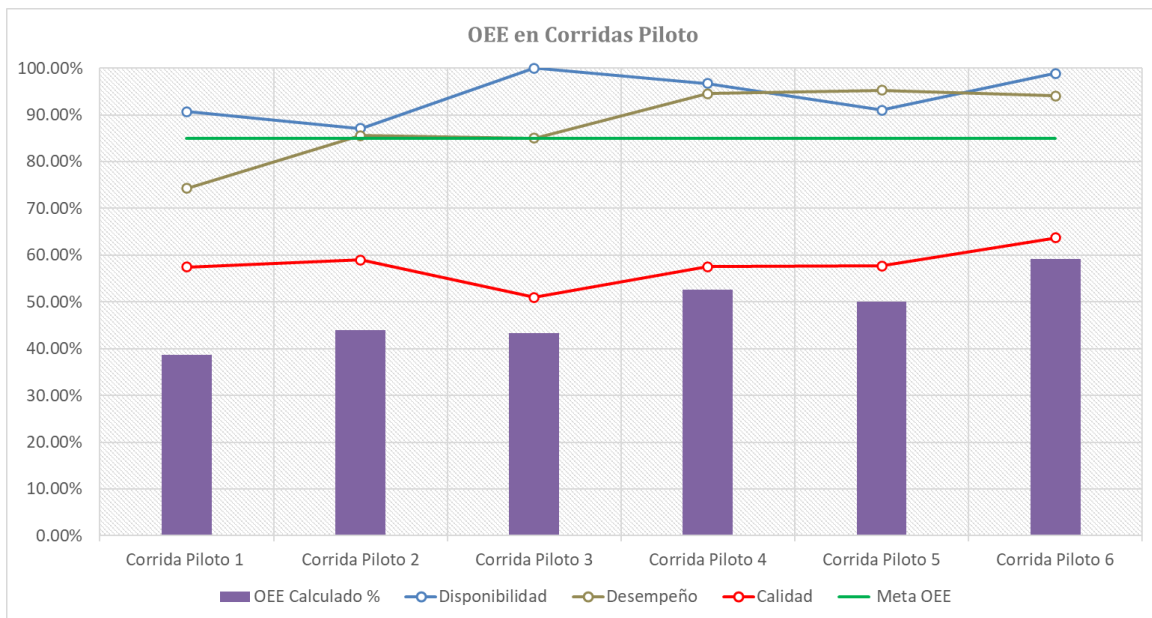


Figura 4.1.1 Desglose de OEE en corridas piloto

Una vez identificado el bajo nivel de FTQ como la razón principal de la baja del OEE, y a su vez con el conocimiento de que las fugas de tubo-cabezal es el modo de falla principal, el equipo multidisciplinario realizó un diagrama que se puede encontrar en la Figura 4.1.2 donde se identifican los componentes claves que interactúan en las fugas del tubo-cabezal.

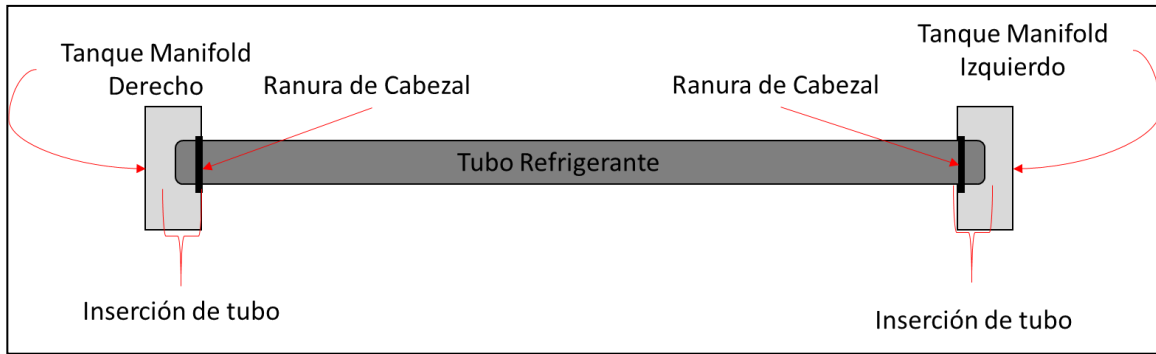


Figura 4.1.2. Diagrama general de interacción tubo-cabezal

El condensador GE2 tiene 48 tubos refrigerantes, por lo tanto tiene 48 uniones con el tanque manifold derecho y otras 48 uniones con el tanque manifold izquierdo, se realizó un diagrama de concentración de las fugas tubo-cabezal presentadas (Figura 4.1.3) y se puede observar que no existe una concentración como tal en uniones específicas del condensador sino que se presentan a lo largo de toda la pieza, también se notó que dentro de un mismo condensador pueden existir varias desuniones entre los tubos y el los cabezales, por lo tanto varios puntos de fugas.

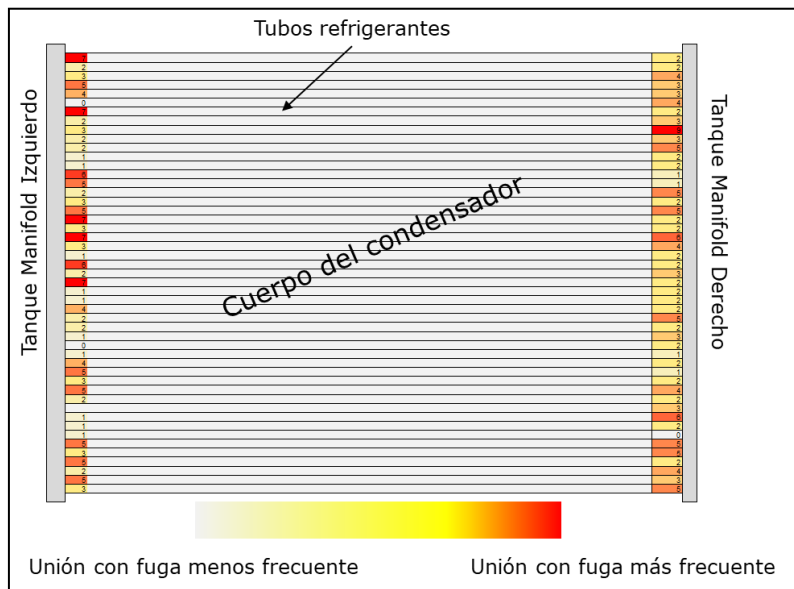


Figura 4.1.3. Diagrama de concentración de fugas de tubo-cabezal

Del diagrama de concentración se concluyó que no se le puede atribuir las fugas a una zona asilada del condensador o incluso unión de tubos y tanque manifold en específico, por lo tanto, fue necesario visitar todos los aspectos del proceso de manufactura. Como parte del paso Definir

del DMAIC, se realizó un diagrama SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Output, Customers*) en la Ilustración 8, donde con la intención de conocer de manera general el proceso de manufactura, se detalló las diferentes entidades y factores que interfieren en la fabricación del condensador GE2, desde los proveedores, la materia prima, los requerimientos de proceso, el proceso de fabricación y los requerimientos del cliente.

Del diagrama SIPOC se concluyó que el proceso del condensador GE2 es muy similar al de otros productos que actualmente se corren en la planta, existen diferencias relacionadas al diseño en específico del condensador GE2, como lo son la cantidad de tubos refrigerantes y la posición de los bloques de entrada y salida, además de que el proveedor que fabrica el tubo refrigerante es nuevo para la planta de manufactura en Juárez aunque es conocidos para la compañía dado que fabrica componentes para otras locaciones.

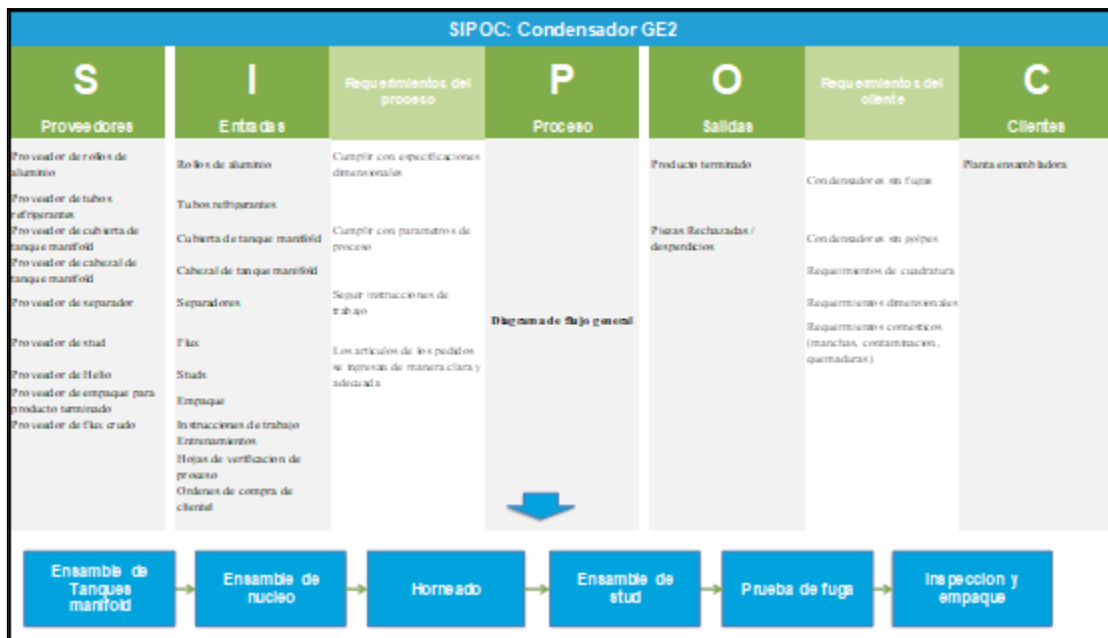


Figura 4.1.4. SIPOC de Condensador GE2

Dentro del SIPOC realizado se encuentra el proceso general de fabricación del condensador, más sin embargo no todas las secciones del proceso están directamente ligadas al modo de falla de fugas tubo-cabezal dado que no hay interacción con los componentes donde se han presentado las fugas. En la Ilustración 6 se encuentra un diagrama de ruta crítica del condensador GE2

donde se destacan las partes del proceso en el cual sus variables pudieran ser la razón del modo de falla presentado, las partes críticas del proceso son: Ensamble de núcleo, horneado y prueba de fuga.

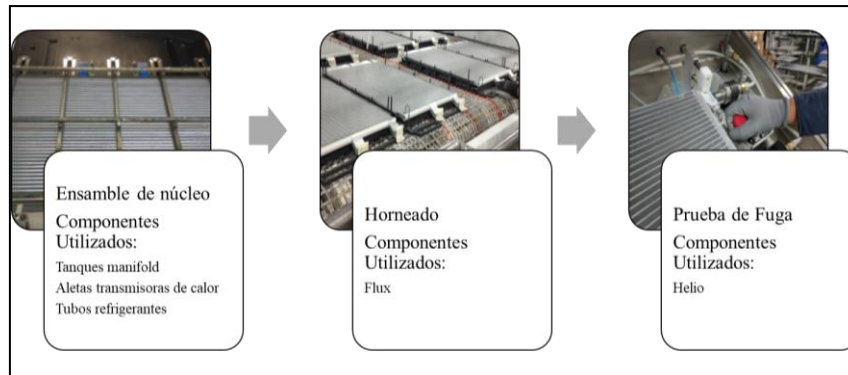


Figura 4.1.5. Ruta crítica Condensador GE2

El proceso de ensamble de núcleo consiste en la fabricación de las aletas de aluminio transmisoras de calor, después dichas aletas se apilan con los tubos refrigerantes para posteriormente insertar tubos refrigerantes en los cabezales de los tanques manifolds formando así el núcleo del condensador GE2. Ya que el núcleo ha sido formado se le instala una parrilla de transferencia la cual sostiene todos los componentes del condensador y sirve para trasladar la pieza a través del horno de soldadura.

El horno de soldadura cuenta con tres cámaras principales y una banda transportadora donde se cargan directamente las piezas y las mueve a través de las tres cámaras. La primer cámara es la de aplicación de flux donde con pistolas neumáticas se aplica flux a las piezas que se encuentran en la banda, el flux es un polvo electroestático que funciona como soldadura y catalizador en las uniones de los condensadores, la segunda cámara es la de curado donde mediante la aplicación de calor se lleva al aluminio de los condensadores al punto de fusión y la última cámara es la de enfriamiento donde se disipa el calor de las piezas para que estas puedan ser manejadas de manera segura por los trabajadores del proceso de fabricación de los condensadores.

Cuando las piezas salen del proceso de horneado se envían a una celda llamada de ensamble final cuyo proceso principal es el de prueba de fuga. Se instalan conectores en las entradas y salidas del circuito del condensador, se llena el condensador con helio y luego se vacía, si la cantidad de

helio que se extrajo de la pieza es menor que la que se aplicó, el condensador tiene una fuga. Las piezas rechazadas o con fugas pasan a un área de diagnóstico donde se determina el área de la fuga y se mantiene un registro histórico con el propósito de tener información histórica de cada rechazo.

Después de identificar los procesos crítico se llevó a cabo un análisis de causa-efecto mediante el diagrama de Ishikawa con la intención de identificar la potencial causa raíz de las fugas en la unión de los tubos refrigerantes y el cabezal de los tanques manifolds, para dicho análisis se conformó un equipo multidisciplinario que constaba del ingeniero de calidad, ingeniero de manufactura, Ingeniero de lanzamientos, líder de lanzamientos, supervisor de producción y los operadores de producción del proceso de condensadores. En la Figura 4.1.6 se encuentra el de diagrama causa-efecto que se desarrolló.

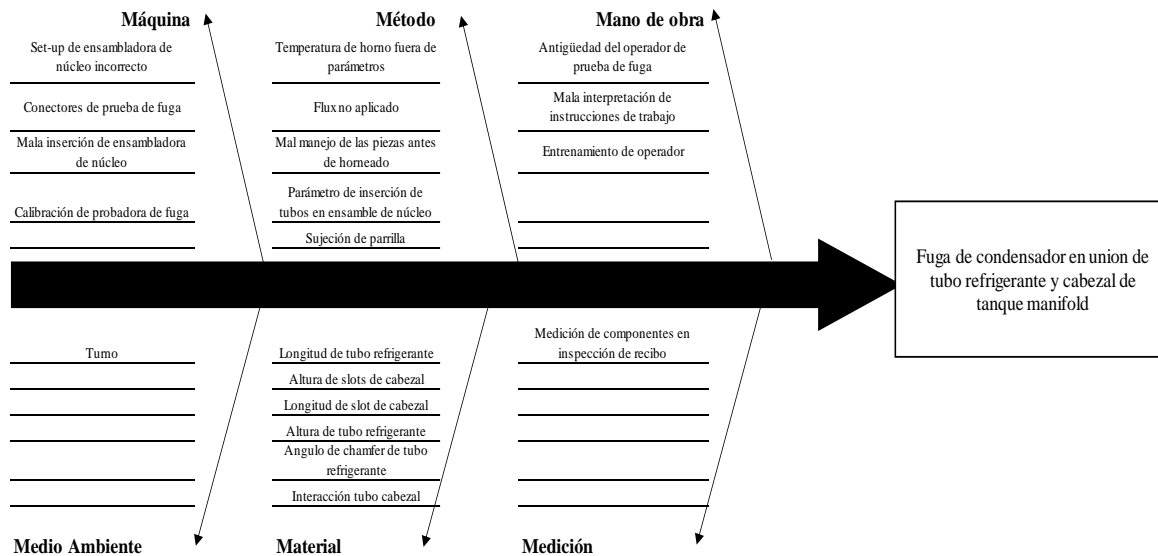


Figura 4.1.6 Diagrama causa-efecto de fuga de condensador en tubo-cabezal

Dentro del diagrama causa-efecto se detectaron veinte posibles causas del modo de falla, con la intención de identificar las causas y variables más significantes para el proceso se desarrolló una matriz causa y efecto (Tabla 4.1.1), donde se pondero el efecto de cada causa en los modos de falla que generan el defecto de fuga tubo-cabezal. Una vez que se realizó la matriz se determinó que las causas a perseguir es la longitud de tubo refrigerante, altura de slots de cabezal, longitud

de slot de cabezal, altura de tubo refrigerante, set-up de ensambladora de núcleo incorrecto, interacción tubo cabezal y la temperatura de horno fuera de parámetros.

Tabla 4.1.1 Matriz de ponderación de causas y efectos

	Importancia al cliente (0-10)	10	7	
Entradas de proceso		Efecto (0-10)	Efecto (0-10)	
		Fuga entre tubo-cabezal	Espacio entre tubo y cabezal	Total
14	Longitud de tubo refrigerante	8	8	136
15	Altura de slots de cabezal	8	8	136
16	Longitud de slot de cabezal	8	8	136
17	Altura de tubo refrigerante	8	8	136
1	Set-up de ensambladora de núcleo incorrecto	6	9	123
19	Interacción tubo cabezal	8	6	122
5	Temperatura de horno fuera de parámetros	10	3	121
4	Calibración de probadora de fuga	9	3	111
8	Parámetro de inserción de tubos en ensamble de núcleo	4	9	103
2	Conectores de prueba de fuga	9	1	97
20	Medición de componentes en inspección de recibo	4	8	96
3	Mala inserción de ensambladora de núcleo	3	9	93
6	Flux no aplicado	8	1	87
7	Mal manejo de las piezas antes de horneado	3	3	51
9	Sujeción de parrilla	3	3	51
12	Entrenamiento de operador	3	3	51
10	Antigüedad del operador de prueba de fuga	4	1	47
11	Mala interpretación de instrucciones de trabajo	4	1	47
13	Turno	2	2	34

4.2 Medir

En el paso definir se establecieron seis posibles factores que pueden tener injerencia en la causa raíz que genera fugas de tubo-cabezal en el condensador GE2, tres de esos factores están relacionadas con el tubo refrigerante, en la Figura 4.2.1 se encuentra un diagrama con las de las dimensiones críticas del componente (longitud total, ancho y espesor).

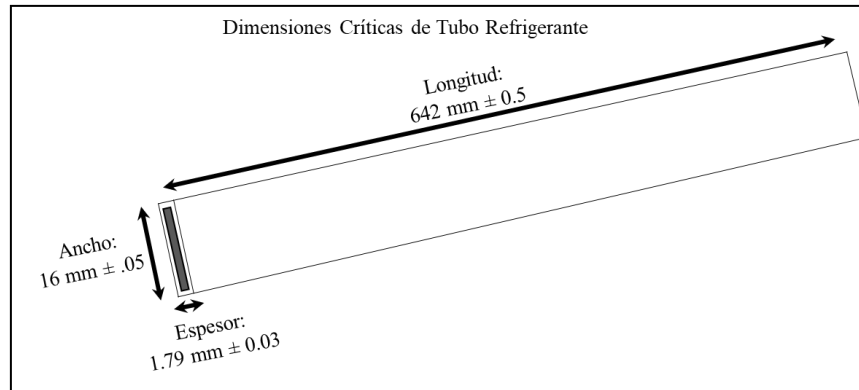


Figura 3. Dimensiones Críticas de tubo refrigerante

Se realizó un estudio de capacidad de cada dimensión a ciento veinticinco (por disponibilidad de material) tubos del mismo lote utilizado en las corridas piloto. En las Figuras 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4 se muestran los análisis de capacidad, donde se destaca que el ancho del tubo refrigerante tiene un $CPK = 1.05$, es decir el proceso de fabricación del tubo no es capaz de cumplir con la especificación del componente, mientras que tanto el largo y el espesor del tubo muestran un $CPK < 1.33$.

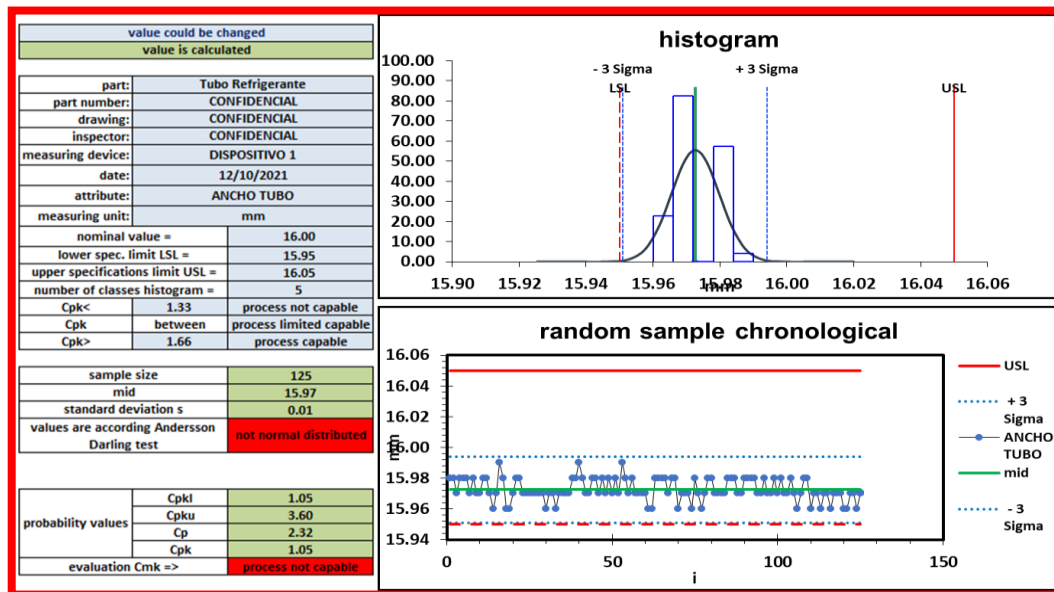


Figura 4.2.2 Análisis de capacidad de ancho de tubo refrigerante

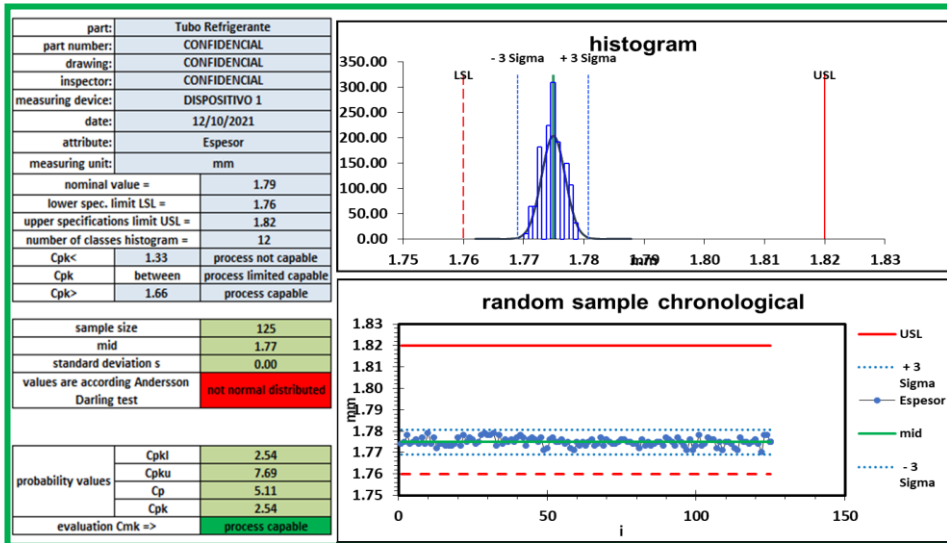


Figura 4.2.3 Análisis de capacidad de espesor de tubo refrigerante

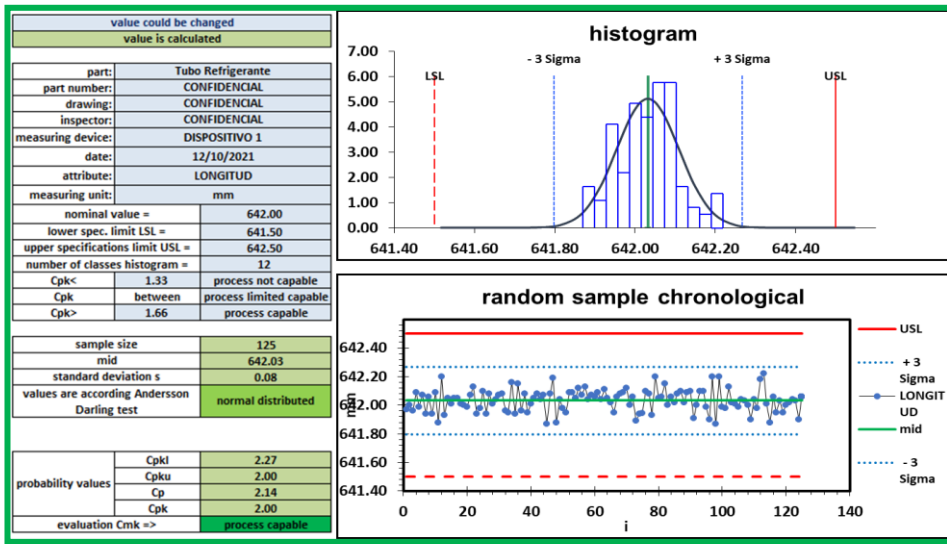


Figura 4.2.4 Análisis de capacidad de longitud de tubo refrigerante

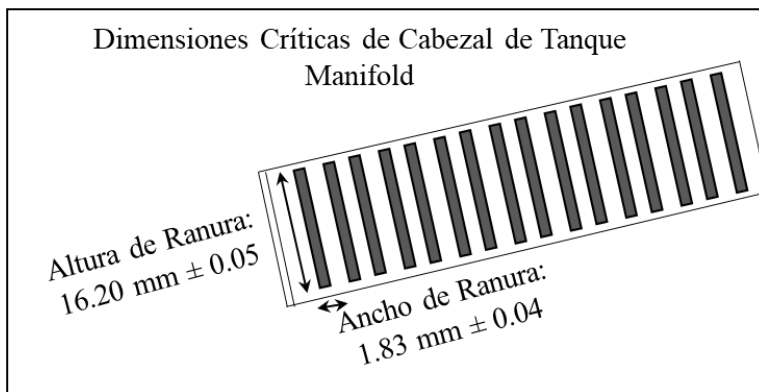


Figura 4.2.5 Dimensiones críticas de cabezal de tanque manifold

En el paso anterior del DMAIC, también se determinó que las dimensiones críticas del cabezal del tanque manifold (Figura 4.2.5) son potencialmente parte de la causa raíz del modo de falla a reducir. En las Figuras 4.2.6 y 4.2.7 se muestran los análisis de capacidad de ambas dimensiones, donde se puede notar que el largo del cabezal tiene un CPK=1.34, es decir, su proceso de manufactura es limitadamente capaz de cumplir con la especificación, mientras que el ancho tiene un CPK = 3.02, por lo que dicha dimensión tiene muy poca variación.

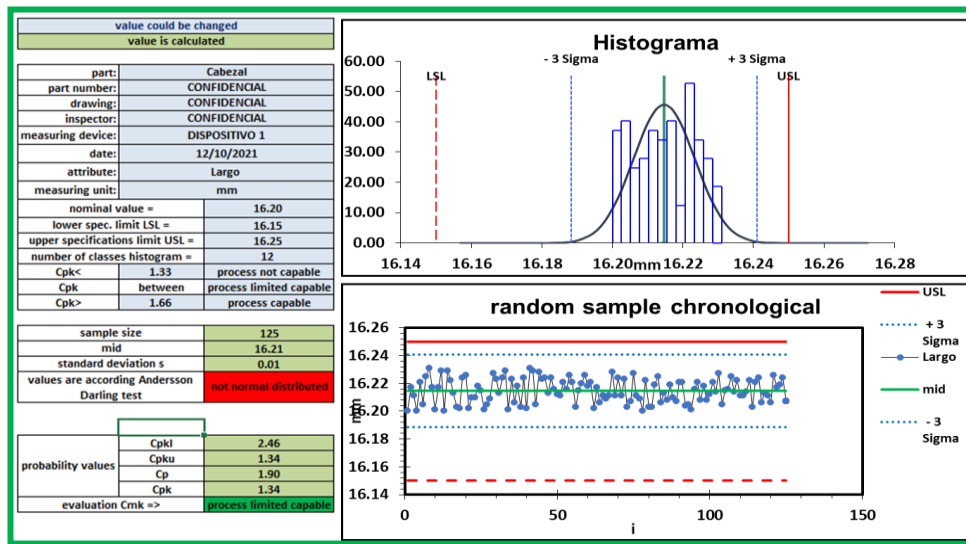


Figura 4.2.6. Análisis de capacidad de longitud de ranura de cabezal de tanque manifold

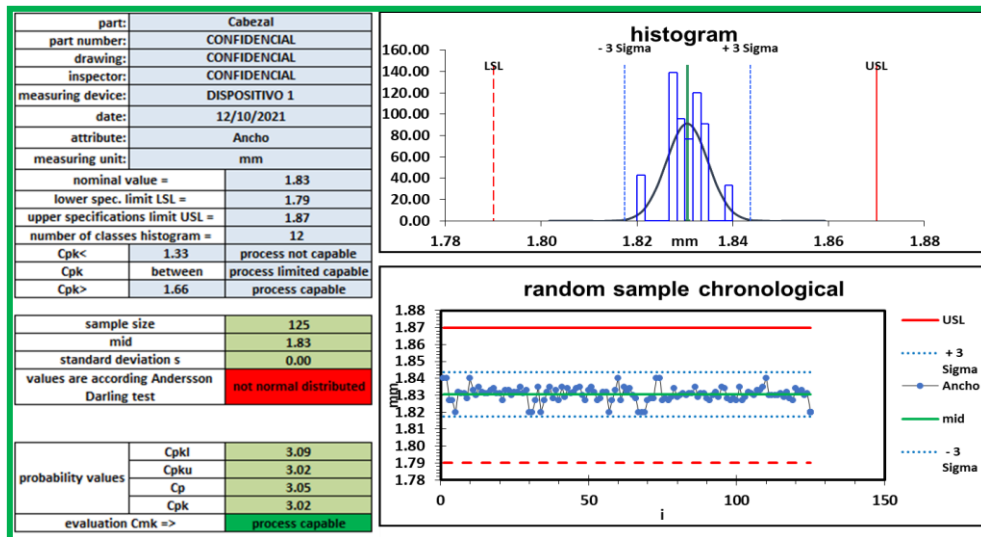


Figura 4.2.7 Análisis de capacidad de ancho de ranura de cabezal de tanque manifold

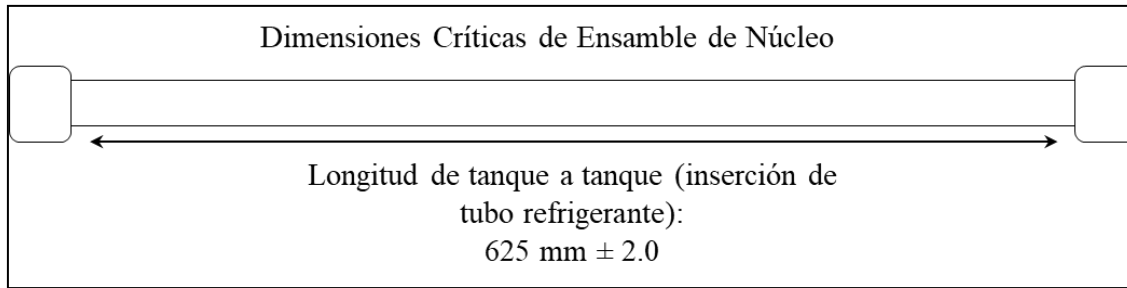


Figura 4.2.8 Dimensiones críticas de Ensamble de Núcleo

En la matriz ponderada de causas y efectos, se detectó que pudiera existir una desviación en el parámetro de inserción del tubo refrigerante en la ensambladora de núcleos, la manera de confirmarlo es medir la longitud del espacio entre tanque manifold izquierdo y tanque manifold derecho (Figura 4.2.8). Se realizó un estudio de capacidad y el CPK obtenido fue 2.29, por lo que se puede decir que el parámetro de inserción tiene muy poca variación y es cercano a la nominal (Figura 4.2.9).

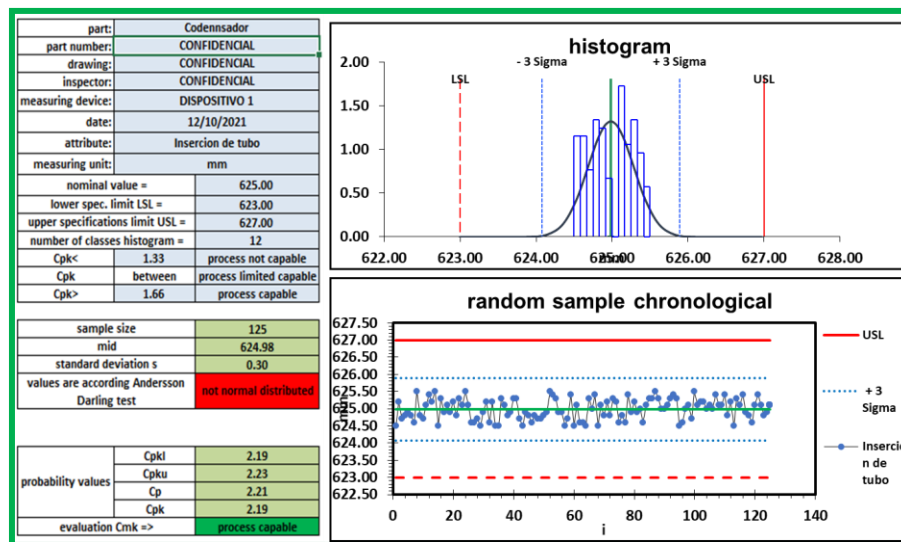


Figura 4.2.9. Análisis de capacidad de la longitud de tanque a tanque

4.3 Analizar

En el paso anterior del DMAIC, se obtuvo que el ancho del tubo refrigerante tiene mucha variación (CPK menor a 1.33), incluso tiene una tendencia hacia el límite inferior de la especificación, mientras que el largo de la ranura del cabezal del tanque manifold presenta un CPK justo en 1.33 y tiene una tendencia hacia el límite superior. Dichos dimensiones de los

componentes interactúan directamente, por lo que al existir una brecha entre el tubo refrigerante y el la ranura del cabezal es posible que se generen fugas.

De acuerdo con la experiencia del equipo multidisciplinario cuando existe disparidad entre las dimensiones mencionadas, es posible experimentar con la tolerancia del parámetro de inserción de la ensambladora de núcleo que al cerrar dicha longitud hace que sea mayor la posible superficie de contacto entre las ranuras del cabezal y los tubos refrigerantes.

Como parte del paso Analizar se llevó a cabo un diseño de experimentos factorial, con tres factores (ancho del tubo, largo de ranura de cabezal y longitud de tanque a tanque) y tres niveles cada uno, es decir veintisiete corridas, cada corrida del experimento es un condensador fabricado bajo los parámetros y dimensiones establecidas, donde la variable de respuesta fue la caída de presión medida en la probadora de fuga, donde idealmente se espera que no exista caída de presión, pero de acuerdo al diseño del producto si se detecta una caída de presión mayor a 1.5 Bar durante la prueba de fuga, el condensador se considera como rechazado por fuga, en la Tabla 4.3.1 se detallan los niveles de los factores del experimento.

Tabla 4.3.1. Niveles de los factores para diseño de experimentos

Factor	Nivel Bajo	Nivel Medio	Nivel Alto	Unidad de medida
Ancho tubo refrigerante	15.975	16.00	16.025	Milímetros
Largo de ranura de cabezal	16.175	16.20	16.225	Milímetros
longitud de tanque a tanque	623	625	626	Milímetros

Para realizar el diseño de experimentos, se tuvo que ordenar al proveedor de los tubos refrigerantes y de los cabezales, muestras de los componentes con cambios en las dimensiones requeridas, por lo que el número de componentes fue limitado, por lo que no tuvo replicas. En la Figura 4.3.1 se presenta como resultado del diseño de experimentos los parámetros de dimensiones de los componentes y el proceso para alcanzar el valor objetivo de la caída de presión (0 PSI).

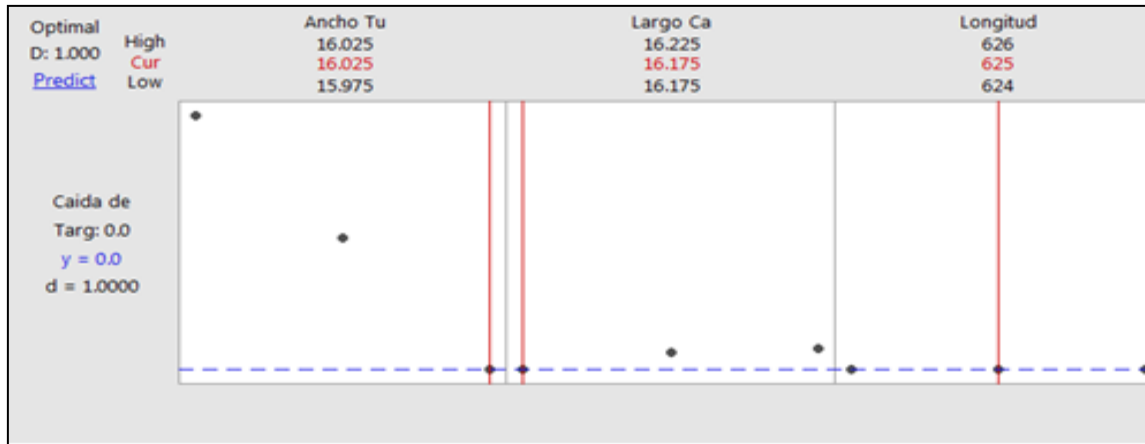


Figura 4.3.1. Valores óptimos para proceso de condensador GE2 sin fuga

4.4 Mejorar

Una vez terminado el diseño de experimentos donde se concluyó que dimensiones de ancho de tubo y longitud de ranura de cabezal serían las deseables para el proceso de manufactura, así como el parámetro de inserción en la ensambladora de núcleo, se pidió a los proveedores un nuevo lote para producir 360 piezas bajo estas condiciones, que a su vez serían parte de las últimas tres corridas piloto antes del inicio de producción regular. Las dimensiones críticas solicitadas a los proveedores fueron:

- Ancho de tubo 16.025 mm \pm .025
- Largo de ranura de cabezal 16.75mm \pm .025
- El parámetro de inserción en la ensambladora de núcleos permaneció igual que en las primeras corridas piloto.

En la Tabla 4.4.1 se encuentra el resumen de las últimas tres corridas pilotos realizadas, donde se puede observar un aumento en el nivel de FTQ por encima del 95%, cabe destacar que ninguno de los defectos presentados fueron fugas del tipo tubo-cabezal, a su vez también se siguió con el mismo nivel de disponibilidad y desempeño en relación a las primeras seis corridas piloto, por lo que se alcanzó una de las metas del lanzamiento y el proyecto que era aumentar y sostener el OEE por encima del 85% a través del aumento del FTQ. Por lo que, una vez confirmado con las corridas piloto, se le solicitó a los proveedores cambiar formalmente las dimensiones de los componentes a través de un cambio de dibujos y tolerancias.

Corrida Piloto #7			Corrida Piloto #8			Corrida Piloto #9		
Duración Corrida	2.1	Horas	Duración Corrida	2.2	horas	Duración Corrida	2.1	horas
Tiempo Muerto	5.63	min	Tiempo Muerto	3.3	min	Tiempo Muerto	1.5	min
Tasa de producción ideal	60	Piezas por hora	Tasa de producción ideal	60	Piezas por hora	Tasa de producción ideal	60	Piezas por hora
Total de Piezas	118	piezas	Total de Piezas	125	piezas	Total de Piezas	117	piezas
Piezas Rechazadas	5	piezas	Piezas Rechazadas	4	piezas	Piezas Rechazadas	4	piezas
Disponibilidad	95.53%		Disponibilidad	97.50%		Disponibilidad	98.81%	
Desempeño	98.03%		Desempeño	97.13%		Desempeño	93.98%	
Calidad	95.76%		Calidad	96.80%		Calidad	96.58%	
OEE Calculado %	89.68%		OEE Calculado %	91.67%		OEE Calculado %	89.68%	

Tabla 4.4.1. Resultados generales en ultimas corridas piloto

4.5 Controlar

Con la intención de controlar la mejora de FTQ y OEE obtenida, se tuvo que actualizar el dibujo de los componentes, trayendo consigo una nueva validación para los proveedores, en donde como parte de esta, tienen que enviar evidencia de cumplir con un CPK mayor a 1.66 para las nuevas especificaciones. Además, se actualizaron los gráficos de control llevados por el departamento de calidad en el área inspección de recibo, donde a cada lote de materia prima se le toma un muestreo de las dimensiones críticas de los componentes.

En el proceso de manufactura también se estableció el monitoreo del parámetro de longitud entre tanques manifold, a través de las hojas de verificación de proceso que forman parte de la liberación del equipo después del inicio de cada turno, después de cada cambio de modelo y después de cualquier mantenimiento, dichas hojas de verificación forman parte del plan de control del condensador GE2, pese a que su estudio de capacidad mostro un resultado favorable, el equipo decidió también monitorear este parámetro debido a la experiencia con toros productos similares, en los que el parámetro de inserción puede moverse debido al desgaste natural de los herramientas en la ensambladora de núcleos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto fue el mejorar el OEE a un nivel mínimo de 85% para que el lanzamiento del condensador GE2 se considerara exitoso, después de aplicar la metodología DMAIC se alcanzo dicho objetivo a través de la reducción de las fugas de tipo tubo-cabezal presentadas en el proceso de fabricación, aumentando así el nivel de FTQ.

Como parte de esta mejora del proceso, tuvieron que realizarse cambios en los dibujos y tolerancias para los proveedores del tubo refrigerante y del cabezal de tanque manifold, los cuales generaron un costo adicional de \$6,200.00 USD y \$18,000.00 USD respectivamente por los ajustes a realizar por parte de los proveedores en su proceso de manufactura, además de que se tuvo que disponer \$5,500.00 USD de inventario de material que paso a ser obsoleto, por lo que en total se tuvo que invertir un total de \$29,700.00 USD. A pesar del monto invertido sin duda alguna este proyecto fue beneficioso dado que la proyección realizada de perdidas era cercana a 1.5 millones de dólares en un periodo de seis años si el proceso de manufactura se hubiera mantenido con los mismos niveles de calidad, además se generaron otros beneficios como la disminución del riesgo de enviar productos defectuosos al cliente, la utilización de menos turnos para cumplir con la demanda, así como la disminución del riesgo de no cumplir con las órdenes del cliente.

5.1 Recomendaciones

Como lección aprendida de la situación generada en el lanzamiento del condensador GE2, se recomienda que para la etapa de diseño de cualquier producto se desarrolle un de un seguimiento más riguroso en el diseño de las tolerancias, dado que existió un claro error en la etapa de diseño, dado que los componentes involucrados inicialmente estaban dentro de las tolerancias diseñadas.

De igual manera, se recomienda utilizar la metodología DMAIC en cualquier proceso de manufactura donde se haya identificado fuentes de variación que traigan consigo consecuencias en la calidad de los productos o en la eficiencia de los procesos, la realización de este proyecto es una muestra de la eficacia de la metodología.

6. REFERENCIAS

- Belohlavek, P. (2006). *OEE: Overall Equipment Effectiveness. Su abordaje Unicista*. Buenos Aires: Blue Eagle Group.
- Carro, R., & González, D. (2011). *Control Estadístico de Procesos*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Charlita, P. (2009). *Gestión de costos en Salud, Teoría, Cálculo y Uso*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- DB, K. (2003). *Robust Engineering Design-By-Reliability with Emphasis on Mechanical Components and Structural Reliability*. Pennsylvania: DEStech Publications Inc.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*. Bethlehem: Wiley Editorial.
- Guzman, P., & Salonitis, K. (2013). Improving changeover time: a tailored SMED approach for welding cells. *ScienceDirect*, 1-6.
- Hagihara, H., Banno, T., Miya, S., & Tanaka, N. (1989). Method of Manufacturing Motorcycle Radiator. *United States Patent*, 1-11.
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Escuela de Organización Industrial.
- Karam, A.-A., Liviu, M., Cristina, V., & Radu, H. (2017). The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED Project. *ScienceDirect*, 1-7.
- Montgomery, D., & Woodall, W. (2008). An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 329-346.
- Mora, L. (2008). *Indicadores de la gestión logística*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Rincon, L. (2012). *Introducción a los procesos estocásticos*. Mexico DF: Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias UNAM.
- Tienda Lean. (2021, Octubre 10). *¿Qué es FTQ?* Retrieved from Tienda Lean: <https://www.tiendalean.com/pages/que-es-ftq>
- Yoshihara, H., Goto, M., & Kimura, T. (2015). Radiator and Method of Manufacturing Radiator. *United States Patent*, 1-20.