

Diseño de plan de calidad para disminuir residuos en la fabricación de restauradores en industria eléctrica.

Design of a quality plan to reduce waste in the manufacturing of reclosers in the electrical industry

Abigail Citlali Tapia Rodríguez ^a, Magda Gabriela Sánchez Trujillo ^b, Héctor Daniel Molina Ruiz ^c

Abstract:

Objective of this study was to generate a quality plan in a company, that belong to the electrical manufacturing sector with operations in Mexico in order to reduce defects and rejections (DERES), as well as special handling waste that serves the electrical industrial sector. This paper presents, based on a mixed research approach, the central hypothesis proposed was that the implementation of a quality plan in the pole area would influence a 15% reduction in special handling waste (polymerized resin) and a 30% reduction in the generation of central DERES. The research led to an 11.11% increase in the number of manufactured parts, a 29.41% decrease in the defect and rejection rate, and an estimated 21.74% reduction in resin waste. The integration of sensors and monitoring systems has led to a 20% increase in efficiency. In short, the total amount of waste generated has been reduced by 30%, thus fulfilling the initial hypothesis.

Keywords:

Quality, process, electrical sector, waste management

Resumen:

El objetivo del presente estudio fue el generar un plan de calidad en una empresa del sector manufacturero eléctrico con operaciones en México para poder disminuir defectos y rechazos (DERES), así como los residuos de manejo especial que sirven para el sector industrial eléctrico. A partir de un enfoque mixto de investigación se propuso como hipótesis central que la implantación de plan de calidad en el área de polos influiría en disminuir un 15% los residuos de manejo especial, (Resina polimerizada) y en un 30% la generación de DERE's central. A partir del desarrollo de la investigación se logró un incremento del 11.11% en la cantidad de piezas fabricadas, así como una disminución del 29.41% en la tasa de defectos y rechazos con una reducción estimada del 21.74% en la cantidad de desperdicio de resina, mientras la integración de sensores y sistemas de monitoreo ha permitido mejorar la eficiencia en un 20%; en resumen, se ha logrado una disminución del 30% en la cantidad total de residuos generados; dando así cumplimiento a la hipótesis inicialmente planteada.

Palabras Clave:

Calidad, proceso, sector eléctrico, manejo de residuos

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo| Escuela Superior Tepeji del Rio | Hidalgo | México. <https://orcid.org/0009-0000-9550-2852>, Email: abigail.tapia0893@gmail.com

^b Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo| Escuela Superior Tepeji del Rio | Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-9093-1081>, Email: magdags@uaeh.edu.mx; <https://orcid.org/0000-0003-4657-3237>, Email: hmolina@uaeh.edu.mx

Introducción

El sistema de gestión de calidad (SGC) es una de las herramientas aplicada en organizaciones que desean que sus productos y servicios cumplan con los máximos estándares de calidad y así lograr y mantener la satisfacción de sus clientes en las organizaciones para obtener resultados que cumplan las expectativas de las partes interesadas, en definitiva, esto ayuda a que se desarrollen actividades que mejoren el aprovechamiento de los recursos, aumentar el rendimiento y reducir costos. Dado que el concepto de calidad es una percepción subjetiva y compleja que se tiene acerca de las características de un producto o servicio, en general, los estudiosos de la calidad, surgidos después de la segunda mitad del siglo XX, entre los cuales se encuentran Ishikawa, Deming, Feihenbaum, Juran, Crosby, Shewhart, Shingo y Taguchi, entre los principales y más reconocidos; ofrecen las bases para poder tener un concepto más claro general sobre que es la calidad.

Ishikawa [1] supuso que la calidad es el hecho de desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad. Este producto debe ser el más económico, el más útil y resultar siempre satisfactorio para el consumidor final, mientras que [2] determina el concepto de calidad como el grado predecible de uniformidad y fiabilidad a un bajo costo, que debe ajustarse a las necesidades del mercado. Según Deming, la calidad no es otra cosa más que una serie de cuestionamientos hacia una mejora continua.

Por su parte, [3] entendió la calidad como un proceso que debe comenzar con el diseño del producto y finalizar sólo cuando se encuentre en manos de un consumidor satisfecho. Juran (1993) supuso que la calidad es el conjunto de características que satisfacen las necesidades de los clientes. Además, según Juran, la calidad consiste en no tener deficiencias. La calidad es la adecuación para el uso satisfaciendo las necesidades del cliente.

De acuerdo con ISO 9000:2015 la norma indica que calidad es, el grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos. Con base en estos conceptos se puede aseverar que en calidad existen elementos comunes como: necesidades, expectativas, cliente y satisfacción y están mencionados directa o implícitamente en los trabajos de los diferentes gurus.

Así mismo la calidad se constituye de aquellas características que ha definido un cliente, con base en su criterio, por tanto, calidad será diferente de un cliente a otro, siempre cumpliendo sus necesidades y expectativas [4]. Tener aspectos de calidad y medio ambiente trabajando en un sistema de gestión integral, ayuda a controlar y cumplir los distintos estándares que las partes

interesadas solicitan. En la actualidad, contar con productos y servicios que tengan un menor impacto ambiental es de mayor interés en las distintas industrias.

De esta manera, se busca el equilibrio entre calidad, medio ambiente y la sociedad aspectos integrales destacados para poder satisfacer expectativas que día con día son exigidos a las empresas ya que están establecidas dentro de la legislación ambiental de México, por ejemplo el eje rector la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente [5], cuya inspección y fiscalización recae en la procuraduría federal de protección al ambiente (PROFEPA), establece parámetros a cumplir, entender y aplicar para el cuidado del medio ambiente, a su vez los requerimientos para la prevenir contaminación al medio ambiente, uso y explotación de recursos, así como la gestión de residuos, etc.

Estudios de caso documentados muestran consistentemente procedimientos para implementar Value Stream Mapping como diagnóstico, Lean Manufacturing con herramientas clave Seis Sigma (DMAIC) y plan integrado Lean-VSM-DMAIC aplicable en proyectos en planta que incluyen actividades, datos a recolectar, roles recomendados y métricas.

En el caso de mapeo del flujo de valor (VSM) para la Industria 4.0 donde se planificaron. Se aplicó un modelo de mejora basado en DMAIC con VSM para un fabricante de refrigeradores para camiones, en el cual se optimizó el diseño de la estación de picking con un enfoque centrado en el usuario (Wang, Rahardjo, & Rovira, 2022)

Otro aspecto importante es la reducción de lead time (tiempo de entrega) y mejora en la productividad por trabajador; en el estudio realizado por [7] se muestran recomendaciones prácticas para implementar VSM en empresas medianas.

Six sigma es por tanto, una herramienta que ayuda a medir el impacto directo al definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC) en disminuir el rechazo y mejora de producción [8].

Ahora bien, en el sector eléctrico mexicano, la calidad en los procesos de manufactura de transformadores constituye un eje estratégico para la competitividad y sostenibilidad del país y los Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) proporcionan la estructura formal para documentar, estandarizar y mejorar procesos, siendo el Manual de Calidad el documento rector que asegura la correcta implementación de políticas y procedimientos.

En este proceso, las piezas de polo en la industria eléctrica son componentes fundamentales que forman parte de diversos dispositivos y equipos eléctricos. Su función principal es establecer un campo magnético o actuar como un conductor eléctrico, permitiendo el flujo de

corriente y controlando su dirección, además, su diseño y fabricación requieren un alto nivel de precisión y el uso de materiales adecuados para garantizar la eficiencia y fiabilidad de los equipos eléctricos.

Los restauradores son interruptores de media tensión capaces de abrir una línea de media tensión en condiciones de cortocircuito. Están equipados con sensores y equipamiento electrónico especialmente diseñado para aislar automáticamente las faltas, proteger las líneas y restablecer el servicio si la falta se ha despejado. Dado que muchos de los cortocircuitos que se producen en la red de media tensión tienen carácter transitorio, los restauradores son un equipamiento fundamental para mejorar la continuidad y la calidad del servicio en redes eléctricas en todo el mundo.

De ahí que, el objeto de estudio en la planta de fabricación de restauradores muestra la carencia de planes de calidad definidos en líneas de producto ocasionando que el indicador de los defectos y rechazos (DERE's), buenos a la primera (PPV) y el indicador de resina contaminada por equipo no cumpla con los estándares definidos por la norma, como se ha establecido en el plan estratégico anual, en la figura 1 se resumen los aspectos problemáticos observados a fin de determinar cuál es el área más crítica que requiere un proceso de mejora.

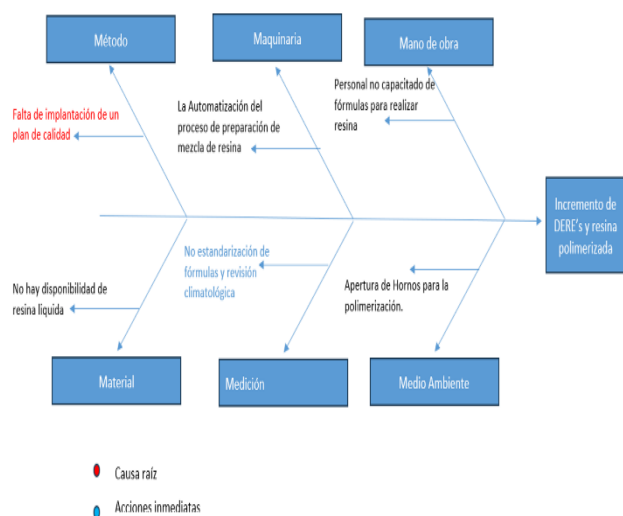


Figura 1. Análisis Ishikawa-CR

Como resultado se plantea la siguiente interrogante ¿La generación e implementación de un plan de calidad en el área de polos ayudara a mejorar el indicador de DERE's y generación de RME? Para dar respuesta a la interrogante el presente estudio tiene como objetivo generar un plan de calidad y poder disminuir defectos y rechazos (DERES) en la organización.

La hipótesis de trabajo considera que implementar un plan de calidad en el área de polos influye en disminuir un 15%

los residuos de manejo especial, (Resina polimerizada) y en un 30% la generación de DERE's.

Dentro de los beneficios esperados se incluye una reducción significativa en los residuos de manejo especial, mejoras en la calidad del producto, y una mayor satisfacción tanto de los clientes como de cumplimiento de metas internas. La implementación exitosa del plan de calidad también puede llevar a una mayor competitividad en el mercado, cumplimiento normativo y por ende mejor imagen corporativa. La factibilidad de la propuesta se sustenta en la disponibilidad de tecnologías avanzadas y metodologías probadas, así como en el compromiso de la alta dirección y la participación de los empleados.

Para llevar a cabo es el estudio, se consideran fuentes de información válidas, incluyendo normas internacionales como ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 y en la literatura existente sobre gestión de calidad y sostenibilidad. De esta manera, la investigación, no solo busca mejorar los procesos internos de la empresa, sino también contribuir al desarrollo de prácticas industriales más sostenibles y responsables [9].

Desarrollo

Los expertos aceptan la definición de calidad como la totalidad de los rasgos y características de un producto o servicio que se sustenta en su habilidad para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas (American Society for Quality Control) así También, la norma internacional (ISO 9001:2008) indica que calidad es la totalidad de las características de una entidad (proceso, producto, organismo, sistema o persona) que le confieren aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas.

Por otro lado, la aplicación de la calidad es muy amplia y en el caso del producto [10] define que para esto calidad significa producir bienes según especificaciones que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes. En suma, la calidad es un concepto muy ligado a la satisfacción del cliente, es por ello por lo que los procedimientos de planeación de calidad de un producto parte por reconocer las necesidades del cliente y traducirlas en especificaciones.

La calidad en el sector eléctrico, particularmente en plantas de transformadores en México, constituye un eje fundamental para garantizar la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia en la generación, transmisión y distribución de energía. Los Sistemas de Gestión de Calidad (SGC), basados en estándares como ISO 9001:2015, permiten a las empresas documentar, estandarizar y mejorar sus procesos, asegurando la conformidad de los productos eléctricos con los requisitos técnicos y regulatorios nacionales e internacionales [11].

En la producción de transformadores, la aplicación del ciclo Six Sigma y Lean Manufacturing, (DMAIC) permite

analizar desviaciones en parámetros como pérdidas en vacío, eficiencia energética y resistencia de aislamiento. La literatura destaca que el éxito de Six Sigma requiere compromiso de la alta dirección, capacitación continua y una cultura organizacional enfocada en la mejora [12].

Otra herramienta importante es el Value Stream Mapping (VSM) que permite visualizar el flujo completo de valor, desde la recepción de materias primas hasta la entrega del transformador terminado. A través de un mapa actual, es posible identificar tiempos muertos, acumulación de inventarios, reprocesos y cuellos de botella; con base en ello se propone un mapa futuro más eficiente y alineado con los principios Lean [13].

En el sector eléctrico, la aplicación de VSM ayuda a detectar demoras en inspecciones de bobinas, inventario excesivo en laminaciones, tiempos prolongados en pruebas dieléctricas y reprocesos en aislamiento [14]. Estas oportunidades de mejora permiten plantear soluciones como mayor sincronización de ensamble con impregnación, programación de mantenimiento preventivo y digitalización de pruebas.

En plantas de transformadores, estas herramientas pueden integrarse de forma sinérgica con Six Sigma y Value Stream Mapping, de modo que los mapas de valor no sean únicamente diagnósticos estáticos, sino sistemas dinámicos de mejora apoyados en datos en tiempo real.

No obstante, su mayor impacto se obtiene cuando se combina con Six Sigma, creando sinergias entre eficiencia y control de calidad [15].

Estudios recientes en México demuestran que la aplicación de Lean y VSM en sectores industriales similares contribuye significativamente a la sostenibilidad económica y operativa [16].

Finalmente, la tendencia emergente de Quality 4.0 integra digitalización, sensorización e inteligencia de datos a los enfoques tradicionales de calidad (Wolniak, & Grebski, (2023), por lo que en el sector eléctrico, la incorporación de monitoreo en línea de procesos de impregnación, análisis predictivo de fallas en bobinas y trazabilidad digital del ensamble potencia la capacidad de las empresas para anticiparse a problemas y responder a las demandas del mercado energético con mayor agilidad [17].

En suma, la integración entre SGC, manual de calidad, Lean, Six Sigma y Quality 4.0 (figura 2), representa un marco estratégico para que las plantas de transformadores en México aseguren competitividad, sostenibilidad y confiabilidad técnica a largo plazo.

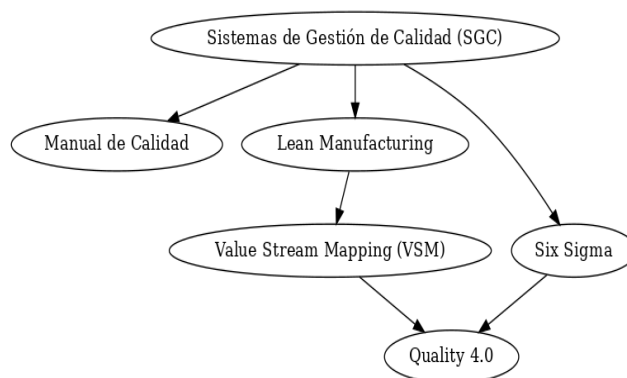


Figura 2. Relación entre SGC, Manual de Calidad, Lean, Six Sigma, VSM y Quality 4.0 [18].

Dentro de este marco, el manual de calidad se erige como el documento rector que integra directrices, políticas, procedimientos y responsabilidades sobre procesos críticos. Una documentación actualizada asegura coherencia operativa y facilita auditorías internas y externas [19].

Metodología

La investigación, combina el enfoque cuantitativo y cualitativo, el primero se utiliza para medir la cantidad de residuos de manejo especial generados antes y después de la implementación del plan de calidad, mientras que el cualitativo se utiliza para comprender algunos aspectos relacionados con el proceso de medición del plan de calidad y su impacto en la gestión de residuos.

Lo anterior se fundamenta en lo señalado por autores como [20] quienes definen la investigación mixta como "un enfoque de investigación que involucra la recolección, análisis e integración de datos cuantitativos y cualitativos en un solo estudio" (p. 14); dado que se van a realizar observaciones directas, revisión documental y también análisis de datos de forma estadística.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque mixto que combinó la recolección y análisis de datos cuantitativos (indicadores productivos y de residuos) y cualitativos (percepción del personal sobre el plan de calidad).

Fases metodológicas

El proceso se estructuró en cinco etapas secuenciales, descritas en el Diagrama de Flujo 1 (Figura 3):

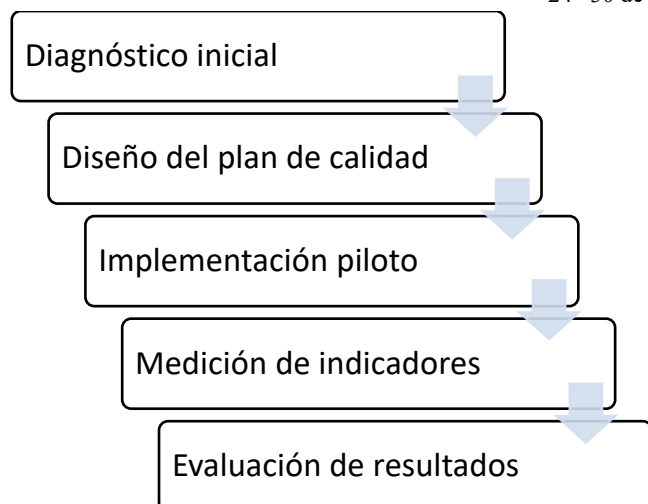


Figura 3. Diagrama de Flujo para la secuencia metodológica aplicada. Fuente elaboración propia, con base en el desarrollo del proceso de investigación

Diagnóstico inicial:

Se aplicó la herramienta Value Stream Mapping (VSM) para identificar desperdicios en el proceso de inyección y polimerización de resina.

Se clasificaron los ocho tipos de muda según [21]: sobreproducción, inventario, transporte, esperas, sobreprocesamiento, defectos, movimientos innecesarios y talento no aprovechado.

Diseño del plan de calidad:

Se definieron indicadores de desempeño clave (KPI):

Tasa de defectos y rechazos (DERE's):

$$TasaDERE's = \left[\frac{(Piezas defectuosas)}{Piezas totales} \right] \times 100$$

Porcentaje de desperdicio de resina:

$$Desperdicio\ de\ resina = \left[\frac{(kg\ desperdicio)}{kg\ total\ usado} \right] \times 100$$

Eficiencia operativa (EO):

$$EO = \left[\frac{(Producción\ real)}{(Producción\ planificada)} \right] \times 100$$

Implementación piloto:

Se aplicaron principios de Lean Manufacturing (5S, estandarización, poka-yoke y control visual).

Se implementó el ciclo DMAIC de Six Sigma:

Definir los problemas principales (defectos de resina, rechazos).

Medir los indicadores antes y después.

Analizar causas raíz (diagrama Ishikawa).

Implementar mejoras (control de temperatura, resina líquida).

Controlar resultados mediante sensores.

Medición de indicadores:

Se recopilaban datos de los años 2023 y 2024 sobre producción, defectos y desperdicio.

Se calcularon variaciones porcentuales para validar la hipótesis mediante comparación antes/después.

Evaluación de resultados:

Se aplicó un cuestionario semiestructurado a 17 colaboradores, midiendo la percepción del plan mediante escala Likert.

Los resultados cualitativos se triangularon con los indicadores productivos para evaluar la efectividad del plan.

Resultados

Se inicia con la revisión de la Normativa y la definición de los procesos para el establecimiento de los indicadores de calidad, así como el análisis de riesgos. En ese sentido, se tienen 10 procesos definidos desde el corporativo de la empresa objeto de estudio: marketing y ventas, proyectos y servicios, operaciones, I+D, compras, financiamiento y tesorería, tecnologías de la información, planificación y gestión, excelencia y recursos humanos.

1. Con respecto a las normativas se evidencia que están diseñados en cumplimiento con las Normas ANSI C37.60, IEC 62271-111, NMX-J-517-ANCE, IEC 61000-4 e IEC 60255, el smART RC utiliza botellas de vacío. Las cuales son las que se estudian ya que son las que como medio aislante ocupan la resina.

2. Utilizando el principio de Lean Manufacturing y Value Stream Mapping (VSM) se identificaron los procesos, analizaron y eliminaron desperdicios en el proceso de producción, mejorando la eficiencia y reduciendo costos. En ese sentido, la tabla 1 compara los datos de los años 2023 y 2024, destacando los cambios en la cantidad de piezas fabricadas, defectos y rechazos, y el desperdicio de resina, medidos en unidades de pieza y kilogramos.

Tabla 1. Análisis general

	Piezas fabricadas		Defectos y Rechazos		Desperdicio de resina	
	Canti- dad	Unid- ad	DERE- S	Unida- d	Desperd- icio	Unid- ad
2023						
Enero	30	Pz	3	Pz	150	kg
Febrero	30	Pz	3	Pz	150	kg
Marzo	30	Pz	2	Pz	100	kg
Abril	0	Pz	5	Pz	250	kg
Mayo	0	Pz	5	Pz	250	kg
Junio	0	Pz	3	Pz	150	kg
Julio	30	Pz	3	Pz	150	kg
Agosto	30	Pz	5	Pz	250	kg
Sept	30	Pz	5	Pz	250	kg
Octubre	30	Pz	4	Pz	200	kg
Nov	30	Pz	4	Pz	200	kg
Dic	30	Pz	4	Pz	200	kg
Total	270	Pz	46	Pz	2300	kg
	13500		17,04 %		17,04%	
	Piezas fabricadas		Defectos y Rechazos		Desperdicio de resina	
	Canti- dad	Unid- ad	DERE- S	Unida- d	Desperd- icio	Unid- ad
2024						
Enero	30	Pz	2	Pz	100	kg
Febrero	30	Pz	2	Pz	100	kg
Marzo	30	Pz	3	Pz	150	kg
Abril	25	Pz	4	Pz	200	kg
Mayo	0	Pz	4	Pz	200	kg
Junio	0	Pz	2	Pz	100	kg
Julio	25	Pz	2	Pz	100	kg
Agosto	30	Pz	5	Pz	250	kg
Sep	35	Pz	4	Pz	200	kg
Oct	30	Pz	4	Pz	200	kg
Nov	35	Pz	2	Pz	100	kg
Dic	30	Pz	2	Pz	100	kg
Total	300	Pz	36	Pz	1800	kg
	15000		12,00 %		12,00%	

Fuente. Elaboración propia

Tal como se observa, en 2023, se fabricaron un total de 270 piezas, mientras que en 2024 se fabricaron 300 piezas. Esto representa un aumento del 11.11% en la producción, además, en 2021, se registraron 46 defectos y rechazos, lo que equivale al 17.04% de las piezas fabricadas. En 2022, se registraron 36 defectos y rechazos, lo que equivale al 12.00% de las piezas fabricadas. Esto representa una disminución del 29.41% en la tasa de defectos y rechazos.

En 2023, se generaron 2.300 kg de desperdicio de resina, lo que equivale al 17.04% de la resina utilizada. En 2024, se generaron 1.800 kg de desperdicio de resina, lo que equivale al 12.00% de la resina utilizada. Esto representa una disminución del 21.74% de desperdicio de resina.

Respecto a la Eficiencia Operativa. La integración de sensores de calidad y sistemas de monitoreo en tiempo real permitió detectar y corregir problemas de manera inmediata, reduciendo el tiempo de inactividad y mejorando la eficiencia en un 20%, estos sensores daban al personal tanto operativo como administrativo las mediciones para detectar donde se encontraban las áreas de oportunidad como: tiempo de polimerización, fugas de combustible, tiempos muertos, y mezclas inadecuadas. Por otra parte, durante el periodo de prueba de cinco meses, se logró una reducción del 30% en la cantidad de residuos generados, comprobando de esta manera la hipótesis de trabajo. Esto se debió principalmente a la revisión de procedimientos sobre las mezclas de resina, la utilización de resina líquida y a la mejora en el control del proceso de inyección, a su vez fueron documentados y controladas las temperaturas de los hornos donde se realizaba la polimerización, ya que se detectó fuga de calor lo que ocasionaba que el proceso de polimerizado no se llevará de acuerdo a los requerimientos, y se generará mayor cantidad de defectos, a su vez estos resultados fueron entregados en los diversos reportes de autoridades ambientales correspondientes, ya que fue también parte del plan de manejo de residuos.

Por otra parte, durante el periodo de prueba de cinco meses, se logró una reducción del 30% en la cantidad de residuos generados, se comprueba de esta manera la hipótesis de trabajo. Esto se debió principalmente a la revisión de procedimientos sobre las mezclas de resina, la utilización de resina líquida y a la mejora en el control del proceso de inyección, a su vez fueron documentados y controladas las temperaturas de los hornos donde se realizaba la polimerización, ya que se detectó fuga de calor lo que ocasionaba que el proceso de polimerizado no se llevará de acuerdo a los requerimientos, y se generará mayor cantidad de defectos, a su vez estos resultados fueron entregados en los diversos reportes de autoridades ambientales correspondientes, ya que fue también parte del plan de manejo de residuos.

Calidad del Producto. La implementación de metodologías como Seis Sigma y Lean Manufacturing resultó en una reducción del 25% en los defectos de los productos,

mejorando así la satisfacción del cliente, evidenciados también en la disminución de reclamaciones, y con mejores resultados en las auditorias, ya que ahora solo se reportaron sugerencias de mejora.

De manera general, la implementación de un plan de calidad en el área de fabricación de restauradores ha tenido un impacto positivo en la reducción de residuos de manejo especial en la industria eléctrica. Se ha observado un aumento en la producción, una disminución en la tasa de defectos y rechazos, y una reducción en la cantidad de desperdicio de resina. Estos resultados sugieren que la implementación de planes de calidad puede ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en la industria eléctrica.

Respecto a la Medición de la Satisfacción y Valoración de Impacto desde el punto de vista del Personal participaron 17 personas (tabla 2).

Tabla 2. Puestos de trabajo

Cargo	Frecuencia	Porcentaje
Jefe de Almacén	1	5.9
Jefe de Producción	10	58.8
Jefe de Calidad	3	17.6
Jefe de Resinas	2	11.8
Jefe de Embarques	1	5.9
Total	17	100.0

Fuente. Elaboración propia

Respecto al diseño del plan los encuestados (64.7%) están muy de acuerdo en que el plan de calidad está bien definido y es fácil de seguir, un 23.5% está de acuerdo con esta afirmación y solo un 11.8% la considera regular. En general, la percepción del personal sobre el plan de calidad es positiva.

La mayoría considera que el plan está bien definido y es fácil de seguir, lo que potenciaría el logro de los objetivos de reducción de residuos (15%) y DERE's (30%). Sin embargo, existe un 11.8% que considera el plan como regular, lo que sugiere oportunidades de mejora en la comunicación y capacitación del personal.

La forma de comunicar el plan result (64.7%) están muy de acuerdo en que el plan de calidad ha sido comunicado de manera efectiva, seguido del 29.4% que indica estar de acuerdo con la comunicación, mientras que solo un 5.9% la considera regular.

La prevalencia de respuestas positivas del plan de calidad como una herramienta útil para el control de procesos 41.2% de los encuestados está muy de acuerdo adicionalmente al 35.3% de acuerdo que el plan de calidad proporciona las herramientas y recursos necesarios para un control de procesos efectivo, además 17.6% lo considera regular y solo 5.9% esta en desacuerdo.

Asi mismo respecto al impacto de imlementación de plan sobre la calidad del producto y reducción de residuos de

manejo especial, la respuesta ha sido positiva en un 41.2%.

Lo anterior derivado que la planeación y estandarización de procesos ha mejorado la identificación de defectos y no conformidades así lo dejaron ver el 62.4% 70.6% del personal respectivamente.

En ese orden de ideas, el manejo especial y la generación de DERE's, así como en la mejora de la trazabilidad de los productos fabricados, según la percepción del personal permite constatar la satisfacción de los empleados con el plan de calidad y reconocen su contribución a las mejoras propuestas.

De manera general la capacitación, establecer los alcances y responsabilidades que cada uno tenia en el proyecto, además de la retroalimentacion correspondiente con cada una de las aportaciones recibidas facilito la robustez del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) basado en la norma ISO 14001:2015 e ISO 9001:2015 al asegurar el cumplimiento de todas las regulaciones ambientales aplicables y de calidad.

Discusión

Luego de analizar los resultados se puede indicar que es posible lograr mejoras significativas en la eficiencia y sostenibilidad de los procesos de fabricación a través de la implementación de prácticas y tecnologías adecuadas; pues al igual que en el estudio realizado por [22] donde se reveló que existen significativas posibilidades de avance en la reducción del consumo de materiales, la optimización de procesos productivos y la implementación de modelos de economía circular, tales como la simbiosis industrial y el producto como servicio, en particular, se identificó un alto potencial de mejora en las áreas de reducción de materiales y optimización de materiales; por lo tanto, al combinar los enfoques y siguiendo las recomendaciones mencionadas, las empresas pueden reducir su impacto ambiental, mejorar su competitividad y contribuir a un futuro más sostenible.

También es importante tomar en cuenta los aportes de [23] porque también buscaron optimizar los procesos de fabricación y reducir los desperdicios, se sugiere utilizando herramientas como el VSM, además de implementar de manera secuencial herramientas Lean como 5S y el Método de Trabajo, logrando establecer un sistema de seguimiento continuo para evaluar los resultados.

Asimismo, involucraron a todo el personal en los procesos de mejora y utilizar datos para tomar decisiones informadas, encontrando que, al combinar estos elementos, se pueden lograr mejoras significativas en la eficiencia, la calidad y la reducción de costos, al tiempo que se cumple con los requisitos ambientales y normativos.

En resumen, la implementación de un plan de mejora continua que combine las mejores prácticas de ambas propuestas permitirá a las empresas alcanzar resultados sobresalientes en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Es importante adaptar este enfoque a las necesidades específicas de cada organización y realizar un seguimiento constante de los resultados para garantizar el éxito a largo plazo.

Conclusiones

La implementación del plan de calidad, sustentado en Lean Manufacturing, Six Sigma y VSM, demostró su eficacia.

Lean manufacturing, permitió eliminar desperdicios y reducir tiempos improductivos, mejorando la eficiencia operativa en 20%. Las herramientas 5S y control visual mejoraron la organización, reduciendo errores humanos y tiempos muertos. Six Sigma (DMAIC), fue determinante para identificar causas raíz de defectos, logrando una reducción del 29.41% en la tasa de defectos y rechazos (DERE's). El enfoque estadístico permitió un control continuo de la variabilidad en el proceso de polimerización.

Value Stream Mapping (VSM), facilitó la visualización integral del flujo de valor, identificando cuellos de botella en inyección y mezclado, lo que permitió reducir el desperdicio de resina en 21.74%.

Para la satisfacción del personal y del cliente, el 64.7% del personal consideró el plan de calidad como bien definido y fácil de seguir. La mejora en la calidad del producto redujo reclamaciones, incrementando la satisfacción del cliente y fortaleciendo la imagen corporativa.

En este contexto, se resalta que el plan de calidad logró reducir los residuos en 30%, mejorar la eficiencia operativa en 20% y aumentar la producción en 11.11%. Estas mejoras consolidan un modelo replicable de calidad y sostenibilidad industrial en el sector eléctrico mexicano.

Referencias

- [1] Ishikawa, K. (2000). ¿Qué es el control total de calidad? 19 Edición. Norma, Bogotá,
https://www.google.co.ve/books/edition/Qu%C3%A9_es_el_control_total_de_calidad/MWGOXKtTQwC?hl=es-419&gbpv=1
- [2] Deming, W. (1986). Out of the Crisis. MIT Center for Advanced Educational Services.
<https://archive.org/details/outofcrisisquali00demi>
- [3] Feigenbaum, A. (2000). Control total de la calidad. Cd. de México: McGraw-Hill.
- [4] Comisión Federal de Electricidad — Sustainable Financing Framework (2022). Documento institucional que menciona certificaciones ISO y prácticas de gestión en plantas y operaciones. https://www.cfe.gob.mx/finanzas/financiamiento-economic-information/Documents/CFE_%20Sustainable%20Financing%20Framework.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [5] ISO 9001:2015. (2015). Quality management systems – Requirements. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- [6] Wang, F.-K., Rahardjo, B., & Rovira, P. R. (2022). Lean Six Sigma with Value Stream Mapping in Industry 4.0 for Human-Centered Workstation Design. *Sustainability*, 14(17), 11020. <https://doi.org/10.3390/su141711020>
- [7] Naga Vamsi Krishna Jasti, Aditya Sharma; Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. *International Journal of Lean Six Sigma* 25 February 2014; 5 (1): 89–116. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2012-0002>
- [8] Ankesh Mittal, Pardeep Gupta, Vimal Kumar, Ali Al Owad, Seema Mahlawat, Sumanjeet Singh, The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company, *Heliyon*, Volume 9, Issue 3, 2023, e14625, ISSN 24058440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14625>.
- [9] Tari, J. (2000). Calidad Total: Fuente de Ventaja Competitiva. Alicante: Publicaciones Universidad de Alicante, https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13445/1/Tari_Guillo_Calidad_total.pdf
- [10] García-Alcaraz, J.L., et al. (2022). Effect of lean manufacturing tools on sustainability. *PMC / Scientific Reports*.
- [11] Khan, M.A. (2024). Lean Six Sigma applications in electrical equipment manufacturing. *SSRN*.
- [12] Vasques Morales, N., & Castañeda Castañeda, C. B. (2023). Metodología Value Stream Mapping (VSM) aplicada a procesos de perforación de pozos petroleros Wang, F.-K., Rahardjo, B., & Rovira, P. R. (2022). Lean Six Sigma with Value Stream Mapping in Industry 4.0 for Human-Centered Workstation Design. *Sustainability*, 14(17), 11020. <https://doi.org/10.3390/su141711020> en México, Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. Ciencia Latina+1 Díaz-Reza, J.R., et al. (2024). Lean manufacturing tools as drivers of social sustainability. *ScienceDirect*.
- [13] Martínez Cerón, A., Hernández-Gracia, T. J., et al. (2024). Proceso productivo aplicando el Value Stream Mapping en la industria del plástico, *Revista Venezolana de Gerencia. ResearchGate*
- [14] Shokri, A., Upton, M., Antony, J., & Garza-Reyes, J.A. (2021). Framework for implementing sustainable lean manufacturing in the electrical industry. *Int J Qual Reliab Manag.*
- [15] Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J., López, Arturo, Vazquez, R. (2024) Lean manufacturing tools as drivers of social sustainability in the Mexican maquiladora industry, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 196, 2024, 110516, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110516>.
- [16] Skalli, D. (2023). Industry 4.0 and Lean Six Sigma integration in manufacturing. *Journal article*.
- [17] Gomaa, D. A. H. (2025). LSS 4.0: A Conceptual Framework for Integrating Lean Six Sigma and Industry 4.0 for Smart Manufacturing Excellence. *Indian Journal of Management and Language*. DOI 10.54105/ijml.H1810.05010425

- [18] Díaz-Reza J.R., Mousavi, S.H., Sánchez Ramírez, J.L. (2024). Achieving social sustainability through lean manufacturing practices: Insights from structural equation model and system dynamics [Article] *Journal of Cleaner Production*, 448, Article 141453, 10.1016/j.jclepro.2024.141453
- [19]. Creswell, J. W., & Creswell, C. D. (2007). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach*. (3rd ed.). Sage Publications,
https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- [20]. Ohno, T. (1998). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- [21]. Luna G. (2022). Revalorización de residuos de manejo especial en una empresa de electrodomésticos con base en los principios de la economía circular (Tesis de maestría). UAEMorelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Cuernavaca, Morelos.
<http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2744/LUGPTL08T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22]. Rodríguez B. & Silva R. (2021). Propuesta de mejora en el proceso de producción de una empresa de tableros eléctricos utilizando herramientas lean para llegar a cumplir con los tiempos de entrega, <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/65831>.