EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Matamoros

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

PROTOCOLO DE TESIS:

“MEJORA DE PROCESO DE CRISTALIZACIÓN”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

PRESENTA:

JORGE ADALBERTO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

DIRECTOR DE TESIS

MARA GRASSIEL ACOSTA GONZÁLEZ

H. Matamoros, Tamaulipas, México 31 octubre de 2023

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tecnología es progreso®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MATAMOROS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

PROTOCOLO DE TESIS:

“MEJORA DE PROCESO DE CRISTALIZACION”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO

EN ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL

PRESENTA:

Nombre del Alumno: Jorge Adalberto Hernández Sánchez

DIRECTOR: MTRA. MARA GRASSIEL ACOSTA González

ASESORES:

SECRETARIO: JUAN ANTONIO ZAMARRON GARCÍA

VOCAL: MTRO. JOSE JAVIER TREVIÑO URIBE

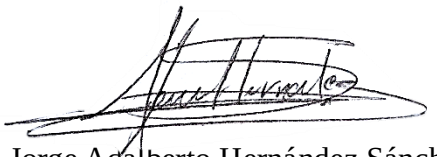
VOCAL SUPLENTE: MTRO. CLAUDIO ALEJANDRO ALCALÁ SALINAS

H. Matamoros, Tamaulipas, México 31 octubre de 2023

Carta de cesión de derechos de trabajo de tesis

En la ciudad de Matamoros, Tamaulipas, el día 31 del mes de octubre del año 2023, el que suscribe Jorge Adalberto Hernández Sánchez, estudiante del Programa de Posgrado: Maestría en Administración Industrial, con número de control M21260308, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis dirigido por el director de tesis Mara Grassiel Acosta González y codirector de tesis Claudio Alejandro Alcalá Salinas, cede los derechos del trabajo titulado "Mejora de proceso de Cristalización ", al Tecnológico Nacional de México para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir al contenido textual, gráfico o datos del trabajo sin dar los créditos correspondientes y citar la fuente de este.



Jorge Adalberto Hernández Sánchez

Nombre y firma del Alumno

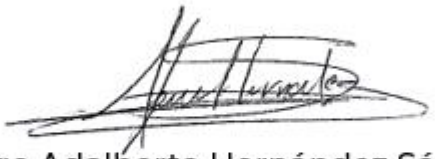
Declaración de originalidad y no plagio

El, (La) que suscribe y firma la presente carta de originalidad, **Jorge Adalberto Hernández Sánchez**, autor (a) de la Tesis: **"Mejora de proceso de cristalización"** para obtener el Título de ***Maestro en Administración Industrial,*** declara que la tesis es una **obra original** que no infringe los derechos de propiedad intelectual.

El trabajo terminado fue sometido al Software ***Turnitin***, el cual mostró un porcentaje del 11.0% plagio, cumpliendo con el límite permitido por la institución.

Del mismo modo, asumo frente al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Matamoros cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la falta de originalidad de su contenido.

Atentamente



Jorge Adalberto Hernández Sánchez

Nombre y firma del Alumno

H. Matamoros, Tamaulipas a 31 de octubre de 2023

Oficio de liberación

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Matamoros
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Heroica Matamoros, Tamaulipas a, 19/OCTUBRE/2023
OFICIO No.: 340/2023 D.E.P.I.

CLAUDIO ALEJANDRO ALCALÁ SALINAS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
PRESENTE

Por este conducto, le comunicamos que una vez efectuada la revisión individual del trabajo de tesis del **C. JORGE ADALBERTO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ,** cuyo título es: **"MEJORA DE PROCESO DE CRISTALIZACION",** y habiendo realizado las observaciones pertinentes nos reunimos en la Sala de Juntas de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), para emitir **DICTAMEN,** el cual es **APROBADO.** Por lo cual nos permitimos autorizarla para que proceda a la impresión de la misma y pueda continuar con los trámites correspondientes, para la obtención del grado de Maestro(a).

ATENTAMENTE

MARA GRASSIEL ACOSTA GONZÁLEZ
DIRECTORA DE TESIS

JUAN ANTONIO ZAMARRÓN GARCÍA
MIEMBRO DEL COMITÉ REVISOR

JOSÉ JAVIER TREVIÑO URIBE
MIEMBRO DEL COMITÉ REVISOR

c.c.p. Interesado(a).
c.c.p Servicios Escolares
c.c.p. Comité Revisor
c.c.p. Div. Est. de Posgrado/ Coordinación

Av. Lauro Villar, de U.S, C.P. 97400, A.P. 339 Heroica Matamoros, Tamaulipas. Tels. 8688149053, 8688149953, 8688149667 ext. 300 y 309 e-mail: depi_matamoros@tecnm.mx/ tecnm.mx/ matamoros.tecnm.mx

2023 Francisco VILLA

Agradecimiento

Agradezco a la mayor casa de estudios de matamoros el Instituto Tecnológico de Matamoros, el cual me ha brindado muchos conocimientos desde mi etapa como estudiante de licenciatura, los cuales me han sido de gran ayuda ahora como profesional. A mi familia, amigos y seres queridos que me han brindado su apoyo moral y motivacional para seguir adelante en esa preparación hacia un mejor desarrollo personal en todos los sentidos. Con esto consagro un logro más de los que quiero cumplir. Siendo una persona de pocas palabras espero que les quede por sentado que agradezco todo el apoyo que se me brindo durante esta trayectoria de mi vida.

RESUMEN

En una planta de producción de Heptafluorotalato de potasio KEMET de México se presenta actualmente un problema de rendimiento por cada lote, ya que este es menor de lo esperado el cual se tiene como una de las metas de producción de la empresa. Por tanto, el objetivo es lograr alcanzar la meta de rendimiento por cada lote. Para esto se opta por utilizar herramientas estadísticas, así como también un plan avanzado utilizando herramientas de la metodología six sigma, recopilando los datos históricos del proceso para su análisis, los cuales estarán enfocados en una parte del proceso llamado Cristalización. Dicho parte del proceso es donde se logra observar a detalle el decremento del rendimiento por cada lote, de esta manera utilizando la información recopilada se definen cuáles son las principales variables que se pueden controlar y/o lo que se requiere para que estas variables entren dentro de los rangos de control; mejorando el rendimiento por cada lote de producción.

ABSTRACT

In a KEMET potassium heptaflurothalate production plant in Mexico, there is currently a yield problem for each batch, as it is lower than expected, which is one of the company's production goals. Therefore, the goal is to achieve the performance target for each batch. For this, it who decided to use statistical tools as well as an advanced plan using six sigma methodology tools, collecting historical data of the process for analysis, which will be focused on a part of the process called Crystallization. This part of the process is where the decrease in performance of each batch can be observed in detail. In this way, based on the information collected, the main variables that can be controlled and/or what is required for said variables to be included are defined in control ranges, improving the performance of each production batch.

.

Índice

Carta de cesión de derechos de trabajo de tesis 3
Declaración de originalidad y no plagio 4
Oficio de liberación 5
Agradecimiento 6
RESUMEN 7
ABSTRACT 8
Introducción 12
CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROBLEMA 13
1.1 Descripción de la problemática 13
1.2 Planteamiento del problema 13
1.3 Objetivos 14
1.3.1 Objetivo general 14
1.3.2 Objetivos secundarios 14
1.4 Hipótesis 14
1.4.1 Hipótesis general 14
1.4.2 Hipótesis secundarias 14
1.5 Justificación 15
Social 15
Económica 16
Tecnológica 16
1.6 Variables e indicadores 18
CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS 19
2.1 Marco conceptual 19
1. Metodología Six Sigma 19
2. Gestión de calidad total (TQM) 23
3. Fabricación Lean 24

4. Mejora continua, el método Kaizen 24
6. El análisis de los 5 “por qué” 28
7. Gestión de procesos de negocios (BPM) 30
2.2 Resultado de investigaciones anteriores 33
2.3 Marco contextual 33
2.4 Estado del arte 35
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 37
3.1 Población o muestra 37
3.2 Tipo de estudio 37
3.3 Selección del instrumento 37
3.4 Procedimiento de recolección o procedimiento de solución 37
3.5 Procedimiento de análisis de datos o metodología empleadas 38
Proyecto de factibilidad/ estudio de campo 40
3.1. Tipo de estudio 40
3.2. Unidades de análisis 40
3.4. Diagnóstico de la situación actual 40
3.5. Determinación de la muestra 40
3.6. Diseño del instrumento 40
3.7. Validación del instrumento 40
3.8. Aplicación del instrumento 40
3.9. Métodos de análisis e interpretación de los resultados obtenidos 40
3.10. Metodología implementada 41
3.11. Construcción del prototipo: 41
3.2.1 Investigación aplicada (metodología implementada) 42
3.1. Estudio diagnóstico 42
Diagrama de flujo 43
Diagrama de flujo de alto valor 44

Diagrama de Causa-Efecto 45
Diagrama de Pareto 46
3.2. Descripción del proyecto 47
3.3. Objetivos 47
3.4. Población objetivo o beneficiarios 48
3.7. Metodología para el desarrollo de las actividades 49
3.7.1 Investigación de la variación en la temperatura de enfriamiento 52
Prueba de hipótesis 54
Capitulo IV Resultados 57
4.1 Resultados 58
4.2. Consideraciones acerca de la factibilidad o viabilidad del proyecto 59
Resultados de los objetivos generales y secundarios. 61
Resultados en Prueba de Hipótesis 62
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES 63
1. Conclusiones 64
Fuentes de Información y citas 65
Bibliografía 65

Introducción

Actualmente en la mayoría de las empresas cual sea su giro, existe la necesidad de evitar cualquier tipo de desperdicio de sus recursos ya de maquinaria, materia prima, mano de obra porque esto genera costos los cuales impactan en las utilidades generadas como ganancias. Es por eso por lo que se han creado muchas metodologías de estudios que dan soporte a los profesionales de cada área, siendo estas herramientas de gran importancia para reducir estos impactos y mejorar la calidad de los productos producidos. He aquí su importancia, se presentará el desarrollo de la problemática de la empresa, al mismo tiempo se hará el desarrollo de una de las metodologías más utilizadas en la actualidad para la mejora de los procesos productivos. La implementación paso a paso de esta metodología de manera reducida y como al ponerla en práctica se aprecian distintos aspectos de los problemas, las posibles soluciones de acuerdo con la capacidad de la empresa para atacar los problemas.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la problemática

La planta de KBMT produce 320 kg por cada lote, lo cual es igual a un rendimiento del 91.1%, siendo esto aceptable para la planta y sus métricos de producción.

Durante los últimos 19 meses, en la planta de KBMT, en los procesos de Transformación a Empaque, de: 100% lotes producidos por mes; 58% de los lotes de K-Salt están por debajo de la meta establecida de rendimiento de cada lote, lo cual significa que de los 320 kg esperados por cada lote se obtienen solamente 310 kg. Esto genera a su vez problemas en la planeación de químicos, entrega al cliente y principalmente que cada kilogramo que no es producido tiene un valor de $2500.00 MX.

1.2 Planteamiento del problema

En los procesos de Transformación a empaque, desde el mes de abril del año 2020 en el 58% de los 661 lotes producidos en el periodo de abrir 2020 a noviembre 2021 se tienen problemas para mantener un rendimiento controlado de cada lote en la planta de KBMT. Entonces se tiene que el 58% de los 661 lotes producidos en ese periodo, equivale a 383.38 lotes los cuales tienen un promedio de 2.8% por debajo de la meta establecida que es de 91.1%, teniendo este rendimiento de 88.3%; por tanto, de los 320 kg por lote esperados, se obtienen realmente 310.16 kg por lote. De acuerdo con lo anterior se estima que se pierden 9.84 kg por lote, teniendo en cuenta que cada kilogramo de K2 tiene un precio de $2500.00 MX; se estima que, si un mes de producción tiene 46 lotes producidos, 26.51 de estos lotes tienen una deficiencia de 9.84 kg; Se tiene una perdida mensual de 260.85 kg de K2 lo que es igual a $652,146.00 MX. Debido a este problema se tiene mayor consumo de material (95 kilos al mes), así también retraso en la planeación de fechas de entrega de material (5 días por cada 960 kilos faltantes) donde interfieren factores como lo es la temperatura del medio ambiente, la mano de obra, equipos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Se ha de asegurar que los lotes de producidos tengan un rendimiento por lote de 91.1% de acuerdo con los métricos fijados, para el primer cuarto del año fiscal, con no más de 3.4 lotes por millón debajo de la meta.

1.3.2 Objetivos secundarios

1. Implementación de un sistema de un sistema que mejore los mantenimientos preventivos de los equipos, evitando las contaminaciones en el producto.
2. Mejora en la implementación de automatización de las piletas de cristalización y transformación, modificando el software de control principal.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La temperatura del agua de enfriamiento y los tiempos entre cada cambio de agua en las piletas de cristalización afectan de manera directa el rendimiento de cada lote de producción, el mejoramiento con automatización en alguno de los procesos de Transformación a Empaque y la instalación de equipos de más eficientes, optimizará las condiciones del proceso siendo estas mejor controladas.

1.4.2 Hipótesis secundarias

1. Adición de KCl en el proceso de transformación afecta el rendimiento, la preparación de las recetas en dicho proceso es llevada a cabo de manera manual utilizando métodos de medición inexactos. Dejando al criterio de los empleados la medición de niveles, así como de equipos de lectura de temperatura como termómetros.

2. La descarga de la solución de transformación por el operador representa un riesgo para el rendimiento de cada lote, de manera recurrente el contacto del personal con la preparación de los lotes aumenta el factor de contaminación por parte de los empleados. Se pudiera contaminar un lote por basura o suciedad.

1.5 Justificación

El llevar a cabo esta investigación y proyecto favorecerá a que los lotes de producción cumplan con el objetivo rendimiento establecido, obteniendo otros beneficios como el ahorro de productos químicos como ácidos utilizados también para el mismo reproceso del material que no cumple con las condiciones para el producto final.

La revisión de otras partes del proceso ayudara a identificar áreas de oportunidad que quizá no representen el problema principal, pero se podrían mejorar instrucciones de manufactura con la instalación de equipos más exactos. La actualización de documentos para un mejor y más sencillo entendimiento con el personal operativo.

El producto final de la planta es una sal llamada Heptafluorotalato de potasio K2TaF7 el cual es un compuesto que sirve de materia prima para que finalmente se convierta en un polvo metálico con características específicas que servirán de materia prima para los capacitores.

Social

La justificación social para este proyecto de mejora generará una mayor calidad en la materia prima, la cual es utilizada en la manufactura de capacitores equipos ampliamente utilizados en equipos médicos, electrónicos (laptop, PC, cámaras, televisiones, entre muchos otros), de uso militar y aeroespacial. Los cuales son de primera categoría. Al mejorar el producto podremos asegurar a nuestros clientes material más económico que la competencia, colaborando de esta manera en la reducción de costos de los clientes para la elaboración de su producto final.

Los capacitores son componentes de mucha relevancia en el área debido a cada una de las propiedades que posee, que permiten cumplir diversos tipos de acciones que son de mucha importancia para las aplicaciones que desea llevar a cabo, entre ellas las siguientes:

- Llevan a cabo el almacenamiento de energía y tienen la posibilidad de disiparla en el momento.

Actualmente, son muchos los usos que se dan a los capacitores en muchos ámbitos, como la física, la electrónica, las industrias, y en casi todos los aspectos de la vida del ser humano, ya que, al ser un componente eléctrico, se encuentran en casi todos los aparatos eléctricos, como baterías, refrigeradores, microondas, entre otros. A pesar de la gran cantidad de usos que se les da a los capacitores día a día, su utilidad no se ve a simple visa, por lo que es importante que las personas conozcan que los capacitores son componentes fundamentales para el funcionamiento de cada aparato eléctrico, que, a la vez, están muy presentes en el día a día de cada individuo.

Económica

El impacto económico seria favorable para la empresa ya que se estaría optimizando la ganancia eliminando desperdicios, debido a que estaría controlado de manera eficaz la producción de la materia en cuestión e impactando de manera indirecta los costos de nuestro cliente para elaborar su producto final.

Tecnológica

- Apoyo energético

Muchos proyectos en ingeniería, como el diseño de elevadores, requieren de ciclos donde en una etapa se requiera una baja descarga de energía y otros de una alta descarga (como cuando el elevador desciende y asciende). Esta demanda requiere de sistemas que permitan una regulación precisa de la energía suministrada y una alta capacidad de almacenamiento de energía. De esta manera los supercondensadores suministran la energía necesaria para subir el elevador sin necesidad de sobrecargar la red eléctrica.

- Aplicaciones de energía solar

En aplicaciones de energía solar es necesario estabilizar la tensión suministrado por las fotoceldas, por lo que se utilizan supercondensadores de 2400 F dispuestos en paralelo para estabilizar el suministro de energía eléctrica. De las fotoceldas generalmente se traslada la diferencia de potencial a una válvula de regulación de

descarga ácida. Actualmente se estudia la manera de controlar la tensión a través de un banco de supercondensadores que permite disminuir los picos de tensión y proveer una corriente constante de 1.37 A por 45 segundos cada hora, gracias al almacenamiento de energía en el condensador y su liberación estable en un circuito equivalente RLC.

- Almacenamiento de energía

Uno de los usos más extendidos de supercondensadores es su uso en sistemas microelectrónicos, memorias de computadoras y relojes y cámaras de alta precisión. Su uso permite mantener el funcionamiento de los dispositivos durante horas e incluso días.

- Sistemas de transferencia de energía

Una aplicación estudiada ampliamente en la actualidad es el uso de supercondensadores en sistemas UPS unido a sistemas de transferencia de energía acoplados por inducción (ICPT). Se utilizan para facilitar la transferencia de energía, hacer más eficiente la carga de energía eléctrica, permitiendo el aislamiento de los sistemas UPS para el funcionamiento de sistemas eléctricos.

- Sistemas de transferencia de potencia

En el área de energía las propiedades de los supercondensadores son de gran importancia para la transferencia de energía. Los sistemas STATCOM (Compensadores Estáticos) son dispositivos de la familia de los sistemas de transmisión de corriente flexible alternante (FACTS), y se utiliza para el control de los picos de tensión en sistemas eléctricos. Cuando se conectan con sistemas de transferencia de potencia a elementos STATCOM, se produce una gran inductancia que produce un incremento en la corriente y picos de tensión, por lo que es necesario tener condensadores de gran capacitancia para compensar este fenómeno. Su uso permite mantener una corriente constante y menores picos de tensión para facilitar la transmisión de la energía eléctrica.

Al elaborar un producto de mayor calidad abre las puertas a que se existan capacitores de mayor capacidad en el mercado impulsando la tecnología y la innovación de productos electrónicos actuales o en desarrollo.

1.6 Variables e indicadores

Temperatura: Es una de las variables más críticas en lo que respecta a los procesos mencionados de investigación (transformación a empaque), relacionándose directamente con el rendimiento de cada lote de producción en las distintas partes del proceso.

Peso: Es una variable que nos indica el rendimiento total de cada lote de producción, así como las pérdidas que pudieran darse durante los pasos para llegar a ser producto final. El peso nos ayuda a visualizar y detectar donde pudieran estar existiendo desperdicios que perjudiquen el rendimiento de la empresa.

Presión de vapor: Esta variable influye directamente en el proceso de transformación solo aquí es donde se utiliza para llevar a cabo este proceso. Con este se lleva a cabo el proceso de calentamiento de la solución para realizar el agregado de otro producto y realizar la transformación.

Tiempo: Esta variable influye en varias partes del proceso principalmente en el proceso de cristalización, existe una estandarización en los tiempos de cada proceso que se encuentran documentados

Las variables que afectan directamente al proceso están relacionadas con los equipos que se utilizan para llevarlos a cabo como lo son enfriadores, calderas, intercambiadores, bombas, electroválvulas, equipos automatizados.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco conceptual

La mejora de procesos son metodologías mediante las cuales un equipo evalúa sus procesos en uso y los adapta con la intención de aumentar la productividad, reducir los costes, simplificar los flujos de trabajo, adaptarse a las cambiantes necesidades de negocios o mejorar la rentabilidad.

Para mejora de procesos de negocios que se pueden implementar en tu equipo para reducir cualquier ineficiencia. En la mayoría de los casos, la metodología que eliges depende de por qué quieres perfeccionar los procesos y de qué es lo que buscas mejorar.

1. Metodología Six Sigma

Six sigma o seis signa, es un sistema de gestión de procesos orientado a la mejora de la calidad, basado en el uso de la estadística para medir la capacidad, el rendimiento y el funcionamiento de los procesos, y propone unos objetivos concretos de reducción del número de defectos al intervenir en la reducción de la variabilidad de los procesos.

Fue desarrollado por la compañía multinacional de telecomunicaciones Motorola en 1986 y ha evolucionado desde entonces para convertirse en una estrategia de negocio que proporciona importantes beneficios económicos.

Six Sigma es una metodología de mejora de procesos que apunta a minimizar la cantidad de variaciones en el producto final. Fue desarrollada por el ingeniero estadounidense Bill Smith mientras trabajaba para Motorola en 1986. En este proceso, se usan datos estadísticos como referencia para ayudar a los líderes del negocio a entender el funcionamiento de sus procesos. Un proceso se considera optimizado si produce menos de 3.4 defectos por millón de ciclos.

Six Sigma se usa mucho en fabricación, principalmente porque es útil para minimizar defectos e inconsistencias. El objetivo, en este caso, es lograr una regularidad óptima que, en definitiva, se traduce en la satisfacción de los clientes.

La metodología Seis Sigma podría resumirse en 3 principios básicos:

- La calidad de los productos y servicios percibida por los clientes es la clave. La variabilidad produce defectos y los defectos reducen la calidad. Es preciso un esfuerzo continuo en reducir los defectos con fiabilidad, para garantizar cubrir las expectativas de los clientes. Esto se consigue reduciendo la variabilidad.
- Los procesos y servicios tienen características que pueden medirse, analizarse, mejorarse y controlarse. Así pues, la utilización de técnicas estadísticas resulta clave para medir, cuantificar y predecir el funcionamiento de un sistema bajo las condiciones actuales y encontrar las óptimas.
- El objetivo de conseguir mejorar de calidad sostenibles requiere del compromiso de la organización completa, y particularmente del equipo directivo, al que se le pide destinar inversión y recursos humanos que dediquen a tiempo completo la mejora.

Para reducir la variabilidad, es clave identificar las fuentes de variación, aspecto en el que la utilización de datos y técnicas estadísticas es crucial. Para encontrar las condiciones óptimas de funcionamiento de un sistema garantizando los requisitos de calidad, es crucial el diseño de experimentos, otra herramienta estadística que cobra un papel protagonista en un proyecto de mejora Seis Sigma, al ser capaz de generar mejoras inmediatas. Por último, el modo de garantizar la estabilidad en el tiempo de las mejoras es mediante la utilización de técnicas de control estadístico de procesos. Todas las técnicas estadísticas van acompañadas, en un proyecto Seis Sigma, de protocolos estandarizados de análisis y actuación hacia la mejora.

Hay dos procesos principales que se pueden aplicar en Six Sigma: DMAIC para procesos que ya se están aplicando y DMADV para procesos nuevos. Como en este

artículo nos centramos específicamente en las mejoras de los procesos en curso, ahondemos en los procesos DMAIC.

¿Qué es un proceso DMAIC?

DMAIC es una opción de Six Sigma que se utiliza para optimizar procesos. DMAIC significa:

- Definir la oportunidad de mejora. Donde se elige y describe qué proceso/s se abordarán, cómo se desarrollan en la actualidad, y cuáles serán los objetivos, requisitos, recursos y planificación del proyecto.
- Medir el rendimiento de los procesos actuales. Cuando se recopilan datos para cuantificar la gravedad de las ineficiencias del proceso y su capacidad para conseguir requisitos marcados.
- Analizar los procesos para descubrir defectos o las causas de origen de esos defectos. Con los datos se investigan las fuentes de variabilidad o factores críticos de calidad para la calidad, cuyo control repercutirá en una reducción de la varianza y en consecuencia del número de defectos.
- Mejorar los procesos abordando las causas de origen. Fase en la que se proponen mejoras concretas en los procedimientos, para cumplir con los requisitos impuestos. En esta fase es importante la aplicación del diseño de experimentos para testar soluciones alternativas.
- Controlar los procesos mejorados y evaluar el rendimiento de los procesos posteriores para corregir desviaciones. Cuando se comprueban las mejoraras y se establecen alarmas y protocolos de acción para mantener las mejoras en el tiempo.

Gran parte del proceso de mejora DMAIC tiene lugar durante la etapa de análisis. Durante dicha etapa del proceso DMAIC, los equipos usan un diagrama de cola de pescado o Ishikawa, para visibilizar las causas posibles del defecto de un producto. La cabeza del diagrama de cola de pescado representa al problema inicial. Después, a

medida que avanzas por la columna del pez, en cada una de las costillas se enumeran los distintos tipos de categorías de problemas que pueden llevar al conflicto inicial. Este tipo de análisis visual es muy bueno para identificar y diferenciar los inconvenientes que puede generar una misma causa de origen.

En la fase de definición se identifican los posibles proyectos Seis Sigma, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la infrautilización de recursos. Una vez seleccionado el proyecto, se prepara su misión y se selecciona el equipo más adecuado, asignándole la prioridad necesaria.

La fase de medición consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan el funcionamiento del proceso y las características o variables clave. A partir de esta caracterización, se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso.

En la tercera fase, análisis, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma, el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir, las variables clave de entrada o “pocos vitales” que afectan a las variables de respuesta del proceso.

En la fase de mejora, el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese), para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso. La última fase, control, consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que o conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve.

2. Gestión de calidad total (TQM)

La gestión de calidad total (TQM) es un método de mejora de procesos centrado en la calidad que incluye la mejora continua a lo largo del tiempo. Esta técnica se utiliza con frecuencia en la gestión de la cadena de suministros y en los proyectos de satisfacción del cliente.

La gestión de calidad total depende en gran medida de las decisiones basadas en datos y de las métricas de rendimiento. Durante el proceso de resolución de problemas, se utilizan las métricas de éxito para decidir cómo mejorar un proceso.

A continuación, compartimos algunas de las características de la gestión de calidad total para mejora de procesos:

- Se centra en el cliente: El objetivo final de la gestión de calidad total siempre es beneficiar al consumidor. Si el equipo se centra en mejorar la calidad, pregúntate cómo afecta el cambio del proceso a la manera en que los consumidores finales interactúan con tu producto.
- Cuenta con la participación de todo el equipo: A diferencia de lo que sucede con otras metodologías de mejora de procesos, en la gestión de calidad total participan todos los integrantes del equipo, no solamente los dedicados a producción. Como resultado, probablemente termines buscando maneras de optimizar procesos más centrados en los negocios, como los de ventas o marketing, para favorecer al consumidor final.
- Busca la mejora continua: El proceso de mejora continua en los negocios consiste en hacer pequeños cambios con el objetivo de optimizar los procesos continuamente. Hay muchísimas variables en los negocios, con el proceso de mejora continua los equipos se pueden adaptar a medida que las circunstancias externas cambian.
- Las decisiones se toman basadas en los datos: A fin de implementar las mejoras continuas de los procesos, debes reunir datos todo el tiempo para analizar el

desempeño de los procesos a modificar. Son estos datos los que te ayudarán a identificar ineficiencias o hacia dónde conviene orientar las iniciativas de mejora.

- Está orientada a los procesos: El objetivo principal de la implementación de la gestión de calidad total es mejorar los procesos. Otros métodos de mejora de procesos como Six Sigma sirven para minimizar la cantidad de defectos, mientras que con la gestión de calidad total se disminuye la ineficiencia.

3. Fabricación Lean

Esta forma de mejora de procesos recibe muchos nombres, pero fabricación Lean es el más común. También se la puede conocer como producción Lean o producción "justo a tiempo". Fue definida originalmente por James P. Womack, Daniel Jones y Daniel Roos en su libro "La máquina que cambió el mundo". Con Lean de destacan cinco principios fundamentales basados en las experiencias de los autores con la fabricación en Toyota.

Los 5 principios Lean:

1. Identificar el valor
2. Generar una representación gráfica del flujo de valor
3. Crear un flujo
4. Establecer un sistema "pull"
5. Mejorar continuamente

4. Mejora continua, el método Kaizen

La filosofía japonesa Kaizen guía el modelo de mejora continua. Kaizen surgió originalmente de la idea de que la vida debería mejorar continuamente para que podamos vivir de manera plena y gratificante.

Se puede aplicar el mismo concepto a los negocios, porque en la medida en que se mejore continuamente, el negocio progresará hacia el éxito. El objetivo de la mejora

continua de procesos es optimizar las actividades que generan valor y deshacerse de cualquier desperdicio.

Hay tres tipos de desperdicios que se pretenden eliminar con Kaizen:

- Muda (despilfarro): prácticas que resten recursos pero que no añaden ningún valor.
- Mura (irregularidad): la sobreproducción que deja residuos, como los productos en exceso.
- Muri (sobrecarga): los recursos se encuentran bajo demasiada presión, como el caso de las máquinas gastadas o los empleados sobrecargados de trabajo.

La esencia de las prácticas administrativas más "exclusivamente japonesas" ya sean de mejoramiento de la productividad, actividades para el Control Total de la Calidad, círculo de control de calidad, entre otros, puede reducirse a una palabra: KAIZEN. Kaizen es el concepto de una sombrilla que involucra numerosas prácticas y herramientas que, dentro de dicho marco filosófico y estratégico, permiten una mejora continua en la organización.

Hacer posible la mejora continua y lograr de tal forma los más altos niveles en una serie de factores requirió aparte de constancia y disciplina, la puesta en marcha de cinco sistemas fundamentales:

1. Control de calidad total / Gerencia de Calidad Total
2. Un sistema de producción justo a tiempo
3. Mantenimiento productivo total
4. Despliegue de políticas
5. Un sistema de sugerencias
6. Actividades de grupos pequeños

Control de Calidad Total / Gerencia de Calidad Total

La gestión de calidad total es una filosofía, así como un conjunto de principios rectores que representa el fundamento de una organización en constante mejoramiento. La gestión de calidad total consiste en la aplicación de métodos cuantitativos y recursos humanos para mejorar el material y los servicios suministrados a una organización, los procesos dentro de la organización, y la respuesta a las necesidades del consumidor en el presente y en el futuro. La gestión de calidad total integra los métodos de administración fundamentales con los esfuerzos de perfeccionamiento existentes y los recursos técnicos en un enfoque corregido, orientado al mejoramiento continuo.

El Sistema de Producción Justo a Tiempo (Just in Time – JIT)

Hacer factible el Just in Time implica llevar de forma continua actividades de mejora que ayuden a eliminar los mudas (desperdicios) en el lugar de trabajo (gemba). Estas mudas son las falencias y errores a los cuales se hizo referencia anteriormente. Los conceptos fundamentales en los que se basa el sistema JIT y a través de los cuales se desarrolla toda la filosofía de producción son los siguientes:

1. La flexibilidad en el trabajo (shojinka) que permite adecuar el número y funciones de los trabajadores a las variaciones de la demanda.

2. El fomento de las ideas innovadoras (soifuku) por parte del personal para conseguir mejoras constantes en el proceso de producción.

3. Y, el autocontrol de los defectos (jidoka) por parte de los propios procesos productivos para impedir la entrada de unidades defectuosas en los flujos de producción.

Mantenimiento Productivo Total (MPT)

El mantenimiento productivo total está dirigido a la maximización de la efectividad del equipo durante toda la vida de este. El MPT involucra a todos los empleados de un departamento y de todos los niveles; motiva a las personas para el mantenimiento de la planta a través de grupos pequeños y actividades voluntarias, y comprende elementos básicos como el desarrollo de un sistema de mantenimiento, educación en

el mantenimiento básico, habilidades para la solución de problemas y actividades para evitar las interrupciones.

La meta del TPM es la maximización de la eficiencia global del equipo en los sistemas de producción, eliminando las averías, los defectos y los accidentes con la participación de todos los miembros de la empresa. El personal y la maquinaria deben funcionar de manera estable bajo condiciones de cero averías y cero defectos, dando lugar a un proceso en flujo continuo regularizado. Por lo tanto, puede decirse que el TPM promueve la producción libre de defectos, la producción "justo a tiempo" y la automatización controlada de las operaciones.

El resultado final de la incorporación del TPM deberá ser un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, una reducción de las inversiones necesarias en ellos y un aumento de la flexibilidad del sistema productivo.

La alta administración debe crear un sistema que reconozca y recompense la habilidad y responsabilidad de todos para el MPT. Una vez que los trabajadores adquieren el hábito del mantenimiento y limpieza de su lugar de trabajo, han adquirido disciplina.

Despliegue de políticas

El despliegue de la política se refiere al proceso de introducir las políticas para Kaizen en toda la compañía, desde el nivel más alto hasta el más bajo. La dirección debe establecer objetivos claros y precisos que sirvan de guía a cada persona y asegurar de tal forma el liderazgo para todas las actividades kaizen dirigidas hacia el logro de los objetivos. La alta gerencia debe idear una estrategia a largo plazo, detallada en estrategias de mediano plazo y estrategias anuales. La alta gerencia debe contar con un plan para desplegar la estrategia, pasarla hacia abajo por los niveles subsecuentes de gerencia hasta que llega a la zona de producción. Como la estrategia cae en cascada hacia las categorías inferiores, el plan debe incluir planes de acción y actividades cada vez más específicas.

Las metas anuales de utilidades y de Kaizen son establecidas sobre la base de metas de la compañía a largo y mediano plazo. Varios meses antes de que los altos gerentes

se reúnan para formular estas metas anuales, existe una consulta vertical preliminar entre la alta administración y los gerentes divisionales y entre los gerentes divisionales y de departamento.

Sistema de sugerencias

El sistema de sugerencias funciona como una parte integral del kaizen orientado a individuos, y hace énfasis en los beneficios de elevar el estado de ánimo mediante la participación positiva de los empleados. Los gerentes y supervisores deben inspirar y motivar a su personal a suministrar sugerencias, sin importar lo pequeña que sean. La meta primaria de este sistema es desarrollar empleados con mentalidad kaizen y autodisciplinados.

Para que tengan éxito, los programas de sugerencias necesitan venderse internamente. Eventos especiales, publicidad, boletines internos y periódicos, juntamente con folletos promocionales precisos y vigorosos, son los ingredientes para mantener el sistema vivo y en buen funcionamiento. No hay que esperar que los sistemas sigan trabajando sin mantenimiento, revisión y nueva inspiración. Cumplidos estos ingredientes, los programas de sugerencias son un sistema muy valioso para cosechar ideas innovadoras.

6. El análisis de los 5 “por qué”

El análisis de los 5 “por qué” es una técnica de mejora de procesos que se usa para identificar la causa de origen de un problema. En teoría es un proceso realmente muy simple: reúnes a un grupo de personas relacionadas con una falla y una de ellas pregunta: “¿Por qué salió mal?” Repite esta misma pregunta cerca de 5 veces, hasta que llegues a la causa de origen del problema. Con el análisis de los 5 “por qué” se pretende identificar los problemas de un proceso, pero no el error humano.

A continuación, compartimos un ejemplo:

El problema: Aumentaron las quejas de los clientes con respecto a productos dañados.

1. “¿Por qué sucede esto?” Porque el embalaje no es lo suficientemente resistente como para proteger a los productos.

2. “¿Por qué el embalaje no es lo suficientemente resistente como para proteger a los productos?” Porque el equipo responsable de probar el embalaje no hizo las pruebas de resistencia suficientes.
3. “¿Por qué el equipo responsable de probar el embalaje no hizo las pruebas de resistencia suficientes?” Porque el proceso estándar vigente indica que la prueba llevada a cabo es la correcta.
4. “¿Por qué el proceso estándar vigente indica que la prueba llevada a cabo es la correcta?” Porque el proceso se creó para un producto anterior, que no es el actual que vuelve dañado.
5. “¿Por qué el proceso se creó para un producto anterior, que no es el actual que vuelve dañado?” Porque la plantilla de proyecto para el lanzamiento de productos nuevos no incluye las pruebas de resistencia para los embalajes nuevos.

A partir de este ejemplo, puedes ver que el equipo se preguntó “Por qué” hasta identificar el error que hay que reparar dentro del proceso; que en este caso consiste en agregar el paso de “probar la resistencia del embalaje nuevo” en la plantilla para lanzamiento de productos. Cuando se trabaja con otros colaboradores en un proceso como este es importante identificar los problemas y crear juntos los pasos siguientes para que la producción mejore.

5. Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA)

El ciclo PHVA es un modelo de mejora de procesos que se presenta como una opción interactiva para la resolución de problemas. Se usa para mejorar procesos e implementar cambios. Walter Shewhart creó el PHVA al aplicar el método científico al control de calidad económico. Más adelante, W. Edwards Deming desarrolló aún más la idea de Shewhart y usó el método científico para la mejora de procesos además del control de calidad.

El ciclo PHVA se divide en cuatro pasos principales:

- Planificar: Decide cuál es el problema que quieres abordar y crea un plan para resolverlo.
- Hacer: Implementa el plan y pruébalo a pequeña escala.
- Verificar: Revisa las acciones implementadas durante la etapa anterior (hacer).
- Actuar: Después de revisar los resultados de la prueba, decide si realmente quieres implementar el cambio a gran escala.

La estrategia PHVA plantea un ciclo de mejoras. Es decir, los pasos se pueden repetir hasta que el equipo logre el resultado deseado.

7. Gestión de procesos de negocios (BPM)

La gestión de procesos de negocios o BPM es un método destinado a la mejora de procesos de negocios. Casi como lo que sucede con cualquier ser vivo, los negocios crecen y cambian con el tiempo. En tu equipo se pueden haber implementado procesos que funcionaban cuando el grupo era pequeño, pero a medida que se crece es probable que no sea posible adaptar esos procesos a escala de una forma que siga permitiendo que los integrantes alcancen su máximo nivel de eficiencia posible.

En la mayoría de los casos, la gestión de procesos de negocios ayuda a identificar cuellos de botella en los equipos, formas de automatizar el trabajo manual y estrategias para revertir la ineficiencia. Hay 5 pasos principales en la gestión de procesos de negocios.

1. Análisis: Observa los procesos de negocios actuales y establece las correlaciones de principio a fin. A este proceso, por lo general, se lo conoce como mapeo.
2. Modelo: Proyecta cómo quieres que se vea el proyecto. Lo ideal es que en el primer paso detectes cualquier ineficiencia y puedas proyectar cómo quieres resolverla en esta etapa.

3. Implementación: Pon el modelo en práctica. Durante esta etapa, es importante definir las métricas clave de éxito para señalar si los cambios hechos fueron correctos o no.
4. Supervisión: Decide si el proyecto ha resultado exitoso. ¿Los resultados de las métricas de éxito identificadas en el paso 3 han presentado una mejora?
5. Optimización: A medida que el proceso evoluciona, sigue buscando para detectar cualquier ineficiencia y optimizarlo sobre la marcha.

Proceso químico

Un proceso químico es un conjunto de operaciones químicas y/o físicas destinadas a la transformación de unas materias iniciales en productos finales diferentes. Se considera que un producto químico es diferente de otra cuando tengas diferentes propiedades, este en diferente estado o hayan cambiado sus condicione. Así, se considera un proceso químico la obtención de sosa en escamas a partir de un bloque de sosa; o incluso la licuación de cloro para su envasado en estado líquido.

Transformación química

Se llama transformación química al proceso que lleva a una o más sustancias a modificar su estructura y los enlaces de sus moléculas, convirtiéndose en otras sustancias que reciben en nombre de productos. Estos cambios se pueden representar de manera simbólica mediante ecuaciones químicas. Los cambios químicos son sucesos medibles y observables que provocan una modificación de la composición química de las sustancias. La materia se transforma y experimenta una mutación que, por lo general es irreversible. Un cambio químico puede producirse por múltiples motivos. Puede haber una transferencia de protones o de electrones o un desprendimiento o una absorción de calor.

Cristalización

La cristalización es el proceso por el cual los átomos o las moléculas se disponen en una red cristalina rígida y bien definida para minimizar su estado energética. La entidad más pequeña de una red cristalina se llama “célula unitaria”, que puede aceptar átomos y moléculas para cultivar un cristal macroscópico. Durante la cristalización, los átomos y las células unitarias se unen con ángulos bien definidos para crear una forma de cristal característica con superficies y facetas lisas.

Aunque la cristalización se puede dar en la naturaleza, también se usa con mucha frecuencia en el ámbito industrial como fase de separación y purificación en las industrias farmacéutica, química y alimentaria.

La cristalización está presente en todos los ámbitos de nuestra vida, desde la comida que ingerimos y los medicamentos que tomamos hasta los carburantes que usamos para suministrar energía a nuestras comunidades.

- La mayor parte de los productos agroquímicos y farmacéuticos atraviesan diversas fases de cristalización a lo largo de su desarrollo y fabricación.
- En la industria alimentaria, ingredientes como la lactosa y la lisina se suministran para su consumo humano y animal en forma de cristales.
- La cristalización de los hidratos de gas en las tuberías submarinas es uno de los principales problemas de seguridad de la industria petroquímica.

Esta es la razón por la que se requiere que los científicos e ingenieros de distintas industrias de todo el mundo conozcan, optimicen y controlen los procesos de cristalización a diario. Con una cristalización eficaz y eficiente, se consolida la seguridad y la alta calidad de la producción.

Calidad del producto

La cristalización es importante para la calidad de los productos porque afecta tanto al tamaño y a la pureza de las partículas como al rendimiento del producto. En la industria farmacéutica, por ejemplo, es necesario controlar de forma exhaustiva la cristalización

de los ingredientes farmacéuticos activos (API) para cumplir con las especificaciones del producto adecuadas.

Calidad del proceso

La cristalización también afecta a la calidad del proceso en lo que respecta, por ejemplo, al secado, la fluidez y la escalabilidad. Por ejemplo, una distribución del tamaño de las partículas muy amplia en el proceso de cristalización de un API puede ralentizar la filtración y hacer que el secado no sea eficiente, lo que puede dar lugar a un cuello de botella que afecte a todo el proceso de fabricación.

2.2 Resultado de investigaciones anteriores

En investigaciones anteriores se ha encontrado que el rendimiento tiene una tendencia a elevarse y mantenerse en determinadas épocas del año. Como tal no se ha hecho una investigación específica del porque este suceso ocurre. La hipótesis que se tiene es que el control de la temperatura en el proceso de cristalización ayudara a que el rendimiento aumente con una temperatura menor y un tiempo de inmersión, al llegar la estación de otoño e invierno se observa de manera clara esta situación lo cual se atribuye al hecho de que la temperatura del ambiente baja gradualmente.

2.3 Marco contextual

Transformación: en esta parte del proceso, se transforma la solución de tantalio o ácido tantálico (H2Taf7) en heptafluorotantalato de Potasio (K2TaF7) mediante la adición de cloruro de potasio. Para que la reacción se lleva a cabo es necesario que la solución de tantalio se encuentre a alta temperatura y un medio acido. Se calcula una concentración y volumen estimados, para producir una cantidad determina de cristales que el proceso sea redituable.

Se han encontrado variaciones en el rendimiento de los lotes en la producción durante el transcurso del año algunas. La baja temperatura como principal factor de una buena

cristalización, aunado a las variaciones atmosféricas de esas épocas del año generan un impacto directamente relacionado con un buen rendimiento.

La cristalización es la técnica más simple y eficaz de purificar compuestos sólidos. Consiste en la disolución de un compuesto solido impuro en la menor cantidad posible del solvente adecuado y en caliente. En estas condiciones se genera una disolución saturada que al enfriar se sobre satura y se produce la cristalización.

El proceso de cristalización es un proceso dinámico, de forma que las moléculas que están en la disolución están en equilibrio con las que forman parte de la red cristalina. El elevado grado de ordenación de la red cristalina excluye la participación de impurezas en la misma. Por esto, es conveniente que el proceso de enfriamiento tenga lugar lentamente de forma que los cristales se formen lentamente y el lento crecimiento de la red cristalina excluya las impurezas, si el enfriamiento de la disolución es muy rápido las impurezas pueden quedar atrapadas en la red cristalina.

Debido a que en el proceso de cristalización se pone en contacto una solución caliente con una solución de enfriamiento, habiendo un delta de temperatura se va produciendo la cristalización durante un tiempo determinado.

Mientras que en temporadas donde las temperaturas son más altas afecta directamente el agua de enfriamiento produciendo una mala cristalización.

En la cristalización se encuentran los factores de tiempo de contacto de la solución caliente y la solución de enfriamiento la cual por ende debe estar lo a determinada temperatura para que se dé una cristalización lenta y optima.

Se tiene establecido el tiempo en el cual debe permanecer en contracto la solución en contacto con el agua fría.

Han surgido detalles cuando se tiene un problema con la solución de enfriamiento no entra a las piletas de cristalización con una temperatura correcta. Se hizo la mejora de comprar otro equipo de enfriamiento el cual ayudo en determinada, pero se seguían presentando variaciones en el rendimiento de los lotes que se estaban trabajando.

Existiendo casos debidos a fallas de equipos automatizados debido a que apenas se comenzó a implementar el desarrollo de un programa que efectué cambios de agua siendo estos vitales para que se siga produciendo la cristalización de manera correcta en las piletas.

2.4 Estado del arte

La producción de Heptafluorotalato de potasio se ha llevado a cabo con muchas operaciones manuales, desde la medición de niveles, el agregado de materia prima. Lo cual ha generado en ocasiones descontrol en el proceso debido al factor humano que pudieran haberse saltado por omisión, perjudicando al rendimiento de los lotes de producto final.

Desde el proceso de transformación hasta el empaque del producto final, se ha llevado a cabo mediante procesos manuales de trasvases de solución en específico el proceso de transformación, así también la revisión de niveles mediante el uso de varas graduadas. La adición de vapor con la alineación de la tubería de vapor con el intercambiado para poder hacer la inyección de vapor y elevar la temperatura de los tanques y se posible darle la temperatura para poder agregar el cloruro de sodio y se produzca la transformación.

Esos detalles son los que afectan de manera directa a la cristalización, los cambios de agua realizados de manera manual son llevados a cabo por el operador abriendo y cerrando válvulas, encendiendo y apagando bombas. El procedimiento de secado y calcinado se lleva a cabo cargando el material proveniente de cristalización y centrifuga donde el empleado se encarga de cargar el equipo de manera manual verificando nada más los rangos de temperatura que se encuentren dentro de los límites establecidos. el objetivo es encontrar la causa por la cual esta situación no se presenta durante la temporada de invierno que son los aspectos que intervienen y que provocan que el rendimiento se eleve y mantenga de manera constante.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Población o muestra

Se recopilaron los datos de los lotes producidos durante 19 meses, en lo que respecta del mes de abril del 2020 al mes de noviembre del 2021, un total de 661 lotes producidos durante este periodo de tiempo.

3.2 Tipo de estudio

El estudio que se llevará a cabo será una combinación de varios como lo es:

Analítico: que nos establece y evalúa una presunta relación causa-efecto. Se harán gráficas de control estadístico a través del tiempo, así como determinas muestras para comparar de manera clara durante este transcurso del tiempo. Se agruparán los datos para poder determinar si existe una causa o motivo en específico que sea el detonante o punto clave que hay que controlar.

Cuantitativos: el estudio se centra en el uso de datos, especialmente numéricos, para medir estas magnitudes del problema en cuestión. De esta manera el uso de esta metodología.

Estadístico: pues se valdrá de la estadística para el análisis de los datos que se hayan recopilado.

3.3 Selección del instrumento

Se utilizarán equipos de medición de temperatura. Los equipos de medición también aplicaran sensores de nivel, electroválvulas para medir el flujo de soluciones de manera que sea lo más exacto posible.

3.4 Procedimiento de recolección o procedimiento de solución

Se utilizarán los datos históricos de lotes anteriores cargados en un documento donde se recopilará la información de cada lote producido para tener datos representativos de como interactúa con el ambiente la cristalización. Estos datos ya se tienen algún historial.

La recolección de datos se refiere al enfoque sistemático de reunir y medir información de diversas fuentes a fin de obtener un panorama completo y preciso de una zona de interés.

La recopilación de datos permite a un individuo o empresa responder a preguntas relevantes, evaluar los resultados y anticipar mejor las probabilidades y tendencias futuras. La exactitud en la recolección de datos es esencial para garantizar la integridad de un estudio, las decisiones comerciales acertadas y la garantía de calidad.

3.5 Procedimiento de análisis de datos o metodología empleadas

Se emplearán graficas de control estadístico, así como de series de tiempo para ver el comportamiento del rendimiento durante el trascurso del tiempo.

El de datos implica una revisión a profundidad de cada parte de un conjunto para entender su estructura e interpretar su funcionamiento. La estadística, por su parte, es la ciencia que utiliza las probabilidades como base para influir en los posibles resultados de las situaciones que se determinan mediante datos numéricos a la hora de recogerlos, interpretarlos y determinar su validez.

La estadística es una herramienta que no puede faltar para analizar los datos de una investigación, porque desde la concepción de la idea de lo que se va a investigar, pasando por la definición de objetivos, hipótesis, variables, recolección de los datos, organización, revisión, clasificación, tabulación y producción de los resultados para el análisis es importante saber dar un uso adecuado a las diferentes medidas y modelos estadísticos para el análisis.

Cuando se logra, los resultados obtenidos representan una verdadera contribución a la solución de los problemas inherentes al campo donde se desarrollan las actividades propias de las diferentes investigaciones.

Al hacer una interpretación más clara de un conjunto de datos desde los datos cualitativos a los cuantitativos, a través del análisis y categorización, podremos

manipular y ajustar situaciones en determinados contextos con una toma de decisiones adecuada.

Cuando tenemos una noción más amplia de las tendencias que rodean a nuestro mercado, vamos por delante, ya que podemos utilizar el análisis estadístico para predecir comportamientos futuros como resultado de la aplicación de estrategias adecuadas para la gestión del riesgo.

Proyecto de factibilidad/ estudio de campo

3.1. Tipo de estudio

Se utilizará un estudio estadístico para el análisis de las variables.

3.2. Unidades de análisis

Los lotes de producción de la planta KBMT de KEMET serán objetos de estudio específicamente el rendimiento de cada lote expresado en un porcentaje para el análisis de datos, ayudando a descartar o no las posibles hipótesis.

3.4. Diagnóstico de la situación actual

La cantidad de lotes por debajo del límite de rendimiento aceptable continua con la misma tendencia donde no es estable y el promedio no de estos lotes continúa siendo el mismo.

3.5. Determinación de la muestra

Las muestras serán de cada lote que se esté produciendo para tener una población mayor.

3.6. Diseño del instrumento

Software estadístico y equipos certificados por el departamento de calibración.

3.7. Validación del instrumento

Se validará con el departamento de calibración que los equipos cumplan con las lecturas que se harán.

3.8. Aplicación del instrumento

Software estadístico con datos de producción.

3.9. Métodos de análisis e interpretación de los resultados obtenidos

Se determinará a partir del rendimiento obtenido por cada lote para saber si el método de análisis o las acciones aplicadas ayudan a determinar si las hipótesis planteadas son aceptadas o descartadas.

3.10. Metodología implementada

Six sigma es una metodología de proyecto que consiste en mejorar la calidad de un proceso. Esta metodología se basa en estadísticas para medir los defectos o errores presentes en un proceso y reducirlo hasta que este lo más cerca posible de cero.

Metodología DMAIC: Define, Mide, Analiza, Implementa, Control.

Esta metodología se usa para aquellos procesos o productos ya existentes dentro de la empresa. DMAIC estudia los productos o procesos y, como indican sus siglas trata de:

- Definir el proceso mapeando el proceso, identificar los problemas que pueda tener y establecer el objetivo final y los requisitos para conseguirlo.
- Medir el desempeño del proceso registrando las actividades realizadas durante el proceso, a la vez que se comprueba si la empresa tiene la capacidad de cumplir con los requisitos de los procesos.
- Analizar el proceso actual para ver cuáles son los motivos por los que el proceso sufre una variación o tiene un desempeño bajo. Es decir, identificar los pasos defectuosos del proceso
- Optimizar el desempeño del proceso eliminando los motivos que causan los fallos en el proceso. Para ello, hace falta testear diferentes variantes para encontrar la forma óptima de llevar a cabo el proceso.
- Controlar el nuevo proceso y su desempeño (control) para evitar que se vuelva a caer en previas formas defectuosas de trabajar. Este proceso suele realizarse con poka-yoke, la cual es una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema.

3.11. Construcción del prototipo:

Utilizando la metodología anterior se hace un plan de trabajo para descartar paso a paso los procesos que implican la producción de este material y de esta forma definir el alcance.

3.2.1 Investigación aplicada (metodología implementada)

3.1. Estudio diagnóstico

Medir: Se revisa el alcance utilizando una herramienta llamada SIPOC

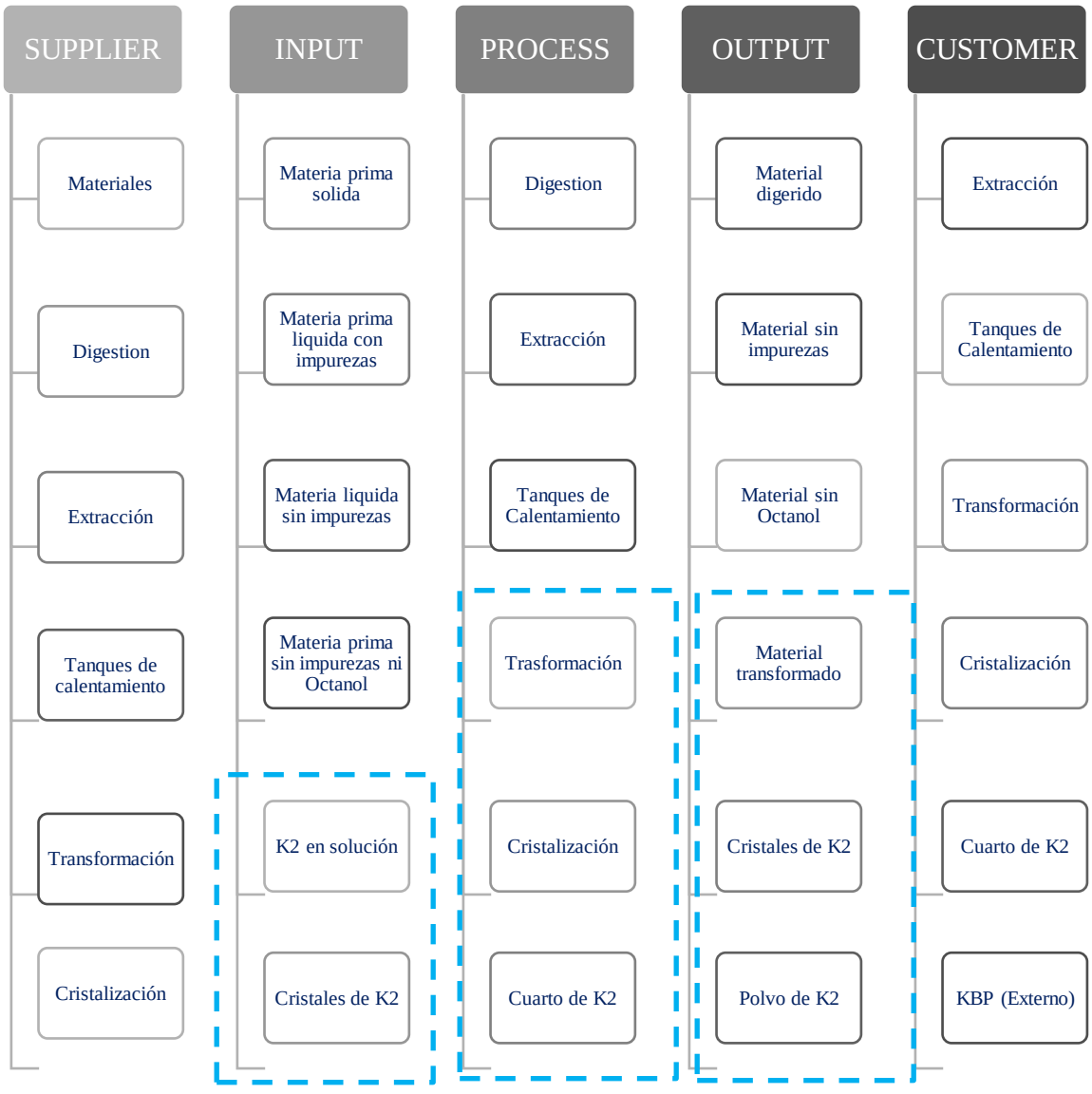


Figure 0.1 SIPOC del proceso de producción

Diagrama de flujo

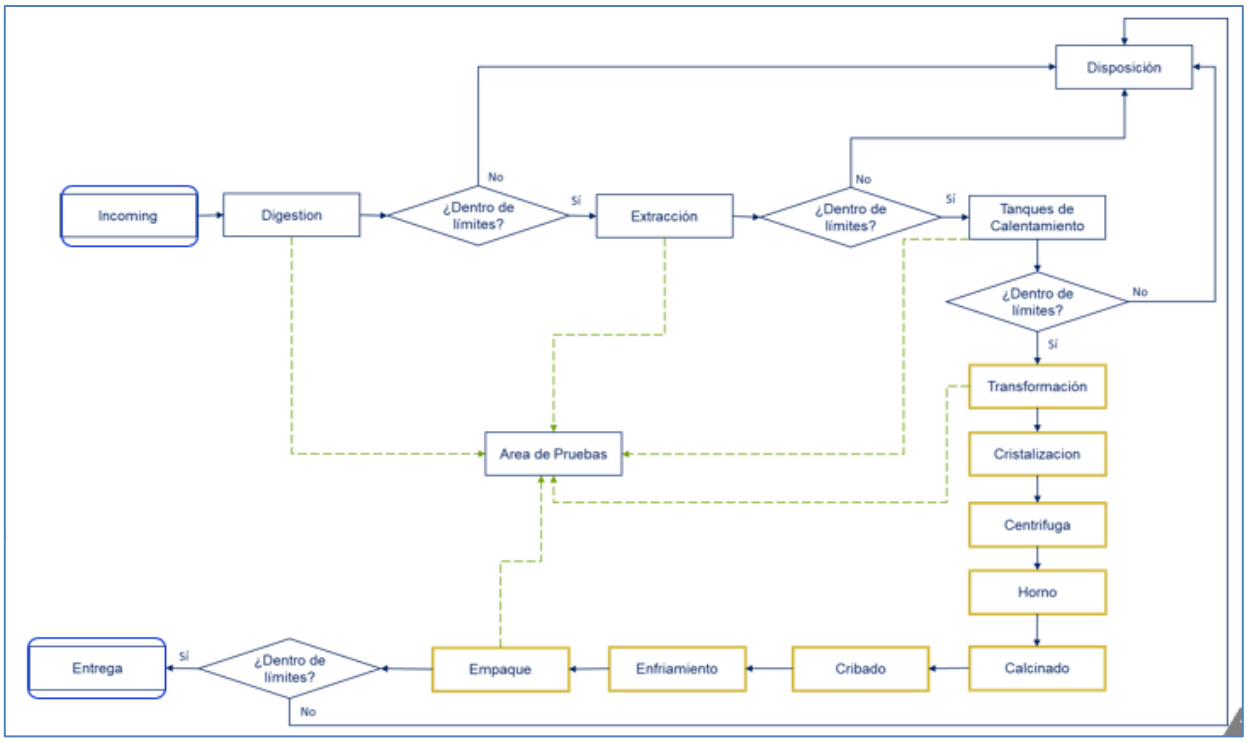


Figure 0.2 Áreas de alcance del proyecto están en amarillo

- Áreas dentro del alcance del proyecto están en amarillo.

Diagrama de flujo de alto valor

Centrado en las áreas involucradas en el proyecto, que fueron seleccionadas en el desarrollo del SIPOC.

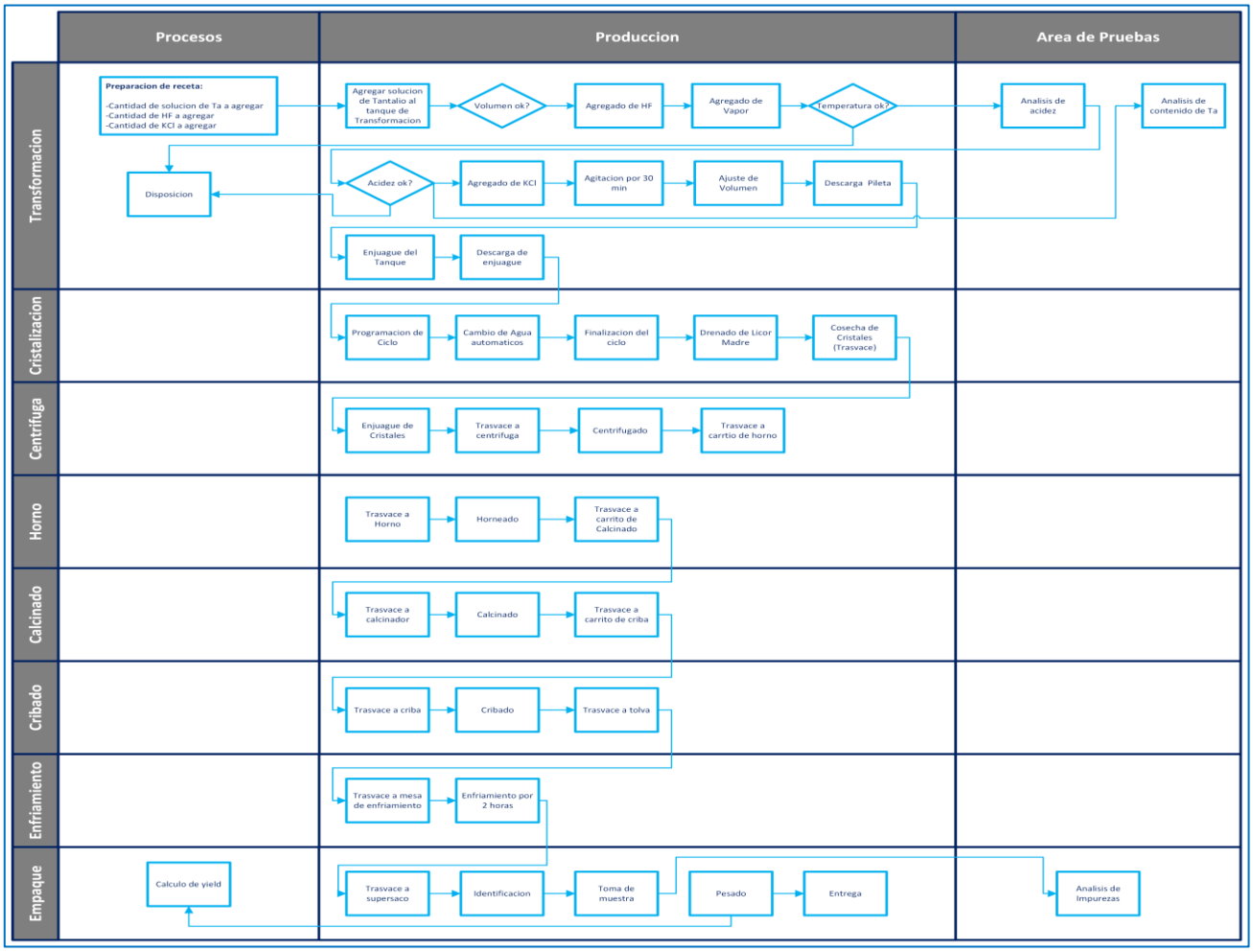


Figure 0.1 Diagrama de flujo de alto valor centrado en las áreas involucradas en el proyecto.

Diagrama de Causa-Efecto

Diagrama de Ishikawa con todas las posibles causas para las seis M (medición, material, mano de obra, medio ambiente, machinas y método).

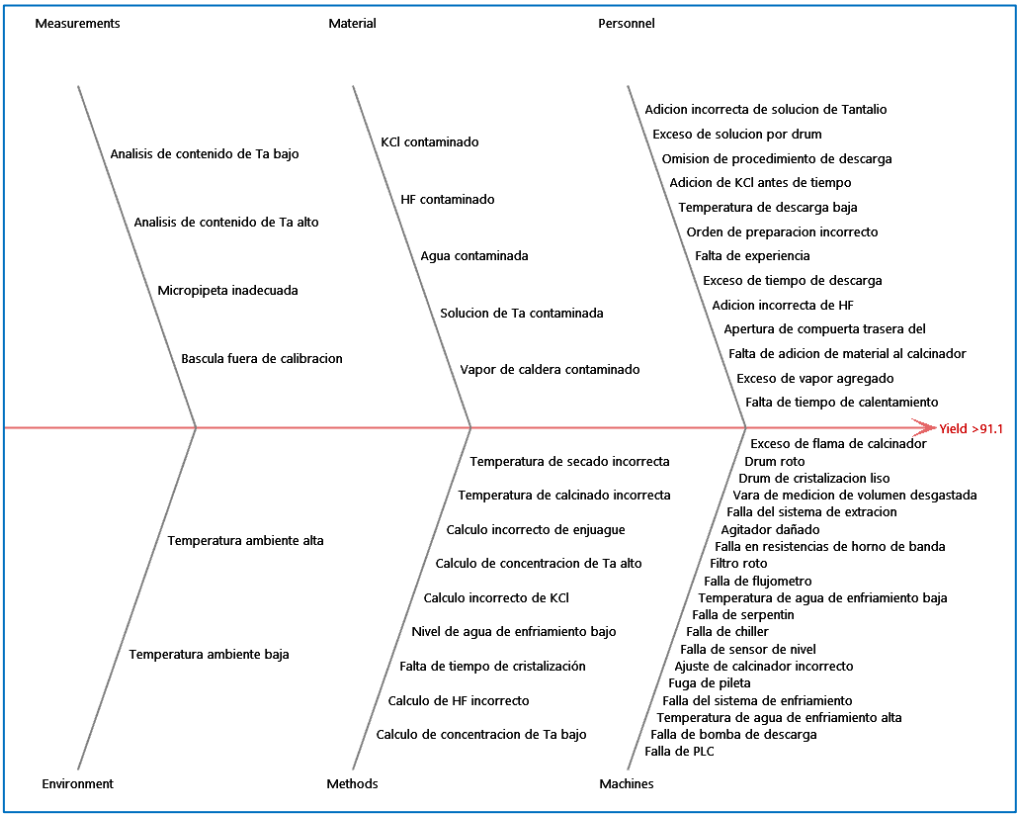


Figure 0.2 Diagrama de Ishikawa con todas las posibles causas para M.

Matriz ordenada por prioridad, indicando con color las variables de mayor prioridad

Table 1 Matriz ordenada por prioridad en base a la historia.

Código	Factor	Procesos Input	Ponderación
F	Manos de Obra	adición incorrecta de solución de Tantalio	100
G	Manos de Obra	Exceso de solución por drum	100
J	Manos de Obra	Temperatura de descarga baja	90
M	Manos de Obra	Exceso de tiempo de descarga	90
T	Maquinaria	Temperatura de agua de enfriamiento alta	80
AN	Métodos	Falta de tiempo de cristalización	80

AO	Métodos	Nivel de agua de enfriamiento bajo	80
AP	Métodos	Calculo incorrecto de KCl	70
AR	Métodos	Cálculo de concentración de Ta alto	70
AL	Métodos	Cálculo de concentración de Ta bajo	40
BA	Medio Ambiente	Temperatura ambiente alta	40
K	Manos de Obra	Orden de preparación incorrecto	30
S	Maquinaria	Falla de bomba de descarga	20
AM	Métodos	Cálculo de HF incorrecto	20
L	Manos de Obra	Falta de experiencia	10
AB	Maquinaria	Temperatura de agua de enfriamiento baja	10
AJ	Maquinaria	Drum roto	10

Diagrama de Pareto

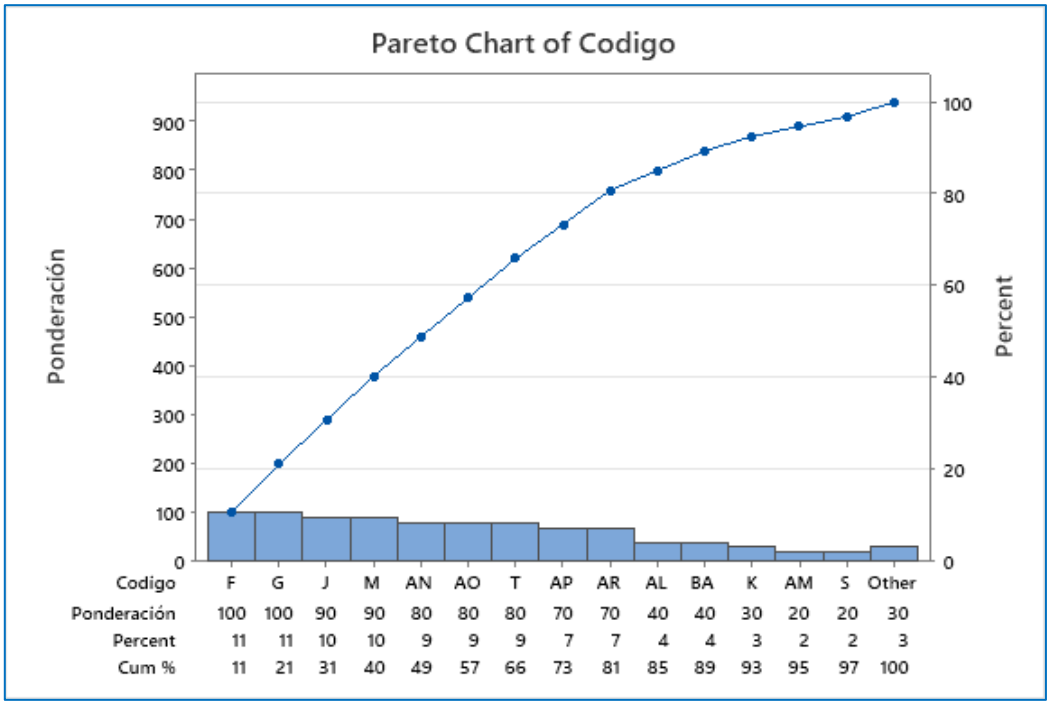


Figure 0.1 Diagrama de Pareto de causas priorizadas.

- Porcentaje acumulativo con 9 posibles causas:

Table 2 Porcentaje acumulativo de 9 principales causas.

Código	Factor	Procesos Input	%
F	Manos de Obra	Adición incorrecta de solución de Tantalio	11
G	Manos de Obra	Exceso de solución por drum	11
J	Manos de Obra	Temperatura de descarga baja	10
M	Manos de Obra	Exceso de tiempo de descarga	10
AN	Métodos	Falta de tiempo de cristalización	9
AO	Métodos	Nivel de agua de enfriamiento bajo	9
AP	Métodos	Cálculo incorrecto de KCl	9
AR	Métodos	Cálculo de concentración de Ta alto	7
T	Maquinaria	Temperatura de agua de enfriamiento alta	7

3.2. Descripción del proyecto

Se revisan las posibles causas de cada uno de los pasos desde transformación hasta empaque. Se busca en la investigación encontrar la parte del proceso que representa el mayor problema.

Se instalarán nuevos equipos que ayudarán a la automatización en el área de cristalización

3.3. Objetivos

Reducir la perdida de rendimiento en manufactura logrando que los lotes de Heptafluorotalato de potasio tengan un rendimiento ≥91.1% para el primer cuarto del año fiscal 2022, con no más de 3.4 lotes por millón por debajo de la meta.

Mejorar el sistema de cambios de agua en las piletas de cristalización y verificar si hay otras áreas de oportunidad que pudieran ayudar a la mejora del rendimiento de los lotes de producción.

3.4. Población objetivo o beneficiarios

La población objetivo son todos los lotes de producción que vayan a ser procesados, ayudando a que estos cumplan con los objetivos de rendimiento estipulados por la empresa.

3.5. Localización

H. Matamoros Tamaulipas México.

3.6. Plan de actividades

Acciones recomendadas propuestas por las fallas potenciales con un NPR mayor a 100.

Table 3 Tabla de condiciones existentes en base a las 9 principales causas.

CONDICIONES EXTISTENTES												
Codigo	Paso del Proceso	Impacto Primario	Impact Final	SEV	Causas Potenciales de la Falla	OCU	Controles Actuales	DET	RPN	Accion Recomendada	Responsible	Fecha Compromiso
F	Transformacion	Reaccion incompleta	Perdida de yield, Yield bajo	7	Exceso de adicion de solucion de Ta	7	Instrucciones de Trabajo	7	343	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021
G	Transformacion	Superficie de cristalizacion baja	Perdida de yield, Yield bajo	7	Exceso de solucion por drum	7	Ninguno	10	490	1. Recoleccion de datos durante 1 mes (46 lotes) 2. Prueba de Hipotesis con los datos obtenidos	Jorge H	12/10/2021 01/10/2022
J	Transformacion	Perdida de material (material atrapado en tuberia no recuperable)	Perdida de yield, Yield bajo	7	Temperatura de descarga baja	3	Instrucciones de Trabajo	7	147	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021
M	Transformacion	Perdida de material (material atrapado en tuberia no recuperable)	Perdida de yield, Yield bajo	7	Exceso de tiempo de descarga	3	Instrucciones de Trabajo	7	147	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021
T	Cristalizacion	Cristalizacion Ineficiente	Perdida de yield, Yield bajo	7	Temperatura de agua de enfriamiento alta	7	Lista de Verificacion	3	147	1. Confirmacion a traves de prueba de hipótesis 2. Investigación de la Variacion	Jorge H	11/30/2021
AN	Cristalizacion	Cristalizacion Ineficiente	Perdida de yield, Yield bajo	5	Falta de tiempo de cristalizacion	7	PLC	3	105	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021
AO	Cristalizacion	Cristalizacion Ineficiente	Perdida de yield, Yield bajo	5	Nivel de agua de enfriamiento bajo	7	PLC	3	105	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021
AP	Transformacion	Cristalizacion Ineficiente	Perdida de yield, Yield bajo	5	Falta de adicion de KCl	7	Instrucciones de Trabajo	7	245	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021
AR	Cristalizacion	Cristalizacion Ineficiente	Perdida de yield, Yield bajo	7	Temperatura Ambiente Alta	5	Instrucciones de Trabajo	3	105	Confirmacion a traves de prueba de hipotesis	Jorge H	11/30/2021

3.7. Metodología para el desarrollo de las actividades

Definir:

Durante los últimos 19 meses, en la planta de KBMT, en los procesos de transformación a empaque, el 58% de los lotes de K-Salt están por debajo de la meta establecida (91.1%). Esto nos indica que desde el mes de abril del año 2020 en el 58% de los 661 lotes producidos hasta el período de noviembre 2021.Por lo tanto:

- Se tiene un mayor consumo de material (95 kg al mes).
- Retraso en la entrega de material (5 días por cada 960 kilogramos faltantes).
- Representa una pérdida de $596,921.9 MXP/mes

Medir:

Análisis del sistema de medición: Bascula.

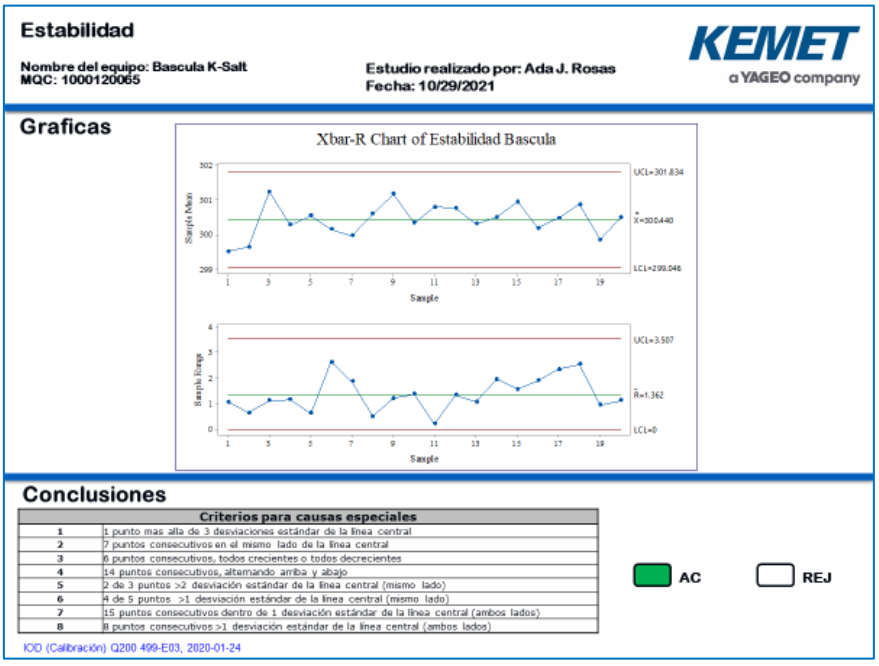


Figure 0.2 Análisis de estabilidad del sistema de medición: Bascula

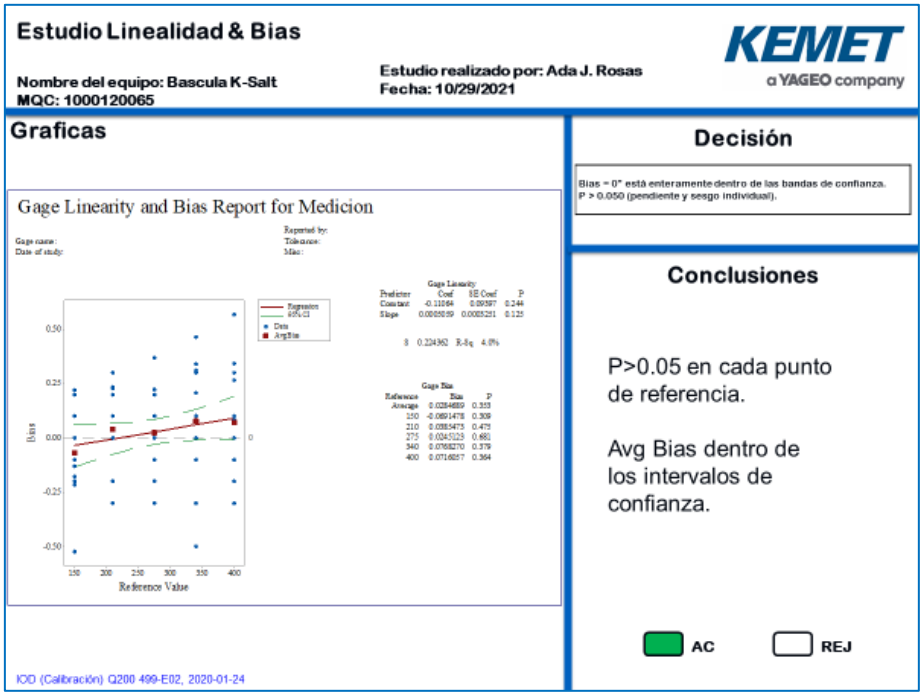


Figure 0.3 Estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición: Bascula

Análisis del sistema de medición: Vara de Medición

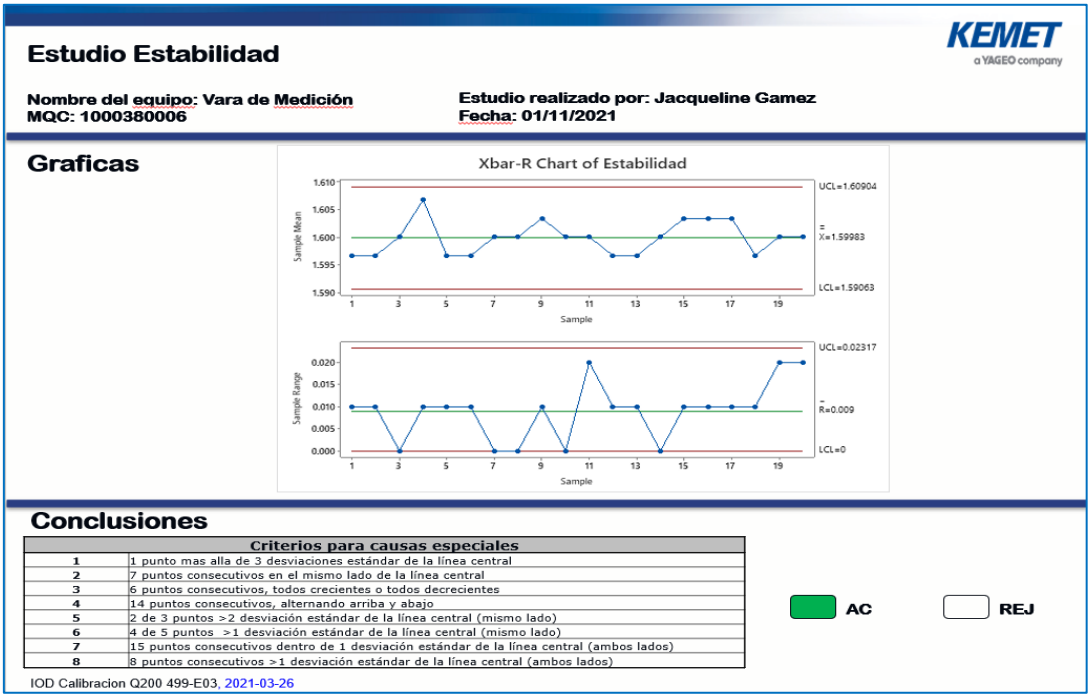


Figure 0.4 Estudio de estabilidad: Vara de medición.

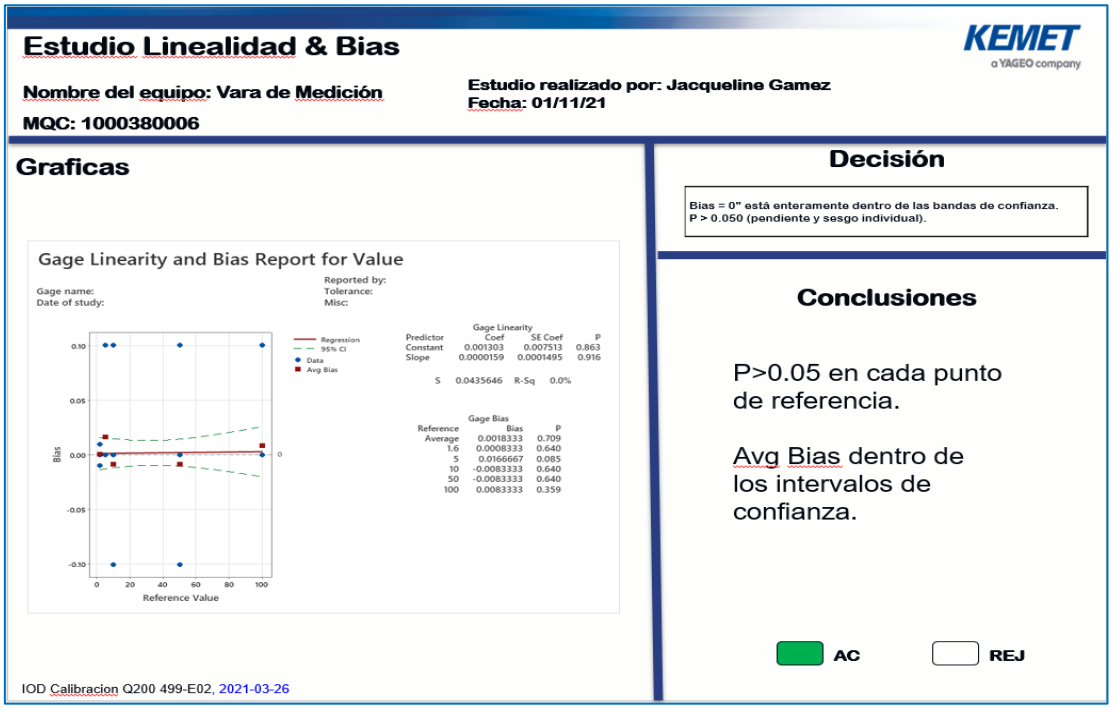


Figure 0.5 Estudio de Linealidad y sesgo: Vara de medión.

Análisis del método de medición: Personal de Laboratorio.

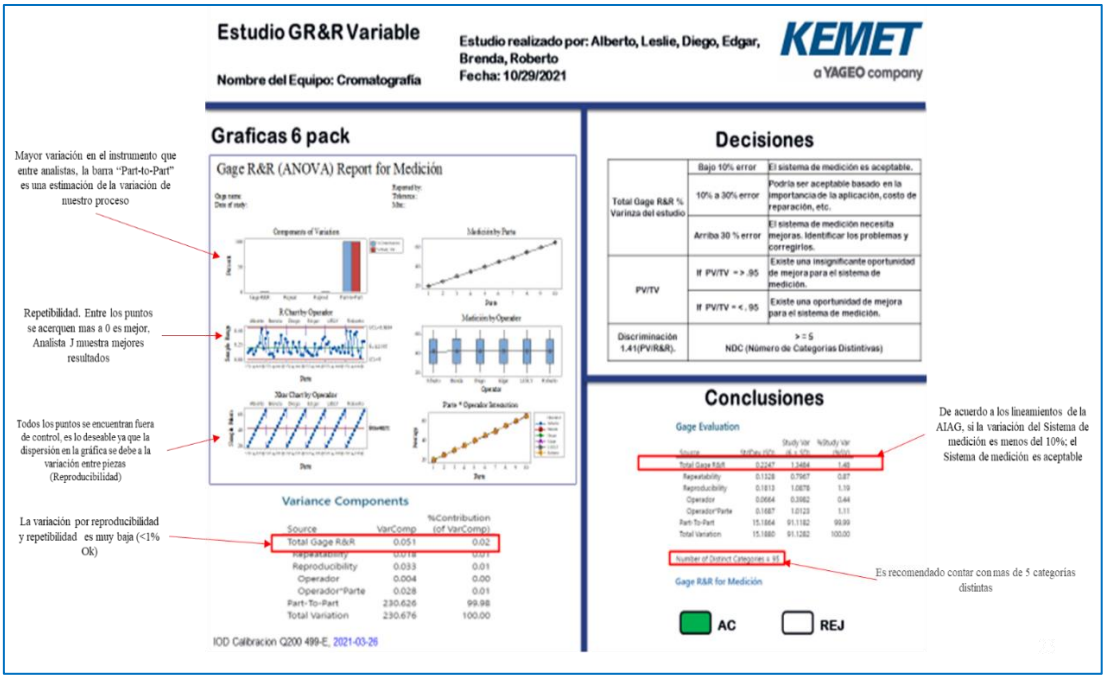


Figure 0.6 Estudio de Repetibilidad y reproducibilidad: Personal de Laboratorio.

3.7.1 Investigación de la variación en la temperatura de enfriamiento

Durante la investigación de la variación de temperatura, se detectó que, en los tanques de agua fría, la temperatura no es homogénea, esto debido a que el agua caliente (inyectada en la parte inferior del tanque), no se mezcla bien con el agua fría (inyectada en la parte superior del tanque). Dependiente de la cantidad de volumen se tenía una mejor homogenización de la temperatura.

Se decide la instalación de un serpentín para ayudar a la homogenización de temperaturas y se corre durante un mes de prueba.

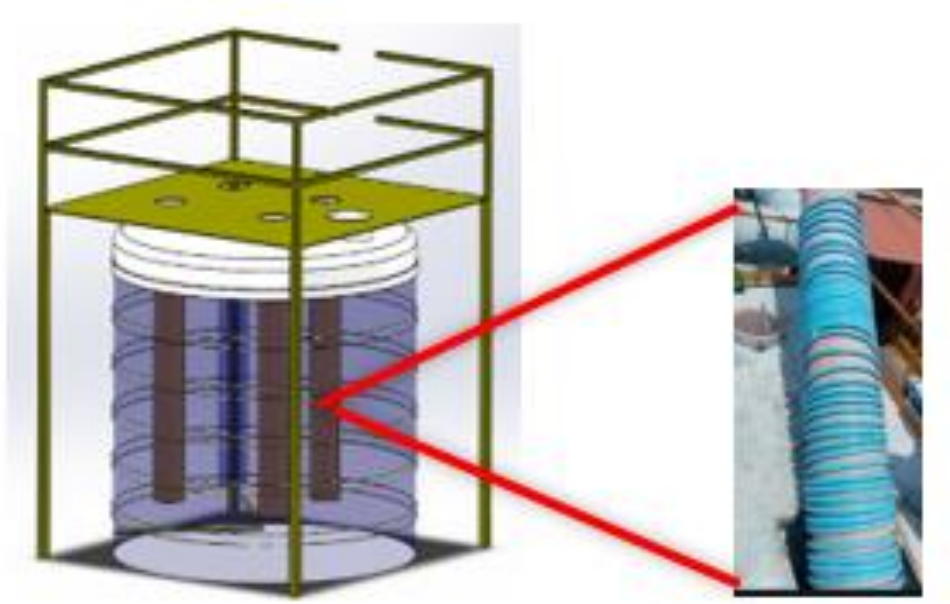


Figure 0.7 Dibujo 3D de almacén para agua fría con serpentines.

Se obtuvieron resultados favorables ya que como se puede observar, se disminuyó el rango de temperatura, obteniendo una variación menor.

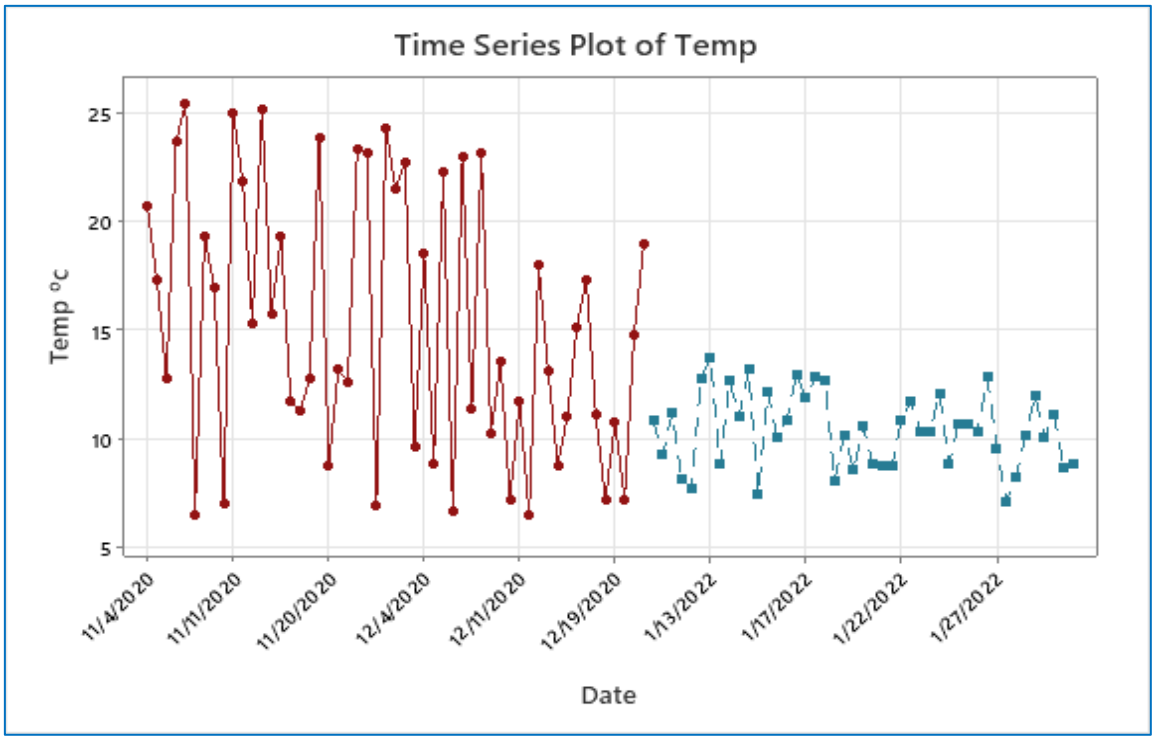


Figure 0.8 Serie de tiempo, aplicación de serpentines en almacén de agua fría: Antes vs después.

Prueba de hipótesis

Falla Potencial	Normalidad	Varianzas	Prueba Realizada	PValue	Conclusión
Exceso de adición de solución de Ta	No Normal	Diferentes	Kruskal-Wallis	0.00	**Hay diferencia estadística**
Exceso de solución por drum	Normal	Iguales	ANOVA	0.414	No hay diferencia estadística
Temperatura de descarga baja	N/A	N/A	Regresión	0.964	No hay diferencia estadística
Exceso de tiempo de descarga	N/A	N/A	Regresión	0.553	No hay diferencia estadística
Temperatura de agua de enfriamiento alta	Normal	Diferentes	Kruskal-Wallis	0.00	**Hay diferencia estadística**
Falta de tiempo de cristalización	No Normal	Diferentes	Kruskal-Wallis	0.00	**Hay diferencia estadística**
Nivel de agua de enfriamiento bajo	No Normal	Diferentes	Kruskal-Wallis	0.00	**Hay diferencia estadística**
Falta de adición de KCl	No Normal	Diferentes	Kruskal-Wallis	0.040	**Hay diferencia estadística**
Temperatura Ambiente Alta	No Normal	Iguales	ANOVA	0.435	No hay diferencia estadística

Figure 0.1 Prueba de hipótesis

En el siguiente módulo, tomando las variables que muestran una diferencia estadística se procederá a realizar los DOE correspondientes para analizar la interacción entre ellas y como afectan rendimiento para así poder establecer acciones prácticas que serán documentadas en el AMEF.

- Medir

Con las variables que muestran una diferencia estadística se procederá a realizar un Diseño Factorial. Se decide utilizar este diseño para obtener los efectos e interacciones más significativos entre los factores.

Table 4 Tabla de factores principales.

Factores	Niveles	Variable de Respuesta	Constantes	Equipos y/o instrumentos de medición	Unidad Experimental	Tipo de diseño experimental

Exceso de adición de solución de Ta	• -50 a 0
	• 100
		Yield	• Metodo:
			  • Concentracion de Ta calculada
			• Mano de Obra:
			  • Operador
			• Materia Prima:
			  • KCl
			  • Agua
			• Equipos:
			  • Tanque Reactor
			  • Velocidad de agitacion
			  • Tuberia de descarga
			  • Bomba de Descarga
			  • Pileta de Cristalizacion
			  • Drums de Cristalizacion
				Método de Análisis Cromatográfico, Vara de Medición, Bascula	Lote de Producción	Factorial

Temperatura de Agua de Enfriamiento alta	• Baja, • Muy Alta					
Falta de Tiempo de Cristalización	• 32 Hrs • 72 Hrs					
Nivel de Agua de Enfriamiento bajo	• 0 a 10 cm • 31 a 50 cm					
Falta de Adición de KCl	• Factor A • Factor C					

Figure 0.2 Tabla de factores principales.

Diseño de experimento a realizar

Design Summary

Factors: 5 Base Design: 5, 16 Resolution: V
Runs: 32 Replicates: 2 Fraction: 1/2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

Figure 0.3 Diseño de DOE que determina las réplicas necesarias para descartar principales factores.

Todas las corridas propuestas para el DOE se usarán para la producción normal de la planta, por lo cual no se tuvo ningún problema por la cantidad de corridas a realizar.

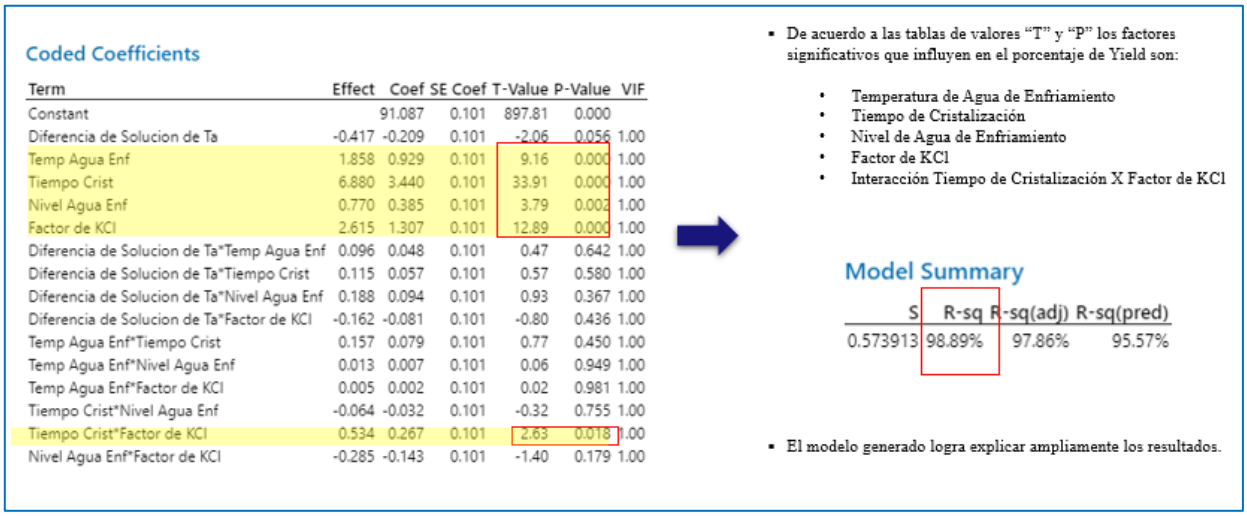
Table 5 Resultados obtenidos del DOE en la producción normal.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Diferencia de Solucion de Ta	Temp Agua Enf	Tiempo Crist	Nivel Agua Enf	Factor de KCl
4	1	1	1	100	Baja	32	31 a 50	C
15	2	1	1	-50	Baja	72	0 a 10	A
12	3	1	1	100	Baja	32	0 a 10	A
6	4	1	1	100	Muy Alta	72	31 a 50	C
25	5	1	1	-50	Muy Alta	32	0 a 10	A
23	6	1	1	-50	Baja	72	31 a 50	C
31	7	1	1	-50	Baja	72	0 a 10	A
29	8	1	1	-50	Muy Alta	72	0 a 10	C
18	9	1	1	100	Muy Alta	32	31 a 50	A
3	10	1	1	-50	Baja	32	31 a 50	A
21	11	1	1	-50	Muy Alta	72	31 a 50	A
27	12	1	1	-50	Baja	32	0 a 10	C
8	13	1	1	100	Baja	72	31 a 50	A
20	14	1	1	100	Baja	32	31 a 50	C
14	15	1	1	100	Muy Alta	72	0 a 10	A
19	16	1	1	-50	Baja	32	31 a 50	A
13	17	1	1	-50	Muy Alta	72	0 a 10	C
28	18	1	1	100	Baja	32	0 a 10	A
10	19	1	1	100	Muy Alta	32	0 a 10	C
1	20	1	1	-50	Muy Alta	32	31 a 50	C
11	21	1	1	-50	Baja	32	0 a 10	C
5	22	1	1	-50	Muy Alta	72	31 a 50	A
2	23	1	1	100	Muy Alta	32	31 a 50	A
32	24	1	1	100	Baja	72	0 a 10	C
24	25	1	1	100	Baja	72	31 a 50	A
17	26	1	1	-50	Muy Alta	32	31 a 50	C
30	27	1	1	100	Muy Alta	72	0 a 10	A
9	28	1	1	-50	Muy Alta	32	0 a 10	A
22	29	1	1	100	Muy Alta	72	31 a 50	C
26	30	1	1	100	Muy Alta	32	0 a 10	C
7	31	1	1	-50	Baja	72	31 a 50	C
16	32	1	1	100	Baja	72	0 a 10	C

Capitulo IV Resultados

4.1 Resultados

Con las variables que muestran una diferencia estadística se procederá a realizar un Diseño Factorial. Se decide utilizar este diseño para obtener los efectos e interacciones más significativos entre los factores.



Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		91.087	0.101	897.81	0.000	
Diferencia de Solucion de Ta	-0.417	-0.209	0.101	-2.06	0.056	1.00
Temp Agua Enf	1.858	0.929	0.101	9.16	0.000	1.00
Tiempo Crist	6.880	3.440	0.101	33.91	0.000	1.00
Nivel Agua Enf	0.770	0.385	0.101	3.79	0.002	1.00
Factor de KCl	2.615	1.307	0.101	12.89	0.000	1.00
Diferencia de Solucion de Ta*Temp Agua Enf	0.096	0.048	0.101	0.47	0.642	1.00
Diferencia de Solucion de Ta*Tiempo Crist	0.115	0.057	0.101	0.57	0.580	1.00
Diferencia de Solucion de Ta*Nivel Agua Enf	0.188	0.094	0.101	0.93	0.367	1.00
Diferencia de Solucion de Ta*Factor de KCl	-0.162	-0.081	0.101	-0.80	0.436	1.00
Temp Agua Enf*Tiempo Crist	0.157	0.079	0.101	0.77	0.450	1.00
Temp Agua Enf*Nivel Agua Enf	0.013	0.007	0.101	0.06	0.949	1.00
Temp Agua Enf*Factor de KCl	0.005	0.002	0.101	0.02	0.981	1.00
Tiempo Crist*Nivel Agua Enf	-0.064	-0.032	0.101	-0.32	0.755	1.00
Tiempo Crist*Factor de KCl	0.534	0.267	0.101	2.63	0.018	1.00
Nivel Agua Enf*Factor de KCl	-0.285	-0.143	0.101	-1.40	0.179	1.00

- De acuerdo a las tablas de valores "T" y "P" los factores significativos que influyen en el porcentaje de Yield son:
  - Temperatura de Agua de Enfriamiento
  - Tiempo de Cristalización
  - Nivel de Agua de Enfriamiento
  - Factor de KCl
  - Interacción Tiempo de Cristalización X Factor de KCl

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.573913	98.89%	97.86%	95.57%

- El modelo generado logra explicar ampliamente los resultados.

Figure 0.1 Figura ANOVA resaltando los factores significativos que influyen en el rendimiento de cada lote.

De acuerdo con la gráfica para efectos estandarizados y el diagrama de Pareto, se refuerza lo inferido en la tabla de ANOVA, resaltando que los factores significativos que influyen en el porcentaje de rendimiento son:

- Temperatura de Agua de Enfriamiento
- Tiempo de Cristalización
- Nivel de Agua de Enfriamiento
- Factor de KCl
- Interacción Tiempo de Cristalización X Factor de KCl

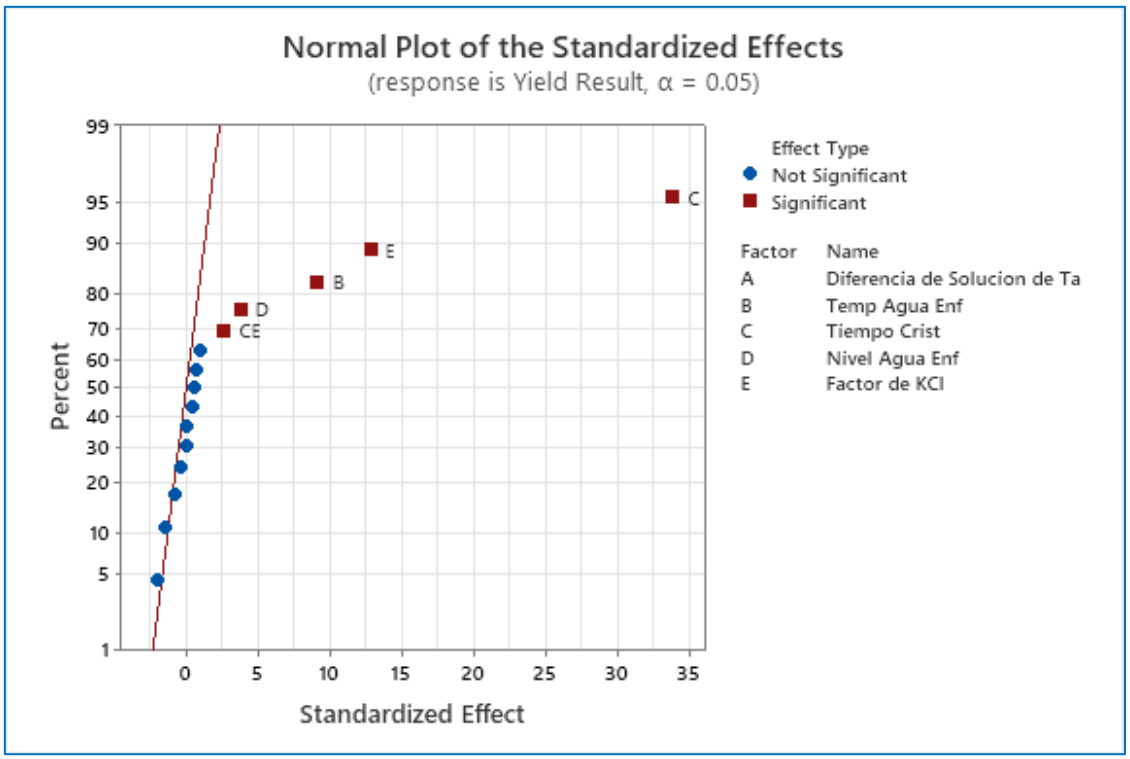


Figure 0.2 Estandarización de efectos: significativos o no significativos.

4.2. Consideraciones acerca de la factibilidad o viabilidad del proyecto

De acuerdo con los resultados del DOE, los parámetros ideales para obtener el rendimiento deseado son los siguientes:

- Utilizar Temperatura de Agua de Enfriamiento Baja (<15.99)
- Asegurar un Tiempo de Cristalización para cada lote de al menos 72 horas.
- Estandarizar el Nivel de Agua de Enfriamiento a no más de 10 cm del drum sin sumergir.
- Utilizar el Factor de KCl A (35% de exceso).

Como parte del procedimiento interno de Kemet, es necesario realizar mínimo 30 corridas para evaluar los resultados obtenidos con el DOE, antes de modificar, implementar y estandarizar los puntos mencionados anteriormente.

Lotes de confirmación:

Con los nuevos parámetros establecidos en el proceso se empiezan a correr lotes y observar los resultados con resultados favorables logrando centrar la población se hace una comparación estadística al obtener resultados de 30 lotes.

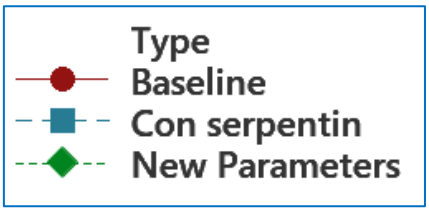
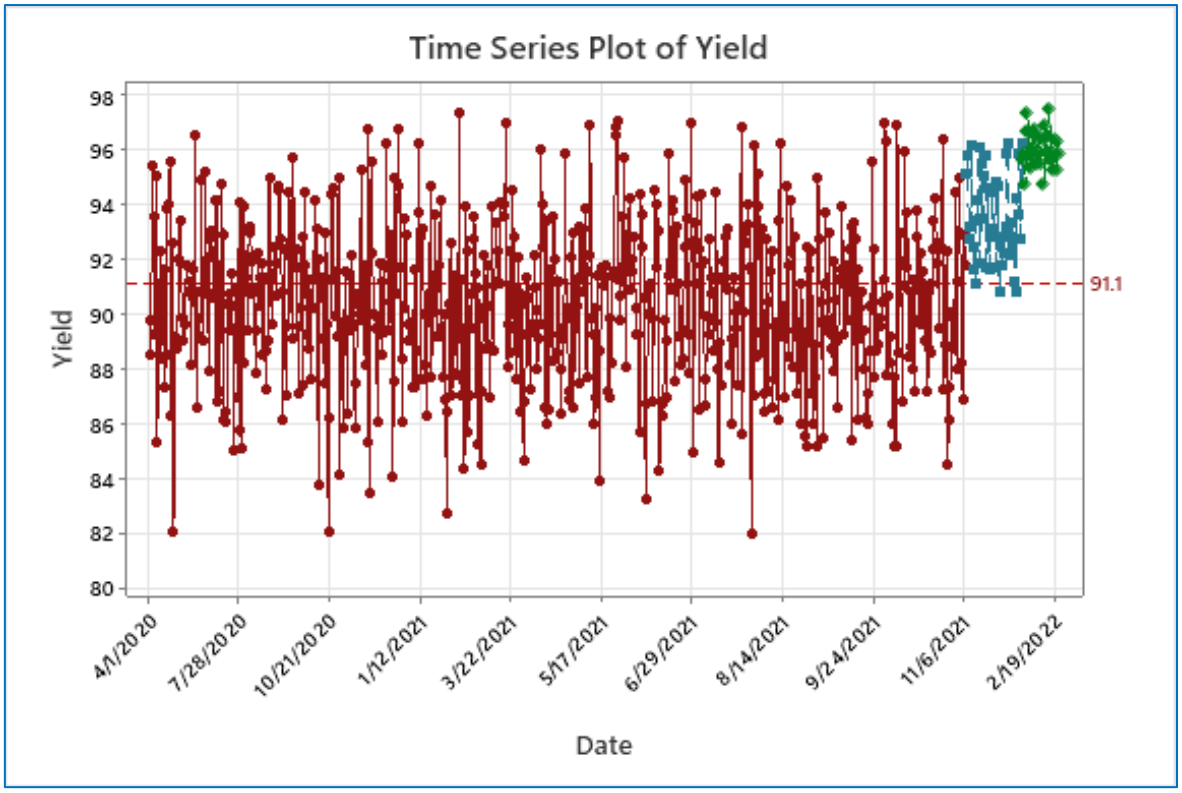


Figure 0.1 Identificación de variables por colores de Figura 1.2



- *Figure 0.2 Serie de tiempo de rendimiento por lote, antes y después del desarrollo del proyecto.*

Tomando como referencia grafica anterior (Figura 0.2), la cual se basa en la comparación a través de una línea de tiempo de tres aspectos distintivos los cuales son:

- La base histórica de rendimiento por lote.
- El cambio a partir de la modificación en el tanque de almacenamiento de agua fría, el cual fue la colocación de un serpentín.
- La producción de lotes bajo los nuevos parámetros definidos por el DOE en base a el estudio de la base histórica.

Resultados de los objetivos generales y secundarios.

Gráficos de control

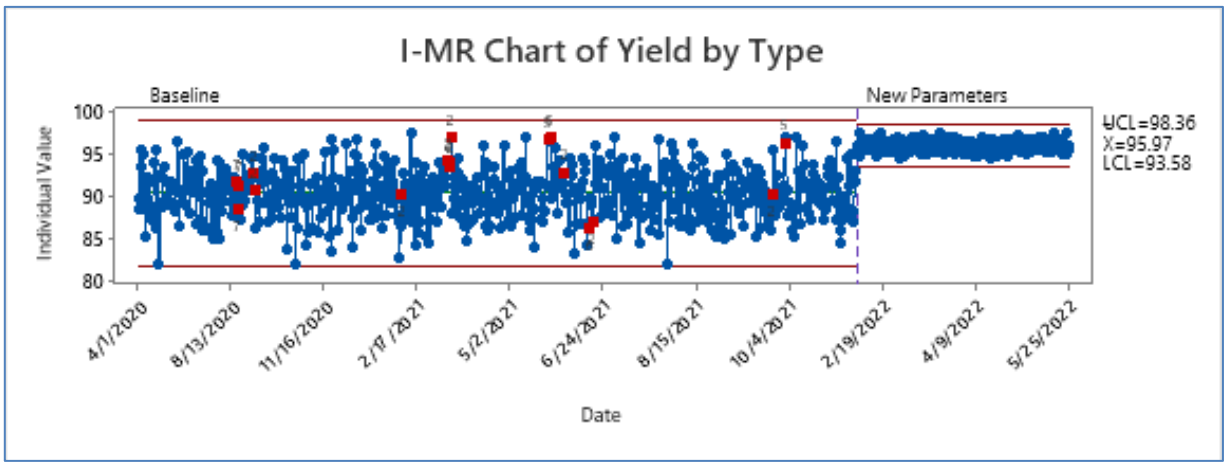


Figure 0.3 Resultados de proyecto

Revisando la gráfica 0.3 se entiende que con esto se cumple el objetivo general el cual es que cada lote de producción tenga un rendimiento de ≥91.1% (métrico interno de la planta), para evitar pérdidas por retrabajo o atrasos en la entrega al cliente.

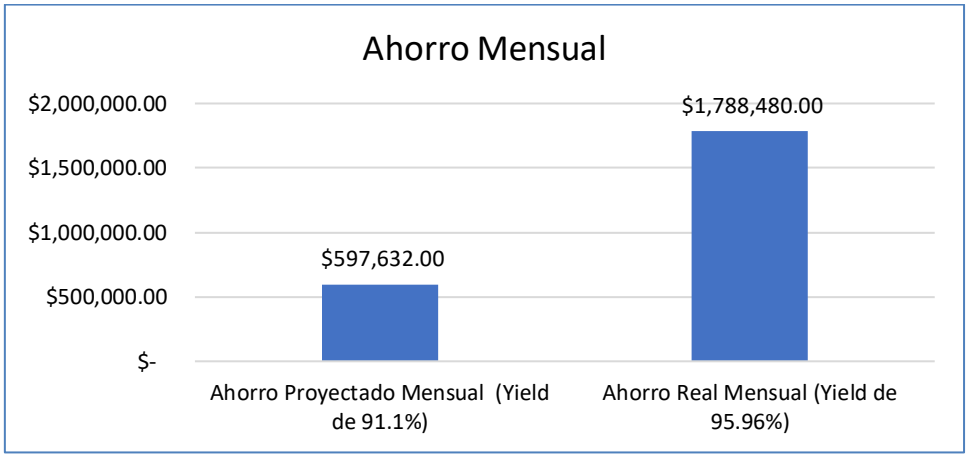
Periodo dentro de control (4 meses):

- Se muestra el promedio de rendimiento por lote ha aumentado 5.5%.
- La desviación estándar se ha reducido de 2.38 a 0.66.
- Mejora en los límites de control, resultando en una gráfica más estrecha y sin ninguna causa especial detectada por las pruebas.

El proceso se ha mantenido en control (rendimiento por lote ≥91.1%) y con la implementación de la metodología six sigma se cumple y sobre pasa el objetivo de

Cpk=2, el proceso ha alcanzado una capacidad Cpk=2.04 para el rendimiento de producto final.

Se cumple con la validación financiera, llegando a un ahorro final de $1.78 M. mensuales, con proyección a 21 M anuales.



Respecto a los objetivos secundarios mencionados se logró el hecho de que se considerara la automatización en determinadas partes del proceso los cuales a futuro se llevaron a cabo: automatización de un tanque de transformación haciendo de uso de software como el VNC Viewer, el cual se encuentra en la etapa de monitoreo y mejora en la automatización actual del cambio de agua en las piletas de cristalización.

Resultados en Prueba de Hipótesis

Gracias a las herramientas de six sigma y DOE se lograron identificar las causas de variación en el proceso y establecer los parámetros adecuados para la variable de salida. De acuerdo con las pruebas de hipótesis, 4 variables mostraron diferencia significativa para el rendimiento de cada lote, de las cuales fueron abarcadas en este proyecto.

Donde se tiene un resultado positivo a partir del cambio inicial que fue la modificación del tanque de almacenamiento de agua fría (Grafica 0.12). Donde se logra mejorar el control de la temperatura de agua fría para los cambios de agua, ya que con esto la variación de temperatura disminuyo en gran medida. Así también dentro de esas variables se encuentra el agregado de KCl donde al fijar un nuevo factor en los parámetros el rendimiento mejora en los lotes de producción.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

1. Conclusiones

El uso eficiente de las metodologías que actualmente existen es de gran utilidad para las empresas, pues ayudan de gran manera a la resolución de problemas. En muchas ocasiones tenemos las herramientas a nuestro alcance, pero cuando se desconoce de estas nos es complicado ponerlas en práctica de manera correcta. El estar actualizándote constantemente documentándote de casos prácticos ayuda a la obtención de información para la puesta en práctica de estas herramientas y cual podría ser la más eficiente de las maneras de lograr nuestros objetivos, para eliminar los llamados desperdicios de la mejora manera que nos sea posible. La estadística nos proporciona una gran arma para atacar problemas, pero estará de la mano con la confiabilidad de los datos en los cuales nos basemos para los estudios, siendo este un punto muy importante. Los datos históricos nos proporcionan una vista general del estado del proceso que queremos mejorar.

Los resultados obtenidos del proyecto son satisfactorios para los intereses de la planta pues ayudo a detectar las variables que generaban desperdicios, demostrando a su vez que podían entrar en control implementado los nuevos parámetros en cada parte del proceso. Las hipótesis fueron también demostradas donde la hipótesis general resulto ser aceptada resultado de la evidencia de los datos históricos en comparación con los datos obtenidos después de la modificación del equipo que almacenaba agua fría y la aplicación de los nuevos parámetros. Incluyéndose estos nuevos parámetros para el proceso de producción como algo primordial que debía estar bajo control para evitar desperdicios en cada lote de producción, cumpliendo de esta manera con el métrico de rendimiento por lote.

Fuentes de Información y citas

Bibliografía

Alvarez, D. O. (15 de Julio de 2021). *Cambio quimico*. Obtenido de Concepto: https://concepto.de/cambio-quimico/

Burgasí Dayanara, C. D. (julio de 2021). EL DIAGRAMA DE ISHIKAWA COMO HERRAMIENTA DE CALIDAD EN LA EDUCACION: UNA REVISION DE LOS ULTIMOS 7 AÑOS. *Revista electronica TAMBARA*, 19.

Cristalizacion y precipitación. (s.f.). Obtenido de Mettler Toledo: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystallization.html

Empresa, M. (s.f.). *KAIZEN Cambio para mejorar*. Obtenido de Mas Empresa: https://www.itescam.edu.mx/principal/docentes/formatos/1782_55.pdf

Esan, C. (30 de Julio de 2015). *Kaizen, la filosofía japonesa de la mejora continua*. Obtenido de Esan: https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/kaizen-filosofia-japonesa-mejora-continua

GARCIA, M. (03 de 10 de 2019). *Herramientas del Lean Six Sigma: la metodlogía para la excelencia operacional*. Obtenido de apd: https://www.apd.es/herramientas-del-lean-six-sigma/

Gardey, J. P. (18 de marzo de 2022). *Definicion*. Obtenido de Cambio Quimico: https://definicion.de/cambio-quimico/

Guzman, R. (28 de enero de 2023). *Importancia de la recoleccion y codificacion de datos*. Obtenido de Proceso de recolección y codificación de datos: https://ricardo1022.blogspot.com/2023/01/importancia-de-la-recoleccion-y.html

Laoyan, S. (30 de Septiembre de 2022). *asana*. Obtenido de Metodologías de mejora de procesos y cómo hacer una propuesta: https://asana.com/es/resources/process-improvement-methodologies

Martínez, A., & Morales, J. (2022). *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos.* Universidad Miguel Hernández de Elche.

Martinez, J. A., Lopez, O. I., Resendiz, J. E., & Sanchez, A. (s.f.). *Cristalizacion.* Obtenido de Couse Hero: https://www.coursehero.com/file/194015519/Cristalizaci%C3%B3n/

Ortega, C. (s.f.). *Question Pro*. Obtenido de Análisis estadístico: Qué es, usos y cómo realizarlo: https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-estadistico/#:~:text=Sabemos%20que%20el%20an%C3%A1lisis%20de,estructura%20e%20interpretar%20su%20funcionamiento.

Pérez, E., & García, M. (Julio de 2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Tecnología en Marcha*, págs. 88-106.

Rivera, G. (29 de June de 2020). *SIX SIGMA a través de 7 Herramientas de Control de Calidad*. Obtenido de SPC consulting group: https://spcgroup.com.mx/six-sigma-a-traves-de-las-7-herramientas-de-calidad/

Technology, E. K. (20 de octubre de 2023). *glosario-tic*. Obtenido de ticportal: https://www.ticportal.es/glosario-tic/six-sigma