



POSGRADOS

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-50-41-No.689-2018

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS
AVANZADAS

TEMA:

APLICACIÓN DEL SISTEMA PLIS (PRODUCTION LINE
INFORMATION SYSTEM), PARA ESTABLECER CONFORMIDAD DEL
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
REFRIGERADORAS EN LA EMPRESA INDUGLOB S.A.

AUTOR:

JUAN MIGUEL ASTUDILLO ÁLVAREZ

DIRECTOR:

JOHN IGNACIO CALLE SIGÜENCIA

CUENCA - ECUADOR

2022

Autor:



Juan Miguel Astudillo Álvarez

Ingeniero Mecánico Industrial.

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

juanmastudilloaa@gmail.com

Dirigido por:



John Ignacio Calle Sigüencia

Doctor en Ingeniería Industrial

Master en Gestion y Auditorias Ambientales

Ingeniero Mecánico.

jcalle@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

ASTUDILLO ÁLVAREZ JUAN MIGUEL

APLICACIÓN DEL SISTEMA PLIS (PRODUCTION LINE INFORMATION SYSTEM), PARA ESTABLECER CONFORMIDAD DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE REFRIGERADORAS EN LA EMPRESA INDUGLOB S.A.

RESUMEN

El proyecto desarrollado presenta la aplicación del sistema PLIS en la línea de ensamble de refrigeradoras en la empresa Induglob. En primera instancia se realiza el análisis del sistema de ensamble y funcionamiento de los componentes de los refrigeradores para establecer los problemas que estos generan, posteriormente se establecen los parámetros para trabajar con el sistema PLIS, se implementa este sistema en la línea de producción de refrigeradoras se analizan sus resultados, finalmente se desarrolla un análisis técnico económico para establecer el costo y beneficio de la implementación.

Palabras clave: sistema PLIS, línea de producción, componentes de refrigeradores.

ABSTRACT

This project presents the PLIS application system in the refrigerator's line assembly at Induglob company. The first instance, this assembly analysis and operation of the component's system in the refrigerators are carried out to establish the problems that this generates, later the parameters are established to work with the PLIS system, this system is implemented in the refrigerator's production line, after the results are analyzed, finally a technical economic analysis is developed to establish the cost and benefit of this implementation.

Keywords: PLIS, production line, refrigerator's components.

Tabla de Contenidos.

1.	Introducción.	8
1.1.	Situación problemática.....	8
2.	Formulación del problema.	10
2.1.	Problema general.	10
2.2.	Problemas específicos.....	10
2.3.	Justificación de la investigación.	11
2.4.	Objetivo general.....	11
2.5.	Objetivos específicos.	11
3.	Hipótesis.	12
3.1.	Hipótesis General.....	12
3.2.	Hipótesis Específicas.	12
4.	Marco Teórico.....	13
4.1.	Sistemas de control de la producción.....	13
4.2.	Ciclos de Refrigeración.....	31
4.3.	Indicadores Financieros.	36
5.	Metodología.	39
5.1	Metodología de investigación.....	39
5.2	Tipos de instrumentos de investigación.	39
5.3	Tratamiento de la Información.....	39
5.4	Diagnóstico de la situación actual del sistema de control de producción.....	40
5.5	Implementación del sistema PLIS.	51
5.6	Proceso de control del Sistema PLIS.....	54

5.6.1 Control sobre modelo de motor-compresor que va en cada refrigerador.	54
5.6.2 Control sobre el tiempo de vacío para cada sistema de refrigeración, por modelo..	58
5.6.3 Control sobre el proceso de carga de gas refrigerante.....	60
5.6.4 Control del cumplimiento de seguridad eléctrica según normativa IEC 60335.	62
5.6.5 Control de los valores de potencia eléctrica, funcionamiento de componentes.	64
5.7 Datos obtenidos luego de la implementación del sistema PLIS.	68
6. Análisis de costos e implementación del sistema PLIS.	70
7. Análisis de Resultados.	75
8. Conclusiones.....	81
9. Referencias Bibliográficas.	82

Lista de tablas.

Tabla 1. Marca y número, modelos de Refrigeradoras Manufacturadas.....	8
Tabla 2. Temperatura y humedad de las cámaras para monitoreo.....	10
Tabla 3. Componentes de sistema de refrigeración a ser inspeccionados.....	43
Tabla 4. Producción, modelos RI-480Qz y RI-580Qz.....	47
Tabla 5. Producción del modelo RI-480Qz.....	48
Tabla 6. Producción del modelo RI-580Qz	48
Tabla 7. Daños en refrigeradoras.....	49
Tabla 8. Refrigeradores reportados por daños del sistema de refrigeración y costo de devoluciones de productos.....	50
Tabla 9. Componentes del refrigerador que requieren inspección automática.....	51
Tabla 10. Componentes y parámetros revisados por el sistema PLIS.....	53
Tabla 11. Producción del modelo RI-480Qz, año 2021.....	68
Tabla 12. Producción del modelo RI-580Qz, año 2021.....	68
Tabla 13. Daños en RI480Qz/580Qz retornadas por el cliente; año 2021.....	69
Tabla 13. Refrigeradores reportados por daños del sistema de refrigeración y costo de devoluciones de productos.....	67
Tabla 14. Valor monetario de equipos adquiridos.....	70
Tabla 15. Unidades producidas/devueltas - todos los modelos.....	71
Tabla 16. Unidades producidas/devueltas - costos	75
Tabla 17. Cálculo del número de la muestra.....	77
Tabla 18. Comparación costos unidades retornadas.....	77
Tabla 19. Refrigeradores reportados por daños del sistema de refrigeración.....	79

Tabla 20. Comparativa costos productos retornados.....	80
--	----

Lista de Figuras.

Figura 1. Esquema del Laboratorio de Frío - Cámaras de ensayos.....	9
Figura 2. Ejemplo de gráficas P.....	25
Figura 3. Esquema, línea de producción Refrigeración.....	28
Figura 4. Esquema, descripción PLIS.....	29
Figura 5. Integración PLIS.....	31
Figura 6. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	32
Figura 7. Refrigerador doméstico.....	33
Figura 8. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	34
Figura 9. Componentes básicos del sistema de refrigeración doméstico	40
Figura 10. Laboratorio de tropicalizado, control de la producción.....	41
Figura 11. Refrigerador Indurama RI-480 Qz INV.....	42
Figura 12. Termocuplas en centros geométricos.....	44
Figura 13. Termocuplas para medir temperaturas evaporador.....	45
Figura 14. Gráficas valores temperaturas internas en un refrigerador.....	46
Figura 15. Layout línea de ensamble refrigeración,	52
Figura 16. Montaje del compresor en el refrigerador.....	55
Figura 17. Compresores para sistemas de refrigeración.....	57
Figura 18. Modelo RI-480 Qz, en proceso de vacío.....	58
Figura 19. Proceso de vacío para RI-480Qz.....	59
Figura 20. Bomba para proceso de vacío y CVC Nano Agramkow.....	60
Figura 21. Proceso y control carga, gas refrigerante.....	61
Figura 22. Cargadora de gas refrigerante PROMAX Agramkow	62
Figura 23. Parámetros de seguridad eléctrica IEC 60335.....	63
Figura 24. Estación 900 Agramkow.....	64
Figura 25. Control de valores para componentes RI-480Qz.....	65
Figura 26. Laboratorio de línea refrigeración.....	66
Figura 27. Caja CPT – XD Agramkow.....	67
Figura 28. Comparativa Producción – Unidades retornadas, RI480/RI580.....	76

Figura 29. Comparativa Producción – Unidades retornadas, RI480/RI580 con aplicación de PLIS.....78

1. Introducción.

1.1. Situación problemática.

Induglob (Indurama) dedicada a la fabricación de electrodomésticos, refrigeradoras y cocinas. En su cartera de productos de refrigeración se manufacturan 26 modelos enfocados al sector doméstico (hogares), los cuales están distribuidos por marcas de acuerdo a lo establecido en la Tabla 1.

Tabla 1

Marca y número, modelos de Refrigeradoras Manufacturadas.

Marca	Modelos
Indurama	17
Innova	7
Global	2
Total:	26 modelos

Nota: Elaborado con base en los datos de producción de Induglob S.A (2021)

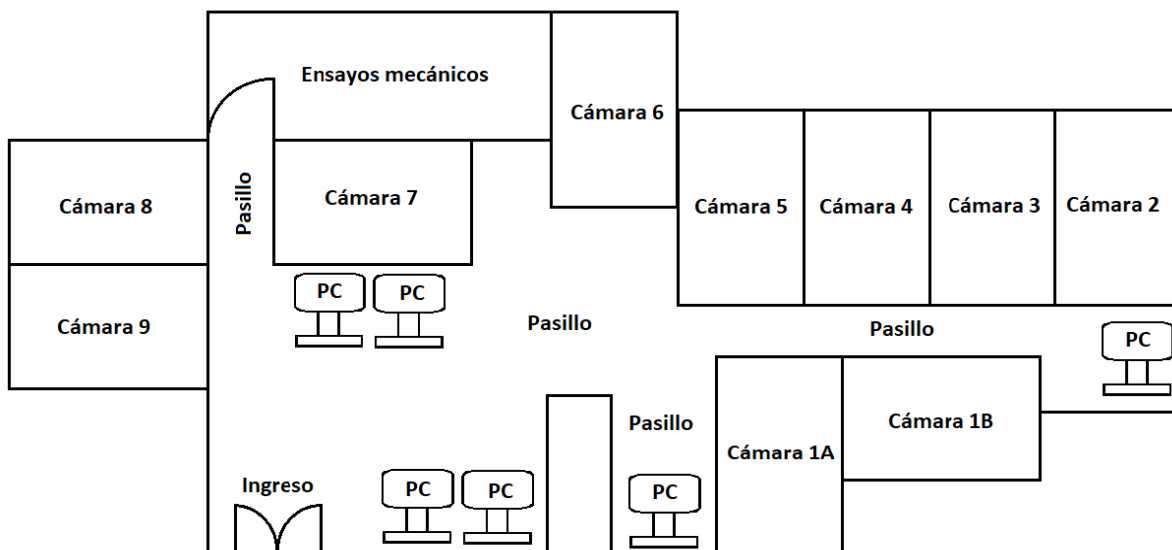
La problemática considera la falta de espacio físico dentro del laboratorio de ensayos de la empresa, debido a la alta cantidad de unidades producidas diariamente de refrigeradoras y la necesidad de ensayar varias muestras por lote de producción. Al no realizarse una verificación de todas las refrigeradoras del lote existe una alta posibilidad de que algunas estén con fallas lo que se detecta una vez que ha sido vendida y es devuelta por el usuario por defectos durante el uso.

Por cada lote de producción de refrigeradoras, ingresa una muestra física a los laboratorios, donde se realizan ensayos para medir temperaturas internas en un determinado tiempo de funcionamiento y así aprobar o rechazar el lote producido; cantidad de lote mínimo de producción 50 unidades.

Si el lote de producción es de gran cantidad es decir supera las 500 unidades producidas ingresa una muestra adicional a los laboratorios; generando un cuello de botella al proceso de aprobación del producto, la producción diaria actual de refrigeradores es de 1050 unidades (Induglob S.A, 2021), en diferentes modelos. La empresa tiene 9 cámaras internas para evaluación de refrigeradoras (Figura 1), de las cuales solo dos están destinadas al uso de monitoreo de la producción; las otras cámaras están destinadas a pruebas en nuevos diseños y monitoreo normativo.

Figura 1.

Esquema del Laboratorio de Frío – Cámaras de ensayos.



Nota. Adaptado de *Laboratorio de Frío*, de Induglob S.A (2021)

Las cámaras 5 y 6 son destinadas para el monitoreo de producción, las cuales en su interior manejan una temperatura ambiente y humedad relativa controlada (Tabla 2).

Tabla 2

Temperatura y humedad de las cámaras para monitoreo.

Descripción	Temperatura interna.	Humedad relativa interna.
Cámara 5	20°C	60%
Cámara 6	32°C	75%

Nota. Elaborado con base en los datos de Induglob S.A (2021)

2. Formulación del problema.

2.1. Problema general.

¿Con la aplicación del sistema PLIS en la línea de ensamble para refrigeradoras es posible garantizar la conformidad del funcionamiento del sistema de refrigeración del total del lote de producción para disminuir la devolución de productos que fueron vendidos y que por garantía son restituidos?

2.2. Problemas específicos.

- a. ¿Es posible diagnosticar la situación actual de la línea de ensamble refrigeradoras para establecer nivel actual de conformidad relacionado al funcionamiento del sistema de refrigeración?
- b. ¿Con la implementación del sistema PLIS se garantiza la conformidad del total de los lotes de producción de los diferentes tipos de refrigeradoras que se fabrican?
- c. ¿El costo de inversión en la implementación del sistema PLIS, será rentable frente a los costos que ocasiona el envío de artefactos defectuosos al mercado?

2.3. Justificación de la investigación.

En la línea de ensamble, se puede implementar el sistema PLIS, a fin de que cumpla la función de POKA-YOKE, como control de calidad aplicado para evitar errores en la aplicación productiva («Poka-yoke», 2020); lo que permitirá medir los valores de potencia referentes al funcionamiento del refrigerador, dentro de la línea de producción.

Al aplicar el sistema de control PLIS, posibilitará la revisión del 100% de la producción, filtrando daños y así evitando la llegada de artefactos defectuosos al consumidor final, dando solución al cuello de botella, el cual disminuye el proceso productivo. (UPN, 2016)

Por otro lado, siendo Indurama la empresa pionera en el país en la fabricación de electrodomésticos, en la actualidad no posee información con la cual comparar aspectos similares que permitan brindar un criterio de aprobación para potencias medidas en las cajas del sistema PLIS; las empresas nacionales catalogadas como competencia no tiene implementado este sistema.

2.4. Objetivo general.

Aplicar el sistema PLIS en la línea de ensamble de refrigeradoras para garantizar la conformidad del funcionamiento del sistema de refrigeración del total del lote de producción, disminuyendo la devolución de productos post venta y que por garantía son restituidos.

2.5. Objetivos específicos.

- a. Diagnosticar la situación actual de la línea de ensamble de refrigeradoras para establecer nivel actual de conformidad relacionado al funcionamiento del sistema de refrigeración.

- b. Implementar el sistema PLIS considerando la maquinaria y evaluar la aplicación del sistema analizando la conformidad y no conformidad del producto.
- c. Determinar el valor económico de la implementación del sistema PLIS para establecer el costo beneficio que genera la aplicación del sistema.

3. Hipótesis.

3.1. Hipótesis General.

Aplicando el sistema de control PLIS en la línea de ensamble de refrigeradoras, se garantiza la revisión de conformidad al funcionamiento del sistema de refrigeración del 100% del lote de producción.

3.2. Hipótesis Específicas.

- a. El sistema actual de revisión de conformidad del sistema de refrigeración mediante muestreo no garantiza la conformidad del 100% de productos de un lote de producción.
- b. La implementación del sistema PLIS, garantiza la revisión total de los diferentes lotes de producción y establece la conformidad del 100% del producto terminado que se envía para la comercialización.
- c. La inversión económica en la implementación del sistema PLIS en la línea de producción disminuye pérdidas económicas y favorece la rentabilidad en la producción de refrigeradoras.

4. Marco Teórico.

En primer lugar se analizarán temas relacionados a controles de la producción, ya que es de mucha importancia conocer sobre la operación y ejecución de tipo de producción por el cual estamos optando; dentro de este análisis se considera el sistema de control PLIS, con todos sus componentes.

En segundo lugar se analizan los ciclos de refrigeración y el más común utilizado para el uso de sistemas de refrigeración doméstico que es por compresión de vapor; además se explican cada uno de los componentes mecánicos de dicho ciclo. Para finalizar se hablará de algunos indicadores financieros que se deben considerar para determinar la factibilidad financiera en proyectos.

4.1. Sistemas de control, producción.

La producción continua y control de la misma de acuerdo con Pérez (2021), considera los siguientes aspectos:

4.1.1. Producción Continua.

- De gran volumen (negocio) sobre productos en serie.
- Las instalaciones se encuentran ordenadas, por departamentos, productos.
- Maquinaria especial destinada al uso económico.
- Enfoca como destino final del producto el almacén.
- Los pedidos se basan en un contrato ó en un pronóstico de ventas.

4.1.2. Control de Producción Continua.

Cumplir cantidades pactadas, ya que siempre se tienen stocks de producto terminado amortiguando efectos en variaciones (pronósticos de ventas). En mayoría la maquinaria posee arreglos preestablecido y el sistema de información permanece sin daños, es decir sin cambios de maquinaria; la mejora en la información esta dada por la búsqueda de eficiencia y no en necesidades del proceso; usando gráficas. La detección de desviaciones las ejecuta el personal de control; su corrección es ejecutada por el personal de línea. Es factible el uso de personal extra para temas de reproceso, ya que son máquinas específicas y su operación requiere de menor conocimiento. (Pérez Anna , 2021)

4.1.3. Producción Intermitente.

La producción intermitente considera los siguientes aspectos:

- Según pedido, varían productos.
- Para solventar stocks mínimos, sin repetición.
- Para operaciones se utiliza toda la maquinaria disponible.
- Distribución de la planta, basada en la maquinaria a uso.
- Producción basada en ventas realizadas.

4.1.4. Control, Producción Intermitente.

Su control no difiere del de producción continua, diferente en cuanto a la finalidad, cumpliendo fecha de entrega. Al tratarse de varios pedidos referidos a diferentes artículos, las máquinas se adaptan para cumplir el pedido modificando el sistema de información para control. Se usa el método de ruta crítica y diagramas de Gantt para comparación, la detección de la

desviación y la corrección de la misma usa al personal de control y los encargados de la línea de producción. Es común el uso de tiempo extra para recuperar la producción por la capacidad que se requiere en los operarios.

- **Elementos de Control.**

Basados en:

- Estándares de Producción.
- Información primordial.
- Detección de diferencias.
- Determinar responsables de acciones.

- **Estándares de Producción.**

Entre los principales están:

- Competencia de planta.
- Líneas de proceso.
- Tiempos por paso.
- Costo productivo.
- Turnos de operación.
- Personal por ciclo.

Para establecer estándares de producción, el control se apoya del trabajo de ingeniería industrial y contabilidad, dichos estándares se usan en la cuantificación de objetivos productivos, los mismos que son parte de los estándares de producción; dicho plan servirá como punto de control.

Para mejorar el control de la producción se sugiere considerar elementos como:

- **Información relevante.**

Esta debe ser captada en puntos de control establecidos, dicha información debe prescindir de datos innecesarios. Tomar como referencia causalidad de excepción, cada persona dentro del control reporta datos importantes y comunica a instancias mayores resultados. La información debe aportar a objetivos específicos indicando necesidades de una acción. Los informes serán estandarizados con manuales de fácil utilización, sencilla y transparente; hay que dar a conocer la frecuencia de recepción de cada reporte y las operaciones por optar.

El reporte forma parte del proceso productivo acoplándose armónicamente. El precio de sintetizar el resultado debe ser similar al costo de transformación.

- **Detección de Disconformidad.**

Apoya con detectar disconformidades, indicando a las personas que deben actuar como disparador para iniciar las acciones requeridas. La información sirve para comparaciones efectivas que den ideas claras de lo que acontece, cuándo está ocurriendo, dónde sucede, efectos que causa

y cuánto se distancia el resultado del objetivo para tomar decisiones que regresen el flujo de la producción a normalidad.

- **Determinación de responsabilidades.**

Su estructura debe permitir que la organización tenga claras sus obligaciones y responsabilidades. Los departamentos involucrados deben tener ya definidas las actividades con las que contribuirán al control de la misma. La toma de decisiones debe ser dada a conocer para convertirse en un tema cotidiano. Al definir los elementos del control de producción las actividades productivas se desarrollarán en forma sincrónica, cumpliendo objetivos productivos a costos bajos. Un sistema de control, requiere de saber los pasos básicos de operación.

Desde ahí lo correcto a seguir es:

- **Rendimiento continuo y óptimo, flujos.**

Garantiza que los ítems destinados a transformación se movilicen de forma continua; no debe darse desabastecimiento en ninguna etapa.

- **Minimizar cambios en la cadena productiva.**

Los días que se realiza la producción, en las diferentes etapas que circula el ítem a ser transformado no debe sufrir variación o cambios, ya que al cumplir lo mencionado encontraremos unidad en la producción.

- **Planificación, base del sistema de control de producción.**

Su aplicación logra una medición óptima de las operaciones y su oportuna correlación al proceso.

- **Instrucciones, grupos de operación.**

Aplicarse únicamente al comienzo del proceso, de forma diaria y el hábito se encargarán de que dichas instrucciones sean recordadas sin dificultad, evitando inversión continua de tiempo en acciones sin valor agregado.

- **No modificar el rendimiento de las líneas de producción.**

Sin una buena razón no es recomendable modificar el rendimiento de las líneas productivas, de esta forma la producción tendrá unidad en forma y contenido, manteniendo su nivel productivo. La función de control aplicado a producción debe otorgar informes periódicos sobre el logro de los objetivos establecidos, proporcionar datos relacionados al transcurso de las operaciones y los posibles retrasos. Planificar y controlar la producción está complementada con el control de calidad.

Para continuar con el análisis de sistemas de control de producción se considera la publicación de webyempresas(2021) que sugiere tener en cuenta características que otorgarán ventajas como:

4.1.5. Características del Control de Producción.

Dentro de las características más importantes, podemos mencionar lo siguiente:

- Referidos a la cantidad de unidades producidas por una industria, verificadas de una manera correcta para el cumplimiento de exigencias pactadas.
- Encontrar la forma adecuada de transformación a los materiales que ingresan a la industria, con el fin de obtener el mayor beneficio para la empresa.
- Las evaluaciones deben ser constantes y medir valores como petición de clientes, estado del capital de trabajo y habilidad productiva; con proyección a futuro.

4.1.6. Ventajas y beneficios.

Controlar la operación otorga el éxito buscado por la empresa, gestionando adecuadamente la producción como:

- Certificar la fluidez del proceso a totalidad.
- Control del uso indebido y pérdida de recursos.
- Optimización de la capacidad de transformación, a través de la programación, disminuyendo tiempos para de actividades.
- Garantiza el tiempo de producción, manteniendo un buen ritmo.
- Aumentar la producción, ahorra costos, proporcionando indicadores exitosos.

A continuación también se analiza la metodología clásica SIX-SIGMA que se ha incorporado con excelentes resultados y que ha dado soporte a nuevos desarrollos:

4.1.7. Metodología de control Six – Sigma.

Chase, Jacobs, & Aquilano (2018), definen a la metodología Six- Sigma como un control aplicado sistemáticamente y enfocado en proyectos (DMAIC), recomendado por sus autores.

Six-Sigma subraya el método científico, la comprobación de hipótesis sobre la relación entre insumos (X) y productos (Y) de los procesos usando diseño de métodos de experimentos (DOE). El objetivo general de la metodología es entender y lograr lo que quiere el cliente, ya que es clave para la rentabilidad de un proceso de producción. La metodología DMAIC se describe a continuación. (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2018)

- Definir (D).

- Identifica clientes y primacias.
- Cataloga un proyecto basado en los objetivos de la empresa, como en requerimientos de los clientes.
- Identifica características cruciales para la calidad (CTQ: critical to quality) que el cliente especifica.

- **Medir (M).**

- Como medir y ejecutar el proceso.
- Identifica procesos cruciales que influyen en las características para la calidad y determinar daños que son generados.

- **Analizar (A).**

- Establece causas probables relacionados a procesos.
- Analizar la generación de defectos identificando variables directas sobre los procesos productivos.

- **Incrementar (I).**

- Identifica medios para erradicar defectos.
- Establece variables clave y cuantifica sus efectos en las necesidades primordiales para la calidad.
- Identifica valores permisibles de aceptación de variables, además de un sistema para medir las desviaciones.
- Varía modos de proceso para cumplir límites establecidos.

- **Control (C).**

- Forma de como continuar con las mejoras.
- Otorgar herramientas para que las variables clave esten dentro de los límites de aceptación en el proceso.

4.1.7.1. Herramientas analíticas para Six-Sigma.

Estas herramientas descritas por los autores se usan desde hace muchos años, la integración de estas herramientas en un sistema de administración corporativa, siendo:

- **Diagramas de flujo.** Existen varias formas de diagramas de flujo. SIPOC como un modelo formal de insumos y productos, usado para definición de las etapas de un proyecto.
- **Gráficas de corridas.** Indican tendencia de datos en el transcurso del tiempo ayudando a comprender el tamaño de un problema en la etapa de definición, graficando por defecto el valor de la mediana del proceso.
- **Gráficas de Pareto.** Separa cada una de las partes de un problema en contribuciones de sus componentes. Basadas en un resultado común que un gran porcentaje de problemas son producto de un porcentaje pequeño de causas.

- **Formas de comprobación.** Homogenizan la recopilación de datos con el uso de formatos básicos.
- **Diagrama de causa y efecto.** Conocido como diagramas de espina de pescado, indica relaciones existentes entre causas potenciales y el problema estudiado. Al tener este tipo de diagramas se analizan las causas que más impacto tienen en la generación del problema.
- **Diagrama de flujo de oportunidades.** Usados para desglosar las etapas de un proceso y saber cuales agregan valor y cuales no.
- **Gráficas de control.** Son gráficas que visualizan valores otorgados por la estadística, como valores de promedio central, límites de control, usados para asegurar que los cambios tomados se encuentran bajo control de datos.
- **Modo de falla y análisis de efectos.** Usado para identificar, calcular, establecer prioridades y evaluar el riesgo de fallas en un proceso productivo dentro de cada una de sus etapas. Identifica cada uno de los elementos, montaje del proceso y arroja posibles fallos, causas y efectos. Su proceso de cálculo es según la obtención de un número de prioridad de riesgo (RPN). Un AMEF otorga acciones para eliminar fallos; estas acciones son asignadas a una persona o departamento encargados de resolver el problema.

4.1.7.2. **Principios de Seis Sigma.** Según el autor Vela (2018), describe:

1. **Liderazgo total.** Implica cambios dentro de la forma de realizar operaciones y tomar decisiones, con el compromiso de su personal, es decir desde la gerencia hasta la operación.
2. **Estructura directiva, personal a tiempo completo.** Crea una estructura directiva que integra líderes, expertos y facilitadores; con roles específicos para analizar y gestionar proyectos de mejora.
3. **Formación/entrenamiento.** El personal requiere de entrenamiento y formación continua específica de la operación.
4. **Orientación al cliente, enfocada a los procesos.** Los procesos deben cumplir con las exigencias del cliente sin descuidar su calidad dentro de seis sigma.
5. **Disponibilidad de datos.** Dan rumbo a los esfuerzos de la metodología, primordiales para identificar variables dentro de los procesos por mejorar.
6. **Metodología robusta.** Resuelven los problemas del cliente, analizando los datos obtenidos como resultado.
7. **Comunicación.** Su objetivo es fomentar la participación entre todos los integrantes y departamentos de una empresa.

4.1.8. **Procedimientos de control de Procesos.**

El control de procesos según Chase, Jacobs, & Aquilano (2018) vigila la calidad en un proceso productivo, proporcionan información sobre si los artículos producidos cumplen especificaciones de diseño además de detectar cambios los cuales indiquen un incumplimiento a

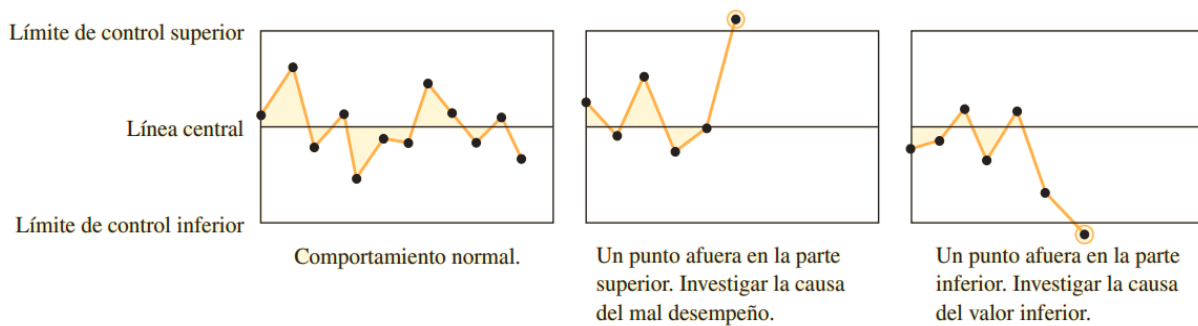
futuro de especificaciones. El control estadístico de procesos (CEP) toma una muestra aleatoria de la producción para determinar cumplimientos de ítems dentro de límites correctos.

Las variables a controlar son una cantidad de desviación de un estándar establecido; método conocido como muestreo por variables el cual está estructurado como:

- **Mediciones de atributos y uso de gráficas P.** Significa tomar muestras del ítem y optar una sola decisión: sirve o no sirve. Se usa estadística simple para crear una gráfica con límites de control superior e inferior (LCS – LCI). El proceso funciona correctamente cuando las muestras seleccionadas en el turno, se encuentran entre los límites de control determinados. (Figura 2)

Figura 2

Ejemplo de gráficas P.



Nota. Adaptado de *Gráficas de Control*, de Induglob S.A (2021)

La cantidad de la muestra debe permitir el conteo del atributo, si una máquina produce 1% de defectos, una muestra de cinco unidades pocas veces demostraría un defecto. Al crear una gráfica P es hacer que la muestra tenga el tamaño suficiente para esperar contar el atributo dos veces en cada muestra.

- Control de Procesos con Mediciones de Variables y uso de Gráficas X y R.

En la medición de variables se generan gráficos de control para establecer el grado de aceptación o rechazo del proceso. Existen cuatro aspectos para crear una gráfica de control: el tamaño de las muestras, el número de muestras, la frecuencia de las muestras y los límites de control.

Para el control de procesos por medición de variables dentro de la industria, es preferible que las muestras sean pequeñas. Tomar la muestra en un periodo razonable; sin afectar al proceso; segundo, mientras más grande sea la cantidad de la muestra, costará más obtenerla. El tamaño de las muestras preferido es de cuatro o cinco unidades. Las medias obtenidas de las muestras de este tamaño otorgan una distribución aproximadamente normal. Las muestras de más de cinco unidades dan límites de control más estrechos y mayor sensibilidad. Para detectar las variaciones más finas en un proceso, puede que sea necesario utilizar muestras más extensas. Sin embargo, cuando el tamaño de las muestras excede las 15 unidades más o menos, será mejor usar gráficas X con desviación estándar σ , en lugar de gráficas X con el rango R.

Una vez creada la gráfica, es posible comparar cada muestra tomada con la gráfica y tomar una decisión sobre si el proceso es aceptable. Sin embargo, para elaborar las gráficas se sugiere que se tomen alrededor de 25 muestras.

La frecuencia de las muestras depende del costo del muestreo (además del costo de la unidad en caso de que ésta se destruya como parte de la prueba) y el beneficio de ajustar el sistema. Por lo regular, es mejor empezar con el muestreo frecuente de un proceso y distanciar poco a poco las muestras conforme aumenta la confianza en el proceso, se puede empezar con una muestra de cinco unidades cada media hora y terminar con la sensación de que una muestra al día es adecuada. Una práctica recomendable es establecer límites de control: tres desviaciones estándar sobre la media y tres desviaciones estándar debajo de ésta.

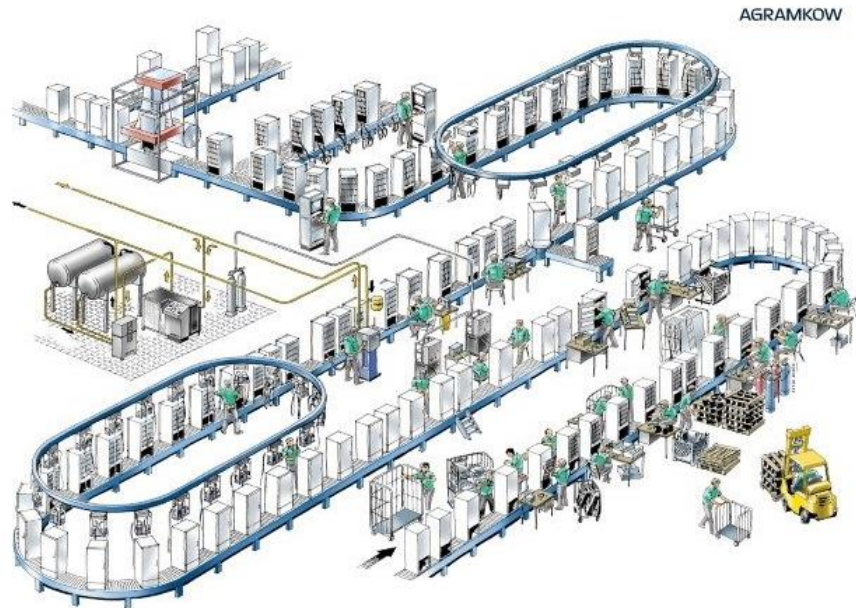
Esta metodología se centra en reducir y eliminar los defectos en los procesos productivos, llevando la calidad a niveles casi perfectos. (Esan, 2019)

4.1.9. Sistema de control PLIS.

Sistema desarrollado por el grupo AGRAMKOW (2021), es pionero en la fabricación de maquinaria para soluciones de prueba en la industria de refrigeración (electrodomésticos) y aires acondicionados; también son fabricantes de maquinaria destinada a la producción y control de refrigeradoras. El sistema PLIS utiliza equipo especializado y un software que toma los datos de cada paso en el flujo de producción, garantizando una trazabilidad completa (Figura 3).

Figura 3.

Esquema, línea de producción Refrigeración.

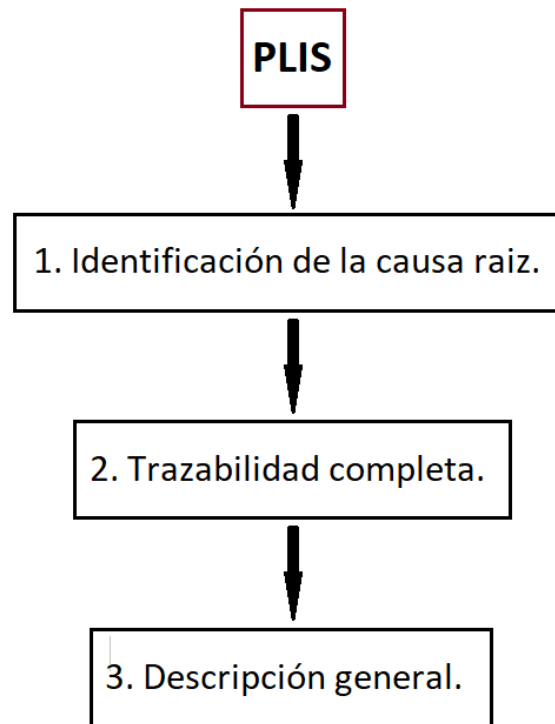


Nota. Adaptado de *AGRAMKOW Fluid Systems A/S*, 2021, (<https://www.agramkow.com>)

El sistema permite aprovechar la obtención de datos para comprender lo que realmente está sucediendo en el proceso productivo y tomar decisiones acertadas, permitiendo reducir defectos, reprocesos, desperdicio; recortando los costos, mejorando la utilización de recursos y tiempos de ciclo. Recopila y almacena muchos datos a lo largo del proceso productivo, convirtiéndolos en informes personalizados para identificar y resolver problemas operativos, permitiendo tomar mejores decisiones. El sistema considera un software listo para usar, que se ajusta a la infraestructura existente (Figura 4), almacenando datos de forma local, centralizada o en la nube, beneficiando al personal operativo con un trabajo uniforme centralizando parámetros y procesos, brindando una calidad óptima al producto fabricado.

Figura 4

Esquema, descripción PLIS.



Nota. Adaptado de *AGRAMKOW Fluid Systems A/S, 2021*, (<https://www.agramkow.com>)

Ofrece la aplicación CCV (verificación de componentes críticos aplicable al proceso de producción), conjuntamente con el software denominado PLIS Smart Suite, los cuales pueden garantizar trazabilidad completa de los componentes a lo largo de todo el proceso de fabricación.

CCV brinda al operador la verificación del ensamblaje correcto, comparando el código de barras de los componentes con la estructura base de modelo. El historial de ensamble de cada producto es almacenado en una base de datos PLIS Smart Suite para su posterior análisis. Los informes incluyen análisis de los tiempos de manejo del usuario, el uso de componentes y la distribución de errores.

Algunas de las ventajas de CCV:

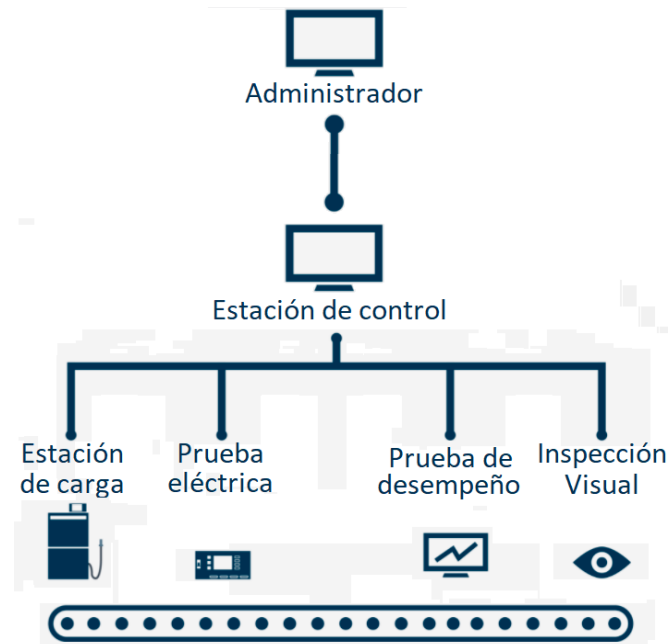
- Verificación de componentes críticos durante el proceso productivo.
- Soporte de subensamblaje en múltiples áreas.
- Trazabilidad completa.
- Adaptable a todo tipo de productos.
- Basado en escáner de código de barras.
- Amplias funciones de informes.

La interfaz de PLIS ofrece un registro sencillo de los productos catalogados con defectos en tiempo real con sus códigos de falla; siendo posible realizar la inspección visual y recopilación de códigos de fallas en tiempo real. PLIS se puede adaptar en diferentes áreas de la producción, siendo usada en producción mixta como en producción por lotes, ofreciendo trazabilidad completa del producto, garantizando que los mismos salgan de fábrica probados de acuerdo con las especificaciones de diseño. Consta de varios módulos, donde se puede cambiar varias configuraciones para que no haya dos implementaciones idénticas, brindando un solo punto para manejar el proceso de producción de una manera versátil con la flexibilidad y funcionalidad necesarias para controlar la producción. La plataforma modular de PLIS permite una fácil integración (Figura 5) de funciones y complementos.

- PLIS es una aplicación diseñada para controlar y monitorear el proceso de producción al final de la línea de fabricación para refrigeradores.
- PLIS interconecta los productos e interfaces de AGRAMKOW a dispositivos de terceros.
- PLIS aumenta la calidad, mejora la productividad y proporciona datos en tiempo real.

Figura 5

Integración PLIS.



Nota. Adaptado de *AGRAMKOW Fluid Systems A/S*, 2021, (<https://www.agramkow.com>)

4.2. Ciclos de Refrigeración.

Una de las aplicaciones de la termodinámica es la refrigeración, según los autores Çengel, Boles, & Kanoglu (2019), es el movimiento de calor de un área de temperatura menor hacia una temperatura mayor. Los refrigeradores producen el principio de refrigeración. El ciclo de refrigeración utilizado con más frecuencia es por compresión de vapor (ciclo ideal – ciclo real), aquí el refrigerante es evaporado y condensado alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor.

4.2.1. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de Vapor.

Los autores establecen la existencia de factores no prácticos de este ciclo que pueden ser descartados al evaporar el refrigerante completamente antes de comprimirlo, usando un tubo capilar; resultando un ciclo ideal, siendo el más utilizado; tiene cuatro procesos: (Figura 6).

1-2 Compresión isentrópica en un compresor.

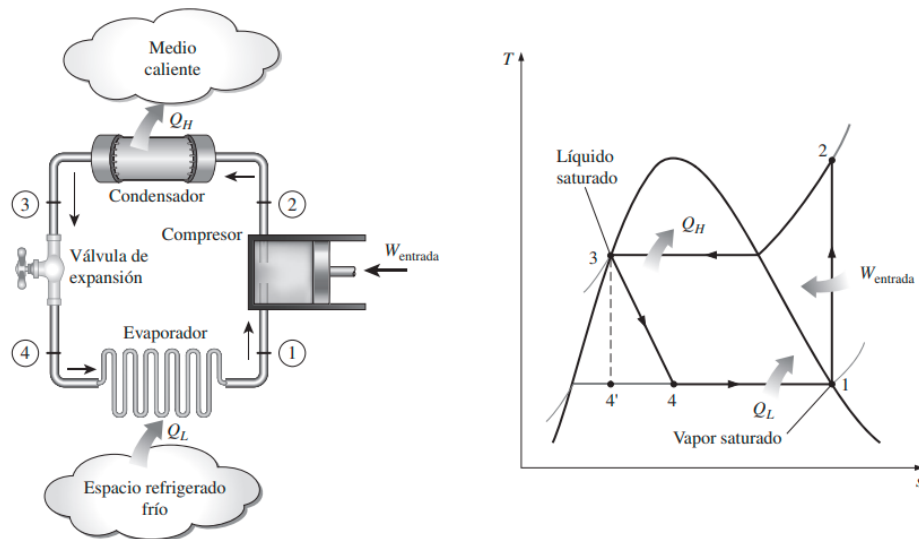
2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión.

4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador.

Figura 6.

Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

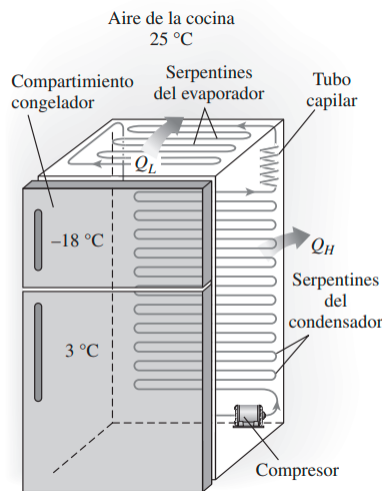


Nota. Adaptado de *Termodinámica* (p.603), por Çengel, Boles, & Kanoglu, 2019, McGraw-Hill Global Education Holdings.

Un refrigerador doméstico (Figura 7) tiene tubos de aluminio/cobre en el compartimiento del congelador, denominado como evaporador. Los serpentines en la parte posterior del refrigerador, donde el calor es disipado al aire del ambiente, es conocido como condensador. El área existente bajo la curva del proceso 4-1 indica el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador y el área existente bajo la curva del proceso 2-3 indica el calor expulsado por el condensador.

Figura 7

Refrigerador doméstico.



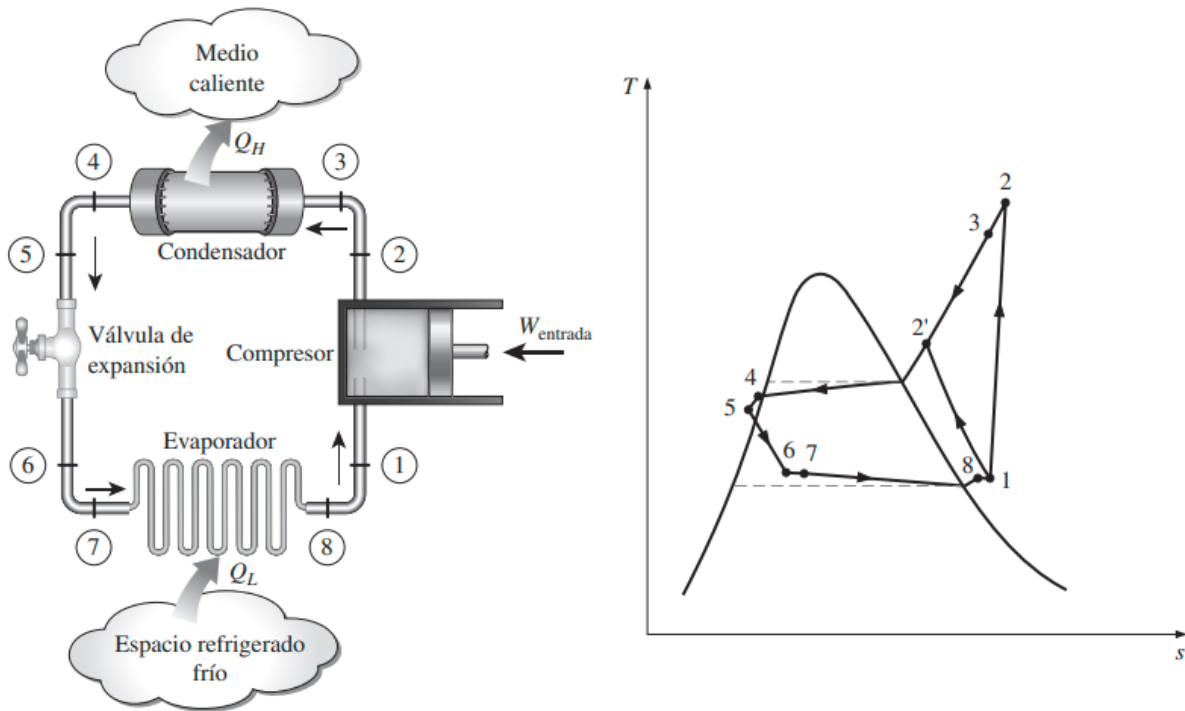
Nota. Adaptado de *Termodinámica* (p.603), por Çengel, Boles, & Kanoglu, 2019, McGraw-Hill Global Education Holdings.

4.2.2. Ciclo real de refrigeración por compresión de Vapor.

Dentro de este punto, los autores mencionan que este ciclo (Figura 8) es diferente de uno ideal en varios puntos debido a las irreversibilidades de función que ocurren en cada uno de sus componentes como la fricción del fluido (caídas de presión) y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores.

Figura 8

Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor.



Nota. Adaptado de *Termodinámica* (p.606), por Çengel, Boles, & Kanoglu, 2019, McGraw-Hill Global Education Holdings.

El resultado del sobrecalentamiento, es un incremento del volumen específico, aumentando los requerimientos de entrada de potencia al compresor. La entropía del refrigerante se incrementa (proceso 1-2) o disminuye (proceso 1-2') durante un proceso de compresión real, dependiendo del predominio de los efectos. El refrigerante debe enfriarse durante el proceso de compresión siempre que sea práctico y económico hacerlo. En el caso ideal, se supone que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado a la presión de salida del compresor siendo inevitable tener cierta caída de presión en el condensador, así como en las tuberías que lo conectan con el compresor y la válvula de estrangulamiento. No es fácil aplicar el proceso de condensación con tal precisión para que el refrigerante sea líquido saturado al final.

Como consecuencia, el refrigerante es subenfriado antes de que entre a la válvula de estrangulamiento. La válvula de estrangulamiento y el evaporador están situados muy cerca obteniendo una caída de presión en la línea de conexión pequeña.

Como resumen, según Kosner® (2022), hay 4 componentes en un sistema de refrigeración:

- **Expansión:** El refrigerante a temperatura y presión alta, circula por la válvula de expansión hacia el evaporador. Un porcentaje del líquido se evapora al circular por la válvula de expansión para reducir la temperatura del refrigerante en estado líquido llegando a la temperatura de evaporización.
- **Evaporización:** Por acción del género el refrigerante en estado líquido se evapora a temperatura y presión constante, dentro del evaporador.
- **Compresión:** Por acción del trabajo del compresor, la temperatura y la presión del refrigerante aumentan por el proceso de compresión, circulando hacia el condensador.
- **Condensación:** Aquí el calor absorbido es liberado hacia el exterior, la temperatura del gas refrigerante disminuye hasta cambiar a estado líquido, para luego dirigirse a la válvula de expansión.

El nivel de calidad de los 4 componentes y el nivel de pureza del gas refrigerante influirán directamente en la optimización del ciclo de refrigeración.

4.3. Indicadores Financieros.

Los autores Cervantes, Pérez, & Cruz (2018), indica que ofrecer un ítem con elevados estándares de calidad en su fabricación es importante, ya que de esta manera garantizamos conformidad del producto y evitamos reclamos o devoluciones por parte del cliente final, evitando el incremento de los costos de la no calidad manejados como indicador. Algunos de los indicadores más usados para la evaluación de proyectos, estan descritos a continuación:

4.3.1. Valor presente neto VPN: El valor generado por llevar a cabo cierta inversión es medido.

Indicador clave de proyectos, cuyo resultado es mayor a 0 se acepta la inversión, si es igual a 0 se realiza un análisis; si su valor es menor a 0 la inversión es rechazada.

Ventajas:

1. Orienta a usar el valor del dinero en un tiempo justo.
2. Contribuye en la toma de decisiones aceptando o rechazando un proyecto.
3. Otorga una visión de los flujos de efectivo involucrados en el negocio o proyecto.

$$VPN = \sum \frac{\text{Flujo de efectivo neto durante un solo periodo}}{(1 + \text{Tasa de descuento})^n}$$

n: representa el número de periodos.

Método de modelado financiero usado para elaborar presupuestos de capital y evaluar la rentabilidad de las inversiones de proyectos; conocido como valor actual neto (VAN).

4.3.2. Índice de rentabilidad IR.

El valor creado por unidad invertida es medido, ayuda para la conclusión tomada en relación al VPN; si es mayor a 1, el VPN es positivo y aceptada la inversión. Son herramientas financieras usadas para revelar actividades económicas que generarán ingresos comparando diferentes áreas del negocio, como costos de operación, ganancias, activos dentro del balance general, patrimonio neto, flujo de efectivo e impuestos. Medidos en un periodo de tiempo establecido: semanal, mensual, etc. (Chad, 2020)

4.3.3. Retorno de la inversión ROI.

Analiza inversiones parciales donde hay gastos o ingresos relacionados al proyecto, deduciendo de los ingresos todas las salidas con relación a la venta como inversión, asociando todo como costos del proyecto. Su uso permite saber la cantidad de dinero que se está ganando o perdiendo con cada inversión realizada, quedando claro qué inversiones son ideales y optimizando inversiones en funcionamiento, mejorando su rendimiento. (García, 2019)

Según Cordeiro (2020) los términos más usados para manejo de este indicador y la forma de cálculo son:

Inversión: Se debe usar solo cantidades por segmento elegido.

Costos: Aquellos valores de gastos realizados y necesarios para viabilizar la inversión.

Como calcular el ROI.

Mediante el uso de la siguiente formula:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$$

Analiza el negocio en conjunto, áreas específicas; identificando errores y problemas en cualquier área del negocio. Las limitaciones del ROI son:

- No considera la duración de la inversión.
- No toma en cuenta las variaciones de la inflación.
- No influye la estacionalidad.

5. Metodología.

5.1 Metodología de investigación.

Al trabajar con datos numéricos antes y después de la implementación del sistema PLIS, el tipo y diseño de investigación a utilizar es de carácter cuantitativo; relacionada al diseño es no experimental ya que los sujetos no están asignados aleatoriamente a los grupos y no se modificarán variables en función a requisitos planteados inicialmente; y correlacional al mostrar la consecuencia de modificar el sistema de control total frente al de muestreo. En cuanto al nivel de investigación, es tecnológica ya que será útil para la solución de problemas relacionados a verificación del producto al 100% de la producción diaria.

5.2 Tipos de instrumentos de investigación.

Utilizaremos los datos que son obtenidos de las hojas de control donde se anotan las observaciones, reportes internos de operaciones de calidad. Se analizan los datos recolectados; valores de potencia eléctrica¹ fuera de límites permitidos.

5.3 Tratamiento de la Información.

Para la primera fase de la investigación se tomarán los datos que actualmente se encuentran en las hojas de control de la empresa y se realizará un análisis con estadística descriptiva para establecer los valores máximos de inconformidad, posteriormente en la segunda fase el tratamiento será el mismo para establecer la conformidad luego de aplicar el sistema PLIS y poder correlacionar los datos obtenidos. Como segundo punto se revisará lo concerniente al sistema de

¹ Potencia eléctrica: relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado; la unidad de medida es el Vatio (Watt). (Potencia eléctrica - EcuRed, 2021)

control PLIS, es decir la implementación de maquinaria y software que garantizará la revisión al 100% de la producción; por último se revisarán algunos indicadores económicos usados para determinar la factibilidad de la inversión. (Induglob S.A, 2021)

5.4 Diagnóstico de la situación actual del sistema de control de producción.

El sistema de ensamble actual de la línea de refrigeración es automatizado, pero la forma de revisión del sistema de refrigeración se realiza mediante muestreo de un lote de producción, ya que pocas unidades fabricadas ingresan al laboratorio para medición de temperaturas internas del refrigerador. Para el proceso de revisión del sistema de refrigeración los artefactos son ensamblados con sus respectivos componentes (Figura 9) pero no se tiene trazabilidad por ítem y funcionamiento, por lo que de cada lote de producción se toma una muestra para garantizar conformidad en toda la producción diaria de refrigeradores. (Induglob S.A, 2021)

Figura 9

Componentes básicos del sistema de refrigeración doméstico.



Nota. Adaptado de *Refrigerador Doméstico*, de Induglob S.A (2021)

Por cada lote fabricado de refrigeradoras, ingresa una muestra física a los laboratorios, donde se realizan ensayos para medir temperaturas internas en un determinado tiempo de funcionamiento y así aprobar o rechazar el lote producido; la cantidad de lote mínimo de producción es de 50 unidades y se puede incrementar hasta un lote de 1000 unidades continuas. Si el lote de producción supera las 500 unidades, ingresa una muestra adicional a los laboratorios; generando un cuello de botella al proceso de aceptación del producto. La producción diaria actual de refrigeradores es de 1050 unidades (Induglob S.A, 2021), en diferentes modelos. La falta de espacio físico en los laboratorios de ensayo de la empresa es una gran problemática, debido a la alta cantidad de unidades fabricadas por día de refrigeradoras y la necesidad de ensayar varias muestras por lote de producción. El laboratorio de control cuenta con 9 cámaras de las cuales las cámaras 5 y 6 son destinadas para el monitoreo de producción, en su interior manejan una temperatura ambiente y humedad relativa controlada. (Figura 10)

Figura 10

Laboratorio de tropicalizado, control de la producción.



Nota. Adaptado de *Pruebas funcionales en Laboratorio*, de Induglob S.A (2021)

En la cámara 6 se realizan pruebas de régimen permanente en clima tropical en un tiempo de 4 horas por equipo y pruebas de ciclos en clima tropical en un tiempo estimado de 16 horas; una vez finalizadas las pruebas mencionadas en la cámara 6, la muestra es trasladada a la cámara 5, donde se da inicio a las pruebas de estabilización durante 2 horas y de ciclos en posición mínima de control de temperatura durante 4 horas. Se puede verificar cada artefacto en un tiempo total de 26 horas dentro de las cámaras 5 y 6; estas cámaras tienen disponibles 10 puestos para inspección; diariamente salen de producción 8 muestras para ingresar a laboratorios, pero por la larga duración de las pruebas que cada una de las muestras debe pasar, se genera un cuello de botella por la espera de puestos disponibles dentro de los laboratorios, motivo por el cual no se puede ingresar más producto para inspeccionarlo.

El proceso de ingreso de un refrigerador dentro del laboratorio consiste en:

- **Recepción de la muestra.-** Sollicitar su traslado hacia los laboratorios.(Figura 11)

Figura 11

Refrigerador Indurama RI-480 Qz INV seleccionado para muestra.



Nota. Adaptado de Diseño Industrial, de Induglob S.A (2021)

- **Inspección física de la muestra.-** Se inspecciona que no tenga golpes en su estructura y puertas, donde se verifica que todos sus componentes y accesorios visibles estén en sitio; los accesorios que se revisan son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3

Componentes del sistema de refrigeración a ser inspeccionados.

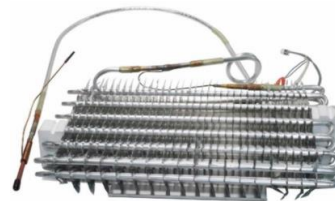
Motor – Compresor Inverter Embraco
VEMY 9C



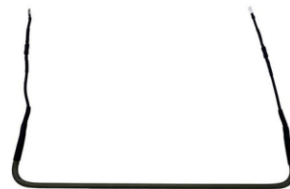
Timer mecánico actua la resistencia para
descongelamiento.



Evaporador de placas no frost más
intercambiador de calor.



Resistencia 216W para deshielo.

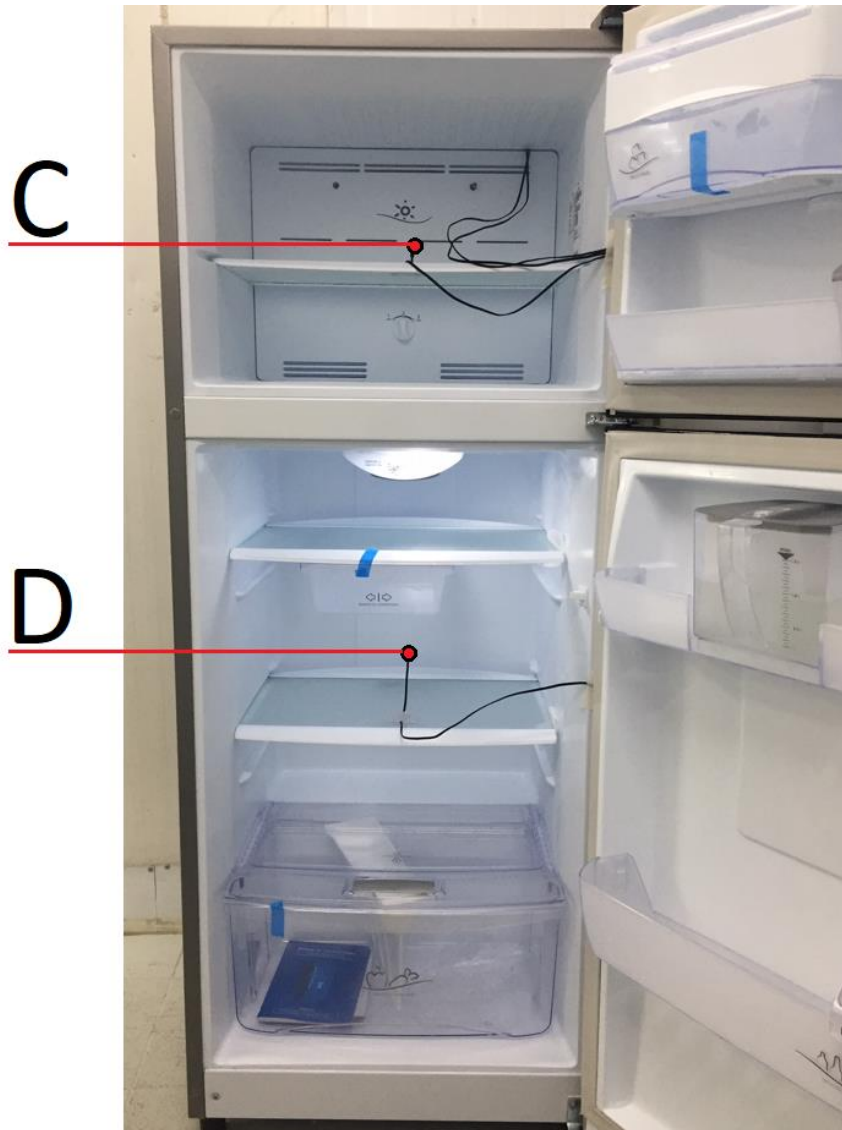


Nota. Elaborado con base en los datos de Induglob S.A (2021)

- **Preparación de la muestra para ensayos.-** Dentro de los laboratorios en cada uno de sus compartimentos (refrigerador-congelador) (Figura 12) son colocadas las termocuplas para medición de temperaturas internas.

Figura12

Termocuplas en centros geométricos: Congelador (C); Refrigerador(D).

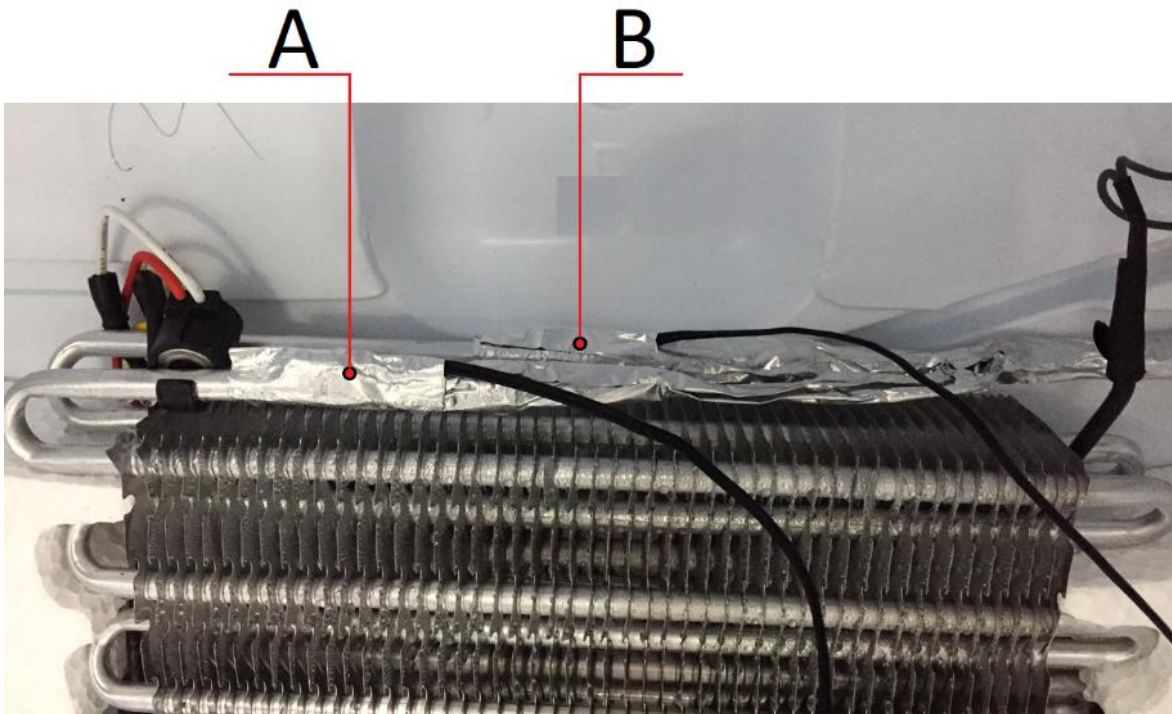


Nota. Adaptado de Laboratorio de Frío, de Induglob S.A (2021)

Además es verificado si el valor de carga de gas refrigerante dentro del sistema de refrigeración es el correcto mediante el uso de dos termocuplas Tipo K (Figura 13), colocadas en la entrada y salida del evaporador no frost.

Figura 13

Posición de Termocuplas para medir temperaturas en la cañería de entrada (A) y cañería de salida (B) del evaporador.

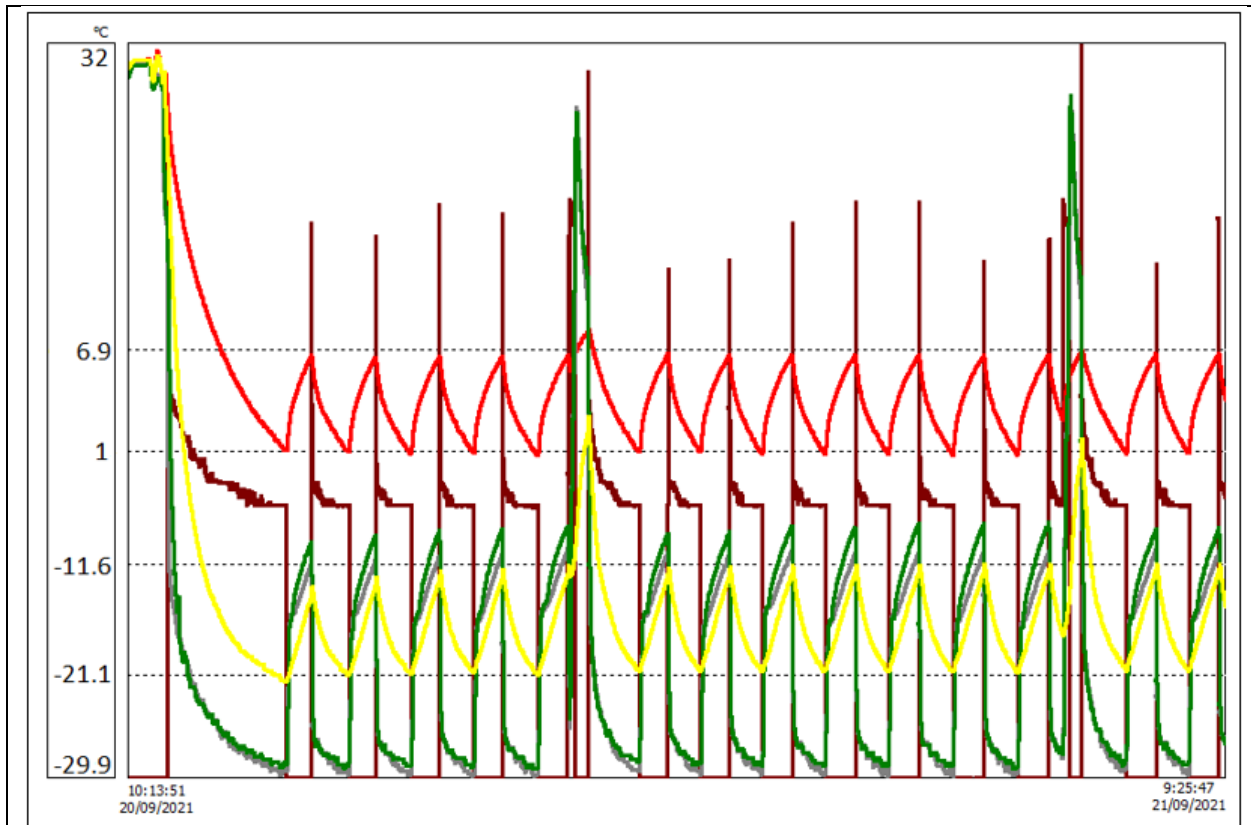


Nota. Adaptado de *Laboratorio de Frío*, de Induglob S.A (2021)

- **Ejecución de los ensayos.-** Consiste en monitorear el funcionamiento de refrigerador durante todo el tiempo de pruebas, mediante un software para tomas de datos relacionados a temperaturas por cada minuto, cada una de ellas con sus respectivos valores a cumplir, además de los valores de temperatura a cumplir; el proceso puede ser observado en la Figura 14.

Figura 14

Gráficas y valores de temperaturas internas en un refrigerador.



Descripción	ON	OFF	ON	Promedio	Valor a cumplir
Centro geométrico congelador	-11.6°C	-21.1°C	-11.6°C	-16.35°C	$\leq -12^{\circ}\text{C}$
Centro geométrico refrigerador	6.9°C	1°C	6.9°C	3.95°C	$4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Nota. Adaptado de *Laboratorio de Frío*, de Induglob S.A (2021)

- **Devolución del producto.** Al culminar los ensayos el refrigerador es retornado a producción para su posterior ingreso a la bodega de producto terminado; si el refrigerador no presenta problemas alcanza conformidad, se asume que el lote esta en iguales condiciones que la muestra, en el caso de no cumplir los valores de temperatura en los laboratorios para aprobación del lote de producción, dos muestras extras son ingresadas a los laboratorios para monitoreo, si cumple con los parametros establecidos se da conformidad al lote o caso contrario se rechaza y se reprocesa todo el lote. Se considerará una muestra enfocada en dos modelos y sus lotes de producción en los años 2018, 2019 y 2020 (Tabla 4); los modelos a considerar son: RI-480 Qz y RI-580 Qz.

Tabla 4

Producción, modelos RI-480Qz y RI-580Qz.

Descripción	Cantidad fabricada UN	Año
RI-480Qz	61735	2018
RI-580Qz	8058	2018
RI-480Qz	60057	2019
RI-580Qz	8491	2019
RI-480Qz	31807	2020
RI-580Qz	3862	2020

Nota. Elaborado con base en los datos de Induglob S.A (2021)

Considerando los datos de la Tabla 4, se detallan las unidades producidas por cada modelo en los diferentes meses de los años seleccionados como se muestra en las Tablas 5 y 6:

Tabla 5

Producción del modelo RI-480 Qz.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2018	5750	4925	4950	5220	5390	4900	4890	5600	5310	4480	5170	5150
2019	4590	5574	4850	5117	4900	5978	4600	5442	4670	5336	4200	4800
2020	4100	3600	3867	0	0	2820	3200	2350	4200	3100	2570	2000

Nota. Elaborado con base en los datos de Induglob S.A (2021)

Tabla 6

Producción del modelo RI-580.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2018	960	870	810	560	758	470	670	540	640	580	640	560
2019	560	1088	460	801	720	892	490	700	670	750	660	700
2020	500	680	300	0	0	402	300	300	400	350	430	200

Nota. Elaborado con base en los datos de Induglob S.A (2021)

Para establecer el impacto que genera el proceso actual de muestreo e inspección en los refrigeradores se considerarán los daños reportados en el mercado, en productos vendidos dentro del periodo de garantía (Tabla 7) ofrecida por Indurama de los modelos establecidos en los años indicados.

Tabla 7

Daños generales en refrigeradoras. (Año 2018, 2019 y 2020)

Daños generales.	
Sistema de descongelamiento.	Terminales flojos
Iluminación.	Puerta descentrada
Motor ventilador	Dispensador de agua
Ruidos	Obstrucción en el sistema
Tarjetas electrónicas.	Condensación externa
Control de temperatura electromecánico	Fuga de gas refrigerante
Motor compresor.	Hermetización de puertas

Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta*, Induglob S.A (2021)

Los daños citados en la Tabla 7, no todos son atribuibles al sistema termodinámico de refrigeración; la destreza del personal que ejecuta la operación influye mucho en el éxito de la misma, citando como ejemplo algunas operaciones manuales: terminales flojos, Iluminación, puerta descentrada, etc.

Los daños atribuibles al sistema de refrigeración y que pueden distorsionar el funcionamiento del mismo, están citados en la Tabla 8; además del valor económico que afecta a la fábrica por devoluciones de refrigeradoras debido a falencias en los mismos.

Tabla 8

Refrigeradores reportados por daños del sistema de refrigeración y costo de devoluciones de productos.

Daño general	RI-480	RI-480	RI-480	RI-580	RI-580	RI-580
	Qz	Qz	Qz	Qz	Qz	Qz
	Año	Año	Año	Año	Año	Año
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Sistema de descongelamiento.	73	62	54	62	57	45
Motor ventilador	55	50	38	56	43	32
Tarjetas electrónicas.	52	40	28	58	42	27
Motor compresor.	61	58	36	52	48	32
Total de refrigeradores devueltos:	241	210	156	228	190	136
Costo estimado (dólares)	72300	63000	46800	68400	57000	40800
Costo total por devoluciones en 3 años	348300 dólares					

Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta*, Induglob S.A (2021)

5.5 Implementación del sistema PLIS.

Con el sistema PLIS integrado en la línea de producción de refrigeradoras se tiene control sobre todos los componentes montados en el artefacto, desde su etapa inicial. Se continuarán con algunas operaciones manuales que no podrán ser inspeccionadas por el sistema PLIS, pero las más importantes tendrán trazabilidad en cada uno de los modelos de refrigerador ensamblados. En la tabla 9 se explican los items que serán inspeccionados y su funcionamiento verificado por PLIS antes de salir a la venta.

Tabla 9

Componentes del refrigerador que requieren inspección automática.

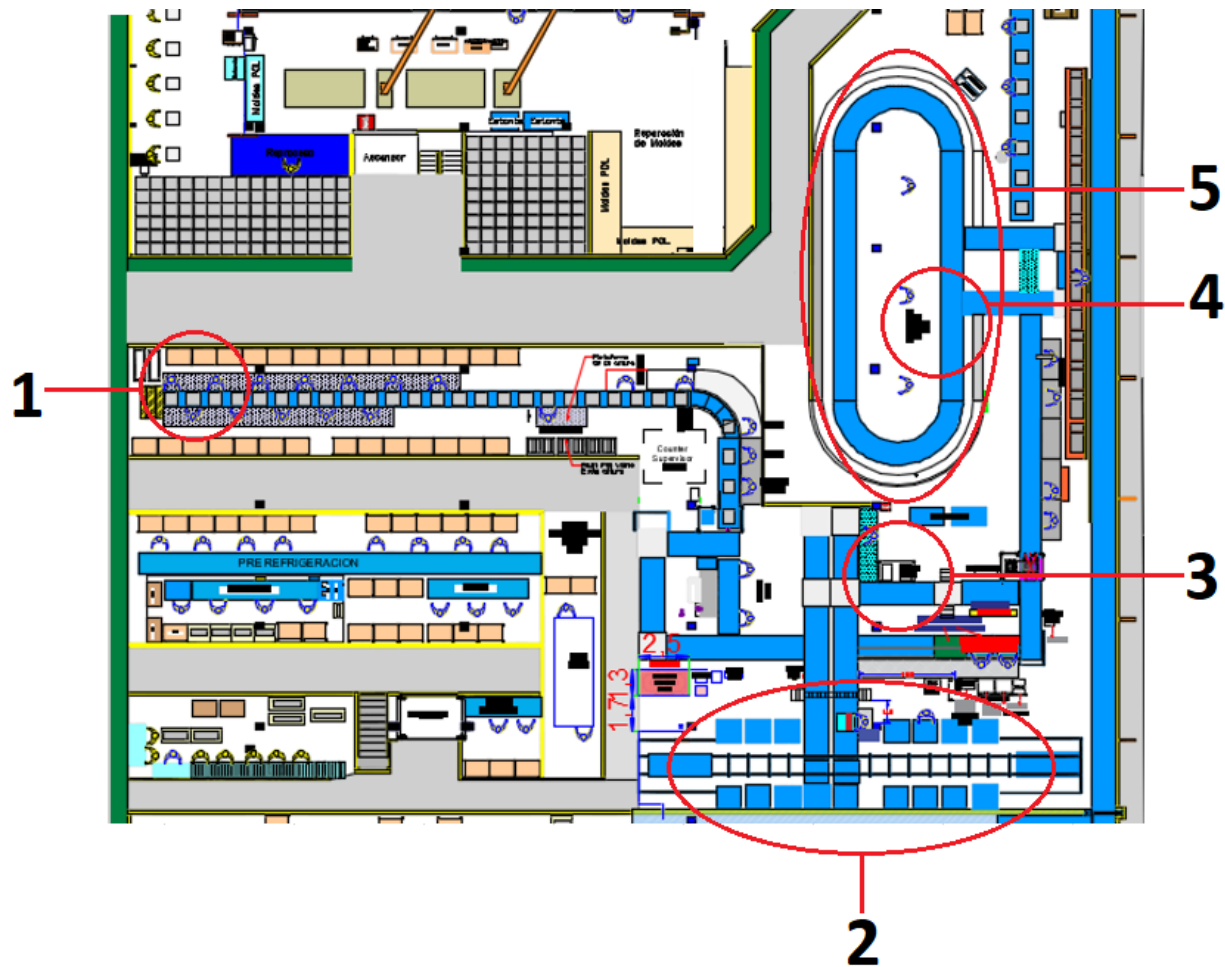
Componente	Descripción
Sistema de descongelamiento.	Accionamiento del timer. Resistencia para descongelamiento.
Motor ventilador	Desconexión.
Tarjetas electrónicas.	Daños en tarjetas electrónicas.
Motor compresor.	Daños en motor compresor.

Nota. Elaborado con base en los datos de *Producción*, Induglob S.A (2021)

Para la implementación del sistema PLIS, el layout o recorrido de la línea de ensamble para refrigeradoras no fue modificado, a dicho proceso fue adicionado maquinaria que realiza las pruebas y verificación de los items ensamblados. (Figura 15)

Figura 15

Layout línea de ensamble refrigeración, maquinaria implementación PLIS .



Nota. Adaptado de Ingeniería Industrial, de Induglob S.A (2021)

El software PLIS es único para toda la línea de ensamble de refrigeradoras, es el que controla parámetros y especificaciones de pruebas además de grabar los distintos códigos de trazabilidad (items) por modelo.

En cada uno de los puntos de pruebas y control de trazabilidad de los items ensamblados, se disponen de bar code scan, PC's de escritorio y su respectiva maquinaria según la operación a ejecutar; estos bar code scan son los que leen la información de las etiquetas de producto, comparandolas con los códigos existentes en la base de datos PLIS, gerenciendo de esta manera la

carga de los distintos parámetros a revisar y valores a cumplir, aplicable a los items de tarjetas electrónicas, motor ventilador, sistema de descongelamiento, motor compresor indicados en la tabla 10.

Tabla 10

Componentes y parámetros revisados por el sistema PLIS.

		Figura 15
Componente	Parametros de revisión	
Motor compresor.	Ensamble del modelo de motor compresor coincidente con el modelo de refrigerador en línea de producción.	1
Tarjetas electrónicas.	En modelos Qz inverter conexión de la tarjeta inversora.	2
Sistema de refrigeración.	Proceso de vacío para todos los sistemas de refrigeración.	
Carga de gas refrigerante.	Cantidad de masa de gas refrigerante cargado en cada modelo de refrigerador.	
Soldadura por ultrasonido.	Proceso de soldadura por ultrasonido a las cañerías de proceso existentes en el compresor.	3
Seguridad eléctrica en refrigerador ensamblado.	Con el uso de la EST900 se comprueba que cada refrigerador cumpla parámetros de aprobación referentes a seguridad eléctrica, como protección al consumidor final.	4
Motor ventilador.	Funcionamiento del refrigerador con todos sus items ensamblados, deben cumplir valores de potencia ya establecidos por modelo en cada uno de los límites existentes en la base de datos de PLIS, enfocadas a las cajas CPT-XD.	5
Sistema de descongelamiento.		
Motor compresor.		

Nota. Elaborado con base en los datos de *Producción*, Induglob S.A (2021)

5.6 Proceso de control del Sistema PLIS.

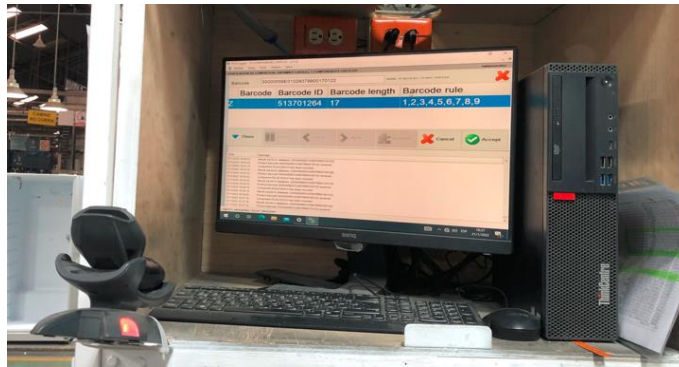
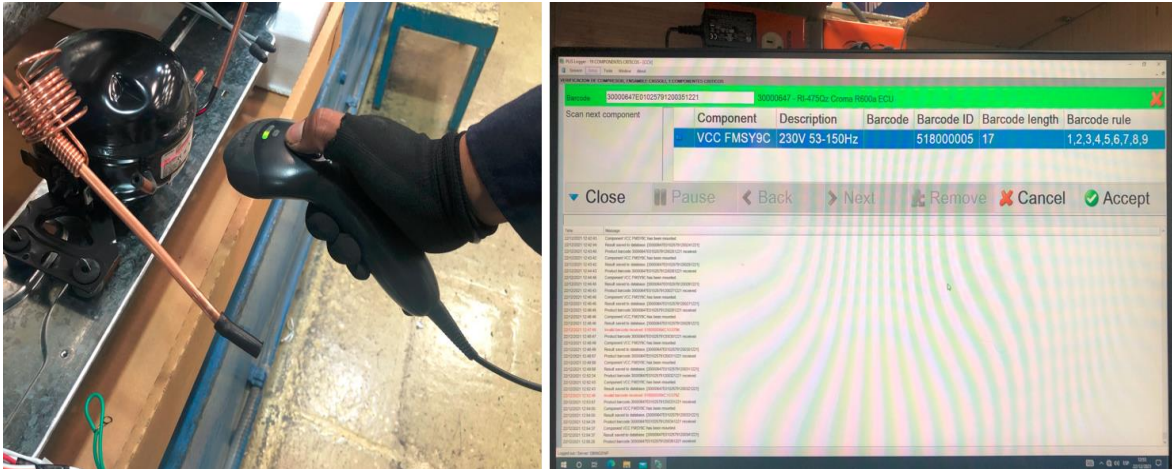
A continuación se presenta el proceso de control con el sistema PLIS, desde que el gabinete refrigerador es subido a la línea de ensamble, hasta que sale del laboratorio de línea, previo al proceso de embalaje y posterior ingreso a bodega de producto terminado.

5.6.1 Control sobre modelo de motor-compresor que va en cada refrigerador.

El gabinete metálico y plástico luego del proceso de inyección de poliuretano, es subido a la línea de ensamble refrigeración, en donde se coloca una etiqueta a dicho gabinete por cada unidad donde consta el código de producto terminado, nombre del artefacto, número de serie, etc. Como operación consiste en pasar un bar code scan sobre la etiqueta colocada en el producto, de esta forma el software de PLIS lee el código de barras e inmediatamente carga los datos del motor-compresor que debe ser ensamblado en el modelo de refrigerador que está en línea ese momento, el operador tomar el motor compresor designado y lo ensambla en el gabinete del refrigerador, luego con el mismo bar code scan el operador registra el código de barras del motor compresor ensamblado (match de los códigos gabinete metálico y motor compresor), PLIS registra esta operación con un símbolo de aprobado (figura 16); si el operador coloca un motor compresor inadecuado, el software inmediatamente visualiza en pantalla un mensaje de error.

Figura 16

Montaje del compresor en el refrigerador.



PLUS Manager

Session Explorer Line setup Setup Tools Wizards Window About

Limits view Results view

Options

- Refresh data
- Manually pass selected test
- Manually fail selected test
- Delete selected test
- Delete selected product

Search (Max. 2000)

Search string: 30000400

From date: 21 / 06 / 2021

To date:

Product	Model	Model descriptor
30000400E01016651302520621	30000400	RI - 480 ECU-CROMA-45.5G-R600
30000400E01016651302920621	30000400	RI - 480 ECU-CROMA-45.5G-R600
30000400E01016651302910621	30000400	RI - 480 ECU-CROMA-45.5G-R600

Unit	Box/Station	Falcode	Date tested	Limit	Line
✓ PRUEBA FUNCIONAL CASSIOLI	16	CPT-XD passed	25/06/2021 13:22:42	RI-475/480_R600	ENSAMBLE CASSOLI
✓ SEGURIDAD ELECTRICA	2	EST900 Passed	25/06/2021 13:03:23	110VAC	ENSAMBLE CASSOLI
✓ PRUEBA DE VACIO	11	CVC-Nano passed	25/06/2021 12:41:52	13 min BASE	ENSAMBLE CASSOLI
✓ CARGA REFRIGERANTE PROMAX	2	Charging passed	25/06/2021 11:45:54	45.5g R600a	ENSAMBLE CASSOLI
✓ VERIFICACION DE COMPRESOR		Component verification complete	25/06/2021 11:27:01	VEIMT 9C	ENSAMBLE CASSOLI

Product	Model	Model descriptor
30000400E01016651302800621	30000400	RI - 480 ECU-CROMA-45.5G-R600
30000400E01016651302890621	30000400	RI - 480 ECU-CROMA-45.5G-R600
30000400E01016651302840621	30000400	RI - 480 ECU-CROMA-45.5G-R600

Nota. Adaptado de Producción, de Induglob S.A (2021)

Dentro de la cartera de productos, especialmente refrigeradoras que son fabricadas por Indurama, están divididas en las siguientes categorías:

- Refrigeradoras para el sector doméstico.
- Vitrinas exhibidoras para el sector comercial.
- Congeladores para el sector comercial.

Los compresores de la serie EM (Embraco) son ideales para refrigeración doméstica como para aplicaciones comerciales de tamaño pequeño. Es un producto muy compacto, bajos niveles de ruido y vibración, otorgando altos niveles de eficiencia. (Nidec, 2021)

Compresores con tecnología Inverter (velocidad variable) logran un extenso rango de capacidad de enfriamiento y eficiencia. Están diseñados para usar refrigerantes naturales R600a (isobutano). (Nidec, 2021)

Cada una de las categorías mencionadas anteriormente utilizan distintos gases refrigerantes dentro de su sistema de refrigeración, por lo que el motor compresor en cada una de las categorías es distinto y debe ser identificado por modelo; lo que esta primera estación permite tener control y trazabilidad sobre dicho ítem. (Figura 17)

Figura 17

Compresores para sistemas de refrigeración.

Components		
Name	Description	Barcode ID
EMYe70HEP	115V 127V / 60HZ	513306542
EGAS 80 HLR	115 - 127V - 60HZ	513701372
EGAS 80HLR	220-240V / 50-60HZ	513701260
FFU 130HAX	115-127V / 60HZ	513200905
EGAS 80HLP	115-127V / 60HZ	513701264
EGAS 80HLP	220V / 60HZ	513701263
EMYe70HEP	220 - 240V / 50 - 60HZ	513306543
TA1360Y-DS1D	115 - 127V / 60HZ	T51F23
EM2U 50HLP	115-127V / 60HZ	513305519
EMY 45HER	115 - 127V / 60HZ	513308595
EMle 30HJR	115-127V / 60HZ	513306163
VEMY 5H	230V-53V TO 150HZ	513900062
VEMY 6H	230V-53 TO 150HZ	513900060
EMYe 70CLP	115-127V 60HZ	513306256
VEMT 9C	230V-40 TO 150Hz	513903032
EGAS 80CLP	115-127V 60HZ	513701214
Jiaxipera TT1114HY	115-127V 60Hz	TT1114HY
EM2S 60CLP	115 - 127V / 60Hz	513304608
Jiaxipera TH3128HU	115-127V 60Hz	TH3128HU
Jiaxipera TK3125HU	115-127V 60Hz	TK3125HU



Nota. Adaptado de *Producción*, de Induglob S.A (2021)

5.6.2 Control sobre el tiempo de vacío para cada sistema de refrigeración, por modelo.

Luego del proceso de ensamble del motor compresor, soldadura fuerte de los componentes metálicos (cañerías) que conforman el sistema de refrigeración, el artefacto es dirigido a la zona de bombas para vacío, en donde dicha bomba es conectada al sistema de refrigeración (Figura 18) mediante acoples rápidos; con el uso de un bar code scan se lee la serie del artefacto donde inmediatamente se cargan los parámetros de tiempos y presión de vacío a cumplir según el modelo en producción. Esta acción esta comandada por los CVC Nano, los cuales controlan las bombas para vacío y emiten los resultados al software de control PLIS. (Induglob S.A, 2021).

Dentro del proceso de vacío (Figura 19) que se realiza a las refrigeradoras en la línea de refrigeración se pueden observar tres etapas. (Induglob S.A, 2021):

Figura 18

Modelo RI-480Qz, en proceso de vacío.



Nota. Adaptado de *Producción*, de Induglob S.A (2021)

a) Vacío Continuo.

Etapa donde se conecta la refrigeradora para extraer la mayor cantidad de humedad y gases no condensables dentro del sistema de refrigeración durante un determinado tiempo.

b) Etapa de rebote.

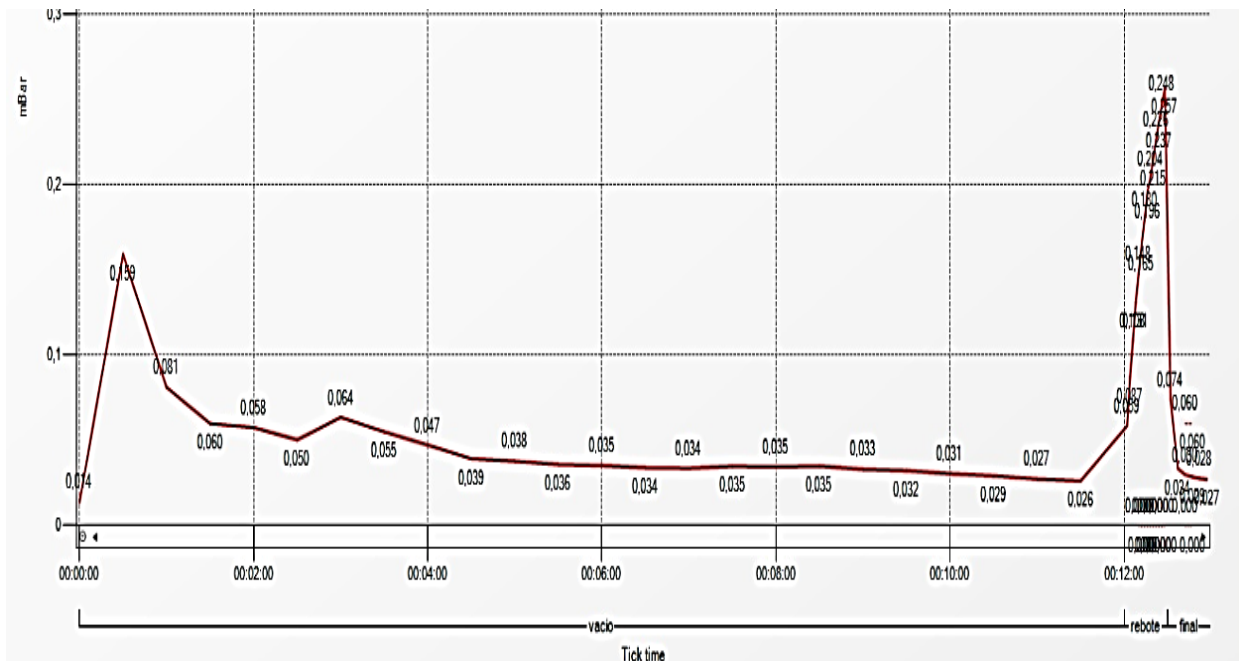
Es donde se corta el proceso de vacío, apagando la bomba para poder observar a que nivel de presión de vacío llega el sistema; estableciendo u observando si existen fugas en las cañerías del mismo.

c) Etapa de recuperación.

Aquí la bomba se vuelve a encender para llegar al mismo nivel del vacío continuo, de esta manera se da por aprobado el proceso en el sistema de refrigeración a prueba.

Figura 19

Proceso de vacío para RI-480Qz.



Nota. Adaptado de Producción, de Induglob S.A (2021)

Las bombas de vacío son equipos diseñados para extraer humedad y gases no condensables del interior de un sistema de refrigeración. Es de mucha importancia extraerlos ya que con el tiempo y uso del artefacto, estos causan daños irreversibles e inconvenientes en el funcionamiento aumentando la temperatura en el lado de alta presión, exceso de temperatura en la válvula de descarga y daños en el motor compresor. Las bombas y controladores computarizados (Figura 20) usados para el proceso de vacío, permiten observar resultados inmediatamente y enviarlos a una base de datos para luego ser analizados. (Induglob S.A, 2021)

Figura 20

Bomba para proceso de vacío y CVC Nano Agramkow.



Nota. Adaptado de *AGRAMKOW Fluid Systems A/S*,2021, (<https://www.agramkow.com>)

5.6.3 Control sobre el proceso de carga de gas refrigerante en cada modelo de refrigerador.

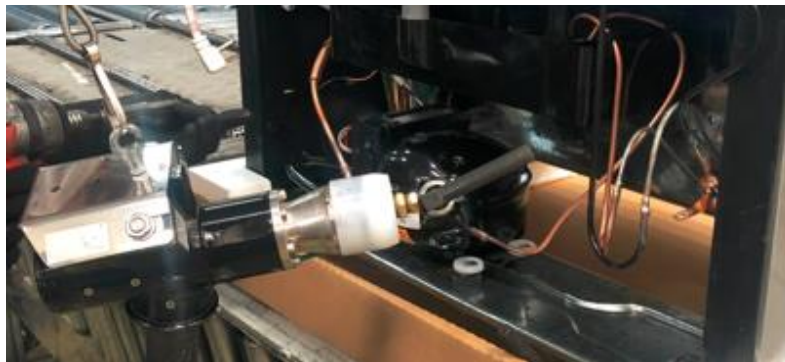
Una vez finalizado y aprobado el proceso de vacío, el artefacto es dirigido a la estación de carga de gas refrigerante, donde con el uso de los mismos acoples de la estación anterior (proceso de vacío) es conectado a una máquina llamada PROMAX (Figura 21); con el uso de un bar code

scan se lee y registra la etiqueta y cargan los datos del modelo en producción, Promax toma estas especificaciones e inicia con un chequeo de prevacío al sistema de refrigeración (Figura 21), cumplido dicho chequeo se continúa con la carga de gas refrigerante. (Induglob S.A, 2021)

Se tiene trazabilidad del valor de carga de gas refrigerante por unidad y modelo, mediante el uso del software PLIS. Actualmente en Indurama se usan dos tipos de gas refrigerante.

Figura 21

Proceso y control de carga, gas refrigerante.



✓ Charge	
Duration	7,8
Charge Media	R600a
Charge Target Amount	45,5
Charge Offset	0
Charge Deviation Type	Amount
Charge Deviation High	1
Charge Deviation Low	1
Charge Media	R600a
Charged Amount	45,7
✓ End	

Nota. Adaptado de *Producción*, de Induglob S.A (2021)

Sector comercial: El R-134a es utilizado en varias aplicaciones en el mercado; permitiendo operar a presiones bajas aumentando eficiencia energética a temperaturas positivas y medias. (Servei, Gasservei, 2021)

Sector doméstico: El R600a (isobutano), es un hidrocarburo utilizado en algunos equipos de refrigeración doméstica. Cuando se trabaja con hidrocarburos estos deben ser de alta pureza, cualquier proporción de impurezas contribuyen a la degradación del aceite lubricante y daños del compresor. (Servei, Gasservei, 2021)

Figura 22

Cargadora de gas refrigerante PROMAX Agramkow.



Nota. Adaptado de *Producción*, de Induglob S.A (2021)

Para esta operación se requiere el uso de una máquina denominada PROMAX (Figura 22), la cual maneja un caudal de 320g/seg. (Agramkow, 2021)

5.6.4 Control del cumplimiento de seguridad eléctrica según normativa IEC 60335.

Dentro del proceso de fabricación de refrigeradoras, según el Departamento de Calidad (Induglob S.A, 2021), tenemos que cumplir los parámetros de seguridad eléctrica dictados en IEC 60335; Earth Test, Flash Test, Insulation Test. La operación inicia con la conexión de cada

artefacto a una toma de voltaje para funcionamiento, luego el conector de la EST900 es colocado en el punto de conexión a tierra del refrigerador, mediante un bar code scan se toman los datos de la etiqueta del producto y los parámetros de prueba son cargados automáticamente por PLIS en la EST900, según modelo. Los test mencionados con anterioridad son medidos en cada unidad producida, cuyos valores de aprobación están programados(Figura 23) en su software para ser ejecutado; la EST900 esta anclada al sistema PLIS, el cual nos permite observar si el refrigerador analizado cumplió los parámetros establecidos.

Figura 23

Parámetros seguridad eléctrica IEC 60335.

Earth Test		✓ Passed
Flash Test		✓ Passed
Insulation Test		✓ Passed
Test time	1	sec
Ramp time	1	sec
Ramp down	True	
Ramp start	250	VDC
Test voltage	500	VDC
Minimum current during ramp	0	mA
Maximum current during ramp	1	mA
Minimum resistance	1	MOhm
Maximum resistance	200	MOhm
Current control	Normal	
End test method	Time	
Start mode	Safety contact	
Measured resistance	25	MOhm

Nota. Adaptado de Producción, de Induglob S.A (2021)

La seguridad eléctrica es un factor muy importante la industria de los electrodomésticos, ya que obligan a cumplir y asegurar que no salgan de la fabrica productos con un aislamiento eléctrico defectuoso, garantizando seguridad al usuario final.

Mediante el uso del comprobador de seguridad eléctrica EST-900 / 900S de AGRAMKOW (Figura 24), el proceso esta controlado; diseñado para realizar pruebas de conexión a tierra, alta tensión, aislamiento, funcionamiento y continuidad; se puede integrar en el sistema de línea de producción PLIS, lo que le permite mejorar continuamente los procesos de producción. (Ocher, 2021)

Figura 24

Estación 900 Agramkow.



Nota. Adaptado de *Producción*, de Induglob S.A (2021)

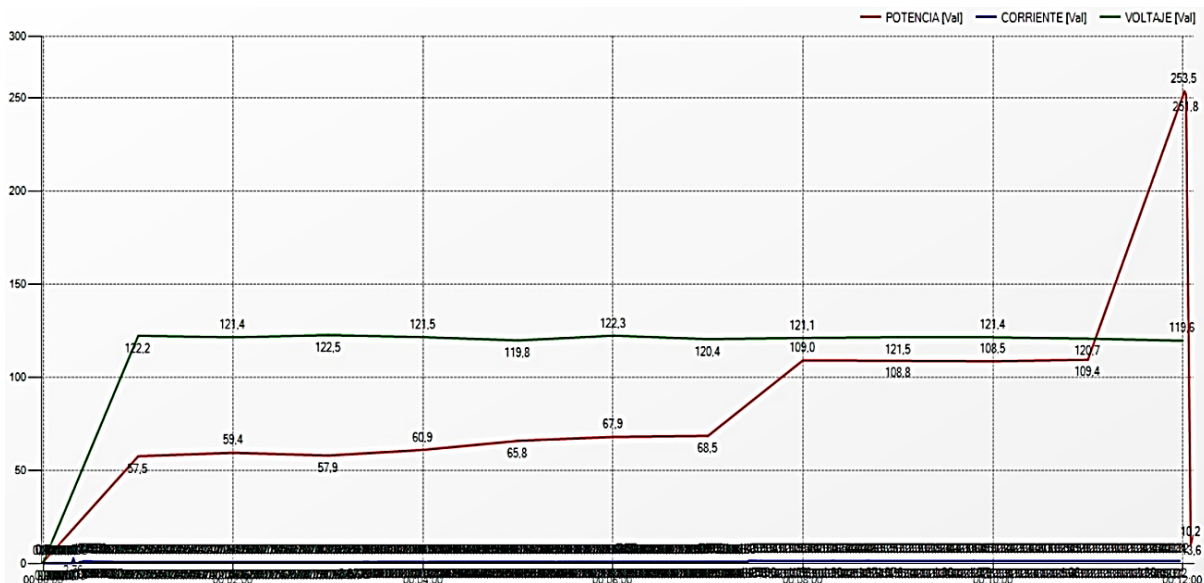
5.6.5 Control de los valores de potencia eléctrica, funcionamiento de componentes.

El proceso ratificado por el Departamento de Producción (Induglob S.A, 2021) inicia dentro del carrusel o área denominada Laboratorio de Línea, aquí se encuentran las cajas CPT-

XD, las cuales toman los datos de pruebas de cada modelo para luego compararlas con los valores de aprobación y otorgar una señal visual de aceptación o rechazo. Operación que consiste en conectar el refrigerador en prueba a la toma de corriente existente en la CPT-XD, se verifica el funcionamiento del sistema de refrigeración, motor compresor, la resistencia para descongelamiento, el motor ventilador, timer; en caso de vitrinas y congeladores verticales, el valor de resistencia del marco puerta de vidrio.

Figura 25

Control de valores para componentes, RI-480Qz.



Nota. Adaptado de Producción, de Induglob S.A (2021)

En la figura 25, se observa la curva de comportamiento de un motor compresor de velocidad variable (VCC) más el ventilador, al iniciar su funcionamiento arranca con 2600RPM obteniendo valores de potencia que oscilan entre los 60W a 68W. Al transcurrir unos 8 minutos luego de la prueba, el motor compresor sube las revoluciones hasta 4700 RPM, obtendieno valores de potencia de funcionamiento máximo para la prueba, estos valores estan desde los 120W hasta los 130W. (motor compresor más ventilador)

Una segunda prueba consiste en medir el valor de potencia de la resistencia para deshielo (descongelamiento del evaporador), valor que se encuentra en los 216W con una tolerancia del $\pm 10\%$. Como punto final se verifica que el timer vaya hacia el consumidor final en la posición de no uso de la resistencia para deshielo, esta acción emite en pantalla un valor de potencia que llega a los 1200W por máximo 1 segundo; valores verificados en el laboratorio de Línea (Figura 26).

Figura 26

Laboratorio de línea refrigeración.



Nota. Adaptado de Producción, de Induglob S.A (2021)

Las CPT-XD del fabricante AGRAMKOW (2021) proporcionan tecnología de vanguardia para las pruebas de rendimiento; siendo rápidas, confiables.

CPT-XD, ventajas (Figura 27):

- Entrega de productos de mayor calidad y mayor rentabilidad.
- Reducir los defectos de los productos y mejorar la fidelidad de los clientes.
- Automatización del proceso de prueba de rendimiento y reducción de errores del operador
- Producir resultados de pruebas de rendimiento fiables
- Lograr mediciones de potencia de alta precisión para pruebas de componentes aceleradas.

Figura 27

Caja CPT-XD Agramkow.



Nota. Adaptado de AGRAMKOW Fluid Systems A/S,2021, (<https://www.agramkow.com>)

5.7 Datos obtenidos luego de la implementación del sistema PLIS.

Luego de la implementación del sistema PLIS, se considera la producción de los modelos RI-480 Qz y RI-580 Qz que fueron tomados como muestra para el año 2021, los mismos que se dan a conocer en las tablas 11 y 12.

Tabla 11

Producción del modelo RI-480 Qz, año 2021.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2021	5200	4500	4200	6400	5300	4700	4000	5600	5800	5200	5100	5100

Nota. Elaborado con base en los datos de *Planificación de la producción*, Induglob S.A (2021)

Tabla 12

Producción del modelo RI-580 Qz, año 2021.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2021	480	600	700	750	570	490	380	640	710	650	600	470

Nota. Elaborado con base en los datos de *Planificación de la producción*, Induglob S.A (2021)

En total, durante el año 2021, se fabricaron las siguientes cantidades de artefactos:

- RI.480Qz: 61100 productos.
- RI 580Qz: 7040 productos.

Los daños que fueron reportados en los modelos anteriormente mencionados, para la producción del año 2021 y que están relacionados con inspección automática son los descritos en la Tabla 13.

Tabla 13

Daños y cantidad en RI480Qz/580Qz retornadas por el cliente, año 2021.

Daño general	RI-480 Qz	RI-580 Qz
	Año 2021	Año 2021
Tarjetas electrónicas.	32	8
Motor compresor.	14	5
Total de refrigeradores devueltos:	46	13
Unidades Producidas	61100	7040

Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta*, Induglob S.A (2021)

6. Análisis de costos e implementación del sistema PLIS.

Para la implementación del sistema PLIS, el layout de la línea de ensamble para refrigeradoras no fue modificado, a dicho proceso fue adicionado maquinaria que realiza las pruebas y verificación de los items ensamblados; algo que si debemos considerar es la capacitación que recibió el personal de Ingeniería Técnica, quienes son los encargados de dar mantenimiento a la maquinaria adquirida; además de eso, AGRAMKOW brinda soporte en línea al personal de operaciones de calidad, quienes son los encargados del monitoreo, revisión en PLIS de los productos fabricados. Los equipos y servicios adquiridos están descritos en la Tabla 14; los costos mostrados consideran adquisición de equipos, capacitación, montaje y pruebas de funcionamiento hasta dejar al sistema PLIS totalmente operativo en la línea de producción y montaje.

Tabla 14

Valor monetario de equipos adquiridos.

Descripción	Valor (Dólares americanos)	Cantidad (Unidades)	Valor total (Dólares americanos)
Bomba de vacío AGRAMKOW	8500	16	136000
Probador computarizado CPT-XD AGRAMKOW	3300	26	85800
Sistema de Evacuación y carga PROMAX F2 AGRAMKOW	88000	2	176000
Sistema de Evacuación y carga PROTACE MPC AGRAMKOW	31200	1	31200
Detector de fugas INFICON Protec P3000	26970	2	53940
Soldadura por ultrasonido Kobra II - III	30000	2	60000
Servicio de capacitación	10000	-	10000
		Total:	552940

Nota. Elaborado con base en los datos de *Ingeniería Técnica*, Induglob S.A (2021)

Para analizar la fiabilidad como inversión del sistema PLIS, tomamos los datos de las producciones y devoluciones de artefactos, descritos en la tabla 15 y se utilizarán la TIR y el VAN como indicadores económicos para el análisis correspondiente.

Tabla 15.

Unidades producidas/devueltas, todos los modelos.

Año	Descripción	Unidades Producidas	Unidades devueltas	Porcentaje
2018		215000	720	0,33%
2019	Refrigeradoras	224000	650	0,29%
2020	Todos los modelos	186000	520	0,28%
2021		230500	230	0,10%
<hr/>				
2018		61735	241	0,39%
2019		60057	210	0,35%
2020	RI-480Qz	31807	156	0,49%
2021		61100	46	0,08%
<hr/>				
2018		8058	228	2,83%
2019		8491	190	2,24%
2020	RI-580Qz	3862	136	3,52%
2021		7040	13	0,18%

Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta*, Induglob S.A (2021)

La población de datos para el análisis son todos los modelos de refrigeradoras fabricados por Induglob S.A, dentro de un escenario donde no tenemos retornos de artefactos por parte del cliente final, el cálculo quedaría de la siguiente manera:

Cantidad de artefactos retornados en los años 2018, 2019 y 2020: 1890 unidades

Costo de las 1890 un retornadas: \$567000 dólares es decir un valor promedio de 189000 dólares por año.

- Cálculo del TIR y VAN.

Donde:

A: Es el valor de la inversión en maquinaria.

Q: Ahorro estimado por año.

K: Tasa de descuento anual.

$$VAN = -A + \frac{Q1}{1 + K} + \frac{Q2}{(1 + K)^2} + \frac{Q2}{(1 + K)^3} + \frac{Q2}{(1 + K)^4}$$

$$VAN = -552940 + \frac{189000}{1 + 12} + \frac{189000}{(1 + 12)^2} + \frac{189000}{(1 + 12)^3} + \frac{189000}{(1 + 12)^4}$$

$$VAN = 21119 \text{ dólares}$$

$$TIR = 13,8\%$$

Se observa que el valor obtenido del VAN es positivo, siendo el proyecto viable, con un TIR del 13,8%, siendo superior a la tasa de descuento asumida para el proyecto.

Depreciación de maquinaria: 10 años.

Ahorro estimado (por año)= 189000 dólares.

$$\text{Ahorro estimado total} = \text{Ahorro anual} * \text{numero de años}$$

$$\text{Ahorro estimado total} = 189000 * 10$$

$$\text{Ahorro estimado total} = 1\ 890\ 000 \text{ dólares}$$

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

$$ROI = \frac{1890000 - 552940}{552940}$$

$$ROI = 2,41 \text{ dólares}$$

Como tema de investigación, nos centramos en el análisis de dos modelos específicamente, la RI-480Qz y RI-580Qz, durante el primer año de implementación del sistema PLIS, se obtuvo un ahorro de \$110179 por no devoluciones de productos, para el cálculo del VAN estimamos el mismo valor por un tiempo de 10 años.

$$VAN = -A + \frac{Q1}{1+K} + \frac{Q2}{(1+K)^2} + \frac{Q3}{(1+K)^3} + \frac{Q4}{(1+K)^4} + \dots + \frac{Qn}{(1+K)^n}$$

$$VAN = -552940 + \frac{110179}{1+12} + \frac{110179}{(1+12)^2} + \frac{110179}{(1+12)^3} + \frac{110179}{(1+12)^4} + \dots + \frac{110179}{(1+12)^{10}}$$

$$VAN = 69595 \text{ dólares}$$

$$TIR = 15\%$$

Se calcula un valor (ahorro) de \$110179 dólares por año. Luego de implementar el sistema de control PLIS, este valor se redujo en un 94,9%, de esta manera se obtiene el retorno de la inversión:

Depreciación de maquinaria: 10 años.

Ahorro estimado (por año)= 110179 dólares.

*Ahorro estimado total = Ahorro anual * numero de años*

*Ahorro estimado total = 110179 * 10*

Ahorro estimado total = 1 101 790 dólares

$$ROI = \frac{\textit{Beneficio} - \textit{Inversión}}{\textit{Inversión}}$$

$$ROI = \frac{1101790 - 552940}{552940}$$

ROI = 0,99 centavos de dólar (99%)

7. Análisis de Resultados.

Considerando la producción de refrigeradoras en los modelos RI-480 y RI-580 para el año 2018, 2019 y 2020, se puede observar en la Tabla 16, que existe un número importante que retornan por fallas en el sistema de refrigeración, además es variable, por ejemplo para el modelo RI-480 de 241 unidades devueltas en el año 2018 para el año 2020 retornan 156; del modelo RI-580 de 228 que retornaron en el año 2018 para el año 2020 se reduce a 136; pero los costos por la devolución de estos artefactos sigue siendo significativos, para este caso en particular para el año 2020 alcanza un valor de \$87600

Tabla 16

Unidades producidas/devueltas – costos.

Modelo	2018		2019		2020		Promedio
	Unidades producidas	Unidades devueltas	Unidades producidas	Unidades devueltas	Unidades producidas	Unidades devueltas	
RI-480	61735	241	60057	210	31807	156	202
RI-580	8058	228	8491	190	3862	136	185
Costos		\$140700		\$120000		\$87600	\$116100

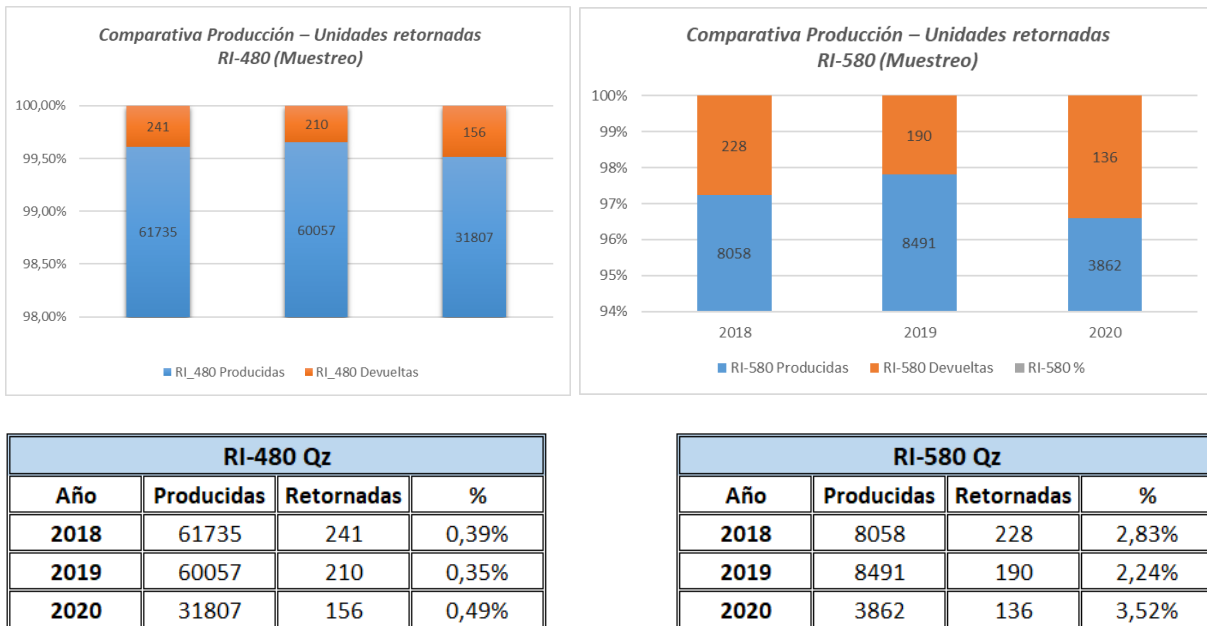
Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta*, Induglob S.A (2021)

En la figura 28, se puede observar las cantidades de producto retornado por el cliente final comparada con la producción de los modelos en estudio, en donde se identifica que para el año 2020 las unidades retornadas en porcentaje para el modelo RI-480 se han incrementado alcanzando un 0,49%, y de igual manera para el modelo RI-580 que alcanza un % de 3,52; Con este análisis se verifica la primera hipótesis que indica que: el sistema actual de revisión de conformidad del

sistema de refrigeración mediante muestreo no garantiza la conformidad del 100% de productos de un lote de producción.

Figura 28

Comparativa Producción – Unidades retornadas, RI480/RI580.



Nota. Adaptado de *Producción*, de Induglob S.A (2021)

Otro factor importante a considerar es que la muestra de un artefacto para revisión no esta definida de acuerdo a un análisis y cálculo de muestreo estadístico para garantizar la inferencia de los resultados. Si se optara por un muestreo de tipo estadístico se podría considerar:

- Nivel de confianza: 95%
- Error máximo tolerable: 5
- Z estadístico: 1,96.

Utilizando la fórmula expuesta, se tienen los datos presentados en la tabla 17.

$$n = Z^2 p * q \frac{N}{e^2(N - 1)} + Z^2 p * q$$

Tabla 17*Cálculo del número de la muestra.*

Modelo	Unidades	Año
RI-480Qz	61735	2018
RI-480Qz	60057	2019
RI-480Qz	31807	2020
Total	153599	
Muestra	384	UN

Modelo	Unidades	Año
RI-580Qz	8058	2018
RI-580Qz	8491	2019
RI-580Qz	3862	2020
Total	20411	
Muestra	378	UN

Nota. Elaborado con base en los datos de *Induglob S.A* (2021)

En los tres años de producción, según cálculo, para el modelo RI-480Qz se debieron monitorear dentro del laboratorio de frío 384 unidades y del modelo RI-585QZ debieron ingresar 378 unidades; pero en realidad ingresaron 144 unidades del modelo RI-480Qz y 72 unidades del modelo RI-580Qz; y considerando el espacio físico y el proceso de inspección no es posible realizar el análisis con la muestra significativa establecida, por lo que se genera la necesidad de optar por otro sistema de inspección.

Al implementar el sistema de control PLIS se tiene el control en procesos y trazabilidad en items colocados en cada refrigerador; teniendo en el año 2021 una reducción considerable de unidades retornadas a 59 productos para los modelos en estudio, indicados en la Tabla 18.

Tabla 18*Comparación costos unidades retornadas.*

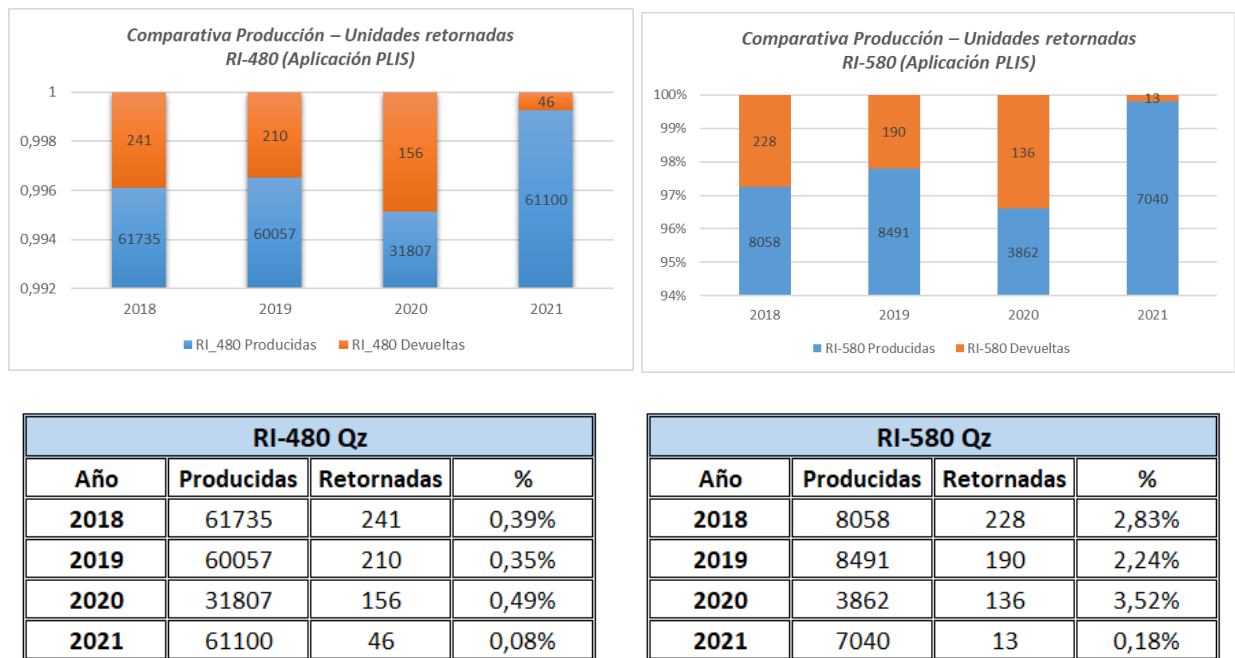
Modelo	2018		2019		2020		2021	
	Unidades producidas	Unidades devueltas	Unidades producidas	Unidades devueltas	Unidades producidas	Unidades devueltas	Unidades producidas	Unidades devueltas
RI-480	61735	241	60057	210	31807	156	61100	46
RI-580	8058	228	8491	190	3862	136	7040	13
Costos		\$140700		\$120000		\$87600		\$20321

Nota. Elaborado con base en los datos de *Induglob S.A* (2021)

El valor obtenido de unidades retornadas para el año 2021 luego de la implementación del sistema PLIS para los modelos en estudio se puede identificar en la Figura 29; para el modelo RI- 480 se reduce del 0,49% del año 2020 a 0,08 en el año 2021, y para el modelo RI-580 de 3,52% en el año 2020 se reduce a 0,18% , esto es muy considerable y positivo, ya que con la inspección automática de items ensamblados y pruebas en línea de ensamble se esta alcanzando los estándares de calidad dentro de la manufactura a niveles casi ideales.

Figura 29

Comparativa Producción – Unidades retornadas, RI480/RI580 con aplicación de PLIS



Nota. Elaborado con base en los datos de *Induglob S.A* (2021)

La tabla 19 indica los daños reportados en los modelos de refrigeradores considerados como muestra para el año 2021 y el costo que esto generó a la empresa. Es importante recalcar que los productos salieron totalmente funcionales de planta, con todos sus componentes inspeccionados con el sistema plis, garantizando trazabilidad de cada componente.

Tabla 19

Refrigeradores reportados por daños del sistema de refrigeración.

Daño general	RI-480 Qz	RI-580 Qz
	Año 2021	Año 2021
Tarjetas electrónicas.	32	8
Motor compresor.	14	5
Total de refrigeradores devueltos:	46	13
Costo estimado (dólares)	15803	4518
Costo por devoluciones año 2021: 20321 dólares.		

Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta* Induglob S.A (2021)

Las unidades que retornaron en el año 2021, de acuerdo al análisis generado por servicio a clientes, no son atribuibles a fallos por no detección del sistema PLIS, y los artefactos reportados son atribuibles al proveedor de ítem, y se procesan según análisis y terminos pactados (porcentaje de daños) en el contrato de Calidad existente.

Con el análisis antes desarrollado se comprueba la segunda hipótesis que indica: La implementación del sistema PLIS, garantiza la revisión total de los diferentes lotes de producción y establece la conformidad del 100% del producto terminado que se envía para la comercialización.

La inversión económica en el sistema de control PLIS es alta, ya que requirió de adquisición de nueva maquinaria la cual está anclada a dicho sistema, maximizando la inspección por producto fabricado, disminuyendo la cantidad de producto devuelto por el cliente final; con un costo de inversión de \$552940 dólares. Analizando los datos de todos los modelos de refrigeradoras que produce Indurama, el costo de productos retornados es de : \$567000 dólares es decir un promedio de \$189000 dólares por año; pero al centrarnos en los modelos RI-480Qz y RI-580Qz, este valor llega a \$116100 dólares por año; siendo aún costos elevados.

Después de implantar el sistema PLIS en el año 2021, el valor de productos retornados se redujo considerablemente, Tabla 20.

Tabla 20

Comparativa costos productos retornados.

Productos	Costo por año (promedio 2018/2019/2020)	Año 2021
Todos los modelos RI.	\$189000	\$33075
RI480Qz/580Qz.	\$116100	\$20321

Nota. Elaborado con base en los datos de *Post Venta* Induglob S.A (2021)

Con los datos presentados en la Tabla 20, podemos observar que los valores económicos de refrigeradoras retornadas en el año 2021 es un 83% menor con relación al costo promedio de los años 2018, 2019 y 2020; con el análisis antes descrito se demuestra la tercera hipótesis que afirma que la inversión económica en la implementación del sistema PLIS en la línea de producción disminuye pérdidas económicas y favorece la rentabilidad en la producción de refrigeradoras.

8. Conclusiones.

- El nivel actual de revisión a un sistema de refrigeración no puede tener conformidad en su producción si es ejecutado de una forma manual. El análisis realizado para los años 2018, 2019 y 2020 demuestra que se generó un gasto de \$348300 dólares por la reposición de nuevos productos al consumidor final de los modelos RI-480Qz y RI-580Qz tomados como muestra, generando lo que se denomina los costos de la no calidad, esto debido a que el sistema por muestreo no tiene un alcance estadístico ya que no es posible ingresar a los laboratorios de frío mas de 2 unidades por lote de producción lo que provoca un retraso para el proceso de inspección y determinación de conformidad del lote producido.
- La implementación del sistema PLIS requirió de la compra de nueva maquinaria anclada a un software integral que proyecta los resultados de operación inmediatamente permitiendo aceptar o rechazar el producto en ensamble; esta maquinaria se encuentra en cada una de las sub estaciones de ensamble dentro de la línea total de esta forma estableciendo conformidad al 100% del los productos manufacturados. Es importante mencionar que los daños reportados son dados a conocer por el cliente final y se deben a falencias en el ítem que luego de un exhaustivo y cuidadoso análisis se atribuye al proceso del proveedor, quien nos otorga garantía en el ítem y devolución del mismo, según contrato de calidad acordado.
- El valor económico de la implementación del sistema PLIS, con el cálculo del ROI evidencia un valor de retorno de 2,41 dólares por cada dólar invertido en la adquisición del sistema PLIS, recuperando la inversión en un tiempo estimado de 4 años; reduciendo la cantidad de productos retornados por el cliente final dentro del periodo de garantía, de todos los modelos de refrigeradoras fabricadas por Indurama.

9. Referencias Bibliográficas.

- Agramkow. (2021). *Sobre nosotros: Promesa, misión y valores*. Obtenido de Promesa, misión y valores: <https://www.agramkow.com/about-agramkow/>
- Agramkow, N. A. (11 de 11 de 2021). *Agramkow - North America Division*. Obtenido de Agramkow - North America Division: <https://www.agramkow-na.com/cpt-xd2/>
- Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoglu, M. (2019). *Termodinámica. Novena Edición* (9 ed.). México, D.F: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Cervantes, A., Pérez, S., & Cruz, D. (2 de Octubre de 2018). *Información Financiera*. Obtenido de <https://veritasonline.com.mx/indicadores-financieros-para-evaluar-un-proyecto-de-inversion/#:~:text=Los%20cinco%20indicadores%20financieros%20de,periodo%20de%20recuperaci%C3%B3n%20de%20inversi%C3%B3n>.
- Chad, M. (07 de 01 de 2020). *Camino Financial*. Obtenido de Camino Financial: <https://www.caminofinancial.com/es/como-calcular-los-indices-de-rentabilidad-de-tu-empresa/>
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2018). *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros* (Vol. 15). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Cordeiro, M. (02 de 03 de 2020). *ROI o retorno de inversión*. Obtenido de ROI o retorno de inversión: conoce qué es y cómo aplicarlo: <https://rockcontent.com/es/blog/que-es-el-roi/>
- Esan. (2019). *Conexionesan*. Obtenido de Conexionesan: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/la-metodologia-six-sigma/>
- García, N. (14 de Noviembre de 2019). *Como medir la rentabilidad*. Obtenido de Grownow Estrategia y Control: <https://www.grownowng.com/rentabilidad-ebitda-roe-roa-roi/>

Gasbarrino, S. (28 de 09 de 2021). *Valor presente neto: qué es y cómo se calcula*. Obtenido de Valor presente neto: qué es y cómo se calcula: <https://blog.hubspot.es/sales/que-es-valor-presente-neto>

Group, D. (11 de 11 de 2021). *Agramkow - PLIS Smart Suite*. Obtenido de <https://www.agramkow.com/our-solutions/appliance-production-software/plis-smart-suite/>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). En *Metodología de la Investigación*. McGraw - Hill.

Induglob S.A. (2021). Cuenca.

Induglob S.A. (2021). *Plan de producción 2021*. Cuenca.

Inversión: Qué es, tipos y cómo funciona. (18 de Abril de 2021). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/inversion.html>

Kosner®. (9 de 1 de 2022). *Kosner Climatización eficiente*. Obtenido de Kosner Climatización eficiente: <https://www.kosner.es/ciclo-de-refrigeracion/>

Luigi. (14 de Abril de 2010). *Compresor Inverter | Compresores*. Obtenido de <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-inverter.html>

Nidec, E. (9 de 11 de 2021). *Embraco Nidec*. Obtenido de Embraco Nidec: <https://www.embraco.com/es/soluciones/sector-domestico/>

Ocher, M. (9 de 11 de 2021). *Plant Automation Technology*. Obtenido de EST-900-900S-Safety first | Relays & Industrial Controls | Agramkow Fluid Systems A/S: <https://www.plantautomation-technology.com/products/agramkow-fluid-systems-as/est-900-900s-safety-first>

Partes, T. (9 de 11 de 2021). *TRS*. Obtenido de TRS: <https://trspartes.com/productos/insumos-y-herramientas/bombas-de-vacio/>

Pérez Anna . (12 de 9 de 2021). *OBS Business School*. Obtenido de Pasos para implementar un sistema de control de producción: <https://www.obsbusiness.school/blog/pasos-para-implementar-un-sistema-de-control-de-produccion>

Potencia eléctrica - EcuRed. (2021). *Potencia eléctrica - EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica

Refrigeración doméstica. (2021). *Refrigeración doméstica*. Obtenido de <http://www.sistemasrefrigeracion.com/refrigeracion-domestica>

Rentabilidad y productividad para la efectividad de empresa. (18 de Abril de 2021). *mytriplea*. Obtenido de <https://www.mytriplea.com/blog/rentabilidad-y-productividad-medir-efectividad-empresa/>

Servei, G. (9 de 11 de 2021). *Gasservei*. Obtenido de Gasservei: <https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-600a-gas-servei-sa.pdf>

Servei, G. (9 de 11 de 2021). *Gasservei*. Obtenido de Gasservei: <https://gas-servei.com/gas-servei-contara-de-nuevo-con-stand-propio-en-el-salon-internacional-cr-2021-que-se-celebrara-en-madrid-del-16-al-19-de-noviembre/>

Sistema de producción por lotes. Ventajas y desventajas. (16 de Enero de 2018). *leanmanufacturing10*. Obtenido de <https://leanmanufacturing10.com/sistema-de-produccion-por-lotes-ventajas-y-desventajas>

UPN. (14 de Noviembre de 2016). *¿Qué es un cuello de botella en el proceso de producción?* Obtenido de Blog de la Facultad de Ingeniería UPN.:

<https://blogs.upn.edu.pe/ingenieria/2016/11/14/que-es-un-cuello-de-botella-en-el-proceso-de-produccion/>

Vela. (16 de 11 de 2018). *Gestión de Proyectos Master*. Obtenido de Gestión de Proyectos

Master: <https://www.gestiondeproyectos-master.com/introduccion-a-six-sigma-distribucion-normal-y-desviacion-estandar/>

webyempresas. (12 de 9 de 2021). ▷ *¿Qué es el Control de Producción y cómo implementarlo?*

Obtenido de ▷ *¿Qué es el Control de Producción y cómo implementarlo? | 2021 | Web y Empresas*: <https://www.webyempresas.com/control-de-produccion/>