



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD
DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN
DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

Ing. Oliver Lorenzo Castro Velásquez

Asesorado por el Mtro. Ing. José Luis Duque Franco

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD
DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN
DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. OLIVER LORENZO CASTRO VELÁSQUEZ
ASESORADO POR EL MTRO. ING. JOSÉ LUIS DUQUE FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Corado Esquivel
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez Pérez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD
DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN
DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, en agosto de 2022.

Ing. Oliver Lorenzo Castro Velásquez



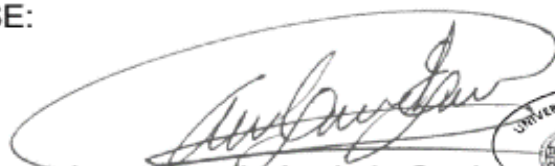
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.645.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN**, presentado por: **Oliver Lorenzo Castro Velásquez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, septiembre de 2022

LNG.EEP.OI.645.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN"

presentado por **Oliver Lorenzo Castro Velásquez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión industrial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Ing. Edgar Dario Álvarez Coli
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala 24 de mayo 2022.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** titulado: **"EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN"** de **Oliver Lorenzo Castro Velásquez**, del programa de **Maestría en Gestión Industrial**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

MA. Ing. Kenneth Lubeck Corado Esquivel
Coordinador
Maestría en Gestión Industrial
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, mayo de 2022.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

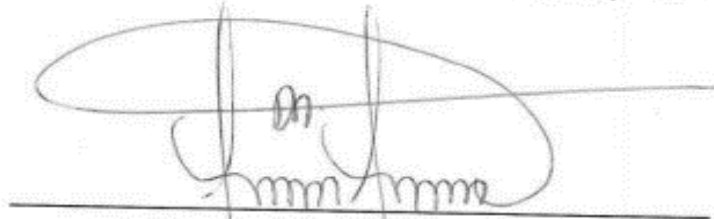
Escuela de Estudios de Postgrado

Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí:

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN 2"** del estudiante **Oliver Lorenzo Castro Velásquez** del programa de Maestría en **Gestión Industrial**, identificada con número de carné: **2011 22746**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

A handwritten signature in dark ink, consisting of a large, stylized 'J' and 'L' followed by a series of loops and a horizontal line at the end.

MSc. Ing. José Luis Duque Franco

Colegiado No. 5459

Asesor de Tesis

Ing. JOSÉ LUIS DUQUE FRANCO; M.Sc.
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 5459

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Quien en su infinita gracia y sabiduría me ha guiado en mi camino, permitiéndome alcanzar mis metas y disfrutar de experiencias indescriptibles.

Mis padres

María Luisa de Castro y Justiniano Lorenzo Castro, por su incondicional amor, paciencia, consejos y apoyo. Que Dios los bendiga infinitamente, son mi inspiración, ejemplo de vida, de fortaleza, de perseverancia, de Fe y humildad.

Mis hermanas

Norma Beatriz, Sindy Mariela y Andrea Mishell Castro Velásquez, por su compañía y acompañamiento en esta travesía llamada vida, hacen que sea una aventura digna de ser recorrida.

Mis amigos

Israel Valenzuela, Pedro Julio Miranda, José Alejandro Pablo y demás compañeros, por la amena convivencia en esta etapa.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por la vida.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Mi casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Forjadora de mis conocimientos.

Ing. José Luis Duque

Por su valioso apoyo, aporte y tiempo invertido.

La empresa

Por brindarme el apoyo necesario para poder
realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

[illegible]

	1.1.4.1.3.	Tasa interna de rendimiento	10
	1.1.4.1.4.	Punto de equilibrio	11
	1.1.4.1.5.	Tasa interna de rendimiento modificada.....	11
	1.1.4.1.6.	Valor presente neto	12
1.2.		Control de calidad	13
	1.2.1.	Mejora continua.....	13
	1.2.1.1.	El círculo de Deming	14
1.3.		Sistemas de control electrónico en procesos	15
	1.3.1.	Importancia de la autonomía de procesos por control electrónico	16
	1.3.2.	Costos de incorporar equipo electrónico a procesos.....	17
	1.3.3.	Tiempos requeridos para implementación de tecnología en procesos	18
	1.3.4.	Ventajas y desventajas del control electrónico	18
	1.3.5.	Equipos utilizados para control de procesos	19
	1.3.5.1.	Autómatas programables (PLC)	20
	1.3.5.2.	<i>Automation</i> PC	21
	1.3.5.3.	BOX PCs	21
	1.3.5.4.	Panel PCs	21
	1.3.5.5.	Cámaras inteligentes y sistemas de visión integrados	22
	1.3.5.5.1.	Microprocesadores.....	25
1.4.		Sensores	27
	1.4.1	Sensores fotoeléctricos	28
	1.4.2	Sensores ultrasónicos.....	30

1.4.3.	Sensores inductivos.....	30
1.4.4.	Sensores capacitivos.....	31
1.5.	Dispositivos de protección de equipos	31
1.6.	Dispositivos de relevación	34
1.7.	Industria de bebidas alcohólicas.....	36
2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	39
2.1.	Objetivo 1. Descripción del proceso de control de calidad del embalaje que está en funcionamiento previo a la implementación e indicación del punto con mayor incidencia de fallo en la inspección de producto completo en la línea número dos de botellas de ron de vidrio.....	39
2.2.	Objetivo 2. Análisis de los costos y problemas que genera la devolución de lotes de parte de clientes debido a faltantes de producto previo a la instalación del sistema para el diseño de un sistema acorde a dichas características	41
2.3.	Objetivo 3. Determinar el porcentaje de disminución de devolución de lotes y su respectivo valor monetario, posteriores a la implementación del sistema de inspección electrónico	43
2.4.	Objetivo general. Evaluar el impacto financiero en el proceso de control de calidad del embalaje debido al diseño de un sistema electrónico para detección de faltantes de botellas de ron de vidrio en la línea de producción.....	49
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
3.1.	Análisis interno	51
3.2.	Análisis externo	52

CONCLUSIONES 55

RECOMENDACIONES 57

REFERENCIAS 59

APÉNDICES 67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación que alberga el proyecto a implementar	3
2.	Partes contenidas en una cámara inteligente	24
3.	Arquitectura de un microprocesador	26
4.	Diagrama de bloques de un sensor fotoeléctrico	29
5.	Símbolo eléctrico de un sensor fotoeléctrico	30
6.	Símbolo eléctrico de un disyuntor monopolo.....	34
7.	Símbolo eléctrico de relé simple polo de doble tiro	36
8.	Control de calidad del embalaje del producto funcionando en la línea previo a la implementación del sistema.....	40
9.	Costo por devolución de lotes en los primeros seis meses del año 2019	41
10.	Problemas ocasionados por la devolución de lotes de producto por faltantes.....	42
11.	Número de lotes producidos por día en 4 semanas.....	43
12.	Número de cajas por lote	44
13.	Diagrama representativo de la solución diseñada.....	46
14.	Tiempo de inspección acorde a presentación	47
15.	Pestaña abierta al inspeccionar caja.....	49

TABLAS

I.	Cuadro de variables e indicadores	XXI
II.	Costo promedio de devolución de lotes por mes	42

III.	Número promedio de lotes producidos diariamente.....	44
IV.	Número promedio de cajas por lote	45
V.	Cuadro de costos para inversión	47
VI.	Impacto financiero y precisión del sistema diseñado	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Alimentación	Término utilizado en electrónica para referirse a la fuente de voltaje positiva.
Circuito	Interconexión de dos o más componentes que poseen al menos una trayectoria cerrada.
Componentes pasivos	Aquellos componentes eléctricos que no amplifican la señal que pasa a través de ellos, más sí la alteran/controlan para un mejor funcionamiento de los componentes activos.
Corriente alterna	Corriente eléctrica en la que su magnitud y sentido varían de forma periódica.
Corriente eléctrica	El flujo de carga que corre a través de un material.
Corriente directa	Corriente eléctrica cuya magnitud y sentido permanecen constantes en el tiempo.
CPU	Unidad de procesamiento que se encarga de controlar las acciones del dispositivo con base en la interacción con sus puertos de entrada.

Estándar

Es un patrón o modelo para medir o valorar las cosas de su misma área de operación.

Monofásico

Sistema eléctrico que utiliza únicamente una línea viva y un neutro.

Neutro

En un sistema eléctrico es la parte que cierra el circuito en la cual desemboca la corriente.

Procesador

Componente electrónico donde se realizan los procesos lógicos, es la unidad por la que atraviesan todas las solicitudes que se realizan a un CPU.

RESUMEN

El propósito de esta investigación es reducir los costos por devolución de lotes de producto debido a faltantes a través de la implementación de un sistema electrónico de inspección que pueda realizar la verificación de producto al final de la línea después de ser encajonado.

El problema principal es que no se cuenta con un sistema eficiente para la detección de faltantes dentro de las cajas de producto ya que el operador es la persona a cargo de realizar la inspección al mismo tiempo que se ocupa de mantener la máquina funcionando de forma constante. Tomando en cuenta que a ellos les exigen las metas de producción, la inspección de producto queda relegada a un segundo plano dándole menor importancia.

El objetivo general es implementar un sistema de inspección electrónico, integrado de forma independiente para poder evaluar el impacto financiero en el proceso de control de calidad del embalaje y tener un indicador del porcentaje de la disminución de estos costos imprevistos.

La metodología empleada para mejorar el proceso es el seguimiento al funcionamiento del sistema electrónico que realice la labor de inspección.

Los resultados de esta investigación son la integración de un sistema tecnológico moderno ya implementado y funcionando en la línea y la evaluación del impacto financiero en la devolución de lotes de productos.

Se concluye que la devolución de lotes vio un decremento debido a la solución tecnológica implementada que ascendió a un 94 %.

Se recomienda continuar identificando los procesos deficientes en el control de producto e implementar herramientas tecnológicas autónomas para hacer este proceso completamente independiente y automático.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Los costos provocados por la devolución de lotes debido a faltantes de producto que el cliente encuentra en la entrega final del pedido representan gastos no contemplados que afectan otras áreas incluyendo el almacenaje y reproceso en producción. Esto se genera por la falta de control de calidad en el sistema, lo cual denota una mala gestión principalmente en el proceso de embalaje del producto ya que se tiene al operador de la máquina empacadora realizando esta tarea y no se ha incorporado ninguna herramienta tecnológica que permita optimizar esto. Estos costos por devolución ascienden a un valor promedio de Q. 12,667.61.

- Descripción del problema

La empresa de producción de bebidas alcohólicas en la cual se realizará el trabajo inicia su historia a comienzos del siglo XX, y como expresa en su visión, disponible en su página web, tiene como objetivo ser la organización líder en la elaboración y comercialización de sus productos para el mundo, procurando lograrlo a través de la innovación constante, un equipo comprometido y alta responsabilidad social. Esta empresa cuenta con clientes en Guatemala, México, Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá. En los meses anteriores a la realización del trabajo, se han detectado diversos problemas al presentarse devolución de lotes provenientes de distintos países de la región como consecuencia de producto faltante en ellos, los cuales provocan incremento en los costos. Asimismo, estos problemas muestran un impacto en el sistema de

producción al provocar gastos imprevistos y generan incertidumbre del lugar de ocurrencia del error, ya sea durante el transporte o en el área de producción.

En esta investigación se considera el área de producción, cuyos datos obtenidos al final del turno son incongruentes, comprobando la dificultad del proceso de inspección de cajas que pueden contener hasta 24 botellas en una banda que transporta 1 caja cada 1.5 segundos, un tiempo corto para la cantidad de responsabilidades que se le han delegado al operador, mostrando ineficiencia y cabida al error humano al realizar el proceso de control de calidad del embalaje.

- Formulación del problema

- Pregunta central

¿Cuál será el impacto económico presentado en el sistema de control de calidad del embalaje al implementar un sistema de inspección electrónico?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cómo se encuentra el proceso que está en funcionamiento antes de la implementación del sistema, identificando cuál es el punto con mayor incidencia de fallos de inspección en la línea de producción número dos con el sistema en funcionamiento, previo a la implementación?
 - ¿Cuáles son los costos y problema generados por la devolución de lotes con el sistema de control de calidad funcionando en este momento previo al diseño e

implementación del sistema electrónico?

- ¿Cuál es el porcentaje de disminución de costos y su respectivo valor monetario, por devoluciones de lotes luego de implementar el sistema de inspección electrónico?

OBJETIVOS

General

Evaluar el impacto financiero en el proceso de control de calidad del embalaje debido al diseño de un sistema electrónico para detección de faltantes de botellas de ron de vidrio en la línea de producción

Específicos

- Describir el proceso de control de calidad del embalaje que está en funcionamiento previo a la implementación, indicando el punto con mayor incidencia de fallo en la inspección de producto en la línea número dos de botellas de ron de vidrio.
- Analizar los costos y problemas que genera la devolución de lotes de parte de clientes debido a faltantes de producto previo a la instalación del sistema para el diseño de un sistema acorde a dichas características.
- Determinar el porcentaje de disminución de devolución de lotes y su respectivo valor monetario, posteriores a la implementación del sistema de inspección electrónica.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Se describen a continuación los métodos y técnicas utilizadas para cumplir los objetivos planteados.

- Tipo de estudio

El enfoque de la investigación fue de tipo mixto ya que incorporó tanto el aspecto cualitativo como cuantitativo dentro de ella. El aspecto cualitativo se pudo notar en la comparación de la situación anterior contra la posterior a la implementación del sistema, realizando la indicación de la mayor cantidad de diferencias y similitudes encontradas para que, al considerarlas, se pudieran crear conclusiones sólidas que permitieran definir si el sistema realmente mejoró la situación.

Del mismo modo, se puede señalar que la parte cuantitativa se estableció en que la comparación final se realizó con el respaldo de información estadística, a través de un análisis e interpretación que determinaron los indicadores con los que ya se contaban y otros estructurados para comprobar el cumplimiento de los objetivos.

- Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental ya que no se contó con ningún control de las variables que se estudiaron. De forma más detallada se puede decir que no existió ninguna manipulación de las variables que permitieran definir el comportamiento del sistema bajo esa ejecución, por lo que las

situaciones se detallaron y analizaron con base en lo que se observó, sin recurrir a forzar las condiciones del sistema.

- Población y muestra

La población en este caso fue considerada como los lotes enviados durante los 3 meses posteriores a la implementación. Por ser un valor pequeño no se tomó una muestra específica, sino que se utilizó la totalidad de ella. Para la precisión del sistema implementado, se tomaron los datos observados de forma directa en un día.

- Variables e indicadores

Las variables e indicadores fundamentales que se estudiaron en la investigación se describen a continuación, resaltando que todas son de tipo cuantitativo:

- Gasto: es el egreso de dinero que se debió pagar para recibir el derecho sobre un artículo o servicio.
- Costo: gasto económico que representó la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.
- Eficiencia: es el cumplimiento de los objetivos utilizando la menor cantidad de recursos.
- Lotes por día: el número de lotes que se producía diariamente en la línea de ron.

- Cajas por lotes: el número de cajas que conformaron la totalidad de lotes producidos.
- Tiempo entre cajas: el tiempo que transcurriría entre cada una de las cajas que circulan por la banda de salida de la empacadora.

Tabla I. **Cuadro de variables e indicadores**

	Objetivo	Variable	Tipo de Variable	Indicador	Instrumento
General	Determinar el impacto económico en el sistema de control de calidad al implementar un sistema de inspección electrónico.	- Costos debido a devoluciones por mes - Gasto - Costo.	- Discreta - Continua - Continua	- Costos por devoluciones posteriores a la implementación - Costos por devoluciones antes de la implementación	- Observación directa - TIR - VAN - B/C.
	Describir el proceso de control de calidad del embalaje que se tiene en funcionamiento previo a la implementación y precisar los costos y problemas generados por la devolución de lotes, tomando los datos de períodos previos a la instalación del sistema electrónico.	Costos por lotes devueltos	Continua		- Observación indirecta - Línea base de información.
Específicos	Identificar el punto con mayor incidencia de fallo en el sistema en funcionamiento previo a la implementación del sistema electrónico, realizándolo a través del análisis de ciclos de reacción de los equipos durante el proceso de inspección.	- Número de cajas por <u>batch</u> - Errores presentados por número de cajas - Tiempo de reacción promedio de los dispositivos - Equipo requerido.	- Continua - Discreta - Continua - Nominal.	- Número de cajas producidas - Número de errores presentados	- Observación indirecta - Observación directa - Línea base de información
	Determinar el porcentaje de disminución de devolución de lotes y su respectivo valor monetario, posteriores a la implementación del sistema de inspección electrónico.	- Número inicial de lotes devueltos - Número final de lotes devueltos - Costo del sistema - Costo de devolución de lotes.	- Continua - Continua - Continua - Continua.	- Relación número inicial de lotes devueltos, número final de lotes devueltos. - Costo del sistema - costo final de lotes devueltos.	- Observación directa - Círculo de prueba - Análisis costo-beneficio - TIR - VAN.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Fases de la investigación

La metodología que se utilizó para darle solución al problema contó con cinco fases primordiales para determinar el análisis del sistema y su respectiva solución. La forma en que se desarrollaron las fases se detalla a continuación:

- Fase 1: revisión documental

Para poder realizar el análisis y desarrollo del trabajo se necesitó contar con los conocimientos que se obtendrían a través de la revisión y recolección precisa de bibliografía existente. Dichos textos proveyeron teorías y herramientas que se marcaron necesarias para la selección y diseño de la solución más adecuada con base en las necesidades identificadas y planteadas. Es por ello por lo que para esta fase se efectuó la observación indirecta y elaboración de síntesis.

- Fase 2: descripción del sistema de control de calidad del embalaje en funcionamiento previo a la solución y análisis de la situación

El estudio se inició con la descripción del sistema con el que se encontraba funcionando la inspección de calidad del embalaje, analizando la velocidad de la máquina empacadora y los errores en el proceso de inspección, relacionando su valor al número de lotes devueltos según observación de datos históricos de los últimos seis meses. Estos datos determinan la capacidad y velocidad del equipo a utilizar en la elaboración del sistema electrónico para el proceso.

Posterior a ellos, al luego de identificar las necesidades fue necesario describir los recursos con los que se contaba para poder incorporarlos al elegir los dispositivos para diseño del sistema. Una vez establecida la cantidad de cajas

promedio producidas en un día, se procedió a describir el estado del proceso que funcionaba antes de la implementación. Esto determinó la eficiencia del sistema de inspección y la tasa de ocurrencia de errores con el sistema en funcionamiento hasta antes de la implementación. Estos datos fueron tomados de forma directa a través de la observación de la producción en un día completo.

Dentro de la recopilación de información se obtuvieron datos históricos de la devolución de lotes de los seis meses anteriores al inicio de la investigación: costos de los lotes devueltos y la cantidad de cajas de producto producidas en promedio. La obtención de esta información fue necesaria, ya que a través de ella se realizó una línea base para la comparación del estado inicial y final. De la misma manera se adquirió la información relacionada con los gastos asociados al transporte, lo que permitió determinar concretamente el costo en el que se ha incurrido con la totalidad de la entrega y devolución del producto. Con el análisis de la información recopilada se identificaron y describieron las deficiencias que el control de calidad de embalaje conllevaba.

- Fase 3: diseño de la solución electrónica propuesta con base en las necesidades identificadas

La correcta realización de la fase anterior permitió determinar las deficiencias del sistema que se encontraba funcionando anteriormente a la implementación, lo que definió las necesidades a cubrir con la implementación del nuevo sistema electrónico para inspección del correcto número de producto embalado. Con base en las características del sistema implementado se analizaron las características de las variables ya establecidas y enumeradas.

El investigador contaba con conocimientos en el área de ingeniería electrónica, experiencia en el área de automatismo y se auxilió de la observación

indirecta para realizar una recopilación sobre los dispositivos electrónicos disponibles en el mercado para poder cubrir las necesidades identificadas. Como parte del informe, la opción elegida fue estudiada bajo un análisis financiero costo-beneficio, en el que se determinó la rentabilidad del sistema y su impacto en el proceso.

Después del proceso señalado se adquirieron los componentes necesarios y se integró la solución a través del sistema de inspección electrónico planteado. Dentro del informe se exponen las razones por las que se consideró que la solución era la más adecuada.

Habiendo integrado el sistema y creado las recetas necesarias, se utilizó la observación directa para la prueba de los circuitos, estableciendo su versatilidad en funcionamiento para menguar las necesidades del proceso. Así mismo, se determinaron sus alcances reales para contrastarlos con los propuestos en el análisis previamente realizado.

- Fase 4: implementación de la propuesta, obtención de resultados y elaboración de indicadores

Con la certeza de tener formulado un sistema electrónico totalmente funcional, cuyas características ya estaban determinadas, se mostró el diseño final del mismo. Tras su implementación se contó con un período de observación de dos semanas en las que se vio el sistema funcionar en condiciones reales.

Este tiempo sirvió para registrar lo observado en un archivo de datos que permitió visualizar la información que se necesita para el control de línea. Se incluyeron los siguientes datos en el reporte: número total de cajas inspeccionadas, registro del total de errores y registro del total de cajas en estado

óptimo. Así mismo se consideraron las devoluciones de lotes registradas en ese tiempo y el valor monetario que representaban, entre otros derivados de dicha información.

- Fase 5: descripción del impacto en las devoluciones y su respectivo valor monetario

La creación de indicadores financieros en la fase final mostró que, en efecto, el sistema propuesto de control de calidad electrónico para el embalaje es útil para el sistema en función y registra aprovechamiento de los recursos involucrados. Como comienzo de esta última fase de la investigación, los datos recolectados en la etapa anterior fueron evaluados con dichos indicadores para describir y analizar cómo fue la situación financiera del mes posterior a la implementación.

Dentro de dicho análisis se comparan los datos del mes con los correspondientes al de los datos obtenidos en la primera fase. Esto permitió determinar qué cambios se dieron en el aspecto monetario respecto a las devoluciones y cuánto disminuyeron los gastos respecto a ellas. Con todos los datos analizados, tanto cuantitativos como cualitativos, se desarrollaron las conclusiones respectivas que permitieran definir el aporte absoluto del sistema.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca bajo una innovación a los sistemas normalmente utilizados ya que se está buscando una solución integrada de forma local para evitar implementar sistemas ya confeccionados que representen un mayor costo para la empresa. Teniendo en cuenta el factor competitivo en el mercado actual, se considera el círculo de Deming como base para desarrollar la investigación, asumiendo dicha filosofía como principal herramienta para mantener una correcta identificación de puntos susceptibles a mejoras y las soluciones para minimizarlos o eliminarlos.

El problema son los costos provocados por devolución de lotes de productos por faltantes. Esto toma relevancia cuando genera problemas para el almacenaje, reprocesamiento y redistribución de producto retornado. Todo esto genera un total de gasto no contemplado y que afecta no solo la organización y el plan de producción y almacenaje sino también el retraso en tiempos de entrega y relación con el cliente.

La importancia de aplicar la solución diseñada a través de esta investigación es la opción de contar con un sistema autónomo y de operación constante que verifique con precisión la cabalidad del producto dentro de las cajas producidas. Como resultado se obtiene una mejora en el control y un descargo de responsabilidades para el operador de la máquina encajonadora. Entre los beneficiarios se encuentra la empresa ya que podrá disminuir los costos provocados por dichas devoluciones, los operadores de la máquina, ya que podrán estar libres de dicha atribución y el cliente final pues podrán contar con producto completo en las entregas.

La metodología utilizada en este estudio cuenta con un diseño del tipo no experimental ya que no se realizó ninguna prueba de laboratorio o manipulación de variables. El enfoque es de tipo mixto ya que cuenta con puntos cualitativos y cuantitativos. El alcance y tipo de investigación es descriptivo. Se realizó la implementación del sistema electrónico automatizado para inspección de faltantes, se documentó la información obtenida posterior a la implementación y se capacitó al personal para el uso del sistema.

Los resultados obtenidos a través de este trabajo demostraron que el sistema significó una mejora para la organización y el problema de devolución de lotes por faltantes de producto ya que se logró implementar un sistema que no significara un cuello de botella para la línea pues realiza la inspección del producto en menos de 1.5 segundos y cuenta con interfaz visual y alarma sonora para notificar al operador de la falla. A nivel de costos, las devoluciones de lotes se vieron disminuidas en un 94 % mientras que la inversión realizada en este sistema se vio recuperada en 4.8 meses. Esto ahorró Q. 11,600.00 quetzales mensuales aproximadamente.

El esquema de solución consistió en determinar la causa principal de faltantes de botellas dentro de las cajas de producto terminado. Posterior a ellos, se revisó la documentación histórica de los costos provocados por devolución de lotes y se observó el sistema en funcionamiento para determinar la causa mayoritaria. Con la información obtenida se integró un sistema de inspección electrónico para la verificación de producto posterior al encajonado y, por último, se realizó la evaluación del impacto financiero del nuevo sistema.

La factibilidad de este trabajo se ve afirmada en la presentación de resultados en donde se puede constatar el compromiso y disposición de colaboración y finalización del proyecto de las partes involucradas. Posterior a

ello, con el análisis financiero del proyecto y su impacto en los costos provocados por devolución de faltantes se validó que la inversión retornó pronto y el sistema representó una mejora.

El primer capítulo del trabajo hace referencia al marco teórico en donde se define la evaluación de proyectos, la forma de financiarlos y los equipos electrónicos de control, sensores y protecciones eléctricas necesarias para poder integrar un sistema acorde a lo requerido por este proceso.

El segundo capítulo indica la presentación de resultados en donde se realiza el análisis del sistema funcionando antes de la implementación y se detalla el punto en donde se enfocará la solución desarrollada. Posterior a ellos se incluye el análisis financiero que permitió verificar la viabilidad del proyecto y la proyección de su rentabilidad.

Por último, en el capítulo 3, se muestra la discusión de resultados a través de una análisis interno y externo de la empresa.

MARCO REFERENCIAL

La globalización ha demandado a las empresas la constante mejora de sus procesos, buscando siempre mantener la eficiencia en cada uno de sus puntos productivos y administrativos. Estas herramientas pueden ser implementadas en todos los campos de producción, sin importar el producto.

A nivel tecnológico se puede encontrar que uno de los estudios más antiguos que se presentan es el realizado por Bradshaw (1992), quien realizó una máquina de visión para la inspección en una fábrica de textiles, este estudio lo realizó con una computadora con procesador 486 y una cámara de CCD (dispositivo de carga acoplada) de escaneo de línea que mostró ser funcional al implementarlo en el proceso y aunado al sistema de producción. A pesar de que este sistema fue innovador y altamente funcional para las tecnologías de ese tiempo, es obsoleto para las máquinas y las líneas de producción modernas, ya que dicho procesador y su velocidad de ciclo de reloj terminarían formando un cuello de botella. Aunque es necesario remarcar que el principal aporte de este estudio es que trazó un precedente para las tendencias y el comportamiento de la inspección de calidad en la industria utilizando dispositivos de automatización.

Para este punto, es oportuno mencionar el estudio que realiza Lledó (2007), quien integra el control electrónico en una planta de producción de pizza, pero concluye que ha existido un cambio en la incorporación de control en la industria, que no es solamente de estar incorporando robots sino que hay que mantener en cuenta otro tipo de equipos que de igual forma seguirán favoreciendo tanto a la disminución de costos del sistema como a su flexibilidad. Gracias a este estudio se consideró lo necesario e importante que es analizar

cuáles eran las áreas precisas en las que se podían incorporar equipos electrónicos, pues al intentar hacer completamente autónomo el sistema, el gasto también sería proporcional causando que, en el aspecto monetario, los indicadores financieros rechazaron la inversión.

Otro factor importante para mencionar es que estos enfoques de tecnología indican la importancia de la electrónica de control en los procesos, como señala Yax (2009) cuando expresa que el control automático de procesos, basados en dispositivos eléctricos y electrónicos, tiene como principal característica que cualquier tipo de control y ejecución pueda ser realizada de forma automática en la que el operador tenga que intervenir lo mínimo posible. Esto provocará que exista una agilización de los sistemas que se ejecutarán de forma más eficiente, lo cual conlleva una disminución en los costos de operación mientras se aumenta el tiempo de disponibilidad con base en la continuidad de su operación. Asimismo, colaboraría con la facilitación de la etapa de mantenimiento para que permanezca el equipo en operación y reducción de espacios dentro de la planta.

En esta tesis se concluye de forma importante que los costos ahorrados a través de la implementación de control a través de un PLC (controlador lógico programable) con sistema Proporcional-Integral-Derivativo, haría recuperable la inversión en 0.20 años, un lapso de tiempo totalmente aceptable y beneficioso lo cual nos mostró el beneficio monetario de implementar herramientas tecnológicas en el control de procesos.

En un proceso continuo de producción en el cual se tiene un plan y un programa a seguir es importante conocer los tiempos de reacción y procesamiento con los que cuentan los equipos instalados debido a que, si no existe un acople necesario en todos los sistemas, se estaría provocando un cuello

de botella. Es importante mencionar esto ya que la eficiencia de una línea puede ser impactada si las velocidades no están sincronizadas.

Esto fue demostrado por Romero (2010), cuyo trabajo se basa en el aumento de la productividad de una línea de envasado de bebidas, en donde se enfocó en las causas y los tiempos de paradas de las llenadoras, ya que las consideró el cuello de botella de dicho proceso de envasado, procediendo al seguimiento y control del balanceo de la línea, concluyendo con análisis de gráficos de balance y propuestas nos demostraron que a través del análisis de tiempos se puede lograr un aumento en la productividad y se puede generar una interfaz en software que ayudó a llevar un mejor control en el sistema.

Dependiendo de lo que se considere más oportuno desarrollar, existen diversas herramientas que permiten detectar y analizar imágenes en un sistema de inspección, muchos de ellos son sensores que ofrecen marcas reconocidas en el mercado industrial. Una cámara OMRON F160 fue utilizada por Turpín (2011) cuando mostró cómo desarrolló su proyecto con base en dos cámaras de comunicación serial y desarrolló un programa que buscaba coincidencias de la imagen tomada y la foto que había servido para su calibración. Él indica que a pesar de que contó con un presupuesto corto para el trabajo, los gastos de desarrollo e integración fueron suficientes, y a través de la implementación disminuyó retrasos y paros en la línea. Esto fue importante para el presente trabajo, ya que se buscó realizar un control a través de un sensor óptico. Sin embargo, también fue importante considerar que lo económico del sistema se debió a que él programó la herramienta de comparación desde cero, utilizando el sensor óptico únicamente para obtener la imagen.

En un aspecto similar a nivel tecnológico, pero utilizando otro método, Platero (2015) desarrolló a detalle los cálculos completos, desde la selección de

la cámara y su lente a través de cálculos matemáticos, hasta el cálculo del ángulo adecuado para reflexión de la luz, ya que su producto a inspeccionar fue aluminio. En dicho trabajo el autor desarrolló una completa explicación del análisis matemático y estadístico utilizado, ya que no observó o detectó solo defectos en superficie sino también dimensiones estadísticas para el producto en las bases de inspección, al finalizar su implementación la importancia para el presente trabajo radica en que se vieron mejoras en la exactitud y en la calidad de esta tarea, con porcentajes de hasta el 38 %.

Indicado lo anterior, se puede notar que existen diversos trabajos en el área de inspección por medio de herramientas electrónicas. Dependiendo del sector del producto en el que se desempeñe, se elabora el sistema acorde a esas características. Incluso, ya se cuenta con estas herramientas para inspección de faltantes de producto en cajas, pero se realiza con base en el peso medido en la banda transportadora. Incorporando lo observado en los estudios anteriormente mencionados, se pudo observar cómo se ha ido desarrollando la tecnología de control y mejoramiento a través de las tres últimas décadas, por lo que fue oportuno considerar la utilización de equipo de grandes empresas ya consolidadas y con equipos completamente desarrollados, que ofrecen sistemas ya integrados y completos que únicamente deben instalarse, pero dadas las características de la industria guatemalteca, es oportuno contar con un sistema integrado en el país, con tecnología actualizada y con soporte local, ya que aún no se cuenta con algo parecido.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Evaluación financiera de proyectos

Para poder decidir sobre la implementación de un proyecto que requiere inversión de fondos monetarios, es necesario tener clara la perspectiva del futuro que, en cuestión de probabilidad, determinará el efecto y el beneficio del mismo. Es por ello que Sapag (2008) expresa que la evaluación financiera de proyectos es un instrumento que servirá para decidir si el proyecto presentará una rentabilidad, de lo contrario deberá abandonarse la idea de su implementación. La propia concepción del proyecto define que lleva en sí mismo la búsqueda de poder dar una solución óptima e inteligente a un problema que se necesita resolver.

Según Bolten (1994), a la par de evaluar un problema se debe asociar algún criterio para invertir. Esto regirá la decisión del ejecutivo de finanzas para determinar si se debe aceptar o rechazar el proyecto. Estos criterios deben contener información de flujos de efectivo: todos los costos del proyecto, las entradas y salidas de efectivo que sean producto de la implementación del mismo y el tiempo que estará abarcando el proyecto.

Morales (2009) añade a esta definición que la necesidad de invertir radica en mantener la competitividad y poder sobrevivir, contando con un constante y permanente flujo de ideas que pueda incentivar el desarrollo de nuevos procedimientos y mejoras en los procesos para mejorar los tiempos y costos de su producción.

1.1.1. Clasificación de los proyectos de inversión

Existen diversos criterios para clasificar un proyecto de inversión, estas clasificaciones se dan para facilitar el análisis del concepto del proyecto que se desea implementar. Las clasificaciones se pueden dar de la forma siguiente.

1.1.1.1. Según el punto de vista empresarial

Según Weston y Brigham (1994), estos proyectos son los que las empresas implementan para ser competitivas respecto a su competencia.

- Proyectos de reemplazo, mantenimiento del negocio. Son aquellos que se realizan de forma directa para menguar cualquier tipo de daño ocurrido, pues las operaciones de producción necesitan mantenerse.
- Proyectos de reemplazo, reducción de costos: son todos aquellos proyectos que tienen como fin poder eliminar o reducir costos que sean provocados por equipo con limitadas funciones o antiguo y de operación costosa.
- Expansión de los productos o mercados existentes: en este apartado se albergan todas aquellas que se produzcan con la intención de ampliar canales de distribución o tiendas. Este tipo de inversiones necesitan mayor respaldo teórico, ya que deben concordar con un pronóstico de crecimiento de la demanda.
- Expansión hacia nuevos productos o mercados: en esta parte se busca lograr que las inversiones puedan permitir lograr la presencia en mercados no atendidos hasta ese momento. Este tipo de implementación siempre

requiere de grandes cantidades de dinero, así como tener claras las decisiones estratégicas que fundamentan su decisión.

- **Proyectos de seguridad o ambientales:** se dan para poder modificar las operaciones de la empresa acorde a las reglamentaciones legales o cualquier tipo de seguridad ambiental. Es muy frecuente denominar este tipo de inversiones como obligatorias o no productores de ingresos.
- **Otros:** en esta categoría se incluyen todas aquellas inversiones que sean necesarias para seguir manteniendo las operaciones de la empresa. Se puede mencionar algunas como la construcción de lotes adicionales de estacionamientos, tecnología para servicio al cliente y facilitación de usos para agilización de trámites, remozamientos o nuevas construcciones anexas a los edificios, ampliación y remodelación de oficinas para bienestar de los empleados, entre otros.

Figura 1. **Clasificación que alberga el proyecto a implementar**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

1.1.2. Proceso para realizar inversiones necesarias

Esta parte es esencial para poder realizar la evaluación e implementación de los proyectos contemplados. Según Morales (2009) el proceso para realizar este proceso conlleva los siguientes pasos:

- Mantener claros todos los motivos que respaldan la inversión a realizar. Entre estos se pueden señalar los siguientes:
 - Cualquier tipo de regulación legal que sea exigida por las autoridades para su cumplimiento, incluyendo estándares de calidad, seguridad laboral, la disminución de riesgos existentes, entre otros.
 - Que exista una ventaja de la competencia respecto al producto producido por la empresa interesada. Todas las inversiones que se realicen por este motivo tendrán la característica de ayudar a competir en el mercado.
 - Cambios tecnológicos en procesos productivos que ayudarán a disminuir o eliminar costos. De no realizarse estos cambios se seguirán produciendo gastos no previstos o costos necesarios que serán asumidos por el comprador final dentro del precio del producto.
 - Aumento en la demanda del producto que obliga a la empresa a ampliar su capacidad de producción a través de la compra de nueva maquinaria o instalaciones.

- Cambios en las preferencias del cliente que obliguen a cambiar las características del proceso de producción para mantenerse en el mercado.
- Cualquier tipo de ampliación de portafolio que requiera adaptación o incorporación de maquinaria para poder cumplir con las metas de la estrategia de la empresa.
- Definir el área y el tipo de inversión que se desea realizar, teniendo considerada de forma objetiva los motivos planteados en el paso anterior. Entre las alternativas se pueden encontrar las siguientes:
 - ✓ Adquisición de equipo
 - ✓ Alquiler de equipos
 - ✓ Compra de bienes inmuebles
 - ✓ Alquiler de bienes inmuebles
 - ✓ Capacitación al personal operativo
 - ✓ Modificaciones a los procesos productivos
 - ✓ Subcontratación
 - ✓ Publicidad, descuentos en los precios, demostraciones.
- Análisis de las alternativas de inversión, definiendo sus ventajas y desventajas con criterios de evaluación que incluyan lo siguiente:
 - ✓ Período de recuperación.

- ✓ Nivel de cumplimiento con los requerimientos del mercado.
 - ✓ Rendimiento de inversión con base en indicadores como: valor presente neto, tasa interna de retorno, análisis beneficio-costos.
 - ✓ Optimización de costos para financiación del proyecto.
- Generar un informe claro para comparación de las alternativas de inversión que permita definir de forma precisa la mejor opción.
 - Seleccionar la alternativa principal y mantener en consideración las alternativas más cercanas que permitan solucionar los problemas observados y la reducción de riesgos.

1.1.3. Financiamiento de proyectos de inversión

Existen varias formas de financiar un proyecto de inversión, según indica Cerno (2012). La forma de conseguir capital para invertir puede provenir de fuente propia o de terceros. Asimismo, según la publicación del Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España (2012), luego de clasificar estos dos tipos de inversiones se agrega que para financiar todas las inversiones permanentes que realice la empresa es importante utilizar el pasivo fijo y que el circulante sea para cualquier tipo de financiamiento de activos ordinarios. Sin embargo, es importante también considerar la disponibilidad del capital y saber cuál es el monto apropiado a invertir, pues según Jiménez (2012) es necesario no sobredimensionar los proyectos pues esto causaría un exceso en el capital

necesario para invertir inicialmente, lo cual podría disminuir la rentabilidad económica global del proyecto.

Para poder contar con capital de inversión se debe definir la fuente de dicho monto. Dentro de las fuentes de inversión generalmente encontradas se pueden detallar las siguientes:

- Aporte de capital de socios: en esta parte se albergan todos aquellos aportes monetarios que los socios proporcionarán para poder mejorar algún aspecto del negocio. Para que este tipo de capital pueda ser liberado se necesita convencer a los socios de la seguridad de la inversión y su respectivo valor de recuperación.
- Créditos de entidades financieras: esta es la forma más común de encontrar financiamiento externo. Sin embargo, es necesario detallar que para poder conseguir este tipo de financiamiento la empresa debe tener un récord crediticio muy sólido dependiendo de la cantidad solicitada, así como la justificación de inversión y su respectivo retorno esperado.

1.1.4. Estudio financiero para los proyectos de inversión

Después de saber de qué parte se puede obtener el financiamiento del proyecto, indica Morales (2009) que es necesario definir lo esperado respecto a esa inversión y el monto que se requiere. Asimismo, Baca (2001) expresa que esta es la parte más importante, pues es la que terminará de definir si es permisible la implementación del proyecto o se rechaza. Para complementar las ideas que brindan los autores anteriores, también es necesario aunar estos conceptos con lo que detalla Dorante (2004) sobre que también hay que mantener presente que todas esas retribuciones deben ser pagadas y fueron

adquiridas al conseguir el capital para invertir dentro del proyecto. Por lo tanto, se define el estudio financiero como el análisis del financiamiento que se obtendrá para implementar el proyecto, incluyendo todas aquellas responsabilidades que deben pagarse a las fuentes de capital.

Dentro de las prioridades de inversión Alcaraz (2005) indica que la empresa debe tener siempre la intención de alcanzar sus objetivos planteados, ya que debe analizar todos aquellos factores de su entorno que influirán en la producción esto sigue considerando cualquier equipo, personal, maquinaria, insumos, entre otros. Que le ayuden a mejorar sus índices. Estos tipos de proyectos y su impacto incidirán en lo que pueda detectar el cliente, pues, como menciona González (2004), cualquier plan o proyecto que pueda mejorar el negocio terminará incidiendo en la identificación de los productos o bienes, así como en la diferenciación respecto de la competencia.

1.1.4.1. Evaluación de los resultados proyectados de la operación del proyecto mediante indicadores financieros de evaluación

Según Morales (2009), todos los proyectos se pueden evaluar en función de su tiempo de recuperación del capital invertido y su rentabilidad producida. Para ello es necesaria la consideración de aspectos importantes para la medición del proyecto: el punto de equilibrio, período de recuperación y los métodos que consideren el valor del dinero en el tiempo.

Dentro de los indicadores que consideran el valor del dinero en el tiempo se pueden enumerar:

- Costo-beneficio

- Tasa interna de rendimiento
- Tasa interna de rendimiento modificada
- Valor presente neto
- Tiempo de recuperación
- Punto de equilibrio

1.1.4.1.1. Costo-beneficio

Este indicador permite medir el número de flujos netos de efectivo que se obtienen después de realizar la recuperación de la tasa de interés exigida en el capital de inversión del proyecto. Esto expresa que cualquier tipo de flujo de efectivo que se obtenga después de exceder el monto invertido será una ganancia para la empresa debido al proyecto desarrollado. Cuando el indicador de costo-beneficio muestra un valor negativo, su interpretación debe ser como el porcentaje de la inversión faltante que no fue generado por el flujo de efectivo neto. Es decir, cuál parte del costo no ha sido cubierta por la inversión.

$$CB = \left[\frac{\sum_1^n \frac{FNE}{(1+i)^n}}{IIN - \left(\frac{VS}{(1+i)^n} \right)} - 1 \right] * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

IIN= Inversión inicial neta

VS= Valor de salvamento

i= Tasa de interés

FNE= Flujo neto de efectivo

1.1.4.1.2. Tiempo de recuperación

Esta herramienta muestra el período de tiempo en el que se podrá recuperar la inversión inicial efectuada; es decir, en cuántos años de flujo de efectivo se podrá igualar la cantidad de la inversión monetaria inicial.

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Flujo neto de efectivo}} \quad (\text{Ec. 2})$$

La ventaja de este indicador es la sencillez de su cálculo y fácil interpretación, así como su frecuente uso en el entorno financiero. Sin embargo, cuenta con la desventaja de que no puede incluir la variación del valor del dinero en el tiempo, tampoco muestra la duración de la implementación del proyecto y sólo considera la inversión como un todo.

1.1.4.1.3. Tasa interna de rendimiento

Es el valor de la tasa de interés que iguala los flujos de efectivo manejado en la VAN que lo iguala a cero. Si se considera desde el punto de vista financiero, como indica Revelo (2010), es la tasa de descuento en la que el VAN de una inversión da como resultado cero.

$$TIR \therefore VPN = VAN = \sum_1^n \frac{FNE}{(1+i)^n} - \left[IIN - \frac{VS}{(1+i)^n} \right] = 0 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

TIR = Tasa interna de rendimiento

VPN = Valor presente neto

VAN = Valor actual neto

FNE = Flujo neto de efectivo

i = Tasa de interés

VS = Valor de salvamento

FNE = Flujo neto de efectivo

1.1.4.1.4. Punto de equilibrio

Este indicador expresa la cantidad de ingresos necesarios para poder cubrir todos aquellos gastos que han sido generados a causa de la implementación del proyecto. En este caso, se deberá aplicar a aquellos gastos imprevistos que causa la ausencia del proyecto tratándose como ahorro después de la implementación.

$$Pe = \frac{CF}{PV - CV} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Pe = Punto de equilibrio

CF = Costo fijo

CV = Costo variable

PV = Precio de venta

n = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo de que se trate

1.1.4.1.5. Tasa interna de rendimiento modificada

Como indica Iturrioz (2014), la tasa interna de rendimiento modificada es un indicador que permite la medición en porcentaje de la rentabilidad que produce una inversión. Esta herramienta posee ventaja sobre la TIR en cuestiones de

eliminar problemas de inconsistencia en las soluciones que proporciona, ya que en la TIR se pueden tener varias soluciones, incluyendo negativas que se descartan, y únicamente se retienen las positivas. Según Cerno (2012), la fórmula que puede proporcionar el valor de la TIRM es la siguiente:

$$TIR\ modificada = \left(\frac{Valor\ futuro\ flujos\ (+)}{Valor\ presente\ flujos\ (-)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (Ec. 5)$$

1.1.4.1.6. Valor presente neto

Este indicador permite el cálculo del valor actual de un determinado flujo de efectivo futuro, y que sea originados a consecuencia de la inversión. Esto permite considerar una tasa de inflación que entraría a ser importante dentro de la decisión de inversión o rechazo de implementación.

$$VPN = VAN = \sum_0^n \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad (Ec. 6)$$

Donde:

VPN = Valor presente neto

VAN = Valor actual neto

FNE = Flujo neto de efectivo

IIN = Inversión inicial neta

i = Tasa de interés a la que se descuentan los flujos de efectivo

n = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo de que se trate

1.2. Control de calidad

Se puede observar, en el concepto que brinda Pérez (2014), que la calidad es lo que el cliente espera respecto a un producto, abarcando todas las áreas productivas y administrativas que se encuentran en la empresa. Del mismo modo, Gutiérrez (2014) dice que el control de calidad es un proceso que se lleva a cabo a través de la implementación de programas, herramientas, mecanismos y sistemas que hagan mejora en cualquier proceso empresarial.

Para este tipo de decisiones se debe ejercer el uso del método científico que determina la capacidad de tomar una decisión con base en datos sólidos. Asimismo, esta definición se ve complementada por lo que indica Solís (2016), al expresar que, para llevar a cabo un buen control, se cuenta con un departamento dedicado a la implantación de programas de control y de objetivos fijos que deben ser evaluados con base en metas e indicadores. El control de calidad implica tanto el nivel de procesos como la mejora con base en tendencias tecnológicas que puedan aumentar la eficiencia de los sistemas utilizados.

1.2.1. Mejora continua

Como expresa Chang (1999), la mejora continua es una filosofía expresada dentro de las gestiones de las empresas en las que se busca la consecución de un nivel de excelencia en cada uno de sus procesos tanto en producción como en diseño y comercialización de productos.

Asimismo, se puede encontrar, en la publicación del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, un escrito de Herrera (2009) en el cual se indica que existe una amplia variedad de herramientas que buscan enfocarse en áreas específicas y proponer procedimientos que ayuden al mejoramiento de dichas áreas, pero

todas tienen en común que tienen la capacidad de medir el impacto de la solución implementada.

Cualquier tipo de mejora que se quiera realizar debe ser respaldada con documentación y para obtenerla es necesario el continuo y permanente monitoreo, control y supervisión de los procesos y procedimientos internos de la empresa. Para estas herramientas se encuentra, en textos de Valencia (2003), que es esencial mantener un análisis contable en todos los procesos efectuados para poder manejar de forma más precisa la división de procesos acorde a actividades, contemplando posteriormente su efecto sobre todo el sistema.

1.2.1.1. El círculo de Deming

Como se puede encontrar en la publicación de Sejzer (2015), este es el método de mejora continua más difundido. Se popularizó con la denominación de Deming, a pesar de que él únicamente le dio continuidad al método planteado por Walter Shewhart conocido como el padre del control estadístico de la calidad. Este proceso busca conseguir dos objetivos: la mejora de cualquier proceso y descubrir cuál es la causa raíz que haya sido identificada a través de análisis estadísticos. Esta técnica cuenta con cuatro elementos:

- Planear (*Plan*)
- Hacer (*Do*)
- Verificar (*Check*)
- Actuar (*Act*)

1.3. Sistemas de control electrónico en procesos

El control electrónico es un proceso donde se busca incorporar dispositivos tecnológicos a los distintos procesos productivos, buscando su mejora en tiempo y desempeño. Muchas veces este concepto es utilizado como sinónimo de automatización, aunque la variación radica en los dispositivos que se utilicen como cerebro de la operación. Sin embargo, tienen varios puntos en común, como señala Davie (1974) cuando expresa que este proceso de control contempla el hecho de llevar de forma continua y permanente todas las variables independientes a un punto de control determinado para lograr mantener los datos del proceso entre los límites de operación permitidos por el sistema, a pesar de que ocurra cualquier tipo de variación en el entorno del sistema.

Por lo que se puede notar que al hacer automático un proceso a través de dispositivos electrónicos se pretende mantener todas las variables bajo un punto fijo deseado a pesar de los cambios en las condiciones de operación, lo que determinará la autonomía del sistema.

Del mismo modo, expresa más adelante que después de tener ya recopilados los datos a través de dispositivos de interacción con el ambiente físico y su posterior transformación a magnitudes manejables a través de datos digitales es posible procesar la señal. Transmitida la señal, los equipos deben indicar, registrar, integrar los valores físicos resultantes de haber captado la señal de un proceso, pudiéndose tomar como una recopilación de datos para poder agrupar un conjunto de información que permita llevar datos estadísticos para un análisis más profundo del sistema en funcionamiento. En tiempos modernos se trabaja con equipos con capacidad de acceso remoto.

1.3.1. Importancia de la autonomía de procesos por control electrónico

La competencia en el mercado ha demandado un constante cambio e innovación a todas las empresas, las cuales deben procurar producir con los mismos recursos, pero intentando incorporar nuevos sistemas que permitan una disminución de los tiempos muertos, eliminación de errores, mejoras en tiempos y de uso amigable para el recurso humano que influirá en el aumento de competitividad a nivel de mercado.

Pérez (2009) indica que las empresas están monitoreando de forma permanente sus procesos para poder incorporar sistemas tecnológicos que les permitan reducir los costos de producción. La incorporación de control con base en elementos eléctricos está fundamentada en el control y ejecución de acciones de forma automática, sin la intervención del operador o con el mínimo de intervención. Con ello se logra agilizar los procesos, una mayor eficiencia y bajar los costos de operación, y al mismo tiempo se tiene confianza en la continuidad del servicio. Aparte de ello se tiene un fácil manejo y mantenimiento en el equipo de operación, y una reducción de espacios en el equipo de control.

La automatización puede ser tan amplia como incorporar un sistema SCADA (supervisión, control y adquisición de datos, por sus siglas en inglés), que se diseña especialmente para su despliegue y ejecución en computadoras que proveen el control de producción estableciendo comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables).

Este sistema suministra toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento. En esta

clase de sistemas, se manejan dispositivos de control con una base principal de PLC para poder ejecutar las tareas, pero manteniendo una comunicación constante para centralizar la información. Sin embargo, en estos tiempos modernos se manejan sensores que pueden inspeccionar los elementos y a la vez realizar el accionamiento de señales pues en su encapsulado cuentan con entradas y salidas incorporadas.

Así mismo, Nuchera (1999) expresa que las herramientas tecnológicas permiten la mejora en los indicadores de eficiencia y productividad, logrando que, a pesar de mantener la misma maquinaria, equipo y personal en los procesos de manufactura, se logre mejoras con inversiones que pueden ser recuperables en el tiempo.

1.3.2. Costos de incorporar equipo electrónico a procesos

El costo de la lógica electrónica de control depende del proceso de producción a analizar y del alcance que se desee en el grado de autonomía del sistema. Los sistemas de control electrónicos autónomos pueden ser tan sencillos como la lógica realizada con contactores a base de control cableado, sensores con E/S incorporadas, pasando por controladores lógicos programables y hasta llegar a sistemas centralizados y escalables de tipo SCADA.

Los factores a atender para considerar el equipo de control electrónico se ven enumerados por Ogata (2003) cuando escribe que se pueden encontrar una gran cantidad de equipos de control electrónico en el mercado, por lo que se deben considerar varias características para la elección correcta del mismo. Entre estas características se pueden encontrar:

- Necesidades a cubrir dependiendo del alcance del proyecto.

- Las capacidades del dispositivo de control.
- La calidad y el precio del sistema.
- El acceso a información para la configuración y mantenimiento del sistema.
- Soporte local y nivel de servicio.
- Cualquier tipo de asistencia técnica necesaria para el mantenimiento.

1.3.3. Tiempos requeridos para implementación de tecnología en procesos

Dependiendo del proceso, su complejidad con base en variables de control y equipo necesitado se estimará un tiempo proporcional a dicha tarea. Es por ello que Smith (1995) indica que, para poder estimar el tiempo necesario de implementación, se debe tener un profundo conocimiento del proceso para poder estimar de forma más precisa los tiempos y costos que necesitará el proyecto para su ejecución. Generalmente se tendrán los mismos procedimientos para la implementación de controles electrónicos de procesos, pero dependerá de la complejidad del proceso, el nivel de automatismo y del tamaño de la maquinaria, los cuales determinarán de forma directa el tiempo para realizar el proyecto.

1.3.4. Ventajas y desventajas del control electrónico

Es bastante notorio el gran peso del número de ventajas sobre las desventajas de incorporar herramientas tecnológicas, mejorando costos y recursos. Es por ello que Kuo (1996) hace mención de que la utilización de tecnología para el control supone una serie de ventajas y desventajas, algunas de las cuales se enumeran a continuación.

- Mayor nivel de autonomía y monitoreo para el proceso

- Mayor facilidad de operación para el personal
- Existe una mejora en el control del proceso
- Se presta para la implementación más rápida de cambios
- Permite el control de alarmas y eventos en el sistema
- Muestra mensajes para facilitar la identificación de fallas
- Facilitación de mantenimiento
- Puede recopilar información y procesarla de forma estadística
- Dota de mayor seguridad a las instalaciones que controla
- Aumenta la seguridad y eficiencia de equipos

Entre las desventajas que presentan los autómatas se mencionan:

- Necesidad de un programador para modificación de *software*
- Costos significativos por el equipo a utilizar
- Se necesita un diagrama del proceso para poder identificar los puntos susceptibles de mejora, necesitando de personas con altos conocimientos de dicho proceso.

1.3.5. Equipos utilizados para control de procesos

Se puede encontrar en la revista de B&R International, en el escrito redactado por Kufleitner (2017), los detalles del nuevo equipo con el que se dispone a nivel industrial para atender la presente demanda en la industria, que requiere de un sistema económico flexible, fácilmente modificable y con mayor facilidad para tratar con tensiones y corrientes más fuertes que lo que soportaba la PC, causando que se desarrollaran los autómatas programables industriales, sensores con E/S incorporadas o computadoras diseñadas para su funcionamiento en entornos rudos.

Los primeros dispositivos de control electrónico fueron los autómatas, cuyo principal fin era reemplazar a los sistemas de relevación y circuitos lógicos y pretendían básicamente sustituir sistemas convencionales o relés o circuitos lógicos. Una de las grandes virtudes fue la estandarización del lenguaje de programación que permitía que, a pesar de lanzar nuevos modelos, se siguiera el esquemático de los mismos.

1.3.5.1. Autómatas programables (PLC)

El autómata programable PLC (controlador lógico programable) es un conjunto de elementos lógicos que construyen un equipo electrónico que permite el control en tiempo real de procesos secuenciales para aplicaciones de muy diversos tipos.

Se pueden encontrar las descripciones de los equipos provistas por Kaufleitner (2017), quien detalla los distintos modelos de controladores que hay, teniendo diferentes gamas que cuentan con distintas capacidades de memoria, rapidez de funcionamiento y grados de protección para entornos difíciles.

En resumen, se puede precisar que este dispositivo es el corazón de la actual automatización de instalaciones, ya que es el elemento al que llega y controla la información, distribuyendo posteriormente las señales a los actuadores para que ejecuten órdenes de accionamiento. En general están en constante evolución, pues existen incluso variadores de velocidad con capacidad para controlar motores de altas potencias, que incorporan el control electrónico de forma unificada a la potencia, permitiendo optimizar el espacio requerido para su instalación.

1.3.5.2. *Automation PC*

De la misma forma en que las velocidades de los nuevos procesadores van cambiando continuamente por las innovaciones tecnológicas, los requerimientos a nivel industrial por demanda de mayor velocidad van cambiando de forma proporcional. Es por ello que se han incorporado tecnologías de Intel a los distintos dispositivos, señalando la importancia de las *Automation PC* para el sector industrial, dada su capacidad de funcionar con distintos programas con ejecución en paralelo y su alta capacidad de almacenamiento debido a su entorno de Windows y disco duro incorporado. Se puede encontrar en el manual de B&R International de Kaufleitner (2017) los distintos modelos de *Automation PC* que se han lanzado en el mercado moderno, mostrando sus altas capacidades y ciclos de funcionamiento en microsegundos.

1.3.5.3. *BOX PCs*

En este manual se detalla que las *Box PCs* cuentan con un procesador que puede ir desde un Intel Atom hasta lo último lanzado, siendo Intel Core I. Contando con el detalle de poder controlar incluso servoaccionamiento, mostrando así la alta capacidad de procesamiento, pues controlan motores con exactitud de movimientos, esenciales en la implementación de tareas robóticas y altamente sincronizadas.

1.3.5.4. *Panel PCs*

La peculiaridad de estos dispositivos es que combinan una pantalla y un PC en un solo dispositivo bastante compacto y están disponibles en una amplia variedad de tamaños de pantalla táctil o multitáctil o teclas de entrada. Como

detalla su descripción, están diseñados con un alto grado de protección para su funcionamiento en ambientes rudos.

1.3.5.5. Cámaras inteligentes y sistemas de visión integrados

Se puede encontrar en la Revista del Gobierno Español y la Unión Europea de Eskalza (2012), en el que se especifica la utilización dedicada directamente a este tipo de tecnología que revolucionó el mercado a partir de la segunda década de los años dos mil. La revista destaca que las aplicaciones de visión que se hacen en el área industrial abarcan tanto la toma de imágenes como la acción a realizar con base en entradas/salidas incorporadas, y su versatilidad al comunicarse a la red por medio de distintos protocolos, que pueden ser incluidos en la lógica de control de procesos tales como fabricación, robótica, monitoreo.

La ventaja de automatizar el procesamiento de imágenes es la velocidad que provee el sistema, ya que, dependiendo del equipo, se manejan distintos tipos de procesadores que se distinguen por su velocidad de reloj. Estas características deben ser evaluadas al momento de contemplar los dispositivos necesarios para implementar el proyecto, funcionamiento durante las 24 horas del día y la precisión en la medición y repetición de inspecciones.

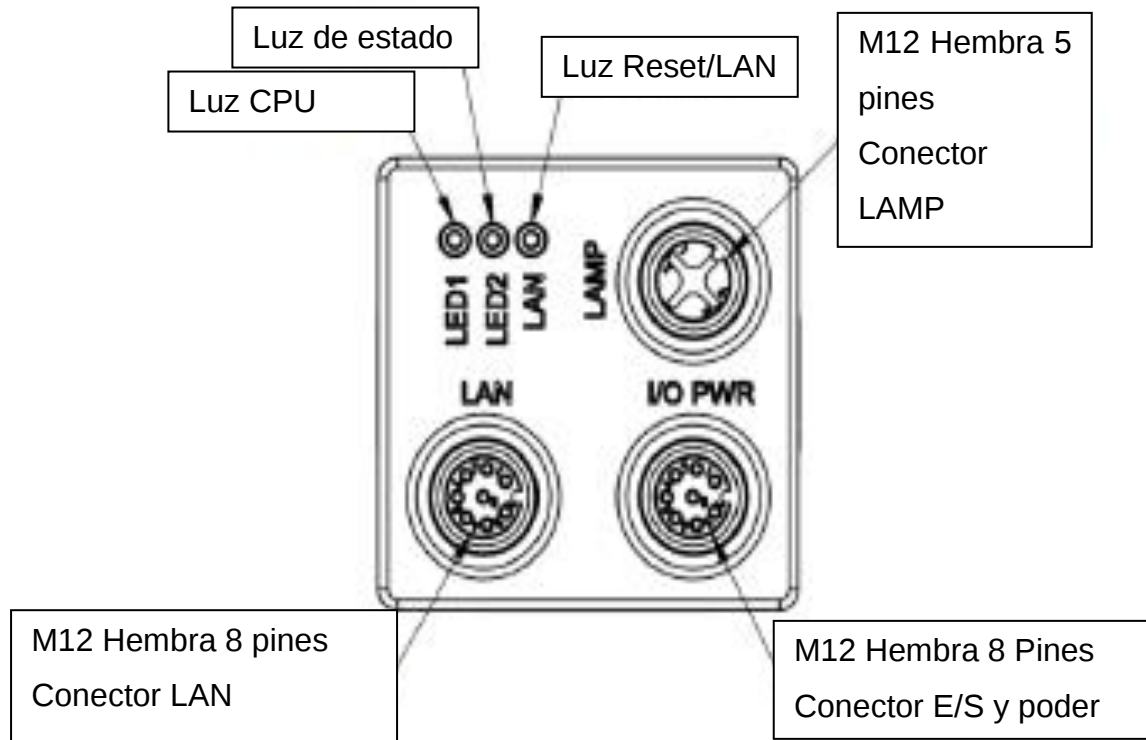
Las características principales por las que se implementa un sistema de visión inteligente radican en que es posible su funcionamiento de forma autónoma, sin necesidad de mantener una PC funcionando en paralelo de forma permanente. Asimismo, la capacidad de poder realizar una inspección a distancia sin necesidad de hacer contacto con el elemento analizado.

Del mismo modo se puede observar en el proyecto realizado por Herrero (2007), en el que se detallan las fases de implementación de un sistema. Inició con análisis de los aspectos técnicos del equipo que iba a utilizar, procediendo luego a la instalación de la cámara, su conexión a través de red, adaptación del *software* a las necesidades, instalación de iluminación para el sistema y los ajustes y puesta en marcha ya en sitio.

Dentro de sus observaciones señala que dentro de sus cálculos el equipo necesitaba una velocidad de procesamiento de un segundo por imagen, pero en la prueba real el tiempo necesitado era de 1.5 segundos. Estos aspectos técnicos demuestran el margen de velocidad que se debe manejar en los equipos seleccionados.

La parte de manejo y procesamiento de la imagen se puede encontrar en las indicaciones de González (2008), quien divide el tipo de tarea a realizar en procesamiento de colores, compresión, segmentación, procesamiento morfológico y reconocimiento, enmarcando en este último apartado la tarea de buscar puntos similares en una misma imagen.

Figura 2. **Partes contenidas en una cámara inteligente**



Fuente: Teledyne. (2010). *BOA Smart Vision System Installation Manual*.

Como se puede observar en el diagrama, todas las cámaras inteligentes cuentan con tres partes integrales que funcionan en conjunto. Estas partes son: la comunicación en red, la alimentación para entradas/salidas y la capacidad de conexión de lámparas con protocolos de comunicación. La cámara realiza la toma y procesamiento de imagen, pero se necesita de un dispositivo que sea capaz de poder notificarle en qué momento se debe tomar la imagen. Para ello es necesario contar con sensores.

Dentro de las especificaciones de los equipos se detalla cada una de las versiones con distinto tipo de características en lo que respecta a su arquitectura

y velocidad del procesador. Por ello es necesario señalar la importancia de la velocidad y capacidades del microprocesador.

1.3.5.5.1. Microprocesadores

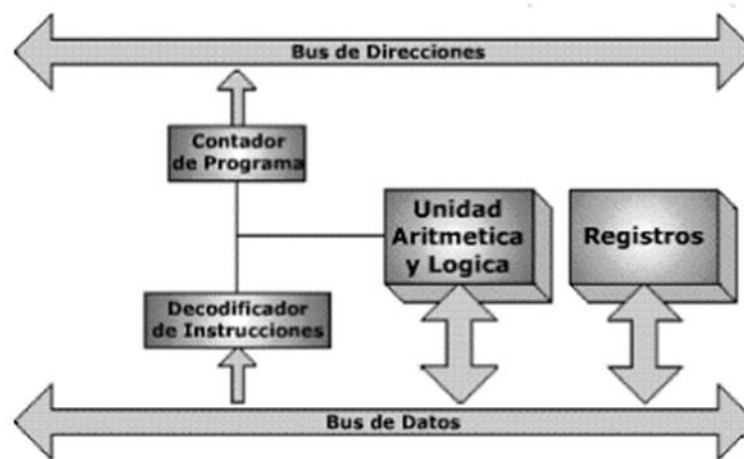
Cualquier equipo de procesamiento electrónico utilizado cuenta con un cerebro central que es el microprocesador. Se puede encontrar en la definición de Ramírez (1986) el aporte al concepto de microprocesador, pues expresa que es un tipo de circuito integrado que alberga miles de compuertas digitales en un solo encapsulado, teniendo la capacidad de realizar muchas funciones, tanto lógicas como matemáticas y de control.

Asimismo, existe gran similitud con la definición que brinda Sanchis (2002), que añade a su definición que hay que prestar especial atención a los bloques de memoria del sistema, ya que es el encargado de albergar el conjunto de instrucciones con las que funcionará el sistema, así como su velocidad y que se adecúe al presupuesto económico.

Sin embargo, se observa que el procesador es la parte más importante en un sistema de control, pero Tocci (2003) señala que a pesar de ser la parte principal de procesamiento y control, necesita de otros elementos para complementar su funcionamiento, entre los más importantes están la memoria RAM y la ROM. Por lo tanto, se observa que el microprocesador es la parte de control y procesamiento de funciones del sistema, formado por una gran cantidad de compuertas digitales cuya lógica de funcionamiento determina la realización de tareas matemáticas y de control, aunado a otros elementos que determinan la capacidad de procesamiento del mismo.

Para saber el funcionamiento del microprocesador se debe enumerar cómo está conformado. Así se puede explicar la función desempeñada por cada parte y que, en conjunto, definen el sistema de operación total del dispositivo. De forma general, la estructura del microprocesador se muestra en la siguiente ilustración:

Figura 3. **Arquitectura de un microprocesador**



Fuente: Molinaro. (2013). *Arquitectura de un procesador*.

Estas partes se ven definidas por Porro (2016), quien lo expresa de la forma siguiente:

- **Reloj:** es el elemento que decide cada cuánto tiempo se ejecuta una instrucción, ya que el microprocesador espera un flanco en la señal de este dispositivo para ejecutar una instrucción.
- **Unidad aritmética lógica:** es la zona encargada de cualquier cálculo matemático.

- **Registros:** son pequeños grupos de memoria que tiene definido el procesador para almacenar funciones especiales como la señal de las instrucciones que fueron realizadas con éxito o fracaso.
- **Memoria:** es el lugar en donde el microprocesador encuentra las instrucciones de los programas y sus datos.
- **Bus de datos:** es el camino que recorren todos los datos que envía o recibe el microprocesador.
- **Bus de direcciones:** es en este dónde se establece el espacio de memoria hacia dónde va dirigido el dato en tránsito.

1.4. Sensores

Para poder interactuar con las señales del mundo físico se necesita poder contar con dispositivos que tengan la capacidad de transformar estos impulsos en señales eléctricas. En esta parte detalla Abac (2015) que los sensores son dispositivos electrónicos que pueden detectar variaciones en una magnitud física temperatura, presencia, distancia y convertirla en una señal eléctrica de tipo analógica, digital o magnética. También es posible encontrar un valor agregado en la definición que da Mandado (2009), quien dice que la automatización se da cuando se logra incorporar con éxito dispositivos capaces de digitalizar las variables que no cuentan con características eléctricas en el entorno físico, he allí los sensores.

Del mismo modo, comenta los aspectos que deben considerarse para su uso y elección en aplicaciones. Martínez (2011) indica que los factores que diferencian los sensores uno de otro son la precisión, resolución, sensibilidad y

repetibilidad. Estas características juntas pueden definir la aplicación y el lugar en el que se instalará el equipo, ya que en las especificaciones de las hojas técnicas de los dispositivos se señala la forma en que la temperatura afecta o produce variaciones en estas características.

Existen diversos tipos de sensores para una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, dadas las características del proceso al cual se requiere incorporar el sistema, se necesita que dichos sensores puedan detectar presencia. Los sensores que pueden hacer esta labor se enumeran a continuación:

1.4.1. Sensores fotoeléctricos

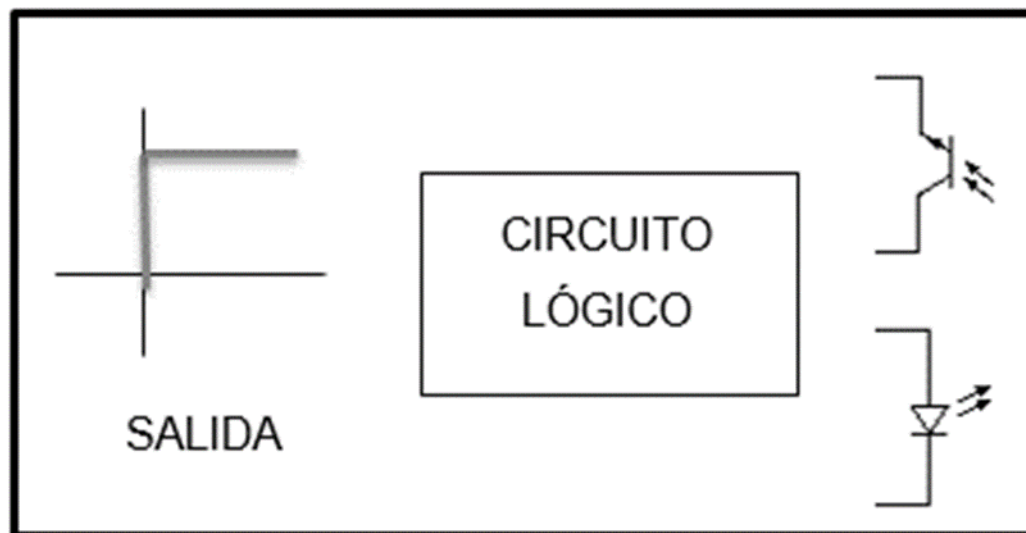
Son un tipo de sensores que basan su funcionamiento en la emisión y recepción de un haz lumínico. Su principal aplicación se da para la detección de presencia de objetos. Para su funcionamiento se utiliza un fotoemisor y un fotorreceptor, que puede ser sustituido por una superficie reflectante. Si ocurre un cambio en la recepción de luz en el fotorreceptor, entonces el sensor cambia su estado de salida, mostrando una señal de voltaje o ausencia de este dependiendo de la configuración del mismo. Se pueden clasificar en grandes grupos de tipos de sensores fotoeléctricos comunes, entre los que se encuentran:

- Sensores de barrera: este tipo de configuraciones tiene el rango más grande de detección que puede llegar a ser hasta de 60 m. Su configuración se basa en colocar un emisor apuntando directamente al receptor.
- Sensores *reflex*: esta configuración se da cuando el sensor cuenta con un fotoemisor y un fotorreceptor en un mismo encapsulado, un solo dispositivo incluye los dos componentes. Su funcionamiento se basa en

colocar un material de tipo reflectativo frente al que devuelve el haz proyectado por el sensor, interrumpiendo dicha recepción cuando se encuentra un objeto frente a él.

- Sensores de fibra óptica: en este tipo de tecnología, la emisión y recepción del haz de luz se da a través de fibra óptica. Su principal ventaja es el tamaño, ya que ocupan un pequeño volumen.

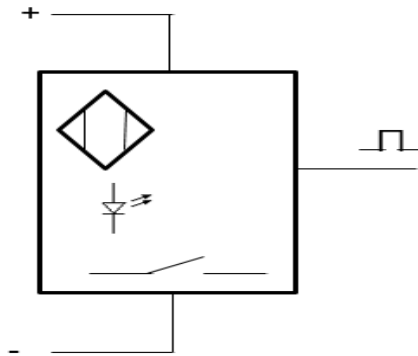
Figura 4. **Diagrama de bloques de sensor fotoeléctrico**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Para la identificación de este equipo dentro de diagramas eléctricos se usa un símbolo de representación regido por las normas DIN en las que se le asigna la siguiente simbología:

Figura 5. **Símbolo eléctrico de un sensor fotoeléctrico**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

1.4.2. Sensores ultrasónicos

Este tipo de sensor debe su funcionamiento a contar con un emisor y un receptor de ondas acústicas. En ellos se emite una señal ultrasónica que, al tener contacto con el objeto detectado, hace que se pare un contador de tiempo que se activó al iniciar con la emisión del pulso. Este tiempo es proporcional al setpoint configurado en el sensor, y puede enviar una señal digital o analógica equivalente a la distancia en su salida. Su principal ventaja es que son capaces de detectar objetos transparentes y armado de piezas con ciertos requerimientos de alturas en diferentes partes de su estructura.

1.4.3. Sensores inductivos

Estos sensores son utilizados en aplicaciones que demanden la detección de objetos metálicos. Su funcionamiento se da a través de bobinas que están encapsuladas en un material metálico y cambian las propiedades de su campo magnético al acercársele un objeto con propiedades metálicas. Tienen un alto

grado de protección industrial pero su gran desventaja es la poca distancia que ofrecen, ya que el objeto debe estar muy cerca de la zona de detección del sensor para que pueda ser captado.

1.4.3. Sensores capacitivos

Este tipo de sensores cuenta con la capacidad de poder detectar materiales a través de vidrio, plástico o láminas de cartón. Su funcionamiento se basa en el principio de detección de un cambio de las propiedades dieléctricas del entorno que está rodeando la zona activa. Esto lo dota de capacidades de detección de casi cualquier sustancia. Una de las aplicaciones en las que se encuentran estos sensores es en los alimentadores de preforma de máquinas de soplado de botellas plásticas, aunque para la detección de materiales plásticos el sensor requiere de un cuidadoso ajuste y calibración precisa.

1.5. Dispositivos de protección de equipos

Cuando se instala un equipo en un entorno rudo de operación, la instalación debe contar con la capacidad de proteger al equipo ante cualquier cambio eléctrico o perturbación en la alimentación del mismo. Es por ello que señala Harper (2004) que ante cualquier inconveniente que produzca un cortocircuito, el equipo instalado debe ser capaz de volver a su funcionamiento tan rápido como sea posible y es precisamente por este motivo que se instalan equipo de protección como fusibles, interruptores.

Todas estas consideraciones se deben mantener presentes para la elección de los aparatos de protección, a sabiendas que la máxima capacidad de la fuente es la máxima capacidad que tendrá que soportar la protección instalada, pues es esta energía la que circulará a través de él al momento de la falla.

Asimismo, detalla Dorante (2004) que se debe conocer el tipo de corriente que se manejará en el sistema, ya que los dispositivos cuentan con especificaciones propias que restringen su correcto funcionamiento a corriente directa o alterna. Un dato interesante que también proporciona es que el 95 % de la producción de los interruptores industriales son para funcionamiento en corriente alterna. Una definición similar brinda Roldán (2011), pero agrega que dicho dispositivo cuenta también con la facultad de poder desconectarse con carga o en vacío, ya que tienen elementos para activarlos de forma manual.

Para el tipo de instalación que se estará manejando, que necesitará de poca corriente y un voltaje de baja tensión (110 VAC), se necesitan dispositivos de protección de baja capacidad. Pero existen otros tipos de disyuntores o interruptores eléctricos que se agrupan de la siguiente forma:

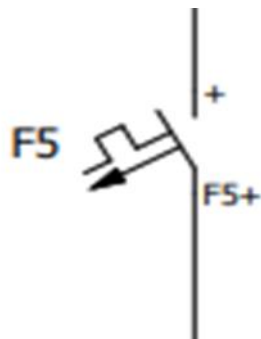
- MCB - Disyuntor en miniatura o *minibreaker*: este tipo de dispositivos cuenta con partes mecánicas y eléctricas que lo dotan de la capacidad de protección ante cualquier sobre corriente que puede ser provocada por un cortocircuito, problemas en el equipo o alguna sobrecarga. La ventaja de este equipo ante los fusibles es que no requiere cambiarlo después de cualquier evento o falla ocurrida. Es el dispositivo de protección más utilizado en aplicaciones de baja potencia y cuenta con funcionamiento térmico y magnético.
 - *Minibreaker* con curva tipo B: se utilizan principalmente en instalaciones domésticas o en aplicaciones donde no exista una alta carga de conmutación.

- *Minibreaker* con curva tipo C: son los dispositivos adecuados para aplicaciones industriales que incluyan luces fluorescentes, motores, entre otros.
- *Minibreaker* con curva tipo D: son los que tienen menor número de aplicaciones, pero son ideales para usos industriales que implican la utilización de altas corrientes en arranque. Suelen estar incluidos en rayos X, motores de bobinado, transformadores, entre otros.
- MCCB - Disyuntor o *breaker* de caja moldeada: su uso se da para la protección en sistemas de distribución eléctrica y cuenta con protección ante sobrecargas y cortocircuitos. Su rango de operación en cuestión de amperaje es mucho mayor, ya que puede soportar desde 63 hasta 2000 amperios. Su instalación en distribución directa se da con el fin de poder abrir o cerrar el circuito manualmente, con la prestación de seguir contando con la apertura automática del circuito ante cualquier falla.
- ELCB - Disyuntor de fuga a tierra: este dispositivo es utilizado en aplicaciones en las que se necesita una rápida reacción ante cualquier aumento de corriente en la conexión a tierra. Si se detectan algunos miliamperios en la conexión a tierra, el dispositivo abre el circuito. Otro nombre que se le da comúnmente a estos elementos es interruptor de circuito de falla a tierra.
- RCCB - Disyuntor de corriente residual: este dispositivo cuenta con la capacidad de poder abrir el circuito al detectar cualquier desajuste entre la corriente que circula por la fase y la corriente que circula por el neutro. Por lo tanto, se puede ver que la función de este es detectar cualquier tipo de

fallo a tierra, es decir, cuando un cable de fase entra en contacto directo con el suelo o tierra.

Por lo tanto, dadas las características de los equipos que serán utilizados en el sistema y el proyecto, se observa que se pueden utilizar los *minibreakers* con curvas de tipo B y C. El único beneficio y diferencia sería el precio que existe entre ambos, ya que a nivel de mercado es más barato el tipo B. La representación de estos elementos en los diagramas eléctricos se da con el siguiente símbolo:

Figura 6. **Símbolo eléctrico de disyuntor monopolo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

1.6. Dispositivos de relevación

Para realizar el accionamiento de los actuadores en el campo industrial, se dispone de la instalación de dispositivos de control que funcionan con base en la separación de dos circuitos, aunque uno depende de la señal del otro.

En el ramo industrial al uso de estos dispositivos se le conoce como relevación, como indica Moreno (1999), al decir que estos aparatos son

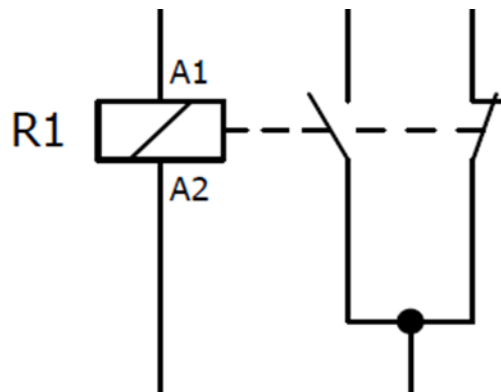
elementos electromecánicos que tienen la capacidad de interrumpir de forma controlada un circuito eléctrico, pudiendo incorporar la versatilidad del control de dos voltajes en sí mismo, un voltaje para su control y otro del circuito de mayor potencia accionado.

Su funcionamiento se ve descrito por la circulación de una corriente eléctrica a través de un electroimán, que es un núcleo de hierro envuelto por cable de cobre. Al pasar la corriente eléctrica por el cable, esto produce la magnetización del núcleo de hierro que genera a su vez un campo magnético lo suficientemente fuerte para poder realizar la unión de dos contactos, permitiendo el cierre del circuito deseado, sin importar si es de otro valor de potencia.

Existen diversos tipos de relés que se utilizan en el sector industrial para la automatización de procesos. Entre las especificaciones que deben considerarse para su elección se encuentran el tipo de voltaje de accionamiento, la corriente que puede soportar en sus contactos, número de contactos y el tiempo de activación y de desactivación.

Si el relé utilizado es un monopolio, significa que únicamente puede abrir o cerrar un circuito, pero también relés con más contactos en los que se puede disponer de un contacto normalmente y uno normalmente abierto. Esto significa que mientras el relé está sin recibir señal de activación, mantendrá cerrado un circuito y cerrará el otro circuito al activarlo.

Figura 7. **Símbolo eléctrico de relé simple de polo de doble tiro**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

1.7. Industria de bebidas alcohólicas

Para hablar de las estadísticas de la industria de bebidas alcohólicas, primero se puede definir qué es una bebida alcohólica. Según Carretero (2006) es toda aquella bebida que proviene de un proceso de transformación a través de fermentación que producirá posteriormente etanol. Ya teniendo esta definición se puede analizar la evolución de la industria de producción de bebidas alcohólicas en la última década, pues según datos provistos por Bolaños (2015), la distribución a nivel nacional de bebidas aumentó un 43 % en los últimos 10 años, pero la que se ha visto potenciada de forma significativa es la industria de bebidas alcohólicas, que en el mismo tiempo ha tenido un crecimiento del 99.9 %.

En lo que respecta al consumo, se puede encontrar en el reportaje de Moreno (2015) que las personas en América Latina y el Caribe mantienen en promedio un consumo anual de 8.4 litros de alcohol puro. A pesar de que se mantiene una media alta para los países de la región, Guatemala consume un

promedio de 3.8 litros puros, estando por detrás de Honduras, Nicaragua, Cuba, México y Costa Rica, que son países en donde mantiene presencia la empresa en la que se realiza este trabajo.

Hablando específicamente de la empresa en estudio, se puede encontrar en el escrito redactado por Loreto (2013) que mantiene una participación del mercado de bebidas alcohólicas del 15 %, siendo la segunda más grande del país, pero son líderes en bebidas espirituosas y listas para beber.

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

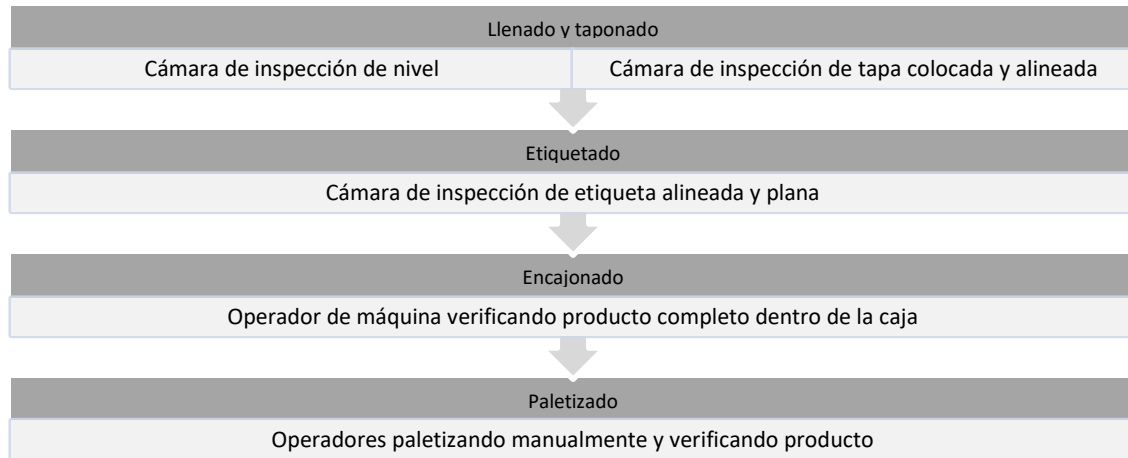
De acuerdo con los objetivos planteados, se presentan los resultados a continuación.

Estos resultados fueron producto de la investigación no experimental pertenecientes a la implementación de un sistema tecnológico para la inspección de producto total dentro de las cajas. Esto se hizo con la observación indirecta y directa del proceso para elegir un equipo que se adecuara a las necesidades presentes. Se implementó el sistema de inspección electrónico para realizar esta labor y, finalmente, se analizaron las propiedades del sistema implementado y su respectivo impacto económico en la devolución de lotes de producto.

2.1. Objetivo 1. Descripción del proceso de control de calidad del embalaje que está en funcionamiento previo a la implementación e indicación del punto con mayor incidencia de fallo en la inspección de producto completo en la línea número dos de botellas de ron de vidrio

Para realizar la investigación, se necesitó describir primero el sistema de control de producto que tenían funcionando previo a la implementación y el comportamiento de la devolución de lotes que se dio en los primeros seis meses del año en curso. El siguiente diagrama muestra lo utilizado en cada parte del proceso y el valor monetario de la devolución de lotes de los 6 meses previos a la implementación del equipo.

Figura 8. Control de calidad del embalaje de producto funcionando en la línea previo a la implementación del sistema



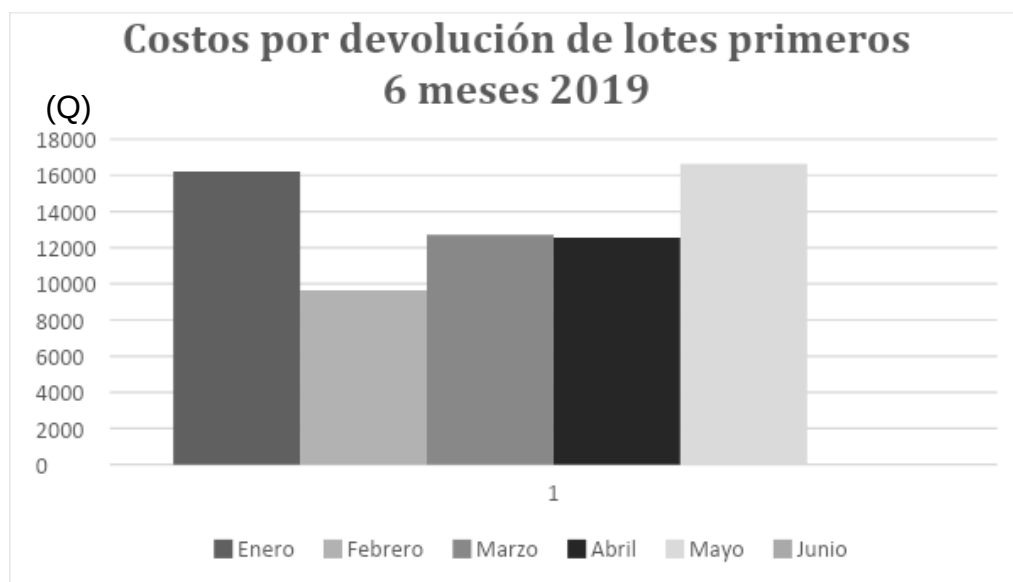
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Power Point.

En esta figura se puede observar que en la parte de final de línea no se cuenta con ningún sistema que permita el funcionamiento ininterrumpido e independiente de inspección del embalaje del producto. Los últimos dos pasos de la inspección son realizados por el personal que a su vez está encargado de la operación de la máquina y paletizado de cajas. Esto muestra el punto más débil del proceso pues no están dedicados a una sola tarea y la dificultad humana para detectar fallas en una línea que corre a 20 cajas por minuto se ve menguada por el cansancio. Este punto en la parte de producción presentó el 100 % de fallos al depositar el producto en la caja, siendo el 98 % por caída de botella y 2 % por caja en mal estado.

2.2. Objetivo 2. Análisis de los costos y problemas que genera la devolución de lotes de parte de clientes debido a faltantes de producto previo a la instalación del sistema para el diseño de un sistema acorde a dichas características

La siguiente figura muestra el valor monetario de los lotes devueltos durante la primera mitad del año de la implementación del equipo. Procediendo a tomar un valor promedio para poder aunarlo al análisis financiero.

Figura 9. Costos por devolución de lotes en los primeros 6 meses del 2019



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Posterior a ello, se necesitó definir un promedio para trabajar con un valor fijo dentro de los cálculos. Dicho valor se define en la siguiente tabla que lo detalla por mes:

Tabla II. **Costo promedio de devolución de lotes por mes**

Mes	Costo promedio
Enero	16213.93
Febrero	9653.25
Marzo	12708.55
Abril	12550.22
Mayo	16633.35
Junio	8246.38
Promedio	12667.61

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Asimismo, se trabajó en una lista de problemas que provocaba esta devolución de lotes ya que eran imprevistos que debían manejarse de la forma más ágil posible. La siguiente lista enumera los problemas observados:

Figura 10. **Problemas ocasionados por la devolución de lotes de producto por faltantes**

Devolución de lotes de producto por faltantes

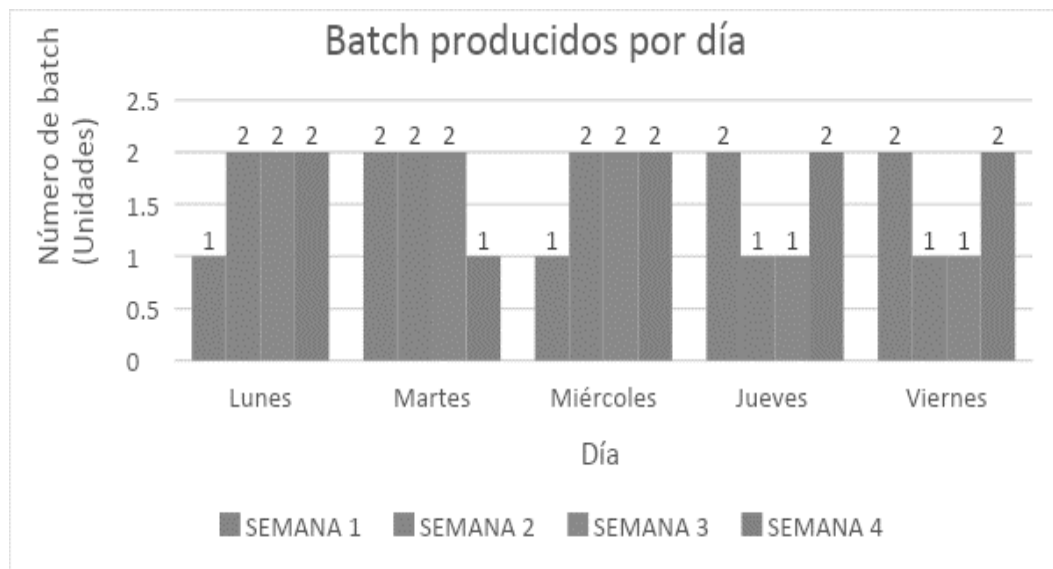
- Costos de transporte de vuelta hacia bodega
- Manejo de inventario y almacenaje
- Reproceso en base a la etiqueta del producto
- Costos de envío de nuevo lote
- Tiempo de personal para verificación detallada de producto completo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.3. Objetivo 3. Determinar el porcentaje de disminución de devolución de lotes y su respectivo valor monetario, posteriores a la implementación del sistema de inspección electrónico

Al ver estos valores monetarios, se procedió a evaluar cuantos lotes se producían por día para poder detallar los errores y fallas que se daban en el sistema de forma separada dependiendo de a dónde se enviaría cada lote. Tomando valores de un mes completo, se presentó el siguiente comportamiento:

Figura 11. Números de lotes producidos por día en 4 semanas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Trabajando con fórmulas y cálculos puntuales, se necesitó definir nuevamente un valor promedio que se detalla en la siguiente tabla:

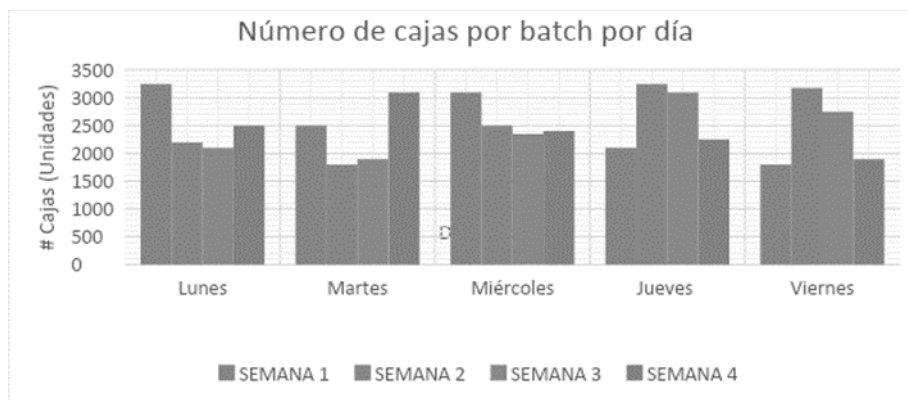
Tabla III. **Número promedio de lotes producidos diariamente**

Lotes por día				
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Lunes	1	2	2	2
Martes	2	2	2	1
Miércoles	1	2	2	2
Jueves	2	1	1	2
Viernes	2	1	1	2
Promedio semanal	1.6	1.6	1.6	1.8
Promedio total	1.65			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los lotes producidos por día dependen directamente de la presentación del producto que esté en producción. Las cajas de 1 L y 750 mL van en cajas de 12 botellas mientras que las de 375 mL se empacan en cajas de 24 unidades. Por lo tanto, fue necesario definir cuantas unidades de cajas se producen por lote. Esto se presenta en esta gráfica:

Figura 12. **Números de cajas por lote**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Del mismo modo, era oportuno definir los errores por cada lote en base al porcentaje del número de cajas. Por ello, se calculó un valor promedio que se expresa en la siguiente tabla:

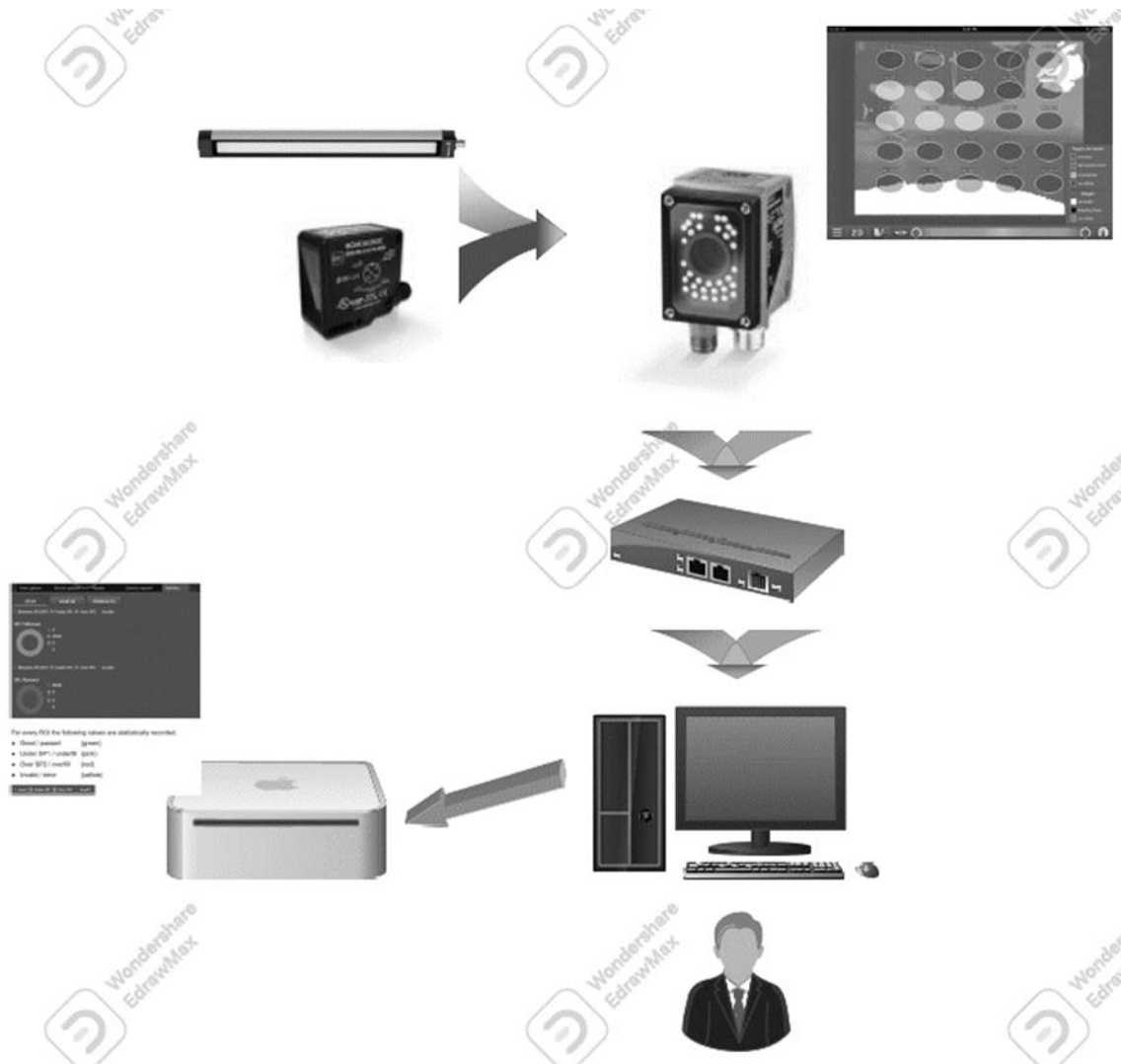
Tabla IV. **Número promedio de cajas por lote**

	Cajas por lote			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Lunes	3250	2200	2100	2500
Martes	2500	1800	1900	3100
Miércoles	3100	2500	2350	2400
Jueves	2100	3250	3100	2250
Viernes	1800	3180	2750	1900
Promedio semanal	2550	2586	2440	2430
Promedio total	2501.5			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

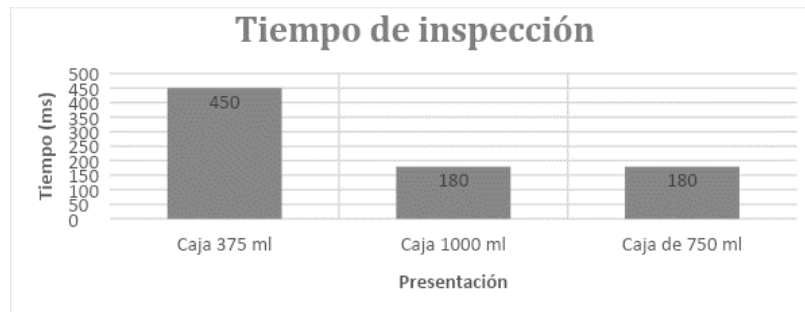
Después de evaluar los datos anteriores, se diseñó el sistema electrónico con el siguiente tiempo de inspección para las respectivas presentaciones que se procesan en la línea. Quedaron definidas del siguiente modo:

Figura 13. Diagrama representativo de la solución diseñada



Fuente: elaboración propia, empleando EdrawMax.

Figura 14. **Tiempo de inspección acorde a presentación**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Definido el tiempo de inspección que el sistema utilizaba para cada caja, se unificó la tabla de costos necesarios de inversión para realizar la propuesta final:

Tabla V. **Cuadro de costos para inversión**

Descripción	Unidad de medida	Cantidad necesaria	Precio unitario (Q)	Total (Q)
Integración del sistema	Unidad	1	0,00	0,00
Estructura de montaje del sistema	Unidad	1	7 000,00	7 000,00
Tiempo de investigador	Unidad	1	1 500,00	1 500,00
Computadora inteligente	Unidad	1	14 725,00	14 725,00
Lámpara led	Unidad	1	3 150,00	3 150,00
Monitor táctil	Unidad	1	5 330,00	5 330,00
Cables para lámpara, sensor y cámara	Unidad	4	580,00	2 320,00
Relé	Unidad	1	98,82	98,82
Fuente de voltaje	Unidad	1	1 170,00	1 170,00
Interruptores miniautomáticos distintas capacidades	Unidad	5	96,00	480,00
Switch Ethernet	Unidad	1	930,00	930,00
Cámara inteligente	Unidad	1	17 160,00	17 160,00
Sensor capacitivo	Unidad	1	1 483,00	1 483,00
Torreta luz roja, verde y módulo de audio	Unidad	1	1 314,00	1 314,00
Total inversión			Q 54 536,82	Q 56 660,82

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Como conclusión a la investigación, se debía comparar de forma financiera el impacto que presentaba el sistema al implementar el control electrónico en la inspección. Los indicadores, utilizando un índice de inflación promedio del 4.47 %, quedaron definidos del siguiente modo acorde a cada fórmula para su cálculo:

$$Tiempo\ recuperaci3n = \frac{56660.82\ Q}{12667.61\ Q/mes} = 4.48\ meses$$

$$Costo - Beneficio = \left[\frac{\sum_0^6 \frac{12667.61}{(1 + 4.47)^6}}{56660.82 - \left(\frac{56660.82}{(1 + 4.47)^6} \right)} \right] * 100 = 1.085$$

$$TIR = \sum_0^6 \frac{12667.61}{(1 + 4.47)^6} - \left[56660.82 - \left(\frac{56660.82}{(1 + 4.47)^6} \right) \right] = 9\ \%$$

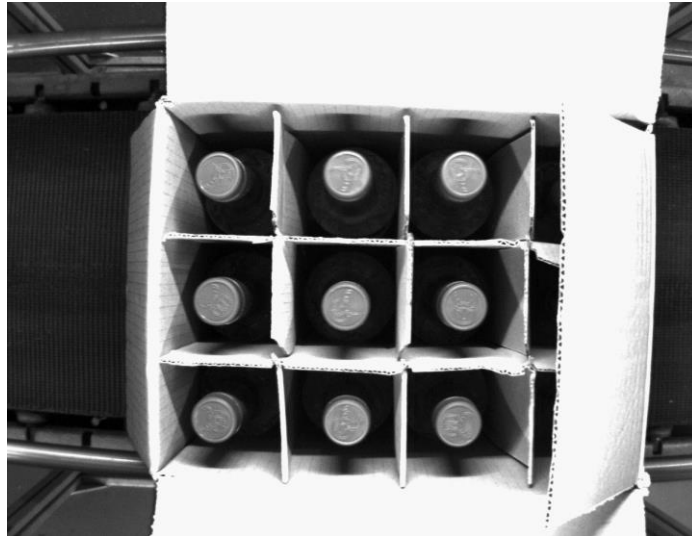
$$VAN = \sum_0^6 \frac{12667.61}{(1 + 4.47)} = 2,646.12\ Q$$

El sistema propuesto fue implementado, por lo que se tomaron en análisis los lotes enviados totales y los devueltos en los 3 meses siguientes a su funcionamiento. De esta línea fueron enviados 33 lotes, de los cuales solo se presentaron 2 devoluciones lo cual representa una devolución del 6 % y, en consecuencia, una disminución del 94 %. Esto monetariamente significa una disminución de 11,907.55 quetzales mensualmente. Por lo que el tiempo de recuperación fue de 4.8 meses.

Del mismo modo el sistema cuenta con una eficiencia del 95 por ciento de precisión en la inspección de producto. Esto se realizó en base a inspección

directa y la característica principal de las inspecciones erróneas fue una pestaña cerrada como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 15. **Pestaña cerrada al inspeccionar caja**



Fuente: elaboración propia, empleando Sistema.

2.4. Objetivo general. Evaluar el impacto financiero en el proceso de control de calidad del embalaje debido al diseño de un sistema electrónico para detección de faltantes de botellas de ron de vidrio en la línea de producción

Se pudo notar la directriz bajo el círculo de Deming presentado en el trabajo a través de la resolución a un problema que se presentaba en la línea. Esto reflejó una oportunidad de mejora que se vio resuelta con la ayuda de la tecnología e ingeniería aplicados en la solución. Asimismo, este sistema fue al base para otro proceso de mejora continua pues en la implementación se observó que puede mejorar el porcentaje de precisión ya obtenido inicialmente.

Tabla VI. **Impacto financiero y precisión del sistema diseñado**

Disminución de devolución de lotes	Valor monetario de disminución de lotes / mes	Precisión sistema diseñado	Errores en inspección por pestaña cerrada
94 %	Q. 11,600.00	95 %	4.72

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis interno

A continuación, se hace un análisis de los éxitos y problemas encontrados durante la investigación.

Un fracaso de la investigación fue no lograr eliminar totalmente el costo por devolución de lotes por faltantes de productos. Esto se debe a que el sistema a pesar de brindar una reducción del 94 % de los lotes devueltos, no contemplaba otros detalles que interferían con la inspección. De forma más específica, este radicó en el alcance que se definió para el proyecto, en donde se acordó proporcionar un sistema que realizara la inspección, sin embargo, posterior a la implementación, se notó que también sería necesario incorporar un sistema mecánico que permita la apertura total de las cajas ya que aproximadamente un 4.75 % de fallas durante la inspección del producto se producen debido a que las pestañas de la caja interrumpen la imagen tomada para análisis.

Otro problema encontrado fue la gran variedad de productos que circulan por esta línea ya que son 17 tipos con cantidad distinta de botellas en caja y con tapas de distintos colores. Esto restringía la iluminación y tipo de receta a correr dependiendo de la producción del día. Necesitando crear recetas distintas para cada producto y cargarlas de forma manual al iniciar el turno de producción.

Por último, durante la fase de implementación, se encontró que no todos los trabajadores estaban en disposición de aprender a crear y modificar receta, notando con las pocas personas que aprendieron que es un proceso que se les

dificulta un poco y que, durante un tiempo, necesitarían apoyo remoto y entrenamiento extendido para ayudarles a familiarizarse con todas las prestaciones que puede ofrecer el nuevo equipo.

Un éxito en la implementación fue que se pudo implementar el sistema sin necesidad de modificar ninguna estructura ya operativa en la planta, ni integrarla a ningún equipo que demandara un paro de producción. Esto mostró la gran versatilidad y facilidad de implementación del nuevo sistema.

El mayor éxito es que se han reducido los costos por devolución de lotes debido a faltantes desde el primer mes de operación del sistema. Esta disminución ha sido constante y los operadores se han familiarizado con su uso. Sin embargo, no se alcanza la eliminación completa de dichos costos por lo que será necesario que la empresa brinde el seguimiento para optimizar el sistema.

3.2. Análisis externo

Se detallan las similitudes y diferencias de este trabajo con los antecedentes de implementación de un sistema de inspección electrónico.

Se puede considerar que un sistema de inspección tiene como base o núcleo una cámara o sensor óptico para realizar dicha tarea. Esto se ve confirmado por Bradshaw (1992) quien utilizó una cámara CCD para control de productos textiles y obtuvo resultados similares a este trabajo, aunque con un tiempo de inspección más prolongado ya que estaba restringido por la velocidad de los procesadores de ese tiempo.

En los primeros 4.8 meses de utilización del equipo, ya la empresa había recuperado lo invertido acorde a los resultados. Este mismo hecho es remarcado

por el sistema implementado por Lledó (2007), que trabajó en una planta de producción de pizzas y en el que él mismo nos indica que era altamente necesario considerar los costos de implementación y del equipo a utilizar para que no fuera sobredimensionado para la labor a realizar. Esto se cumplió en este trabajo ya que no utilizamos robots ni equipos avanzados sino un equipo básico que funcionara acorde a las características del producto y de la línea estudiada.

Del mismo modo, se puede notar una semejanza en la rentabilidad del sistema comparado con la investigación desarrollada por Yax (2009), en la que implementó un sistema de control electrónico a través de un PLC y recuperó la inversión en 0.20 años. Sin embargo, en este trabajo el tiempo de retorno de la inversión fue de 5.84 meses, casi el doble de tiempo, pero con similares resultados pues ambos fueron rentables.

Analizando el sistema implementado y su incorporación a la línea de producción, se puede notar la similitud con el implementado por Romero (2010) en el que aumentó la productividad de una línea a través del enfoque en los tiempos de parada en la llenadora, considerándolo el cuello de botella. Esto es diferente a nuestro equipo pues se está implementando en distinta zona de la línea, pero ambos deben de cumplir con tiempos de respuesta muy específicos para reducir los tiempos de parada y provocar cuellos de botella. En nuestro caso el equipo demora 1.5 segundos por caja inspeccionada.

Las tecnologías modernas permiten la implementación de equipos con distintas prestaciones que hacen rentable la inversión. En el caso de Turpín (2011), él implementa el sistema con cámara y un software desarrollado por él mismo lo cual resulta en un ahorro para la empresa. En nuestro caso la inversión fue más alta pero el sistema contaba con los mismos elementos que el implementado por él.

La disminución de costos se puede dar incluso durante el desarrollo para hacer que el retorno de la inversión sea más pronto. Esto fue lo demostrado por Platero (2015) cuando él realizó absolutamente todo el proceso para desarrollar el sistema incluyendo el cálculo de lentes a utilizar y análisis estadísticos y matemático del ángulo y estructura a utilizar. Esto difiere con nuestro sistema pues los proveedores ofrecen aplicaciones que realizan estos cálculos de forma automática y ya solo es de solicitar los accesorios y el equipo sugerido por ellos. Esto termina siendo más costoso, pero ahorra tiempo de investigación e implementación.

CONCLUSIONES

1. Se describió el proceso de control de calidad del embalaje que estaba en funcionamiento previo a la implementación y se indicó el punto con mayor incidencia de fallo en la inspección, siendo este el localizado en la salida de la encajonadora que presentó un 98 % de fallas por caída de botella y 2 % por caja en mal estado.
2. Se analizaron los costos debido a la devolución de lotes, teniendo un promedio mensual de Q. 12,600.00 aproximadamente y que generan problemas también para las áreas de almacenaje, reprocesamiento y redistribución.
3. Se diseñó un sistema básico y de bajo costo que contabiliza el producto dentro de la caja a través de la identificación de patrones circulares, con una velocidad de inspección inferior a 1.5 segundos y con una alarma sonora-visual para notificar un faltante detectado.
4. Se evaluó el impacto financiero después de la implementación del sistema, mostrando que los costos por devolución de lotes disminuyeron un 94 % que representan aproximadamente Q. 11,900.00 mensualmente. Esta inversión se recuperó en 4.8 meses y la precisión del sistema diseñado fue del 95 %.

RECOMENDACIONES

1. Continuar analizando el sistema de control del embalaje en funcionamiento para incorporar mayor tecnología en el proceso y disminuir la incidencia humana en dicha tarea.
2. Establecer un procedimiento escrito para tener una guía sobre cómo manejar los lotes devueltos por clientes internacionales y que puedan disminuir sus efectos en el almacenamiento y redistribución, evitando así demoras y complicaciones para los supervisores de área.
3. Evaluar la incorporación de un actuador neumático y una banda transportadora paralela para realizar el rechazo de forma automática, desligando al operador de esta responsabilidad y brindándole más autonomía al sistema.
4. Analizar la necesidad de incorporar al sistema una estructura mecánica que pueda garantizar la apertura completa de las cajas antes de inspeccionarlas ya que se están presentando errores en la clasificación debido a las pestañas que en ocasiones no deja libre las tapas. Tomando en consideración la viabilidad de realizar la inversión en 2022 ya que el alto índice inflacionario promedio de mayo, junio y julio ascendió a 7.24 por lo que esta sería la tasa mínima exigida a la nueva inversión para el cálculo del valor actual neto y tasa interna de retorno.

REFERENCIAS

1. Abac, A. (2015). *Propuesta de aplicaciones de sensores para la industria y características de sensores* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
2. Alcaraz, R. (2005). *El emprendedor de éxito. Guía de planes de negocio*. México: McGraw-Hill.
3. Anzil, F. (2010). *La industria de software y servicios informáticos*. Argentina: Econlink. Recuperado de: <http://www.econlink.com.ar/cluster-software/industria>.
4. Baca, G. (2001). *Evaluación de proyectos*. México: McGraw-Hill.
5. Bolaños, R. (2015). *Bebidas han tenido una década de cambios*. Guatemala: Autor.
6. Bolten, S. (1994). *Administración financiera*. México: Limusa.
7. Bradshaw, M. (1992). *Machine vision inspection of web textile fabric*. Londres: Springer. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-3201-1_23.
8. Carretero, F. (2006). *Innovación tecnológica en la industria de bebidas*. Barcelona, España: Universiada Politècnica de Catalunya.

9. Cerno, L. (2012). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Madrid, España: Autor. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/Leo71/evaluacin-financiera-de-proyectos-de-inversin>.
10. Chang, R. (1999). *Las herramientas para la mejora continua de la calidad*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Granica.
11. Dorante, J. (2004). *Automatización y control, prácticas de laboratorio*. México: McGraw-Hill.
12. Eskalza, X. (2012). *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales*. España: Autor.
13. Fred, J. y Eugene, F. (1994). *Fundamentos de administración financiera*. México: McGraw-Hill.
14. González, R. (2008). *Digital image processing*. Estados Unidos: Pearson Education, Inc.
15. Gonzáles, R. (2004). *Elaboración de planes de negocios*. México: McGraw-Hill.
16. Gutiérrez, S. (2014). *Control de calidad en la producción industrial*. España: Universidad de Valladolid.
17. Harper, G. (2004). *Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas*. México: Limusa Noriega Editores.

18. Harper, G. (2003). *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales*. México: Limusa Noriega Editores.
19. Herrero, I. (2007). *Control de blísters mediante visión artificial*. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
20. Huges, A. (2002). *Measurement and control basics*. Estados Unidos: ISA Press.
21. Herrera, K. (2009). *Herramientas para la mejora de la calidad*. España: Autor.
22. Iturrioz, J. (2014). *Tasa Interna de retorno modificada*. España: Expansión. Recuperado de <http://www.expansion.com/diccionario-economico/tasa-interna-de-retorno-modificada.html>.
23. Jiménez, R. (2012). *Plan de inversiones*. España: Jóvenes Empresarios. Recuperado de <http://www.ajeasturias.com/wp-content/uploads/2014/04/plan-de-inversiones-economico-financiero.pdf>.
24. Kaufleitner, F. (2017). *B&R International. X20 User's manual*. Estados Unidos: Autor.
25. Kuo, C. (1996). *Sistemas de control automático*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
26. Lledó, G. (2007). *Automatización de una planta industrial*. España: Universidad de Alicante.

27. Longenercher, M. (2007). *Administración de pequeñas empresas: enfoque emprendedor*. México: Thomson.
28. Loreto, M. (2013). *Principales tendencias de las bebidas alcohólicas en mercados de América*. México: Autor.
29. Mandado, E. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. España: Marcombo.
30. Martínez, R. (2011). *Sensores*. México: Autor.
31. Mintzberg, H. (1997). *El proceso estratégico: conceptos, contextos y casos*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
32. Molinaro, A. (2013). *Arquitectura de un procesador*. Guatemala: Autor.
Recuperado de <https://arquitcomputadoras.wordpress.com/2013/05/28/arquitectura-de-un-procesador/>.
33. Morales, A. (2009). *Proyectos de inversión: evaluación y formulación*. México: McGraw-Hill.
34. Moreno, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
35. Moreno, J. (2015). *Los países que más beben en América Latina: la dramática radiografía del consumo de alcohol en la región*. Estados Unidos: Autor.

36. Nuchera, A. (1999). *La gestión de la tecnología como factor competitivo*. España: Autor.
37. Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. España: Pearson Educación, S.A.
38. Pascual, R. (1988). *Planificación y rentabilidad de proyectos industriales*. España: Marcombo.
39. Pérez, O. (2009). *Automatización de cuartos fríos para ahorro energético*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
40. Pérez, M. (2014). *Control de calidad: técnicas y herramientas*. España: RC Libros.
41. Platero, C. (2015). *Inspección automatizada de superficies homogéneas mediante visión artificial con aportes al reconocimiento de formas*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
42. Porro, A. (2016). *Microprocesadores: arquitectura de un microprocesador*. España: Autor.
43. Ramírez, E. (1986). *Introducción a los microprocesadores: equipo y sistemas*. México: Limusa.
44. Revelo, E. (2010). *VAN-TIR*. España: Autor.

45. Roldán, J. (2011). *Automatismos industriales*. España: Ediciones Paraninfo.
46. Romero, V. (2010). *Aumento de productividad en línea de envasado de la planta Los Cortijos de Cervecería Polar*. Venezuela: Universidad Simón Bolívar.
47. Sanchis, E. (2002). *Sistemas electrónicos digitales: fundamentos y diseño de aplicaciones*. España: Universidad de Valencia.
48. Sapag, N. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Colombia: McGraw-Hill.
49. Sejzer, R. (2015). *Plan de acción para la gerencia. Los 14 puntos de Deming*. España: Autor.
50. Smith, C. (1995). *Control automático de procesos*. México: Limusa.
51. Solís, J. (2016). *Control de calidad*. México: Autor.
52. Teledyne, D. (2010). *Boa Smart Vision System Installation Manual*. Canadá: Autor.
53. Tocci, R. (2003). *Sistemas digitales: principios y aplicaciones*. México: Pearson Educación.
54. Turpín Aroca, J. (2011). *Desarrollo de un sistema de inspección visual automatizado para una línea de envasado de morteros industriales*. Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.

55. Valencia, P. (2003). *Gestión de costes y mejora continua: los sistemas de costes y de gestión basados en las actividades*. Francia: Desclée de Brower.
56. Villar, M. (1974). *Introducción a la automatización industrial*. Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LINEA DE PRODUCCIÓN 2		
PROBLEMA	OBJETIVOS	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN
Problema principal	General	Pregunta general
Altos costos generados por la devolución de lotes debido a faltantes de botellas dentro del producto enviado al cliente.	Evaluar el impacto financiero en el proceso de control de calidad del embalaje debido al diseño de un sistema electrónico para detección de faltantes de botellas de ron de vidrio en la línea de producción	¿Cuál será el impacto económico presentado en el sistema de control de calidad del embalaje al implementar un sistema de inspección electrónico?
Problemas secundarios	Específico	Preguntas específicas
Deficiencias en el sistema de control de calidad del embalaje en funcionamiento que permite que se generen los problemas de faltantes dentro de las cajas de producto terminado.	¿Cómo se encuentra el proceso que está en funcionamiento antes de la implementación del sistema, identificando cuál es el punto con mayor incidencia de fallos de inspección en la línea de producción número dos con el sistema en funcionamiento, previo a la implementación?	Describir el proceso de control de calidad del embalaje que está en funcionamiento previo a la implementación, indicando el punto con mayor incidencia de fallo en la inspección de producto en la línea número dos de botellas de ron de vidrio.
El valor monetario que representa la devolución de lotes para la empresa y qué otras áreas se ven afectadas por este mismo problema.	¿Cuáles son los costos y problemas generados de la devolución de lotes con el sistema de control de calidad funcionando en este momento previo al diseño e implementación del sistema electrónico?	Analizar los costos y problemas que genera la devolución de lotes de parte de clientes debido a faltantes de producto previo a la instalación del sistema para el diseño de un sistema acorde a dichas características.

Continuación apéndice 1.

Cómo se pueden disminuir o eliminar estos costos de forma que pueda ser una solución económica para la empresa y que cuente con soporte local	¿Cuál es el porcentaje de disminución de costos y su respectivo valor monetario, por devoluciones de lotes luego de implementar el sistema de inspección electrónico?	Determinar el porcentaje de disminución de devolución de lotes y su respectivo valor monetario, posteriores a la implementación del sistema de inspección electrónico.
---	---	--

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 2. Matriz de consistencia

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL IMPACTO FINANCIERO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DEL EMBALAJE DEBIDO AL DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA DETECCIÓN DE FALTANTES DE BOTELLAS DE RON DE VIDRIO EN LINEA DE PRODUCCIÓN 2		
RESULTADOS	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
Se obtuvo una disminución de devolución de lotes del 94 % con un punto de equilibrio de 4.8 meses. El ahorro mensual es de Q. 11 900.	Se evaluó el impacto financiero en la devolución de lotes de producto debido a la implementación de un sistema de detección de faltantes de botella.	Se sugiere seguir analizando el sistema de control de calidad del embalaje para encontrar puntos en los que se puedan implementar sistemas tecnológicos.

Continuación apéndice 2.

Se observó que se contaba con cuatro puntos de inspección de calidad del embalaje, teniendo automatizados únicamente la mitad de ellos. El punto con mayor incidencia de fallo se encontraba en la salida de la encajonadora que representaba el 100 % para embalar el producto completo dentro de las cajas debido a caídas o mal posición de botellas.	Se describió el proceso de control de calidad del embalaje que estaba en funcionamiento previo a la implementación y se indicó el punto con mayor incidencia de fallo en la inspección, siendo este el localizado en la salida de la encajonadora que presentó un 98 % de fallas por caída de botella y 2 % por caja en mal estado.	Se recomienda seguir analizando el sistema de control del embalaje en funcionamiento para incorporar mayor tecnología en el proceso y disminuir la incidencia humana en dicha tarea.
Se encontró que el costo promedio por retorno de lotes es de Q 12 600.00 mensuales. Por lo que los problemas que generaba eran: los costos de retorno del lote, el almacenaje nuevamente de dicho producto, su reproceso y su redistribución en el mercado.	Se analizaron los costos debido a la devolución de lotes, teniendo un promedio mensual de Q 12,600.00 aproximadamente y que generan problemas también para las áreas de almacenaje, reprocesamiento y redistribución. de dicho problema y el valor monetario promedio mensual que representa la devolución de lotes para la empresa junto a los problemas secundarios generados por esta.	2. Establecer un procedimiento escrito para tener una guía sobre cómo manejar los lotes devueltos por clientes internacionales y que puedan disminuir sus efectos en el almacenamiento y redistribución, evitando así demoras y complicaciones para los supervisores de área.

Continuación apéndice 2.

Se diseñó un sistema basado en una cámara inteligente que cuenta con sus propias E/S digitales y sus protecciones y características de robustez para funcionamiento en entorno industrial. Este sistema cuenta con la velocidad de inspección de alrededor de 1.2 segundos para las cajas con 24 botellas por lo que no representa un cuello de botella para la línea.	Se diseñó un sistema básico y de bajo costo que contabiliza el producto dentro de la caja a través de la identificación de patrones circulares, con una velocidad de inspección inferior a 1.5 segundos y con una alarma sonora-visual para notificar un faltante detectado.	Evaluar la incorporación de un actuador neumático y una banda transportadora paralela para realizar el rechazo de forma automática, desligando al operador de esta responsabilidad y brindándole más autonomía al sistema.
Los costos por devolución de lotes disminuyeron un 94 %, representando mensualmente un valor promedio de Q. 11 900 mensuales. El retorno de inversión se obtuvo en 4.8, 0.2 meses más de lo estipulado inicialmente.	Se evaluó el impacto financiero después de la implementación del sistema, mostrando que los costos por devolución de lotes disminuyeron un 94 % que representan aproximadamente Q 11,900.00 mensualmente. Esta inversión se recuperó en 4.8 meses y la precisión del sistema diseñado fue del 95 %. electrónico, mostrando los indicadores financieros para demostrar si la inversión fue rentable y cuánta mejora representó para la empresa.	Analizar la necesidad de incorporar al sistema una estructura mecánica que pueda garantizar la apertura completa de las cajas antes de inspeccionarlas ya que se están presentando errores en la clasificación debido a las pestañas que en ocasiones no deja libre las tapas.

Continuación apéndice 2.

	Tomando en consideración la viabilidad de realizar la inversión en 2022 ya que el alto índice inflacionario promedio de mayo, junio y julio ascendió a 7.24 por lo que esta sería la tasa mínima exigida a la nueva inversión para el cálculo del valor actual neto y tasa interna de retorno.
--	--

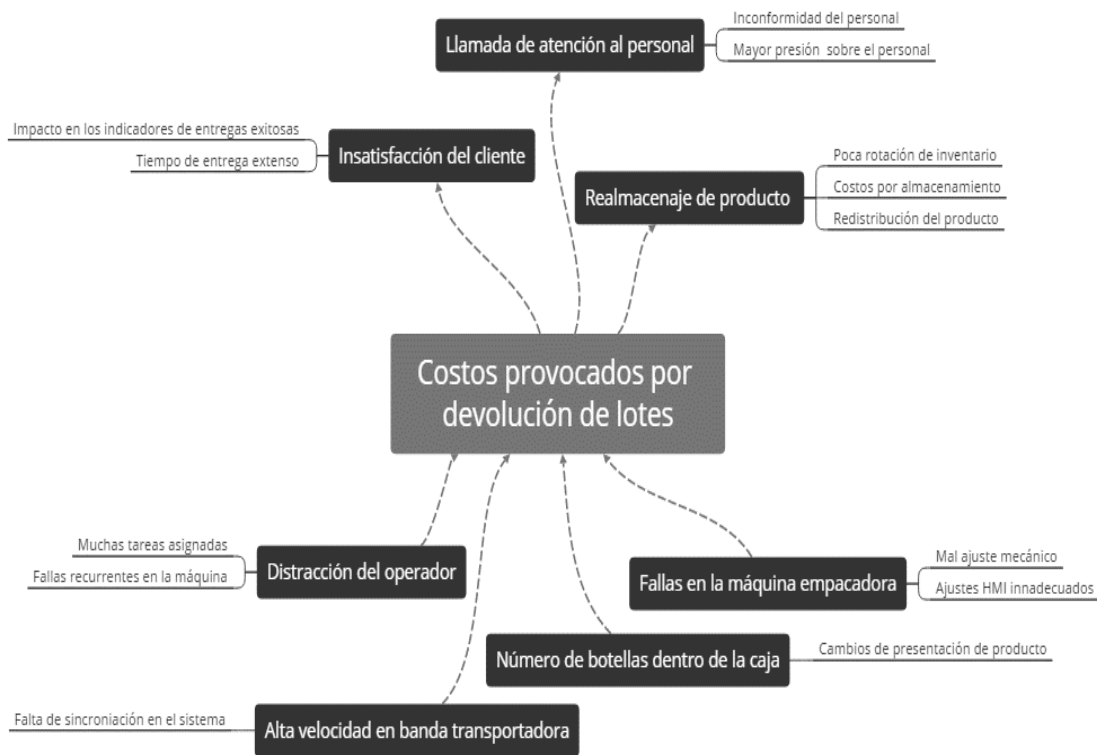
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 3. Hoja de recolección de datos

TOMA DE DATOS DEVOLUCIONES			
Número de cajas producidas por día promedio			
Número de cajas producidas últimos 6 meses			
Número de devoluciones presentadas último semestre			
Número de lotes devueltos último 6 meses			
Costos totales por devoluciones últimos 6 meses			
Costo promedio por mes por devolución de lotes			
Tiempo de circulación entre cajas en banda transportadora			
Incide el tipo de caja en el tiempo de circulación	Tiempo Sí No		
Cuál es el tipo de botella que más fallas produce	375 mL	750 mL	1000 mL
# de operadores asignados a inspección previo al sistema			
Velocidad promedio de la máquina empacadora			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 4. Diagrama de árbol del problema



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.