



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS

Diseño e implementación de un sistema de trazabilidad de productos con tecnología RFID para una empresa manufacturera metalmecánica ubicada en San Luis Potosí, S.L.P.

Que para obtener el grado de:

Maestro en Planeación Estratégica e Innovación

Presenta:

Oscar Alejandro Galván Miranda

Asesor:

Dr. Héctor Méndez Azúa



San Luis Potosí, S. L. P.

Febrero 2024



16 de noviembre de 2023

**ING. OSCAR ALEJANDRO GALVÁN MIRANDA
P R E S E N T E**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por el **Dr. Héctor Méndez Azúa**, Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 16 de noviembre del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

“Diseño e implementación de un sistema de trazabilidad de productos con tecnología RFID para una empresa manufacturera metalmecánica ubicada en San Luis Potosí, S.L.P.”

Introducción.

1. Importancia de la trazabilidad en los procesos de producción
2. Diseño de un sistema de trazabilidad basado en tecnología RFID para la empresa en cuestión
3. Implementación y validación del sistema de trazabilidad propuesto
4. Análisis y discusión de resultados

Conclusiones

Referencias

“MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO”

A T E N T A M E N T E

DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR



Copia. Archivo
*etn.

www.uaslp.mx

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria - CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al 39
fax (444) 826 2336

“UASLP, más de un siglo educando con autonomía”



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área de Investigación y Estudios de Posgrado

Aclaración

El presente trabajo que lleva por título:

Diseño e implementación de un sistema de trazabilidad de productos con tecnología RFID para una empresa manufacturera metalmecánica ubicada en San Luis Potosí, S.L.P.

se realizó en el periodo enero de 2021 a diciembre de 2023 bajo la dirección del Dr. Héctor Méndez Azúa.

Originalidad

Por este medio aseguro que he realizado este documento de tesis para fines académicos sin ayuda indebida de terceros y sin utilizar otros medios más que los indicados.

Las referencias e información tomadas directa o indirectamente de otras fuentes se han definido en el texto como tales y se ha dado el debido crédito a las mismas.

El autor exime a la UASLP de las opiniones vertidas en este documento y asume la responsabilidad total del mismo.

Este documento no ha sido sometido como tesis a ninguna otra institución nacional o internacional en forma parcial o total.

Se autoriza a la UASLP para que divulgue este documento de Tesis para fines académicos.

Nombre y Firma del autor

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a:

A mi padre Gregorio y a mi madre Maribel por sembrar en mi la necesidad de predicar con el ejemplo y de transmitir lo que se tiene que transmitir para llegar al bien común.

A mis hermanos David y Pablo, por expresarme el cariño y la importancia de estar presente cuando se tiene que estar presente.

Al amor de mi vida Yuzari, porque cuando el amor y el apoyo ha sido tan incondicional, se pueden conseguir los puntos más inimaginables, el núcleo que te hace sentir fuerte.

Al Atlético de Madrid, porque caer y levantarse forma parte del camino, seguir luchando y celebrar lo que eres.

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo no hubiera sido posible sin la contribución especial de cada persona que ha dejado su experiencia, conocimiento y lo más valioso, su tiempo. Agradezco a cada una por creer en una idea y defenderla como si fuera suya.

Gracias al Dr. Héctor Méndez Azúa por acompañarme en estos casi tres años de estudio, analizando y poniendo orden a cada una de las ideas con respecto a este proyecto.

Agradezco al Dr. Baudel Lara Lara y al Dr. Gylmar Mariel Cárdenas por el tiempo dedicado y el conocimiento compartido como sinodales de esta tesis.

Gracias a Rogelio Dávalos, Gerardo Grimaldo y a José Luis Rojas por el apoyo incondicional para tener la dedicación y la libertad de poder desarrollar este trabajo, sin su colaboración no se hubiera tenido la oportunidad de culminar este proyecto.

Doy las gracias a una persona que me acompaña en cada momento, dedicando su tiempo y su amor para que se tenga la certeza de que toda irá bien, muchas gracias Yuzari Dávila por darme la sabiduría en los momentos en donde más se necesitaba y por las fuerzas cuando estas parecían claudicar.

Contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Importancia de la trazabilidad en los procesos de producción.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación.....	9
1.2.1 Beneficios esperados para la empresa:	9
1.2.2 Beneficios esperados para el sector manufacturero	10
1.3 Objetivos e hipótesis.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.3.3 Hipótesis	11
1.4 Problemática	12
1.5 Marco teórico.....	14
1.5.1 Marco referencial	14
1.5.2 Marco tecnológico	16
1.5.2 Marco Metodológico.....	27
1.6 Alcance	31
1.7 Limitaciones	32
Capítulo 2. Diseño de un sistema de trazabilidad basado en tecnología RFID para la empresa en cuestión.....	34
2.1 Planteamiento metodológico.	34
2.2 Propuesta metodológica.....	36
2.2.1 Diagnóstico preliminar.....	38

2.2.2 Estrategia para elección de sistema.....	39
2.2.3 Diseño conceptual del sistema de trazabilidad.	41
2.2.4 Aplicación de prototipo en área de prueba.	42
2.2.5 Etapa de evaluación	42
2.2.6 Etapa de ajustes.....	43
2.3 Herramientas para la ejecución de las etapas	43
2.3.1 Diagnóstico preliminar.....	43
2.3.2 Elección de herramienta.....	48
2.3.3 Diseño del sistema.	48
2.3.4 Resumen de herramientas a usar.....	51
2.4 Indicadores de evaluación	52
2.5 Plan de implementación.....	53
Capítulo 3. Implementación y validación del sistema de trazabilidad propuesto.	54
3.1 Diagnostico preliminar	54
3.1.1 Descripción del proceso actual.	54
3.1.2 Análisis de sistema de trazabilidad actual.	64
3.1.3 Detección de las necesidades del cliente	66
3.1.4 Indicadores/métricas del sistema actual.....	68
3.1.5 Análisis de fuerzas de oposición.....	72
3.1.6 Elección del área de aplicación.....	73
3.1.7 Análisis de la situación	76
3.2 Estrategia de la selección de la tecnología para trazabilidad.....	80
3.3 Diseño.....	84
3.3.1 Diseño de una salida efectiva.....	84
3.3.2 Diseño de una entrada efectiva	87

3.3.3 Diseño de base datos.....	92
3.3.4 Diseño conceptual del sistema de trazabilidad.....	96
3.4 Aplicación de prototipo	97
3.5.1 Etapa 1: Impresión de etiqueta del producto.....	98
3.5.2 Etapa 2: Registro de información a través de la etiqueta.....	105
3.5.3 Etapa 3: Administración de información y visualización	111
3.5.4 Capacitación.....	117
Capítulo 4. Análisis y discusión de resultados.....	119
4.1 Tiempo de búsqueda y actualización de la ubicación de los productos.	119
4.2 Confiabilidad de los datos.	129
4.3 Usabilidad en la gestión de los recursos.....	132
4.4 Ajustes del sistema.	135
Conclusiones.	138
Referencias	140

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.- Ejemplo de los muebles de acero inoxidable fabricados en la empresa objeto de estudio. Fuente: HK Catalogo 2021	3
Ilustración 2.-Diagrama de procesos por el cual está dividida la planta.	4
Ilustración 3.-Ejemplo del tipo de interfaz donde se muestra la ubicación de la unidad en proceso.	6
Ilustración 4.-Diagrama del proceso de trazabilidad actual.	7
Ilustración 5.-Imagen de un código de barras.	17
Ilustración 6.-Figura de un código QR.....	17
Ilustración 7.-Cuadro recopilatorio de los componentes de un sistema de código de barras.....	18
Ilustración 8.-Componentes de un sistema RFID,.....	20
Ilustración 9.-Imagen de una etiqueta de RFID,	21
Ilustración 10.-Componentes de un sistema de WSN.....	23
Ilustración 11.-Componentes de un sistema GPS,	25
Ilustración 12.-Estructura de un sistema de trazabilidad agrícola a través de IoT,.....	28
Ilustración 13.-Modelo de trabajo para la implementación de un sistema de trazabilidad.	29
Ilustración 14.-Modelo de la metodología para el diseño de un sistema de trazabilidad.....	37
Ilustración 15.-Diagrama de Gantt del Plan de implementación de la metodología. Fuente: Propia	53
Ilustración 16.-Diagrama de las áreas productivas de la empresa.....	56
Ilustración 17.-Diagrama de proceso por producto.	58
Ilustración 18.-Mapa de flujo de valor para productos generales.	60
Ilustración 19.- Mapa de flujo para productos eléctricos.....	61
Ilustración 20.-Diagrama de flujo para productos refrigerados.	62
Ilustración 21.-Diagrama de flujo para productos con tarjas y limpieza.	63
Ilustración 22.-Diagrama de flujo de valor: Proceso de seguimiento.	65
Ilustración 23.-Diagrama de información en la salida del nuevo Sistema de Trazabilidad.	85
Ilustración 24.-Diagrama de agrupación de datos y secuencia.	89
Ilustración 25.-Ruta de captura de información.	90

Ilustración 26.-Diagrama conceptual de la base de datos.	93
Ilustración 27.-Diseño lógico de la base de datos preliminar.	94
Ilustración 28.-Diseño físico de base de datos.	95
Ilustración 29.-Diagrama conceptual del proceso de trazabilidad.	96
Ilustración 30.-Formato de la etiqueta para la identificación del producto.....	100
Ilustración 31.-Diagrama de proceso para la definición del proceso de identificación del producto en proceso.....	102
Ilustración 32.-Diagrama de flujo de la operación de la colocación de etiqueta al producto. Fuente: Propia.	103
Ilustración 33.-Punto de impresión colocado en el área de programación.....	104
Ilustración 34.-Diagrama de flujo para la implementación de los puntos de captura.	105
Ilustración 35.-Área de maquinados con la identificación de subáreas y el flujo del proceso.....	107
Ilustración 36.- Área de maquinados con los puntos de concentración de productos.....	108
Ilustración 37.-Proceso para instalación de puntos de captura.....	110
Ilustración 38.-Puerto de captura de información en el área de doblez.	110
Ilustración 39.-Interfaz de ajuste de las antenas RFID.....	111
Ilustración 40- Diagrama de la estructura de la plataforma del sistema de trazabilidad.....	114
Ilustración 41.-Página principal del sistema de trazabilidad.....	116
Ilustración 42.-Pagina de resumen general de los productos en proceso.	116
Ilustración 43.-Pagina de consulta de los productos en el área de doblez.	117
Ilustración 44.- Capacitación del sistema de trazabilidad a un equipo de trabajo.	118
Ilustración 45.-Gráfico comparativo del tiempo de ubicación de productos, comparando los sistemas de trazabilidad.....	125
Ilustración 46.-Gráfica de ahorro acumulado mensual. Proyectado a 9 meses.....	128
Ilustración 47.- Proceso de obtención de comprobación de la ubicación de los productos	129
Ilustración 48.-Gráfica de resultados de auditoría de confiabilidad de datos.	130
Ilustración 49.- Gráfico de comparación de la confiabilidad entre los sistemas de trazabilidad.	131

Índice de tablas

Tabla 1.-Tabla comparativa de las tecnologías más usadas en los sistemas de trazabilidad. Fuente: Propia	26
Tabla 2.- Tabla comparativa de las tecnologías utilizadas en un sistema de trazabilidad.	30
Tabla 3.-Rangos de lectura de las diferentes etiquetas RFID.	31
Tabla 4.-Ejemplo de evaluación de áreas de acuerdo con los criterios para la elección de área. ..	47
Tabla 5.-Concentrado de herramientas a utilizar por etapa.....	51
Tabla 6.-Descripción de las áreas productivas de la empresa.	57
Tabla 7.-Resumen de tiempos de los productos fabricados en la empresa.	63
Tabla 8.-Información requerida del producto por área.	67
Tabla 9.-Reportes requeridos por cada área productiva.....	67
Tabla 10.-Factores para medición del sistema de trazabilidad.....	68
Tabla 11.-Secuencia de actividades para consulta de ubicación en sistema de trazabilidad actual.	69
Tabla 12.-Estudio de tiempos de la ubicación de las unidades con Sistema de trazabilidad actual.	70
Tabla 13.-Toma de tiempos de ubicación de producto	70
Tabla 14.-Valor de los criterios de selección de área.....	74
Tabla 15.-Tabla de evaluación de áreas.	74
Tabla 16.-Tabla de evaluación del área de Maquinado.....	75
Tabla 17.-Clasificación para clasificación de áreas.	75
Tabla 18.-Tabla de ponderación de criterios para selección de herramienta	82
Tabla 19-Matriz de ponderación para la selección de la herramienta del sistema de trazabilidad.	83
Tabla 20.-Ponderación de las tecnologías para la elección.	83
Tabla 21.-Características de los datos de entrada del sistema.....	88
Tabla 22.-Detalles de la información ingresada al sistema por medio RFID.	89
Tabla 23.-Listado de procesos para captura de información por cada punto.	91
Tabla 24.- Características generales de la etiqueta.	100
Tabla 25.-Características técnicas de la etiqueta.....	101
Tabla 26.-Listado de actividades para la operación de identificación de producto.	104

Tabla 27.-Listado de puertos requeridos para el área de maquinados.	109
Tabla 28.-Listado de componentes requeridos para los puertos RFID.	109
Tabla 29.- Características específicas para la salida del sistema de trazabilidad.....	113
Tabla 30.- Listado de usuarios y accesos de la plataforma del sistema de trazabilidad.....	115
Tabla 31.- Tabla de resultados de toma de tiempos departamento de Producción.	121
Tabla 32.-Tabla de resultados de toma de tiempos departamento de Calidad.	121
Tabla 33.-Tabla de resultados de toma de tiempos departamento de Planeación.....	122
Tabla 34.-Tabla de resultados de toma de tiempos del área de ingeniería.....	122
Tabla 35.-Tabla de resultados de toma de tiempos del área de Logística.....	123
Tabla 36.-Tabla de resultados de toma de tiempos del área de Ventas.....	123
Tabla 37.-Promedio general de ubicación de productos de los departamentos evaluados.	124
Tabla 38.-Tabla comparativa de actividades de seguidores de producto.....	125
Tabla 39.-Comparación de costo mensual entre Sistema de trazabilidad antiguo, contra el nuevo.	126
Tabla 40.-Desglosé de costos para la instalación del Sistema de trazabilidad.....	127
Tabla 41.-Estructura de la encuesta aplicada a los encargados de proceso.....	133
Tabla 42.-Resultados de la encuesta realizada en la empresa sobre el sistema de trazabilidad...	134
Tabla 43.-Tabla de aceptación por pregunta en la encuesta sobre el sistema de trazabilidad.....	134

Introducción

En la actualidad, la trazabilidad tiene un rol importante en empresas de manufactura, donde se utilizan los registros de los procesos o de las cadenas de suministros para la asignación de los recursos. El sector manufacturero apuesta por agilizar la captura de información y monitoreo del proceso para identificar anomalías y, con ello, poder asignar los recursos correspondientes en las diferentes situaciones, teniendo consigo mejoras al momento de la administración en los procesos productivos (Duarte, Iñiguez, & Dessens, 2019). Para llevar a cabo un registro de información de manera rápida y flexible, en el mercado hay nuevas opciones como; el escaneo de código de barras, RFID (Identificación por radiofrecuencia), puertos Bluetooth y GPS (Sistema de posicionamiento global) que, en conjunto con el avance de la industria 4.0, ofrecen soluciones al momento de automatizar la trazabilidad de cualquier producto (A. López, 2021).

En la literatura consultada sobre trabajos relacionados con la trazabilidad, existen diversos ejemplos en la industria alimentaria, en el farmacéutico y en tipos de producción en serie donde se implementa o automatiza un sistema de trazabilidad, teniendo como enfoque solamente la selección de la herramienta de captura. En los trabajos no se mostraban estrategias para identificar la información requerida por el usuario, como colocar los puntos de captura para tipos de producción donde los productos tienen diferentes procesos y esto complica incluso la selección de la herramienta. La razón que impulsó este trabajo fue la idea de desarrollar una estrategia que permita la creación de un sistema de trazabilidad en un tipo de producción basado en proyectos, donde se contemple un análisis de la situación y de los elementos del ambiente para poder diseñar el sistema de trazabilidad acorde a las necesidades del usuario.

En esta tesis se abordarán las etapas necesarias para implementar un sistema de trazabilidad capaz de mantener informado al usuario sobre la ubicación de los productos en un proceso de fabricación. Este sistema se aplicará en una empresa manufacturera con un tipo de producción basado en proyectos, donde los productos fabricados tienen un tiempo en proceso variado y los modelos son muy diferentes entre sí. Esto implica un reto, ya que la actualización de la ubicación tiene que ser enfocada a cada producto y, para un proceso de captura manual, implica una inversión de tiempo significativo. Al inicio de este trabajo se categorizará por familia de productos y se definirán tipos de proceso con el fin de que el sistema capture la información de una manera óptima.

Posteriormente, se identificará los requerimientos de los usuarios y del proceso de manufactura, para considerarlos en la elección del equipo que se utilizará para la captura de información. La elección del equipo se hará bajo el uso de una herramienta que asegure la calidad en el diseño del sistema. Después de la elección, se llevará a cabo una metodología para diseñar e implementar los componentes del sistema, como lo son el sistema de entrada de información, la salida de la información y el equipo de captura. Al finalizar este trabajo, se espera que el sistema de trazabilidad cumpla con el impacto proyectado por los clientes del sistema y se evaluará para determinar los beneficios obtenidos. Esto permitirá que el lector de esta tesis pueda consultar la estrategia aquí mostrada, para llevar a cabo un diseño y una implementación de un sistema de trazabilidad, cuando no se tiene una base sólida de un sistema.

Capítulo 1. Importancia de la trazabilidad en los procesos de producción

1.1 Antecedentes

El estudio mostrado en esta investigación tiene lugar en una empresa manufacturera metalmecánica, encargada de la fabricación de equipos de cocina, constituidos de acero inoxidable. La misión de la empresa es proveer a los restaurantes de comida rápida, muebles que se ajusten a las necesidades del día a día, posicionándose en el mercado como el principal proveedor en el mundo de equipos de cocina. La empresa se encuentra en San Luis Potosí desde hace 30 años y su plantilla está conformada por 900 personas. Actualmente cuenta con la capacidad de fabricar 1300 equipos semanalmente, entre los que se encuentran: freidoras, refrigeradores, extractores de humo, fregaderos, gabinetes, mostradores, hornos, lavadoras, carros de servicio y otros equipos que facilitan las tareas diarias en los restaurantes. En la Ilustración I se muestran algunos modelos fabricados en planta, donde el catálogo llega a superar los 9,000 modelos. Estos son visiblemente diferentes entre sí, tanto en las formas, tamaños y componentes, incluso algunos accesorios de unidades pueden llegar a fabricarse de manera única, por lo que diferenciarlos en el proceso resulta ser una misión complicada.



Ilustración 1.- Ejemplo de los muebles de acero inoxidable fabricados en la empresa objeto de estudio. Fuente: HK Catálogo 2021

Constantemente, la organización busca ofrecer a los clientes equipos que se adapten a sus necesidades, a un costo competitivo y con un tiempo de entrega corto, asegurando la calidad y el cumplimiento en las fechas. La naturaleza de la producción está basada en un enfoque de proyectos, siendo flexible para el ingreso de nuevos requerimientos de los clientes. Actualmente, la planta de San Luis Potosí realiza semanalmente dos embarques, con destino a Dallas, Estados Unidos y el segundo a Rugby, Inglaterra.

Los procesos productivos por los que se encuentra dividida la empresa se muestran en la *Ilustración 2*. Iniciando en la recepción de los rollos de acero inoxidable, hasta el detallado final del mueble que el cliente recibiría. Enseguida, se enlistan las etapas que conforman el proceso general de un mueble:

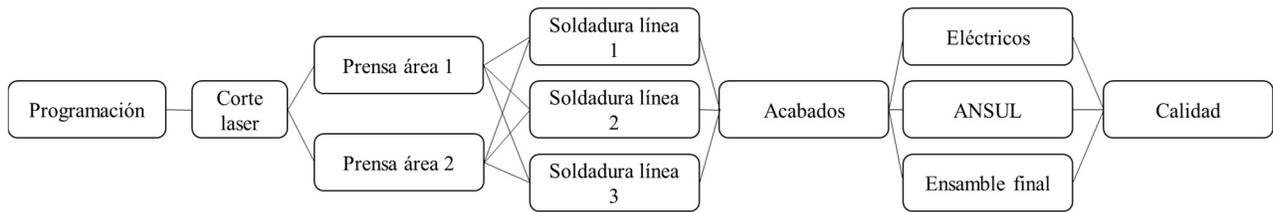


Ilustración 2.-Diagrama de procesos por el cual está dividida la planta.

Fuente: Propia

- *Programación*: Se recibe el rollo de acero inoxidable, es cortado en láminas y se les realiza un pulido general para mejorar la apariencia. Se programa el corte, donde se asignan las piezas a cortar de diferentes unidades de acuerdo con el calibre y al tipo de acero inoxidable, con el fin de aprovechar al máximo cada una de las láminas.
- *Corte láser*: Las láminas con los programas previamente realizados, son ingresados en máquinas de corte laser, donde se obtienen las piezas y son separadas por unidad, para que sean ingresadas al proceso de doblez.
- *Prensas*: Se hace el plegado de piezas para el ensamble del mueble. Está dividida en dos áreas, que son:
 - Área 1: En ella están las prensas hidráulicas manuales y el objetivo del área es realizar los dobleces que suelen ser complejos y de piezas que cuentan con una extensión grande. En promedio se realiza el 70% de las piezas en esta área.

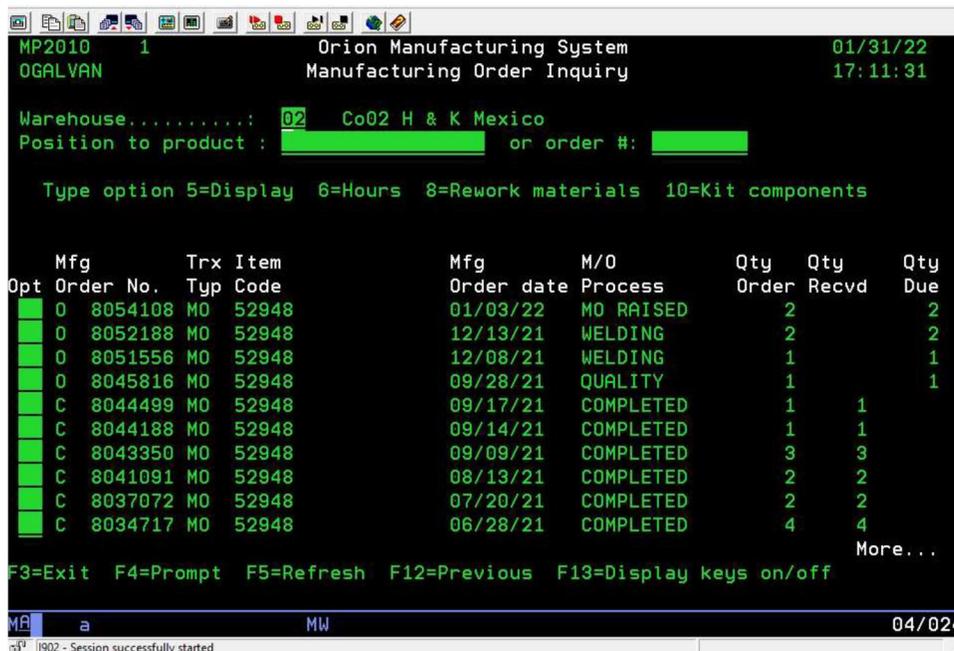
- Área 2: La conforman las prensas automáticas, las cuales hacen los dobleces más sencillos, pero con una gran exactitud en cuanto a medidas. Usualmente el 30% del total de las piezas ingresadas se realiza en esta área.
- *Soldadura*: Etapa donde se realiza el 70% del ensamblaje de la unidad. Esta área se divide en tres subáreas de acuerdo con la experiencia de cada soldador.
- *Acabados*: Proceso en donde se le da un acabado estético en cada una de las soldaduras, se elimina el filo de los bordes de las piezas, y se empareja las diferencias de tono que pudiera tener algunos paneles o cubiertas del mueble.
- *Eléctricos*: En esta área pasan todos los muebles como freidoras, planchas, mostradores y mesas de preparación. Aquí se ensamblan los componentes eléctricos como resistencias, potenciómetros, lámparas y habilitado de tableros eléctricos para su funcionamiento en tienda. También se realizan pruebas eléctricas para evaluar el rendimiento del mueble y protecciones de seguridad para el usuario.
- *Ansul*: Área donde se instala un sistema contra incendios a los equipos como freidoras y extractores de humo. Las actividades que se realizan en esta área son: cortes de tubería de acero, uniones y fabricación de sistemas de tubería, que serán conectados a un sistema de accionamiento y tanques.
- *Ensamble Final*: Etapa final de la fabricación del mueble, donde pasan todos los muebles de la empresa. Se realizan los últimos ensambles a la unidad, todo aquel que sea con tornillería, remaches y accesorios en el mueble que sean traídos por proveedores externos, como manijas, grifos, vidrios, filtros, arreglos de PVC para desagüe y organizadores generales.
- *Calidad*: Área donde se inspecciona en su totalidad la unidad, se asegura que cuente con todas las piezas, tengan las dimensiones correctas y las piezas móviles funcionen de una manera óptima. En caso de que alguna unidad cuente con una no conformidad, esta es regresada a las áreas para su arreglo.

Cada uno de los muebles fabricados cuenta con características diferentes; como dimensiones, grado de complejidad en las piezas y ensambles. Todas las unidades inician en el proceso de programación y corte, pero no todas pasan por un proceso de doblez o soldadura, todo dependerá de la función de cada mueble. Es común encontrar en una semana, la fabricación de unidades que solo requieren doblez, otras que recorren cada uno de los procesos y algunas que después del

proceso de acabado, solo pasan por ensamble final para una limpieza general y colocación de accesorios.

Para ubicar en que área de la empresa se encuentra cierto mueble o número de orden, se cuenta con un sistema de manejo de información llamada Orión, que es similar a otros sistemas de administración como Oracle o SAP. Este sistema cuenta con información como: ordenes de manufactura, movimientos de almacén, precios de consumibles, ubicación de unidades en proceso, fechas de embarque de las unidades y alguna otra información.

La Ilustración 3 es un ejemplo del interfaz para consultar la ubicación de cierta orden y de qué forma se muestra la información en pantalla. Lo anterior es de consulta general y cualquier usuario en la empresa puede ingresar con un perfil y contraseña. La ubicación de alguna unidad solo hace referencia al área del proceso. Esta información puede ser consultada por diferentes departamentos, como: Ingeniería, para conocer que procesos tendrán que ser retrabajados por alguna actualización de diseño o cambios requeridos por el cliente; Calidad, para rastrear una no conformidad o para contener un defecto en los modelos que van en ciertos procesos; Embarque, para anticipar su carga de trabajo y lo relacionado con el embalaje de las unidades que recibirán, como también identificar prioridades de salida y coordinar recursos para los embarques.



*Ilustración 3.-Ejemplo del tipo de interfaz donde se muestra la ubicación de la unidad en proceso.
Fuente: Propia*

La actualización de la ubicación es responsabilidad de los supervisores y/o coordinadores de producción, los cuales tienen a su cargo a un personal llamado seguidor que realizan la actualización de forma manual. El seguidor realiza recorridos entre cada una de las áreas e identifican los modelos con sus números de serie y posteriormente hará llegar la información para la actualización en la plataforma.

El proceso de rastreo se compone de la siguiente manera (*Ilustración 4*):

1. El superintendente genera una lista de los modelos y números de serie, de los cuales quiere conocer la ubicación, junto con el estatus de avance. Posteriormente, la lista es compartida a los seguidores.
2. Los seguidores, junto con la lista, comienzan a hacer el recorrido en planta para ubicar cada una de las unidades, anotando en que área de las áreas productivas se encuentra.
3. Se reporta a los supervisores y coordinadores el estatus de las unidades que se encuentran en cada una de sus áreas.
4. Se realiza un reporte de la actualización de estatus por medio de un archivo Excel, y después es capturado en una plataforma de consulta general conocida como Orión.
5. Por último, el reporte es compartido al gerente de producción, por medio del superintendente del área.



*Ilustración 4.-Diagrama del proceso de trazabilidad actual.
Fuente: Propia.*

Aunque resulta ser visiblemente sencillo, esta tarea suele ser compleja debido a la cantidad de modelos diferentes que se fabrican semana tras semana. Actualmente, el proceso presenta las siguientes áreas de oportunidad:

- Discrepancias entre el estatus reportado contra la ubicación real.
- Tiempo de rastreo alto
- Mandos medios e incluso altos realizan la tarea de ubicación de unidades.
- No hay un conocimiento exacto del inventario actualmente producido.
- Falta de control de calidad en el producto.

Los anteriores puntos evitan que exista una administración de activos efectiva, no se podría decir que el sistema de monitoreo actualmente implementado satisfaga la necesidad de visualizar, de manera confiable, la cantidad de los modelos producidos o la ubicación de estos. El problema principal es la cantidad de modelos diferentes, producidos semana tras semana y la cantidad de áreas y procesos por el cual tiene que pasar una unidad. Es complicado, hasta para el personal con más experiencia, lograr identificar entre tantos modelos, la unidad que se tiene que encontrar. De igual forma, el sistema de comunicación del reporte de unidades suele ser tardado por la cantidad de personas por las que pasa la información, antes de llegar a la persona que solicitó este reporte.

De esto surge la necesidad de utilizar un recurso tecnológico para realizar un monitoreo eficiente, reduciendo, en la medida de lo posible, el factor humano, intentando que el reporte de la unidad sea en tiempo real. Esto permitirá tomar decisiones con datos claros en momentos críticos.

Actualmente, el auge de la industria 4.0 ha ofrecido herramientas para que las empresas evolucionen la forma de llevar sus procesos, innovar en ciertas actividades y corregir problemáticas de manera eficaz. Se puede ver, de manera global, como empresas del ramo automotriz y farmacéutico apuestan por automatizar operaciones que aseguren la calidad en su producto, y, que liberen la carga laboral de sus empleados para que puedan seguir creciendo en el aspecto de mejora continua.

1.2 Justificación

La trazabilidad en los procesos de manufactura permite contar con una base de datos que será consultada por los encargados, para que estos puedan tomar decisiones en las actividades diarias, como: programación en las cargas de trabajo, priorización con cumplimiento de fechas de embarque, administración de tiempo extra, balanceo de líneas y solicitudes de recursos con anticipación. La base de datos debe ser confiable y estar actualizada en el momento de ser consultada, para que las decisiones aseguren los resultados esperados. Para una empresa como la de objeto de estudio, con una producción basada en proyectos y modelos que tienen diferentes tiempos de fabricación, resulta una tarea retadora encontrar una herramienta de captura que asegure una actualización en tiempo real del estatus de las unidades en proceso.

De ahí que nace la necesidad de realizar esta investigación, para determinar si la aplicación de un sistema de trazabilidad, por medio de alguna tecnología automatizada, resulta ser beneficiosa para la toma de decisiones en asuntos relacionados con la producción, como también en la administración de activos de la empresa.

1.2.1 Beneficios esperados para la empresa:

- Contar con una herramienta confiable y de fácil acceso, para el monitoreo de las unidades que se encuentran en proceso, que sirva como base de consulta general, para la toma de decisiones con respecto a la programación de la producción y gestión de la calidad.
- Reducir los tiempos de ubicación de unidades, con el fin de tomar decisiones sustentadas para el cumplimiento de tiempos de entrega, tanto con los clientes internos y externos.
- Dotar de flexibilidad al proceso de producción, para lograr hacer cambios en la programación de la producción de manera rápida. Esto posicionará, de una mejor manera, a la empresa en la percepción del cliente, por el grado de personalización en el servicio y tiempo de respuesta brindado.
- Establecer las bases para el estudio del rendimiento de las áreas productivas, ya que se podrá registrar la hora y la fecha en que alguna unidad entra o sale de cierta área.
- Robustecer la comunicación entre las áreas productivas, impactando favorablemente en situaciones donde se requiera el seguimiento de actividades, programación de la producción.

1.2.2 Beneficios esperados para el sector manufacturero:

Los sistemas de seguimiento de etapas de producción son herramientas muy útiles para conocer en todo momento, la ubicación de los productos. Diversos trabajos y propuestas se han desarrollado en este sentido, sin embargo, en la práctica, no son muchas las empresas que integran estas tecnologías en sus procesos. Generalmente, estos trabajos son aplicados en la industria alimenticia, donde se debe de manejar cuidadosamente los tiempos en los que un alimento dura en el proceso, para evitar que este caduque. El desarrollo de un trabajo como este permitirá que el modelo aquí propuesto pueda ser utilizado en una empresa que maneje un número igual o menor de modelos diferentes, simultáneamente, buscando un proceso automatizado, confiable y reduciendo el error provocado por el factor humano.

1.3 Objetivos e hipótesis

Con base en el trabajo que se pretende desarrollar, se presentan, a continuación, los objetivos definidos para este trabajo de tesis.

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de rastreo para la localización de unidades en proceso en tiempo real con la finalidad de aumentar la confiabilidad de la información en los procesos y asegurar la entrega a tiempo de productos terminados.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Seleccionar una tecnología automatizada que permita hacer un seguimiento de la ubicación de las unidades y componentes, en tiempo real, para su rápida consulta.
- Diseñar una interfaz para el sistema de localización de unidades y componentes en tiempo real para que sea utilizado por los departamentos involucrados en el control de producción de unidades.
- Diseñar el sistema de localización y rastreo de unidades y componentes en tiempo real para monitorear y controlar su ubicación en los procesos.
- Implementar el sistema de localización en un área piloto para validar el sistema.

1.3.3 Hipótesis

La hipótesis establecida para este trabajo de tesis es:

Un sistema de rastreo de unidades basado en tecnología RFID, permitirá conocer de manera instantánea y confiable, la ubicación de cualquier unidad dentro de las áreas productivas en la empresa, siendo beneficioso en la calidad y en la gestión de recursos.

1.4 Problemática

El sistema de trazabilidad actual presenta las siguientes situaciones:

- La plataforma para consultar el estatus de las unidades muestra una confiabilidad del 25% de datos actualizados correctamente.
- El tiempo estimado para la ubicación de una unidad dentro de la empresa es de 25 minutos.
- Rastrear un total de 25 unidades de un listado de prioridad, tarda alrededor de 4 a 5 horas utilizando dos seguidores (personal que realiza inventario de los equipos en proceso) simultáneamente.
- El personal administrativo (supervisores, coordinadores, ingenieros de manufactura y diseñadores) en un 80% de las ocasiones no consultan la plataforma para el rastreo de las unidades, debido a la falta de credibilidad.
- La comunicación interna de producción, entre áreas y en cambios de turno, presentan áreas de oportunidad que generan una falta de secuencia en las actividades que garantizan valor en la empresa.

Los puntos anteriores tienen implicaciones en el manejo de los recursos por parte de la empresa. Esto no solamente genera problemas en la programación de la producción, sino que también implica el control de la calidad en cada una de las unidades. En algunas situaciones, los clientes solicitan cambios en los modelos, por lo que el equipo de Ingeniería y Manufactura, requieren de la ubicación rápida de la unidad para gestionar los cambios y cumplir con los requerimientos del cliente. Actualmente, el sistema de consulta carece de flexibilidad y de un amigable interfaz con el usuario, incluso el capturar datos y actualizar la ubicación de las unidades resulta ser tardado, debido a que se hace de manera manual. La responsabilidad de actualizar esa base de datos recae en el equipo de seguidores, pero resulta ser complejo para ellos ejecutar actividades de reconocimiento, ubicación y captura, por la diversidad de modelos y diferencias entre formas, tamaños y componentes. Al ser ellos el canal de comunicación de la ubicación de las unidades, es importante que se agilice la forma en como transmiten la información recabada a todos los departamentos que requieren conocer esa información. Gracias a esta información, departamentos como Calidad, Almacén y Empaque, gestionan sus recursos para cumplir con la carga diaria entre turnos. También departamentos como Manufactura, Ingeniería y Compras consultan esa información para anticiparse a imprevistos o situaciones generadas por factores externos.

Los factores que influyen en que el sistema de trazabilidad actual son los siguientes:

- *La diversidad de dimensiones entre cada una de las unidades es alta.* Existen unidades que exceden los dos metros de largo, mientras que hay otras que tienen dimensiones de treinta centímetros, por lo que, llegar a delimitar ciertas áreas o estaciones de trabajo, tiene que ser flexible para que se hagan ajustes de espacio semana a semana.
- *Se cuentan con tiempos de fabricación para cada unidad muy diferentes.* Los tiempos pueden oscilar entre dos a cuarenta horas dependiendo del modelo.
- *El tipo de producción de la empresa es por proyecto, por lo que la mayoría de las veces son modelos únicos.* En algunas ocasiones, lo máximo que se llega a producir de un modelo son diez o quince unidades. Cabe aclarar que los modelos que se fabrican en ordenes de manufactura grandes son los modelos más sencillos. Entre más grandes y tardados sean los modelos, puede reducirse la producción a una o dos unidades.
- *Capacidad limitada.* Actualmente, cada una de las áreas tiene la capacidad de producir de entre treinta a cincuenta modelos por turno simultáneamente. Todo depende del tiempo de la fabricación de cada uno de los modelos.
- *Cada modelo cuenta con un nivel de exigencia diferente en cuestión del proceso de fabricación;* por lo que la distribución de la carga de trabajo en las áreas del proceso se hace por medio de la experiencia del personal con el que se cuente en ese momento.
- *Producción intermitente.* La mayoría de los clientes de la empresa son franquicias de comida rápida, donde los requerimientos para solicitar equipos de cocina no siempre se pueden prever. Por lo que la programación de la producción generalmente tiene poco margen para adaptarse.
- *Variación en volúmenes de producción.* Actualmente, la producción de la planta presenta un aumento del 50% con respecto del año pasado.

1.5 Marco teórico

Esta sección está organizada en tres partes, un marco referencial en donde se aborda el tema de rastreabilidad y su aplicación en la industria manufacturera; un marco tecnológico, en donde se hace un breve análisis de las principales tecnologías utilizadas para la trazabilidad y, finalmente, un marco metodológico, en donde se analizan publicaciones de trabajos desarrollados sobre esta temática.

1.5.1 Marco referencial

El marco referencial de este trabajo tiene el objetivo de explicar el concepto de la rastreabilidad en una empresa manufacturera, con el enfoque del monitoreo en procesos, para entender el rol que juega esta operación en la toma de decisiones para la gestión de recursos en la producción.

1.5.1.1 Concepto de trazabilidad

La trazabilidad es una práctica con un rango de aplicación alto y es tan importante en algunos procesos de gestión que su definición ha sido incluida en ISO 9000: *“Trazabilidad es la capacidad para seguir el histórico, la aplicación o la localización de un objeto”* (ISO,2015). El objeto del que se hace alusión en la definición regularmente se encuentra dentro de un proceso, y un proceso es: *“un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”* (ISO 9000,2015). Por lo tanto, se define que la trazabilidad es una operación que ayuda a ubicar un objeto dentro de un proceso.

La trazabilidad tiene una aplicación en la industria alimenticia, automotriz, logística, embarques, transportes y comercios. Uno de los ejemplos donde la trazabilidad tiene un rol importante es en la industria alimenticia, ya que se destina una norma ISO 22005:2007, que habla sobre la trazabilidad en la cadena de alimentos para la alimentación humana y animal.

1.5.1.2 Trazabilidad interna o de proceso

Existen ciertos tipos de trazabilidades como lo son: *“trazabilidad de producto, de proceso, genética, de entrada y de salida, entre otros”* (Reuben & Xun, 2020, p.3).

La trazabilidad interna o de procesos se define como: *“la trazabilidad del producto a lo largo de la cadena productiva de la empresa, industria o sector, desde la recepción de las materias primas hasta la expedición del producto terminado”* (Sosa, 2017).

Para tener una trazabilidad de proceso es importante tener identificado los siguientes elementos:

- *Definición de Entrada/Salida:* Se debe tener en cuenta los límites del proceso, en donde inicia y en qué punto acaba, esto para definir las fronteras de la trazabilidad del objeto.
- *Puntos de proceso:* Sosa (2017) define como puntos de proceso, todos aquellos en donde el objeto pasa y sufre alguna transformación o cambio, ya sea añadiendo o quitándole algo.
- *Información por registrar:* Definir toda la información que se quiera registrar de ese objeto, como puede ser número de lote, ubicación, horario de entrada y salida, personas involucradas en el proceso, entre otros.

Al contar con estos factores, Sosa (2017) menciona que se puede tener la capacidad de contar con una cuadrícula para combinar datos de control de procesos, gestión de calidad y otros sistemas de gestión.

1.5.1.3 Importancia de la trazabilidad en la industria

Reuben & Xun (2020, p.3), mencionan que: *“la trazabilidad forma un rol muy importante siendo una herramienta para la administración de activos dentro de una empresa”*.

La definición de administración de activos es: *“prácticas coordinadas a través de las cuales una organización gestiona de forma óptima y sostenible sus activos, su rendimiento, los riesgos y los gastos asociados a lo largo de su ciclo de vida”* (Granillo, Simón, González & Zuno, 2020)

Enseguida se enlistan las ventajas que ofrece la trazabilidad en un proceso de manufactura, según Reuben & Xun (2020, p.3):

- Determinar en qué parte del proceso se encuentra cualquier producto, así como su estatus.
- Predecir y diagnosticar problemas de calidad en el producto.
- Asistencia en la administración de inventario.
- Proporcionar accesibilidad al cliente para la consulta de la información de su producto.
- Mejorar la eficiencia de los procesos.
- Mejorar los tiempos de respuesta sobre algún reclamo de cliente.
- Monitorear la capacidad de una máquina, así como balanceos de línea y aumentar la eficiencia del equipo.
- Mejorar la reputación de la empresa manufacturera
- Programación de la producción.

1.5.2 Marco tecnológico

Una vez que se ha mostrado la esencia de la rastreabilidad, se procederá a mostrar las tecnologías que se usan para ejecutar esa operación, las ventajas y desventajas de emplear algún u otro método y qué recursos son actualmente los más accesibles dentro de la República Mexicana.

1.5.2.1 Tecnologías usadas para sistemas de trazabilidad.

De acuerdo con una investigación, utilizando los términos “trazabilidad”, “técnicas de trazabilidad”, “tecnologías de la trazabilidad” y “trazabilidad en los procesos”, en diferentes bases de datos científicas y académicas, se identifican algunas de las tecnologías más utilizadas en la industria, sobre todo relacionadas con la trazabilidad interna del proceso. Tomando en cuenta la fecha de publicación, los tipos de aplicación y analizando algunos ejemplos de aplicación, se muestran en el siguiente listado las tecnologías usadas en la trazabilidad:

- Código de barras
- RFID (Identificación por radiofrecuencia)
- WSN (Redes de sensores inalámbricos)
- GPS (Sistema de posicionamiento global)

1.5.2.1.1 Código de barras

De acuerdo con la definición mostrada por Aguilar (2017), el código de barras es “*la herramienta informática para captura de información de forma automática y sistematizada. Se compone de un conjunto de líneas o barras y espacios paralelos en forma continua que poseen diversos tipos de información en registros magnéticos ópticos, sonoros o impresos*”.

Existen de dos tipos, pueden ser códigos de barras lineales y código de barras bidimensionales. Los códigos de barras lineales (*Ilustración 5*) “*puede almacenar información y datos que pueden ser identificados de manera rápida y con gran precisión. Estos códigos representan un método simple y fácil para codificar información que puede ser leída y enviada por dispositivos ópticos a una computadora*” (Abad, 2018).



*Ilustración 5.-Imagen de un código de barras.
Fuente: Abad 2018*

Los códigos bidimensionales o *datamatrix* (*Ilustración 6*) son: “*un sistema de codificación bidimensional que permite la generación de un gran volumen de información, en un formato muy reducido con una alta fiabilidad de lectura. Este código es detectado por un sistema de reconocimiento compuesto*” (Abad, 2018).



*Ilustración 6.-Figura de un código QR.
Fuente: Abad,2018*

Los componentes que conforma un sistema de códigos de barras, tomando de referencia las investigaciones de (Aguilar, 2017) y (Espinal, Lopez, & Montoya, Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la gestión de la cadena de suministro, 2010), se muestran en la *Ilustración 7*.

Impresora de código de barras	<ul style="list-style-type: none">• Imprime las etiquetas especiales del proceso. Algunas de los proveedores más reconocidos son Zebra, Datamax o intermec.
Etiquetas	<ul style="list-style-type: none">• Es una etiqueta impresa donde se encuentra el código de barras. Generalmente contiene una película adherente para poder ser pegada al producto, son de larga duración y fácil de despegar.
Lector de código de barras.	<ul style="list-style-type: none">• Dispositivo óptico-electrónico que es capaz de emitir y recibir un haz de luz roja. Este permite el acceso a la base de datos y captura la información del código de barras.
Base de datos	<ul style="list-style-type: none">• Permite almacenar y actualizar la información que recibe del lector de código de barras.

*Ilustración 7.-Cuadro recopilatorio de los componentes de un sistema de código de barras.
Fuente: Aguilar 2017*

Los beneficios de usar el código de barras en una aplicación de trazabilidad son los siguientes (Aguilar, 2017):

- *Facilidad de uso:* Son una solución fácil de usar y automatizan la recolección de datos. Obviamente, utilizar un escáner tomará mucho menos esfuerzo que capturar todo un inventario a mano.
- *Tiempo:* Los códigos de barras promueven el ahorro de tiempo, ya que la captura de los datos es inmediata. La información siempre está actualizada, lo que da la ventaja de poder tomar decisiones gerenciales con información precisa.
- *Productividad:* Al reducir tiempo, la productividad aumenta. Simplemente, hay que recordar cuando los cajeros en el supermercado tecleaban los precios de cada artículo.
- *Costos:* Las ventajas anteriores reducen una enormidad de costos en las empresas, desde nómina hasta electricidad.

1.5.1.4.2 RFID

El RFID es definido como: “una tecnología que usa ondas de radio para identificar productos de forma automática, involucrando etiquetas o TAGS que emiten señales de radio a unos dispositivos llamados lectores, encargados de recoger las señales” (Espinal, Lopez, & Montoya, Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la gestión de la cadena de suministro, 2010).

El sistema más simple del RFID está conformado por los siguientes tres componentes (Romero, Fernandez, Gonzalez, & Madrigal, 2021):

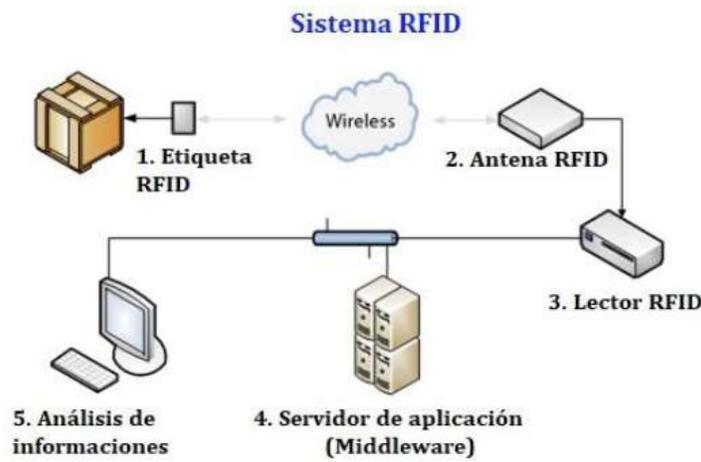
- *Etiqueta.* La etiqueta está formada por dos elementos principales y un componente que es opcional; un circuito integrado, una antena y una memoria.
- *Lectores.* Los lectores son componentes electrónicos que emiten o perciben las ondas de radiofrecuencia utilizadas para establecer comunicación con las etiquetas. Los lectores cuentan con dos elementos esenciales: una antena y un circuito integrado.
- *Circuito integrado del lector.* El circuito integrado del lector se comunica con la etiqueta procesando la información requerida. También hace uso de su transpondedor para gestionar la comunicación de radiofrecuencia con las etiquetas.

Dentro de la tecnología RFID, hay una clasificación con respecto a la banda frecuencial, que aporta características diferentes. Estas son explicadas en los siguientes puntos (Molinera, 2016):

- *125 kHz:* Tiene un alcance limitado a centímetros, siendo la banda en la que los sistemas RFID tienen menor alcance. Su uso más común es el de identificación de animales o el uso para los mandos de arranque de los coches.
- *Banda HF:* su banda de frecuencia de uso a nivel internacional es la de 13,56 MHz. Tiene un alcance de lectura de hasta 1,5 m, aunque esta distancia depende del tamaño de la etiqueta. Sus usos principales suelen ser para tarjetas de acceso a edificios o para etiquetas antirrobo en comercios, bibliotecas, etc. Como principales ventajas se pueden citar que tienen una alta fiabilidad, que no afecta a su uso la orientación de la etiqueta, que son resistentes a interferencias eléctricas, que se puede variar el tamaño de las etiquetas o que se puede aumentar el tamaño de las antenas lectoras.

- *Banda UHF*: Utiliza la banda de 868 MHz en Europa y la banda de 915 MHz en Estados Unidos. Tiene un alcance de unos 5 m. Sus usos principales suelen ser la identificación de objetos, cajas, palets, etc. Además de su mayor rango de distancia de lectura, su otra gran ventaja es su bajo costo.

En la *Ilustración 8*, se aprecia los elementos y la relación que tienen en un sistema de RFID convencional (Sosa Leonardo, 2017)



*Ilustración 8.-Componentes de un sistema RFID,
Fuente: (Sosa Leonardo, 2017)*

Los sistemas de RFID se clasifican por el tipo de etiqueta que usan, que pueden ser activa, pasiva o semi pasivas. Molinera (2016) las define de la siguiente manera:

- *Etiquetas activas*: este tipo de etiquetas poseen su propia fuente de alimentación, bien sea por medio de una batería o bien a través de una conexión eléctrica. Esta fuente de alimentación se emplea para activar los circuitos de la etiqueta y enviar señales a la antena lectora. Como ventajas, se pueden citar su mayor capacidad de memoria (unos 32 kb), mayor distancia de alcance (hasta 100 m en algunos casos) o mayor capacidad de lectura y escritura. No obstante, poseen algunos inconvenientes que impiden su uso masivo al nivel de las etiquetas pasivas, como son su mayor coste, su mayor tamaño o una vida útil mucho más limitada.

- *Etiquetas pasivas:* su principal característica es que no disponen de alimentación eléctrica ni de batería. La energía necesaria para su funcionamiento la obtienen de la propia energía RF que reciben del emisor RFID, es decir, se activan al estar en las proximidades de un emisor RFID en funcionamiento. Esta forma de funcionar tiene ciertas limitaciones relacionadas, como es obvio, con el consumo de energía: la distancia de lectura es menor, la señal de respuesta tiene un tiempo más corto o su capacidad de memoria es más reducida. A cambio, aportan una serie de ventajas en comparación de las etiquetas activas, como el menor costo, el menor tamaño (debido fundamentalmente a una menor capacidad de memoria) o una vida útil mucho más prolongada que las etiquetas activas.
- *Etiquetas semi pasivas:* estas etiquetas incorporan una pequeña batería, empleada para activar los circuitos internos de la etiqueta. Sin embargo, la energía necesaria para la comunicación con el interrogador se genera de la misma manera que en las etiquetas pasivas, es decir, se obtiene de la energía de RF generada por el emisor RFID.



*Ilustración 9.-Imagen de una etiqueta de RFID,
Fuente: (Zebra , 2022), <https://www.zebra.com/la/es/products/supplies/rfid-labels-tags.html>*

De acuerdo con (Vázquez, Pérez, Hermida, & Herranz, 2021), las características de la tecnología RFID son las siguientes

- *Capacidad de almacenamiento de datos:* puede oscilar desde los 32 bits hasta los 4 kbp (etiquetas activas y pasivas), y normalmente está dividida en páginas de 128 bits para poder direccionar los datos.
- *Velocidad en la lectura de datos:* la tasa de transferencia de datos es aproximadamente de 28 kbp (menor si se incluyen algoritmos de comprobación de errores), pero en algún caso se puede llegar a alcanzar velocidades mayores.
- *Cobertura de los componentes RFID:* las etiquetas pasivas UHF pueden alcanzar una cobertura de 3 o 4 metros, pero en el caso de las etiquetas activas, utilizando la frecuencia

de 433 MHz, esta puede llegar a medir 10 metros aproximadamente. Es necesario consultar la potencia permitida para cada Sistema RFID, ya que la cobertura está regulada por los distintos países (en Europa el rango autorizado es menor que en los Estados Unidos).

- *Interferencias:* no existen dificultades en la lectura de las etiquetas sobre materiales conductores y no conductores, pero surgen problemas ante la presencia de líquidos. Hay que tener en cuenta que otros sistemas UHF que estén operando en las proximidades pueden producir interferencias.
- *Costos:* los costos dependen principalmente del diseño de la etiqueta. En grandes cantidades, las etiquetas UHF pueden llegar a ser más baratas que las utilizadas para frecuencias más bajas.
- *Áreas de aplicación:* estos sistemas RFID son aptos para aplicaciones que requieran una cobertura superior que la ofrecida por las bandas de frecuencia anteriores, como por ejemplo la trazabilidad y el seguimiento de artículos, pacientes, activos, etc.

1.5.1.4.3 WSN

Las Redes Inalámbricas de Sensores o RIS (también llamadas WSN por sus siglas en inglés) están compuestas por cientos de pequeños computadores que operan con baterías, llamados *nodes* y que son distribuidos a lo largo de un ambiente de interés particular. Cada nodo en una red ad-hoc recolecta datos de su ambiente, como la cantidad de luz, temperatura, humedad, vibraciones y otros factores ambientales. Cada nodo sensor puede enviar los datos recolectados a sus vecinos; éstos, a su vez, a sus propios vecinos y así sucesivamente, hasta que la información alcance un destino específico, donde será procesada por computadores más “tradicionales”, brindando una buena imagen del ambiente circundante en tiempo real. (Cantillo, 2010)

Los componentes que conforman una red inalámbrica son (Patiño & Valero, 2010):

- *Sensores:* son los componentes que obtienen medidas directamente del sistema físico. Se encargan de la actividad de adquisición de los datos.
- *Los elementos de control o PLC (Programmable Logic Controllers):* Almacenan temporalmente los valores recolectados por los sensores e implementan algoritmos de control en función de estos valores.

- *Puertas de enlace:* Son los encargados del análisis de los datos y de su transmisión a una estación central para su posterior visualización o almacenamiento.
- *Base de datos:* Realizan el almacenamiento y gestión de los datos recolectados.
- *Aplicación cliente servidor:* hace el posible el manejo global del sistema y la generación de reportes. Estos componentes se encargan del despliegue o visualización de los datos, también sirven como GIU (interfaz gráfica de usuario) para que los operadores puedan interactuar directamente con el sistema.

Los componentes de la red inalámbrica se presentan, de forma gráfica, en la Ilustración 10.

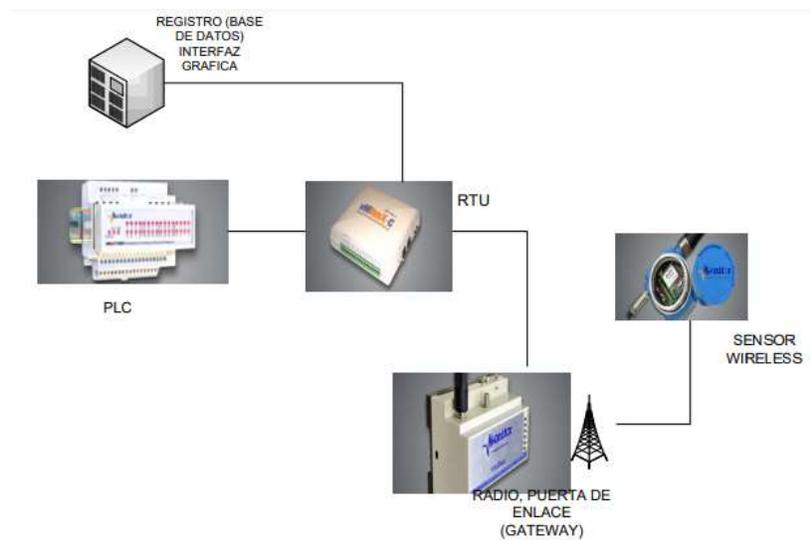


Ilustración 10.-Componentes de un sistema de WSN.
Fuente: Patiño & Valero,2010

Algunas características que considerar con respecto a la implementación de las redes inalámbricas son (Cantillo, 2010):

- *Topología:* Los nodos se despliegan de manera aleatoria. Una vez desplegados, no se requiere de la intervención humana, haciendo la configuración y el mantenimiento completamente autónomos.
- *Energía:* Los sensores tienen una vida intrínsecamente dependiente del tipo de batería que se utiliza. (Ni-Cd, Ni-Mh, Li-Ion). Así mismo, el hardware diseñado para los nodos deberá tener un consumo óptimo de energía como requerimiento primordial.

- *Sincronía:* Los nodos sensores deberán ser capaces de sincronizarse uno con otro de manera completamente distribuida, para que la calendarización del multiplexado en tiempo pueda ser impuesta y ordenada.
- *Escalabilidad:* A medida que el número de sensores aumenta, el potencial de que existan fallos en la comunicación entre los nodos se incrementa de manera exponencial.
- *Calidad de servicio:* La calidad del servicio puede interpretarse en las redes de sensores por enlace, por flujo de información o por funcionamiento de nodo. En estas redes, tanto la red como el host pueden tener situaciones que requieren de una buena coordinación.
- *Tolerancia a fallos:* La falta de una comunicación central y un medio compartido hace que la red sea vulnerable a ataques más que en redes alámbricas, pues existen muchos puntos de acceso a la red, que cuando no existen mecanismos de detección de intrusos, facilitan los ataques.

1.5.1.4.4 GPS

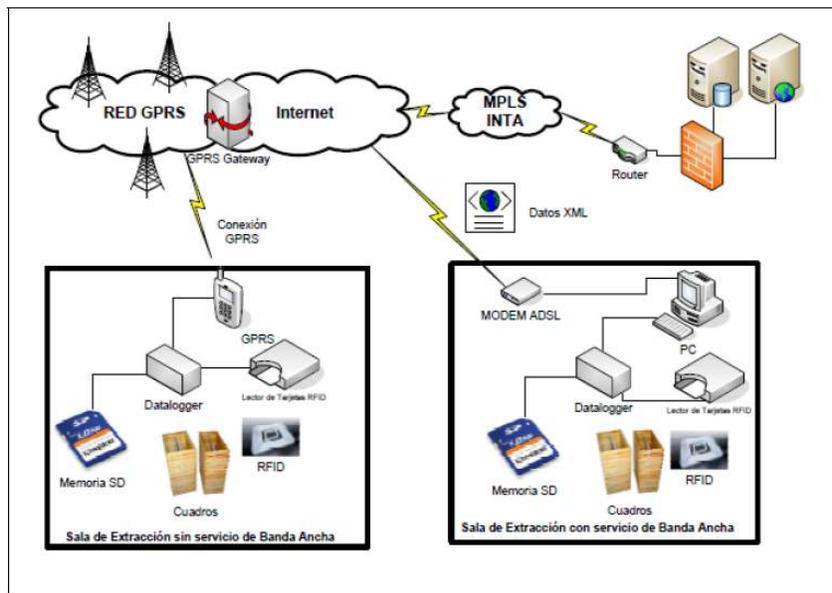
El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de satélites utilizando navegación que permite determinar la posición de un objeto con exactitud. La aplicación del GPS en la cadena de suministro se enfoca al monitoreo de cargas y camiones, sus ventajas son la reducción de costos debido al mejor control a realizar sobre la flota de transporte y aumento en la seguridad debido a la trazabilidad a los productos. (Espinal & Montoya, Tecnología de la información en la cadena de suministros., 2008)

Los componentes de un sistema de GPS son (Granada, 2008) :

- *Segmento espacial:* Conformado por los satélites que emiten constantemente las señales hacia los receptores GPS, cubriendo todo el globo terrestre
- *Segmento de control:* Este compuesto por cinco estaciones de monitores (MS), una estación de Control (MCS) y tres estaciones terrenas (TS), localizadas en sitios estratégicos, para un control permanente de la localización de los satélites del sistema. Las estaciones de monitoreo rastrean todos los satélites que se encuentran a la vista, acumulando la información monitoreada. Esta información es procesada en las MCS para determinar las órbitas de los satélites y para actualizar cada mensaje de navegación de cada satélite.

- *Segmento del usuario:* El segmento del usuario lo componen los receptores, que proporcionan la posición, altitud, velocidad y tiempo preciso al usuario desde cualquier parte del mundo las 24 horas del día.

En la Ilustración 11 se muestra la aplicación de un sistema de trazabilidad por medio de GPS en una organización alimenticia. En este sistema se muestran dos tipos de maneras de compartir los datos extraídos de manera local de un cultivo de contenedores de miel. El primer caso presenta cuando se cuenta con un servicio de banda ancha; mientras que en el segundo no. En ambos casos los datos extraídos son compartidos por medio de red y son extraídos por medio de un sistema local, para después, mediante el uso de una red, pueden compartir los datos al servidor para que puedan ser consultados de manera remota (Moltoni & Moltoni, 2011).



*Ilustración 11.-Componentes de un sistema GPS,
Fuente: (Moltoni & Moltoni, 2011)*

1.5.1.4.5.- Comparación de las tecnologías de trazabilidad.

Utilizando las características investigadas de las diferentes tecnologías disponibles para la trazabilidad, se realiza una Tabla 1 comparativa de ventajas y desventajas de cada una, orientada en el uso de un sistema de trazabilidad en la empresa objeto de estudio:

Tabla 1.-Tabla comparativa de las tecnologías más usadas en los sistemas de trazabilidad. Fuente: Propia

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Código de barras	Simple, económico, ofrece una trazabilidad exacta si se considera pocos datos. Fácil implementación. Pocos elementos son necesarios.	Es necesario el contacto directo con la etiqueta. Si la etiqueta está dañada, es posible tener problemas al momento de escanear. Solo se puede escanear una etiqueta a la vez.
RFID	No se requiere un contacto directo para la captura de la etiqueta. Se puede leer varias etiquetas simultáneamente. Hay múltiples opciones para modificar el tamaño de almacenamiento y el alcance de lectura.	Se requiere de un receptor y lector para la recolección de la información. Tiene una capacidad limitada de información (menor a un sistema de redes o GPS). El costo es relativamente más alto que el de un sistema de código de barras.
WSN Sistema de redes	Configuraciones de red sin infraestructura fija, adecuado para lugares no accesibles, el precio de implementación es barato comparado con el GPS. Poca cantidad de cableado, flexible para someterse a particiones físicas, se puede acceder mediante un monitor centralizado	Seguridad reducida debido a la exposición abierta de la red, es de baja velocidad, requiere una configuración de varios elementos. Puede ser interrumpido por ruidos u otras ondas de comunicación. El costo es más alto que un RFID o un lector de barras.
GPS	La información es transparente y abierta. Se cuenta con un seguimiento mejor que las otras tecnologías. Tiene una gran capacidad de alcance, ideal para sistemas muy abiertos. No llega a interferir ningún factor ambiental en su lectura. Cuenta con una gran capacidad para la detención de información.	Costo muy alto con respecto a las otras tecnologías. Se requiere de una gran inversión. Es necesario una base de datos más extensa y el interfaz es más complejo de los demás.

1.5.2 Marco Metodológico.

En este apartado, se mostrarán algunas investigaciones relacionadas con los sistemas de trazabilidad, resaltando en cada uno de ellos, información que será útil para la realización de este trabajo de investigación. Los trabajos usados de referencia fueron escogidos conforme a la metodología usada para la implementación de un sistema de trazabilidad en diferentes áreas, como agricultura, fábricas e incluso con una aplicación hospitalaria. Los autores abordan metodologías para realizar diagnósticos en las empresas para la identificación de errores, estructurar el almacenamiento de la información a manejar en el sistema, referencias sobre diferentes herramientas de captura para sistemas de trazabilidad y estructuras de diseño para la implementación de un sistema.

En el trabajo titulado: *“Propuesta de un sistema de trazabilidad de productos para la cadena de suministro agroalimentaria”* (Sosa Leonardo, 2017), se muestra el uso de la tecnología RFID, que resulta ser aplicada para una cadena de suministro. Este trabajo muestra la estructura de una base de datos, la manera en cómo se hace el análisis del papel que juega cada una de las áreas, muestra de manera completa cuales son los puntos importantes de una base de datos. Funciona como base para poder ordenar una estructura de información, para el diseño de un sistema de trazabilidad.

La Ilustración 12 muestra el desarrollo del proyecto, mediante un diagrama de los componentes que influyen en el sistema de trazabilidad, donde separa, por medio de capas, los elementos del sistema:

- En la primera, se encuentra todas las bases de datos que serán usadas, separándolas como fundamentales, de plantación y manejables.
- La segunda, que es la de logística, donde hace un especial énfasis en donde es necesario el uso y el manejo de la información a capturar.
- El tercero es la generalidad de la red donde serán los puntos de comunicación de la información a recibir.
- Por último, se encuentra la capa de percepción que es donde se encuentran los elementos que forman parte del interfaz, como el de captura y el de consulta.

En el trabajo de *Revisión de aplicaciones de sistemas de trazabilidad. caso de estudio: industria arnesera*, (Duarte & Iñiguez, 2020) se estudia la aplicación de un sistema de trazabilidad en una empresa ubicada en México, que se dedica a la fabricación de arneses eléctricos.

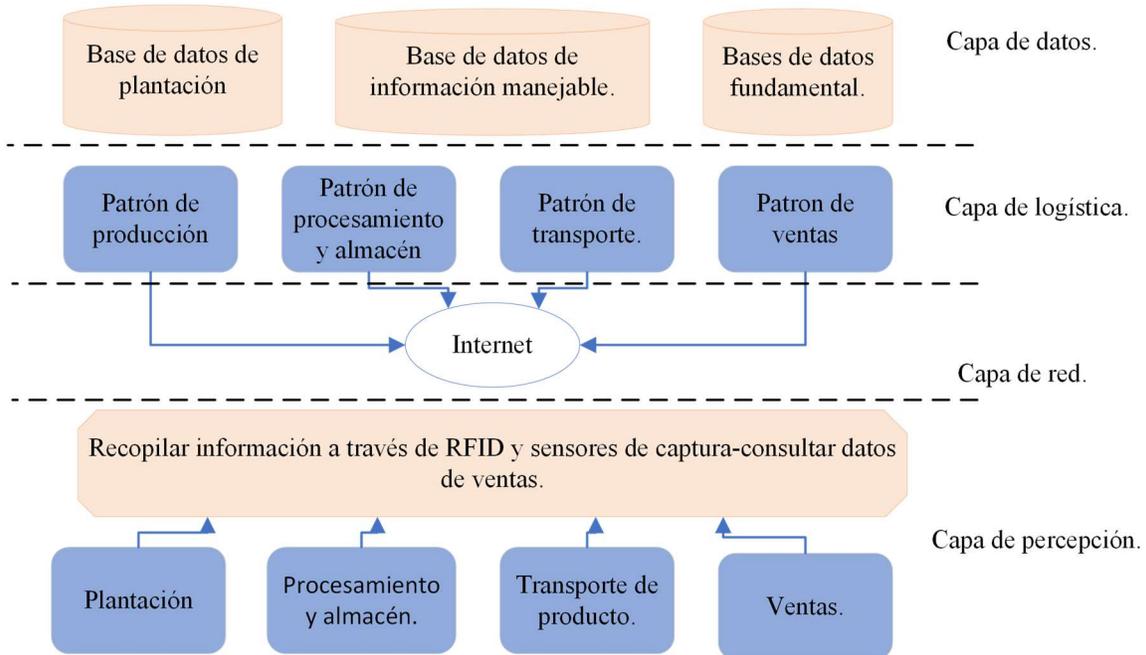
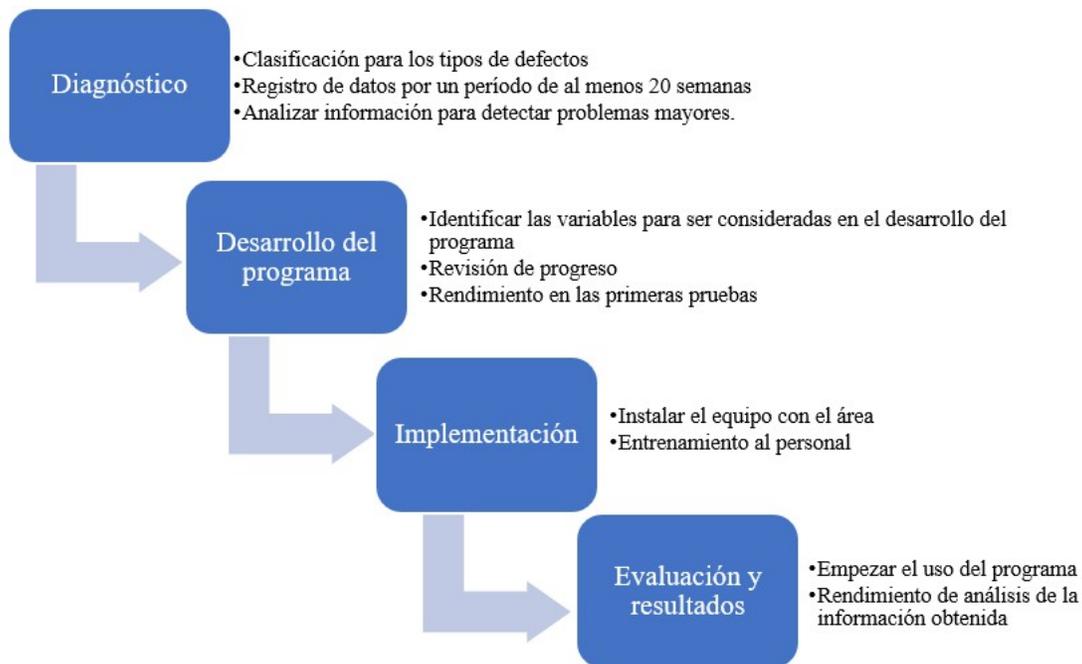


Ilustración 12.-Estructura de un sistema de trazabilidad agrícola a través de IoT, Fuente: (Sosa Leonardo, 2017)

La metodología que se muestra en la *Ilustración 13*, es utilizada por los autores para llevar a cabo la implementación de un sistema de trazabilidad en su empresa.



*Ilustración 13.-Modelo de trabajo para la implementación de un sistema de trazabilidad.
Fuente: Iñiguez,2020*

Es de interés la forma de estructurar el proceso al desarrollar un sistema de trazabilidad, donde en la etapa de diagnóstico tiene un enfoque de análisis de situación basada en datos. Esto lo usarán para identificar las variables que tienen que controlar por medio del sistema y sentará las bases de los requerimientos que se tienen que cumplir al momento de desarrollar el diseño del sistema. En general, la propuesta de desarrollo que mencionan los autores en su trabajo es completa, ya que está enfocada en detectar necesidades, diseñar sobre ellas, posterior al diseño conceptual de su sistema abordan la implementación, contemplando el entrenamiento del personal, con el fin de asegurar el correcto involucramiento humano. Su estructura es genérica, por lo que puede ser adoptada para implementar otro sistema tecnológico que tenga como objetivo facilitar las tareas del día a día.

Para ejemplificar la importancia que tiene la trazabilidad en los diferentes campos, en la investigación realizada se presentan ejemplos de las tecnologías utilizadas como sistemas de rastreabilidad en varios campos y el año en el que fueron desarrollados. Es importante resaltar como los campos de la agricultura y la industria relacionada con los alimentos mantienen una

relación importante con los sistemas de trazabilidad, sobre todo con las tecnologías RFID y código de barras. De igual forma se puede observar que el RFID tiene una aplicación importante en los temas donde es necesario registrar un número significativo de cosas, por lo que resulta ser una opción en campos como los almacenes. Este comparativo es presentado en la Tabla 2.

*Tabla 2.- Tabla comparativa de las tecnologías utilizadas en un sistema de trazabilidad.
Fuente: Duarte & Iñiguez, 2020*

Campo	Tema	Tecnología	Año
Almacenes	<i>Un sistema de RFID es implementado para simplificar la selección de procesos y aumentar la productividad en un almacén.</i>	<i>RFID</i>	<i>2018</i>
Agricultura	<i>Un análisis de un modelo de sistema de rastreabilidad usando Big data e internet de las cosas para la seguridad de la agricultura y alimentos.</i>	<i>Big data (WSN)</i>	<i>2017</i>
Industria alimenticia	<i>Un sistema con un código QR es implementado para monitorear las etapas de los productos marinos, asegurando que estos estén en temperaturas adecuadas</i>	<i>Código de barras (QR)</i>	<i>2017</i>
Industria farmacéutica	<i>Un sistema de código de barras es implementado en una farmacia de hospital para la correcta entrega de medicinas</i>	<i>Código de barras</i>	<i>2017</i>
Industria del cuidado de la salud	<i>Un sistema de rastreabilidad de código de barras es implementado para ayudar con la medicación, reducir errores y tiempo de espera, así como proporcionar una mayor seguridad de los pacientes.</i>	<i>Código de barras</i>	<i>2015</i>
Ganado	<i>Un sistema nacional de código de barras es implementado para conocer las etapas de la transformación del ganado desde su nacimiento hasta el punto de venta.</i>	<i>Código de barras</i>	<i>2015</i>
Almacenes	<i>Un sistema de Código de barras es implementado en un almacén para la trazabilidad de tarimas.</i>	<i>Código de barras</i>	<i>2015</i>
Industria farmacéutica	<i>Un resumen de la importancia de la de la trazabilidad de los medicamentos, desde el lote de producción hasta el punto de venta.</i>	<i>RFID</i>	<i>2014</i>
Almacenes	<i>Un sistema de código de barras es implementado para reducir costos y pérdidas de cartas y paquetes en una escuela de oficina postal.</i>	<i>Código de barras</i>	<i>2014</i>
Industria automotriz	<i>La interfaz para migrar de un código de barras a RFID en la logística automotriz es analizada</i>	<i>RFID</i>	<i>2013</i>
Fabricación	<i>Un Sistema RFID es implementado en una compañía manufacturera</i>	<i>RFID</i>	<i>2013</i>
Almacenes	<i>Un sistema de RFID es implementado para optimizar la administración de un almacén en una industria acerera.</i>	<i>RFID</i>	<i>2013</i>
Almacenes	<i>La gestión y el rediseño de un almacén es mejorado utilizando VSM y un sistema de RFID.</i>	<i>RFID</i>	<i>2013</i>
Industria alimenticia	<i>Una ley es propuesta en Estados Unidos para requerir que los productores implementen rastreabilidad en los alimentos para la seguridad del consumidor.</i>	<i>Código de Barras</i>	<i>2011</i>
Almacenes	<i>Un sistema de código de barras es implementado para mejorar el servicio de una biblioteca de una universidad.</i>	<i>Código de barras</i>	<i>2010</i>
Almacenes	<i>Un sistema RFID es implementado para mejorar la administración de inventario y operaciones en un almacén.</i>	<i>RFID</i>	<i>2010</i>
Agricultura	<i>Un sistema de trazabilidad para productos de la industria es propuesto para la seguridad del cliente</i>	<i>Infraestructura pública</i>	<i>2009</i>

El trabajo titulado *RFID: Una tecnología clave para la humanidad* (Duroc & Tedjini, 2018), hace referencia a diferentes características del RFID entre las que se describen la capacidad de lectura y la radiofrecuencia de las diferentes etiquetas que existen en el mercado. Esto se muestra en la Tabla 3, donde describe 4 tipos de etiquetas de RFID.

*Tabla 3.-Rangos de lectura de las diferentes etiquetas RFID.
Fuente: Duroc & Tedjini, 2018*

	<i>Rango de frecuencia</i>	<i>Rango de lectura</i>	<i>Tipo de conexión</i>
LF	125 kHz	0.1 m	Campo magnético
	134 kHz	1 m	Cercano
HF	13.56 MHz	1 m	Campo magnético Cercano
UHF	900 MHz	2-20 m	Campo electromagnético
	902-928 MHz US		Lejano
	868-871 MHz Europa		
	950-956 MHz Asia		
Microwaves	2.4 GHz	10 m	Campo electromagnético Lejano

La información mostrada en este apartado servirá como referencia para el diseño de la metodología que se lleve para el desarrollo de este trabajo. Las investigaciones mencionadas en este apartado ejemplifican los pasos que se llevaron a cabo para la implementación de los sistemas de trazabilidad, dejando entrever aspectos como lo son bases de datos y tipos de tecnología usada.

1.6 Alcance

La presente investigación tiene como fin, recabar toda la información necesaria para poder diseñar un sistema de rastreabilidad, que muestre la ubicación de un equipo dentro de las instalaciones de una planta. Este sistema ofrecerá la ubicación de una unidad en tiempo real, utilizando como referencia la infraestructura de la empresa. Esto se propone a partir de las áreas de oportunidad que se tienen con el sistema de rastreabilidad utilizado actualmente.

En la primera fase del prototipo se seleccionará un área piloto, la cual será seleccionada utilizando un conjunto de criterios para determinar en qué área se puede obtener un mayor impacto.

Aunque las capacidades de los sistemas RFID permiten integrar una gran cantidad de información sobre los productos; para el desarrollo de este trabajo, la información que mostrará el sistema de

rastreabilidad únicamente será el modelo del producto, el número de serie y el área en la que se encuentra. Esta información es la que es de vital importancia para tomar decisiones, y es la básica, en cuestiones de producción, seguimiento a cambios de diseño y monitoreo de la calidad. Esta restricción se establece para poder hacer el diseño del sistema manejable y poder terminar el desarrollo del sistema en el tiempo establecido; posteriormente se estudiará la posibilidad de expandir el sistema con información adicional.

Se pretende que el sistema sea capaz de rastrear simultáneamente alrededor de 140 a 150 unidades, al mismo tiempo, durante un turno. Esto debido a que, en la planta, actualmente se realiza un número estimado entre los 140 y los 150 modelos al mismo tiempo. El sistema tiene que contar con la capacidad de mostrar simultáneamente la ubicación de todo el inventario en proceso que se encuentre en el área productiva.

1.7 Limitaciones

En cuestiones económicas, el sistema de rastreabilidad a implementar no tendrá que sobrepasar el costo anual del sistema implementado actualmente; esto por una cuestión de recursos de la empresa y la situación actual de incertidumbre que se vive en la economía global.

La empresa actualmente cuenta con dos antenas receptoras de RFID, por lo que se puede emplear estos recursos para automatizar el proceso de rastreabilidad. Se busca reutilizar los recursos disponibles para que la fase de prueba pueda realizarse de manera más ágil.

Debido a la cantidad de modelos diferentes que se fabrican por turno, no puede utilizar un sistema de rastreabilidad que sea de “contacto” como lo serían escáneres de barra o cualquier otro sistema que requiera algún registro directo. El sistema deberá ser automatizado y con la menor interacción humana para que se lleve a cabo.

De acuerdo con la normativa NSF/ANSI-51 (National Sanitation Foundation), que aborda todo el equipo destinado en la fabricación de comida, menciona que los equipos tienen que ser limpiados de manera fácil y no debe contener ningún agente contaminante, por lo que las etiquetas de rastreo que sean pegadas en la unidad, o, cualquier dispositivo de rastreo que se determine a usar, no deberá dejar residuos en la unidad al momento de ser desprendido. Esto debido a que las unidades son utilizadas en la fabricación de alimentos, por lo que cualquier residuo tóxico y/o que no tenga

certificado NSF, no podrá ser usado para evitar incurrir en unas faltas. Este también deberá ser resistente a los diferentes procesos que se tienen en planta (Calor, golpes, polvo y/o arena). Tiene que ser desechable.

De acuerdo con las políticas de privacidad de la empresa, no se puede compartir información relacionada con los equipos que se fabrican a externos, por lo que no se podrán compartir planos de fabricación o modelos 3D de los equipos que se fabrican.

El recurso humano con el que se contará para este proyecto constará únicamente de un ingeniero de manufactura. Con el respaldo del gerente para solicitar información a los departamentos involucrados en el desarrollo de la investigación.

Capítulo 2. Diseño de un sistema de trazabilidad basado en tecnología RFID para la empresa en cuestión.

2.1 Planteamiento metodológico

En el siguiente apartado se establecerán las características metodológicas necesarias para desarrollar la investigación objeto de estudio que tiene como objetivo el implementar un sistema de rastreabilidad, donde se muestre en tiempo real la ubicación de las unidades en proceso. El definir las características de la metodología dará una estructura clara de los pasos necesarios para poder asegurar el cumplimiento de los objetivos previamente establecidos en el capítulo 1.

De acuerdo con los objetivos de la investigación, se busca analizar los factores que influyen en un sistema de rastreabilidad, las amenazas y las necesidades de una producción de proyectos, para lograr diseñar un sistema de trazabilidad capaz mostrar, en tiempo real, la ubicación de los productos en proceso de fabricación, independientemente de una interacción humana mediante la utilización de tecnología que ofrece la industria 4.0, por lo que la investigación es de forma aplicada. Para que el sistema de trazabilidad en una empresa pueda ser eficiente, es importante reconocer cuales son las características que se requieren de él, analizar los factores internos y externos, como también el papel que juegan los diferentes elementos humanos como de procesos. Aunado a esto, se requiere evaluar cuál de las tecnologías cumple con los requerido al análisis previo, por lo que la investigación es de tipo descriptiva, ya que pretende exponer todos los factores y poder proponer un sistema que mejor se adapte a la situación analizada. El grado de abstracción y generalización son de tipo aplicadas, ya que la hipótesis de que un sistema de trazabilidad automatizado capture la ubicación en proceso, tiene que evaluarse para poder dictaminar si es funcional para un tipo de producción como el que despliega la empresa.

Para llevar a cabo el análisis de la situación, será necesario utilizar metodologías para determinar los tiempos de los procesos actuales, medir la ocurrencia de los problemas que se tienen por medio de registros históricos, extraer datos por medio de observación y otros métodos, por lo que la investigación de acuerdo con las fuentes será metodológica.

El objetivo de la investigación, en términos generales, es reducir el tiempo de ubicación de las unidades en proceso, por lo que el tiempo será el indicador que dictaminará el estado de un sistema de trazabilidad, los datos del tiempo y otros relacionados con la ocurrencia de hallazgos en el proceso de ubicación, son de una naturaleza cuantitativa. La herramienta tecnológica se evaluará en un área productiva de la empresa, donde se realizará el monitoreo de su funcionamiento y se podrá observar cómo interactúa con los demás agentes en su entorno, por lo que la investigación, según su lugar, es de tipo de campo. Se espera evaluar la situación durante tres meses, en donde se estarán realizando estudio de tiempos y movimientos en ciertas situaciones para poder realizar la evaluación, por lo que será una investigación transversal.

Las áreas de oportunidad que presenta el sistema de trazabilidad actual son: la desactualización de la información mostrada en la consulta del estatus de unidades en proceso, el tiempo y el personal empleado para capturar la ubicación, el interfaz que no permite añadir más aplicaciones para un manejo de información y otros elementos más, que forman parte no solo de la empresa objeto de estudio, si no de aquellas que su producción es de tipo proyectos. De ahí que el proceso formal de la investigación es deductivo, la información analizada sentará las bases para que se pueda implementar un sistema de trazabilidad en este tipo de producción en proyectos.

2.2 Propuesta metodológica

La metodología por usar en este trabajo tiene influencia de la investigación *Revisión de aplicaciones de sistemas de trazabilidad. caso de estudio: industria arnesera* (Duarte & Iñiguez, 2020), descrita previamente en el marco metodológico. Fue de interés este trabajo, debido al esquema que contempla de cuatro etapas:

1. Diagnóstico.
2. Diseño del sistema.
3. Aplicación.
4. Evaluación y ajustes.

Si bien el esquema pareciera muy general y podría ser replicable en cualquier tipo de proyecto, más allá de un sistema de trazabilidad, hay ciertas actividades que generan interés en cuestión de la trazabilidad. En la etapa de diagnóstico, destaca el enfoque de obtener las variables del entorno para un posterior uso en el diseño del sistema de trazabilidad. En la etapa de diseño del sistema, se contempla un tipo de evaluación permanente, como también un tipo de evaluación que se aplicará en los primeros tres meses de implementación del sistema, con el objetivo de obtener una retroalimentación directa de los interesados en el proyecto.

La metodología propuesta para este trabajo busca añadir otras etapas con el fin de reforzar los métodos de selección de herramientas y otros puntos que son:

1. Metodología para recabar datos cuantitativos y cualitativos, con el fin de obtener una descripción del sistema.
2. Método para elección de herramienta en el sistema de trazabilidad, considerando las necesidades del entorno.
3. Identificar fuerzas de oposición en la aplicación del sistema y crear una estrategia para contrarrestarlas.
4. Método para la elección de la primera área de aplicación del sistema de trazabilidad.

Este trabajo puede ser aplicado en empresas que cuenten con las siguientes características:

- Que no cuenten con una base de datos históricos que evalúen el rendimiento del sistema de trazabilidad actual.

- Que no se tenga un sistema de trazabilidad establecido o sin procedimientos.
- Una cultura organizacional renuente al cambio.
- Empresas con tipo de producción con base a proyectos.

Las anteriores condiciones no son limitantes para la aplicación de la metodología en cualquier otra organización. Su intención es complementar el diseño que involucre diferentes aspectos como la reestructuración de los indicadores de rendimiento de trazabilidad, tomando en cuenta los beneficios esperados por los clientes directos; la definición del papel del cliente y de la cultura organizacional, que logran ser parte de una implementación total en un sistema de trazabilidad. La metodología por usar en este trabajo se muestra en la Ilustración 14.

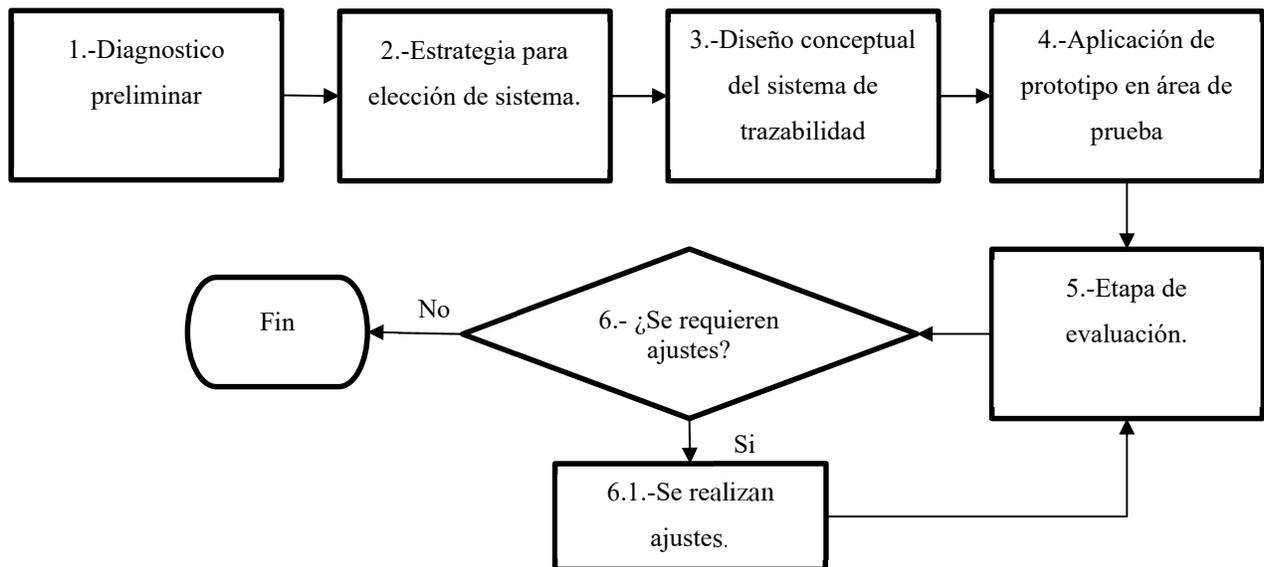


Ilustración 14.-Modelo de la metodología para el diseño de un sistema de trazabilidad.

Fuente: Propia

A continuación, en los siguientes puntos, se explicará cada una de las etapas de la metodología.

2.2.1 Diagnóstico preliminar

Esta etapa busca conocer la forma en que se realiza la trazabilidad actualmente, con el objetivo de conocer todos los factores que forman parte del proceso, el tipo de información que el sistema de trazabilidad necesita recabar, cuáles son los problemas actuales, las amenazas que se tienen, el personal que está involucrado en el proceso y en qué condiciones el sistema opera. El hacer una identificación correcta de los puntos mencionados, el conocimiento y el análisis posterior a esto servirá como fundamento para un planteamiento más personalizado hacia las necesidades de la organización. También logrará a establecer indicadores que sirvan para medir la satisfacción del cliente de este sistema.

El diagnóstico de la trazabilidad se realizará basándose en los siguientes apartados:

- **Descripción del sistema:** Se identificarán los factores internos y externos que están presentes en el proceso de trazabilidad, las entradas, los procesos, se analizarán las actividades claves y el personal involucrado. La recopilación de estos datos ayudará a obtener un diagrama que logre describir de manera específica la situación actual.
- **Necesidades del cliente:** En esta etapa se busca dar respuestas a las siguientes preguntas:
 - ¿Qué se espera de la trazabilidad?
 - ¿Cómo se usa la trazabilidad para los procesos diarios?
 - ¿Cómo sería un sistema de trazabilidad ideal?

El objetivo es reconocer todas las necesidades que tiene que cumplir un sistema de trazabilidad, para poder orientar la solución para la consecución de estas. Posteriormente se tendrá que realizar un análisis para poder ponderarlas y saber cuál de ellas representa un mayor impacto en los procesos que tiene influencia.

- **Indicadores/métricas del sistema actual:** Esta actividad busca conocer, en primera instancia, los indicadores utilizados para evaluar la eficiencia de la trazabilidad actual. En caso de no contarse con estos indicadores, será necesario definirlos basados en los objetivos o intereses del cliente. Con esta información, se procederá a la recopilación de muestras para la evaluación del estado actual, donde se medirá la confiabilidad y los tiempos de ejecución del proceso.

- **Análisis de fuerzas de oposición:** Esta actividad analizará el entorno y la situación por el cual está pasando la empresa y que pueden llegar a ser fuerzas positivas y negativas en el desarrollo del sistema de trazabilidad.
- **Análisis de la situación:** De acuerdo con lo obtenido en los puntos anteriores, la información se someterá a un análisis para la identificación de áreas de oportunidad que se tengan. En esta etapa se realizará un análisis de causa raíz para los problemas presentes. Todo el estudio realizado en esta etapa tiene como fin obtener los puntos clave que deberán de ser tomados en la etapa de diseño del sistema.

Como conclusión de esta etapa se realizará una evaluación de las áreas de la empresa para poder desarrollar el prototipo del sistema de trazabilidad. Los puntos clave a considerar para la elección del área son los siguientes:

1. Área con un mayor flujo de objetos a capturar.
2. Área con un bajo índice de confiabilidad en los datos.
3. Área con tiempo de espera alto.
4. Área que cuente con un espacio físico amplio.

Teniendo los criterios establecidos, se procederá en asignar una ponderación a cada una de las características, donde se utilizará nuevamente la matriz de elección estratégica. Se enlistarán las áreas productivas de la empresa, donde cada una recibirá una calificación por cada característica, esta tendrá una sumatoria total, eligiendo aquella que tenga el puntaje más alto.

Al termino de este diagnóstico, se contará con la información referente para la elección de una herramienta de trazabilidad que logre adaptarse a las necesidades y recursos identificados en esta etapa. De ahí la importancia de que la información recabada sea directamente tomada de la retroalimentación dada por los clientes directos.

2.2.2 Estrategia para elección de sistema.

De acuerdo con el diagnóstico de la situación actual, las necesidades de los clientes, las problemáticas y las condiciones en donde se estará operando el sistema, será necesario analizar cuál, de las diferentes herramientas de trazabilidad existentes en el mercado, es la indicada para implementarse. Esta etapa mostrará el cómo definir los criterios para la elección de una herramienta

utilizada en trazabilidad, teniendo en cuenta las conclusiones de la etapa y de las condiciones que ofrece el entorno. Para el diseño de un sistema de trazabilidad, es importante que la herramienta seleccionada logre satisfacer las necesidades del cliente, que pueda implementarse y sea sostenible de acuerdo con los recursos y presupuestos destinados por la empresa.

La estrategia utilizada para la correcta elección de la herramienta de trazabilidad será:

- Ponderar puntos deseados y no deseados en un sistema de trazabilidad. En esta etapa se enlistarán y ponderarán todos los puntos que se desean y no se desean de una herramienta de trazabilidad, de acuerdo con lo diagnosticado en la etapa uno. Mediante la estrategia de Matriz de Priorización, se analiza la importancia de cada uno de los aspectos y se les asigna una ponderación. Esto ayudará a cuantificar la comparación de las herramientas existentes en el mercado. Cada una podrá satisfacer, en mayor o menor medida, las necesidades del cliente, así como evaluar cómo evitar caer en situaciones que no se desean. Esto servirá en la elección de herramienta, tomando en cuenta lo cualitativo, y ser concluyente con un dato cuantitativo.
- Evaluación económica: Esta actividad tiene como objetivo el realizar una proyección de costo de la herramienta a lo largo de un año, tomando en cuenta los siguientes costos:
 - Costos de instalación (primera vez)
 - Costo de hardware
 - Costo de software (Plataforma, base de datos, espacio en el servidor, etc.)
 - Costo de capacitación (En caso de que se requiera cursos externos y/o no se cuente con personal capacitado en la empresa)
 - Costo de mantenimiento (correctivo, preventivo, etc.)

La sumatoria total de los costos anteriores, será comparada con el costo de la trazabilidad actual (en caso de que se tenga implementado) y respecto a los gastos que ocasiona la ausencia/deficiencia de un sistema de trazabilidad en la empresa. Estos datos servirán para poder evaluar cuál de las opciones es la que se acomoda más a los recursos que maneja la empresa.

- Descripción de herramientas disponibles en el mercado: Se presentarán las herramientas disponibles, mostrando las características de cada una de ellas. Esto con el fin de establecer

las opciones que realmente se pueden llegar a implementar, teniendo como criterio que se cuente con proveedores locales o nacionales.

- Elección de herramienta: Utilizando la Matriz de priorización, se evaluará cada una de las opciones presentadas, de acuerdo con los criterios económicos y de la matriz de factores internos. Es necesario tener un fundamento cuantitativo y cualitativo para realizar una elección que logre garantizar que las necesidades del cliente se pueden cumplir, sin generar situaciones negativas en el entorno.

Esta etapa concluye con la elección de la herramienta con la que se basará todo el diseño del sistema de trazabilidad, de acuerdo con la herramienta, es como se asignarán recursos, se planearán los tiempos de instalación, se diseñará la plataforma de interacción y las demás actividades que serán claves para la implementación del sistema en la empresa.

2.2.3 Diseño conceptual del sistema de trazabilidad

En esta etapa se propondrá un diseño del sistema de trazabilidad, teniendo como base los puntos clave a solucionar en la fase de diagnóstico y en las características de la herramienta elegida. En ella se diseñará la estrategia que se ejecutará para la implementación del sistema de trazabilidad, por lo que su realización será clave para dar solución a los problemas que estén presentes y que blindará ante las amenazas encontradas en el entorno.

El objetivo de esta fase está en definir los siguientes puntos:

1. *Entradas del sistema:* Se pretende, en este punto, determinar la información necesaria a capturar, la forma de captura, el tipo de emisor de información, la capacidad de la base de datos, el tipo de receptor de información, el tipo de procesador, los requerimientos del servidor y las condiciones ambientales a cumplir.
2. *Procedimiento:* En esta etapa se diseñarán los diagramas de flujo que muestra el procesamiento de la información capturada, el proceso de captura, proceso de abastecimiento de los emisores de información, el proceso de mantenimiento y la capacitación al personal involucrado, tanto directa como indirectamente.
3. *Interfaz del sistema:* Etapa orientada al diseño de la plataforma de consulta de trazabilidad, determinar los tipos de usuarios que existirán, definir los procedimientos para editar

información, establecer periodicidad de actualización de información y la periodicidad de respaldo de base de datos.

4. *Aseguramiento del sistema:* Se diseñará la información necesaria para retroalimentar el sistema, de igual forma que se establecerán los procedimientos para la obtención de los indicadores.
5. *Mantenimiento:* Se establecerán los procedimientos para la ejecución de los mantenimientos correctivos y preventivos del sistema. Se establecerá la periodicidad de los mantenimientos preventivos, el plan para la ejecución manual del sistema en caso de que sufra algún daño, capacitación y la formación de los proveedores que tienen autorizado realizar los mantenimientos.
6. *Implementación:* Se identificarán los recursos que serán necesarios para la implementación y se establecerán fechas de cumplimiento y la formación del equipo para la etapa de implementación.

2.2.4 Aplicación de prototipo en área de prueba

En esta etapa se ejecutará cada una de las actividades planeadas de acuerdo con el cronograma elaborado en el diseño del sistema. El avance y control del proyecto deberá ser monitoreado y controlado haciendo uso de herramientas de administración de proyectos.

2.2.5 Etapa de evaluación

De acuerdo con los indicadores establecidos en la primera etapa, se ejecutarán los procedimientos para obtener los indicadores del sistema que fueron establecidos en la etapa de diseño. Aunado a esto, se realizarán encuestas de satisfacción con los clientes directos, para recabar cualquier información que sea necesaria para la elaboración de ajustes. El análisis de la evaluación se llevará a cabo por medio de un reporte, donde el dueño del proyecto, junto con el equipo, evaluarán cuáles serán los ajustes necesarios y que métricas serán mejoradas. Los registros de las evaluaciones se archivarán en la memoria del proyecto, para que quede constancia de los cambios solicitados. El objetivo de esta fase es obtener una retroalimentación de lo desarrollado a lo largo del proyecto, esta es la base para poder ofrecer un sistema de trazabilidad que ofrezca soluciones a los interesados en el proyecto.

2.2.6 Etapa de ajustes

Con base a los requerimientos solicitados en la etapa de evaluación, se realizarán los ajustes correspondientes al sistema de trazabilidad si llegaran a existir. Una vez realizados los ajustes necesarios, se volverán a evaluar los resultados hasta alcanzar el desempeño deseado o aceptable.

2.3 Herramientas para la ejecución de las etapas

En esta sección se describirán las herramientas que se utilizarán para la realización de cada una de las etapas mencionadas en la descripción de la metodología. En cada una de ellas, se hará una breve descripción de uso, los pasos generales para su aplicación y el entregable esperado de cada una de ellas.

2.3.1 Diagnóstico preliminar

2.3.1.1 Diagrama de flujo

La definición de un diagrama de flujo expuesta en el trabajo de González Espinoza (2019), expone que *“la representación lógica y ordenada de las tareas o actividades que se van a realizar dentro de la organización, las mismas que van relacionadas entre sí y orientadas a un fin común haciendo más eficiente el flujo de las relaciones de trabajo”*. Las ventajas de su aplicación es que se pueden mostrar, de una manera visible y práctica, las actividades necesarias para obtener algún objetivo. En el diagrama se pueden observar las secuencias de las actividades, e incluso, si es una actividad que requiere movimiento, alguna decisión o almacenamiento de información. Los pasos que detalla la autora para la aplicación de un diagrama de flujo son:

1. Obtener los datos de los pasos por medio de preguntas: ¿Qué hacer primero?, ¿Qué viene después?, ¿Quién es la persona encargada?
2. Enlistar cada una de las actividades, en un cuadro comparativo con las respuestas de las preguntas anteriores.
3. Elegir formato de diagrama de flujo (Vertical, proceso que se dirige de arriba hacia abajo; Horizontal, muestra una secuencia de izquierda a derecha)
4. Asignar una categoría a cada actividad: Proceso; Entrada/Salida de datos; Conector de procesos; Documento; Decisión; y líneas de flujo.
5. Acomodar cada una de las actividades con su secuencia correspondiente en un diagrama de flujo.

Al aplicar esta herramienta, será posible visualizar cada una de las actividades que son necesarias para ejecutar el proceso de trazabilidad. El diagrama obtenido servirá como referencia en los análisis causa raíz de los problemas que presenta el sistema, ejemplificando de una manera práctica los problemas presentados.

2.3.1.2 Estudio de tiempos y movimientos

De acuerdo con ISO 9001, un sistema de trazabilidad tiene como objetivo el ubicar algún objeto dentro de un proceso, como también conocer los momentos y los lugares en donde estuvo. Para evaluar un sistema de trazabilidad, se pueden utilizar estos dos indicadores base:

- *Confiabilidad*: Si los datos mostrados en la consulta del sistema, concuerda con lo que está pasando realmente en el proceso.
- *Tiempo de búsqueda requerido*: Tiempo que toma al usuario ubicar un objeto en el proceso con el sistema de consulta.

La confiabilidad de un sistema de trazabilidad se obtiene auditando, si la información mostrada en el interfaz es lo que está pasando en la línea de producción. Esta característica se evalúa por medio de una relación; el número de productos donde la ubicación que mostraba el sistema fue correcta, entre el total de productos auditados en el sistema de trazabilidad. Para que este concepto quede mejor expresado, se muestra la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Confianza} = \frac{\text{Número de productos con ubicación correcta.}}{\text{Número total de productos auditados}} \times 100$$

Para medir y tener un tiempo de consulta promedio, se realizará una toma de tiempos de localización de un producto o componente, comprendiendo todos los pasos necesarios para consultar la información, desde la apertura del sistema de consulta hasta la localización del objeto deseado. Para ello será necesario consultar la lista de las actividades descritas en el mapeo del proceso y tomar los tiempos en cada una de estas actividades. Posterior a ello, estos datos deberán registrarse para poder tener un tiempo promedio que sirva como calificativo al sistema actual.

Para definir la muestra necesaria para dos aspectos anteriormente descritos, se estará empleando la fórmula de cálculo de muestra en estudios descriptivos del tipo cualitativo y de población finita,

descrita en el artículo *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud* (Barojas Aguilar, 2005). Se elige esta forma de cálculo, ya que es la que se apega a las condiciones que se tienen para esta investigación. La población es finita ya que se tomará como población a los productos que estén en proceso. Es cualitativa ya que se quiere determinar la proporción del fenómeno en la población, siendo el fenómeno, la ocurrencia de encontrar ubicaciones correctas en la plataforma. La fórmula para el cálculo de la muestra es la siguiente (Barojas Aguilar, 2005):

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

Donde:

n = Tamaño de muestra

N = Total de la población

Z = Nivel de confianza que espera de los datos.

p = Población de referencia que presenta la condición buscada.

q = Proporción de la población que no representa la condición buscada.

d = Nivel de precisión absoluta.

El objetivo de utilizar esta metodología es determinar cuántas auditorías y toma de tiempos son necesarias tomar, de acuerdo con factores como la población total con la que se va a manejar y la disponibilidad de los recursos destinados para ejecutar esas actividades. Esta metodología fue elegida debido a que no se cuenta con una de base en donde se pudiese tener una medición de la efectividad del sistema de trazabilidad, por lo que resulta provechoso usarla para generar datos que serán útiles para tomas de decisiones y evaluación de resultados.

2.3.1.3 Fuerzas de oposición

En esta etapa de la metodología, se busca hacer frente a la resistencia al cambio, que pudiese estar presente al momento de implementar un nuevo sistema, al afectar formas de trabajo muy arraigadas de personal que lleva mucho tiempo inmerso bajo el mismo esquema de trabajo. Por ello, surge la necesidad de contemplar el factor humano y el cómo llega a influir, siendo un personal directo y no directo en la operación. Se propone una herramienta desarrollada por Kurt Lewin, llamada “Proceso de cambio organizacional”, donde la primicia es que con tres pasos se logre eliminar esas actitudes que llevan tiempo por medio de la visualización de los defectos que estas generan, para

proponer acciones más eficientes y arraigar esas acciones que son favorables para la organización (Saavedra Herrera, 2017).

En el siguiente párrafo se muestra las etapas que conforman el “Proceso de cambio organizacional” y una breve descripción de estas, mostradas en el trabajo (López Duque, Restrepo de Ocampo, & López Velásquez, 2013):

1. Descongelar implica tornar tan obvia la necesidad de cambio a punto del individuo, del grupo o de la organización poder fácilmente verla y aceptarla.
2. El cambio implica un agente de cambio entrenando, que irá a liderar a los individuos, los grupos o toda la organización durante el proceso. En el recorrer de este proceso, el agente de cambio irá a alimentar a los nuevos valores, aptitudes y comportamientos, a través de los procesos de identificación e internalización. Los miembros de la organización irán a identificarse con los valores, aptitudes y comportamientos del agente de cambio, internalizándolos así que percibieren su eficacia en el desempeño.
3. Recongelar significa transformar en regla general un nuevo padrón de comportamiento, usando para esto mecanismos de apoyo o refuerzo, de modo que se torne una nueva norma.

2.3.1.4 Elección del área

Para realizar la elección de la primera área de aplicación de un sistema de trazabilidad, se establece que sea aquella área que presente mayor área de oportunidad, con el objetivo de tener una mejor retroalimentación. Para seleccionar el área de mayor complejidad se establece los siguientes criterios:

1. *Cantidad de productos a capturar:* Es deseable escoger al área con mayor cantidad de manejo de productos, por la dificultad que esto representa.
2. *Bajo índice de confiabilidad:* Entre menor sea la confiabilidad de los datos mostrados por área, significa que se tiene mayor problema en mantener actualizados los datos de trazabilidad, por lo que resulta ser un área con mayor interés.
3. *Mayor tiempo de espera:* Si el tiempo de espera es alto en un área, la retención del producto es mayor, por lo que la cantidad de diferentes productos en un área será mayor, generando una dificultad para poder ubicar un producto dentro de un área, por lo que el área con mayor tiempo de espera será la deseable abordar.

4. *Superficie del área:* Entre mayor sea la superficie para cubrir por cada área, se requiere mayor infraestructura para realizar la operación del rastreo, por lo que el área con mayor superficie es en la que se tienen mayores dificultades.

De acuerdo con estos criterios, se enlista cada uno y se les asigna una ponderación, los puntajes pueden ir del 0.0 al 1.0, cuidando que la sumatoria total sea 1.0. A continuación, se asigna una puntuación de 1 al 3 cada área, de acuerdo con criterio en cuestión, siendo 1 como bajo 2 como medio y 3 como alto. Posterior a eso, la puntuación asignada por área se multiplicará por la ponderación de cada criterio, de ahí se obtiene un valor y se hace la sumatoria de ellos para obtener un total. El área con mayor puntaje será la que mayor complejidad presenta, por lo que esa es el área que será elegida para implementar primeramente el sistema. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de cómo será evaluadas las áreas de acuerdo con la ponderación de los criterios.

Tabla 4.-Ejemplo de evaluación de áreas de acuerdo con los criterios para la elección de área.

Fuente: Propia

Criterios	Ponderación	área 1	área 2
Cantidad de productos a capturar	0.35	3	1.05
Bajo índice de confiabilidad	0.35	2	0.70
Mayor tiempo de espera	0.10	2	0.20
Espacio del área	0.20	1	0.20
Total	1.0	2.15	1.50

Em la Tabla 4 se realiza un ejemplo donde se comparan dos áreas. A cada área se le asigna una puntuación del 1 al 3 en cada uno de los criterios y posteriormente se realiza una multiplicación con el valor de ponderación de cada criterio. Para este ejemplo, se ve que el Área 1 tiene un mayor puntaje en el criterio más importante y que llega a generar un mayor puntaje comparado con el Área 2. El objetivo de realizar un análisis como este es para considerar aquellos puntos que son más críticos y por ende son los que mayor valen al momento de hacer una selección.

2.3.2 Selección de herramienta

Para poder elegir aquella herramienta a usar en el sistema de trazabilidad, de acuerdo con las necesidades y la situación de la empresa, será necesario utilizar la metodología de Matriz de Ponderación. Esta metodología, de acuerdo con (Brassard M, 1994), consta de los siguientes pasos:

1. *Ponderar los criterios mediante una importancia relativa, cuidando que la sumatoria de todas las ponderaciones sea uno (o 100%).*
2. *Evaluar las opciones respecto a cada criterio y pasar la información a la matriz de priorización.* Esto es similar a la evaluación de los criterios del paso anterior, pero ahora se toma en cuenta cada opción de decisión respecto a cada uno. Una vez realizadas las evaluaciones de las alternativas respecto al total de los criterios, éstas se colocan en la matriz de priorización —los criterios en columnas y las opciones de decisión en filas—, mediante Método de Matrices de Correlación.
3. *Valorar cada opción de decisión.* Esto se hace mediante la sumatoria de los productos de las calificaciones de la opción en cada criterio, multiplicadas por la ponderación respectiva del criterio.
4. *Seleccionar la opción con la mejor evaluación.* Una vez revisadas las opciones, debe seleccionarse la mejor evaluada, sin perder de vista que puede haber ideas provenientes de las otras opciones que podrían incorporarse a la alternativa elegida.

Esta estrategia permite analizar cada una de las estrategias bajo una visión objetiva, teniendo en cuenta los factores deseados y los no deseados del cliente.

2.3.3 Diseño del sistema.

2.3.3.1 Diseño de una salida efectiva

La salida de un sistema es el proceso por el cual el usuario consultará la información que este requiera y de qué forma será presentada. En la etapa del diseño del sistema de trazabilidad, es necesario tener definidos los perfiles de los usuarios y como será más sencillo para ellos la consulta. Para esta etapa se utilizará una metodología basada en preguntas, presentada en el libro *Análisis y diseño de sistemas* (Kendall & Kendall, 2011), donde se dan respuesta a cada una de las preguntas y, con base a ello, se identificará el tipo de salida que se establecerá. Las preguntas son:

1. ¿Quién utilizará (verá) la salida? (calidad requerida)
2. ¿Cuántas personas necesitan la salida?

3. ¿Dónde se necesita la salida? (distribución, logística)
4. ¿Cuál es el propósito de la salida? ¿Qué tareas de usuario y organizacionales se admiten?
5. ¿Cuál es la velocidad con la que se necesita la salida?
6. ¿Con qué frecuencia se accederá a la salida?
7. ¿Cuánto tiempo se almacenará (o se debe almacenar) la salida?
8. ¿Bajo qué leyes especiales se produce, almacena y distribuye la salida?
9. ¿Cuáles son los costos iniciales y continuos del mantenimiento y los suministros?
10. ¿Cuáles son los requerimientos humanos y ambientales para las tecnologías de salida?

Una vez que se ha dado respuesta a cada una de las preguntas, es necesario realizar un análisis para ver las interrelaciones que existen con los dos tipos de tecnologías disponibles, que son:

- Empujar: Es cualquier tipo de contenido que se envía a los usuarios en tiempos especificados. Son muy flexibles, ya que se puede obtener la información para la persona que la necesita. Es menos costoso transmitir información a todos los empleados que imprimir la información y después distribuirla a unos cuantos seleccionados.
- Jalar: Es una importante tecnología de salida que se hizo posible gracias a la Web. Si alguna vez ha intentado jalar información de la Web al hacer clic en vínculos, ha utilizado el tipo más básico de tecnología jalar.

De acuerdo con los puntos anteriores se podrá elegir el tipo de salida que le conviene tener al sistema de trazabilidad, de acuerdo con las características del entorno, del usuario y de la información solicitada.

2.3.3.2 Diseño de una entrada efectiva

De acuerdo con Kendall & Kendall, se considera una entrada como la interfaz por la cual el usuario ingresara información. Para el sistema de trazabilidad, es importante diseñar qué tipo de información y cómo se estará ingresando la ubicación, el tiempo y la denominación del objeto que se desee almacenar. Se establecen cuatro lineamientos para el diseño de las entradas de un sistema de información, que son:

1. Hay que asegurar que los datos tengan campos establecidos y la forma de alimentar sea sencillo y directo.
2. Hay que asegurar que los datos ingresados sean los necesarios para cumplir el objetivo.
3. Evitar que exista ambigüedad o multiplicado de datos al momento de la captura.
4. Definir las rutas y el origen de los datos a capturar.

Si se cumplen las características antes mencionadas, es posible entender el entorno y se puede definir el tipo de interfaz de captura para alimentar la base de datos. Establecer estos cuatro puntos será de ayuda para una cuestión de rediseño en caso de ser necesario.

2.3.3.3 Diseño de base datos

Dentro de las etapas para el diseño de un sistema de trazabilidad, se tiene que considerar la forma en que se almacenarán los datos registrados para una futura consulta o para un análisis posterior. La definición de una base de datos es “*conjunto de datos almacenados en memoria externa que están organizados mediante una estructura de datos*” (Marqués, 2011). Para diseñar una base de datos se consideran tres etapas, que son:

- *Diseño conceptual*: Se construye un esquema, se descubre la semántica de los datos y se encuentran las entidades, atributos y relaciones de estos.
- *Diseño lógico*: En este se establecen la relación de cada uno de los datos, basándose en un modelo relacional, de red, jerárquico u orientado a objetos.
- *Diseño físico*: Esta orientada en poder determinar las estructuras del almacenamiento, donde se garantice un acceso eficiente de los datos, al igual que se establecen restricciones y se diseña el modelo de seguridad para el sistema.

Al término de esta etapa, se podrán representar los datos que se hayan requerido y el cómo los usuarios esperan que sean representados. Aparte de esto, se podrá tener un Sistema de gestión de base de datos, donde se podrá controlarse el acceso a ellos y las ediciones requeridas de acuerdo con diferentes situaciones.

2.3.4 Resumen de herramientas a usar.

Para finalizar esta etapa, en la Tabla 5 se enlista cada una de las herramientas, usadas por etapa.

*Tabla 5.-Concentrado de herramientas a utilizar por etapa.
Fuente: Elaboración propia*

Etapa	Herramienta
Diagnostico preliminar	Diagrama de flujo
	Estudio de tiempos y movimientos
	Modelo del cambio organizacional de Lewin
	Criterios para selección de área
Estrategia para elección de herramienta	Matriz de ponderación
Diseño conceptual del sistema de trazabilidad	Diseño de una salida efectiva
	Diseño de una entrada efectiva
	Diseño de base de datos

Para la etapa de implementación del sistema se utilizarán herramientas de seguimiento de proyectos, que resultan ser generales y de acuerdo con la empresa donde se está desarrollando el sistema. Para la etapa de evaluación, se usarán criterios, que se detallan posteriormente, para realizar la evaluación del proyecto que serán desglosados en el apartado 2.4, teniendo en cuenta el lugar de desarrollo.

2.4 Indicadores de evaluación

Para saber si la metodología propuesta cuenta con las características necesarias para poder cumplir con los objetivos generales impuestos en la etapa inicial, es necesario destinar un periodo de evaluación. En una primera instancia se usarán los dos indicadores que fueron obtenidos en la etapa diagnóstica, que están dados por:

- Porcentaje de confiabilidad en la información mostrada por el sistema de trazabilidad.
- Tiempo de ubicación del producto, siendo consultado por el sistema de trazabilidad.

Con la nueva toma de muestras de los anteriores puntos, es posible hacer una comparación con los datos obtenidos en la etapa de diagnóstico y poder observar si hay una mejoría notable en estos aspectos.

En una segunda instancia, será necesario una encuesta con los clientes directos para poder evaluar los siguientes puntos:

- ¿Hubo mejoría en la comunicación entre las áreas productivas de las áreas involucradas en el prototipo?
- ¿La base de datos de registros de movimientos con hora y fecha sirven para la medición de los rendimientos de las áreas productivas?
- ¿El sistema de trazabilidad les ayuda a realizar una mejor gestión de recursos para el cumplimiento de fechas de entrega?

De acuerdo con la retroalimentación obtenida, se podrá concluir con base a datos cuantitativos y cualitativos el impacto del sistema de trazabilidad. En caso de ser negativo el resultado, es necesario realizar ajustes y volver implementarlos desde el área de implementación.

Capítulo 3. Implementación y validación del sistema de trazabilidad propuesto.

3.1 Diagnostico preliminar

El primer paso de la metodología es el diagnostico preliminar, el cual tiene como objetivo visualizar aquellas características importantes de la organización, que ayudan al diseño e implementación del sistema de trazabilidad. Dentro de los entregables de esta etapa, se tienen ciertos puntos que sirven como base para el diseño del sistema, y la visualización del entorno área de estudio para un desarrollo exitoso del proyecto. Los puntos que se tratan en este apartado son los siguientes:

- Descripción del proceso actual
- Detección de las necesidades del cliente
- Indicadores/métricas utilizadas actualmente
- Elaboración del diagnóstico

Para los anteriores puntos, en cada uno de ellos se aborda la justificación de su estudio, detallando su desarrollo para el análisis y los resultados obtenidos en cada uno de estos.

3.1.1 Descripción del proceso actual.

Esta etapa tiene como objetivo visualizar el entorno y el tipo de proceso con el que se diseñó el sistema de trazabilidad. Se identificaron los procesos que se tienen, la entradas y salidas de un producto, el flujo que mantienen, los tiempos de espera y que información se maneja en cada proceso, ya que con esas características se diseñará el sistema de trazabilidad.

Los puntos que conforman la descripción del proceso fueron los siguientes:

- Descripción física de las áreas destinadas para el proceso productivo.
- Tipos de procesos productivos utilizados.
- Análisis de los procesos productivos
- Identificación de entradas, salidas y puntos donde converge el producto.

El análisis completo de los puntos anteriores se realizó al final de esta actividad, para poder sintetizar aquella información que tenía una relación directa con el diseño del sistema de trazabilidad.

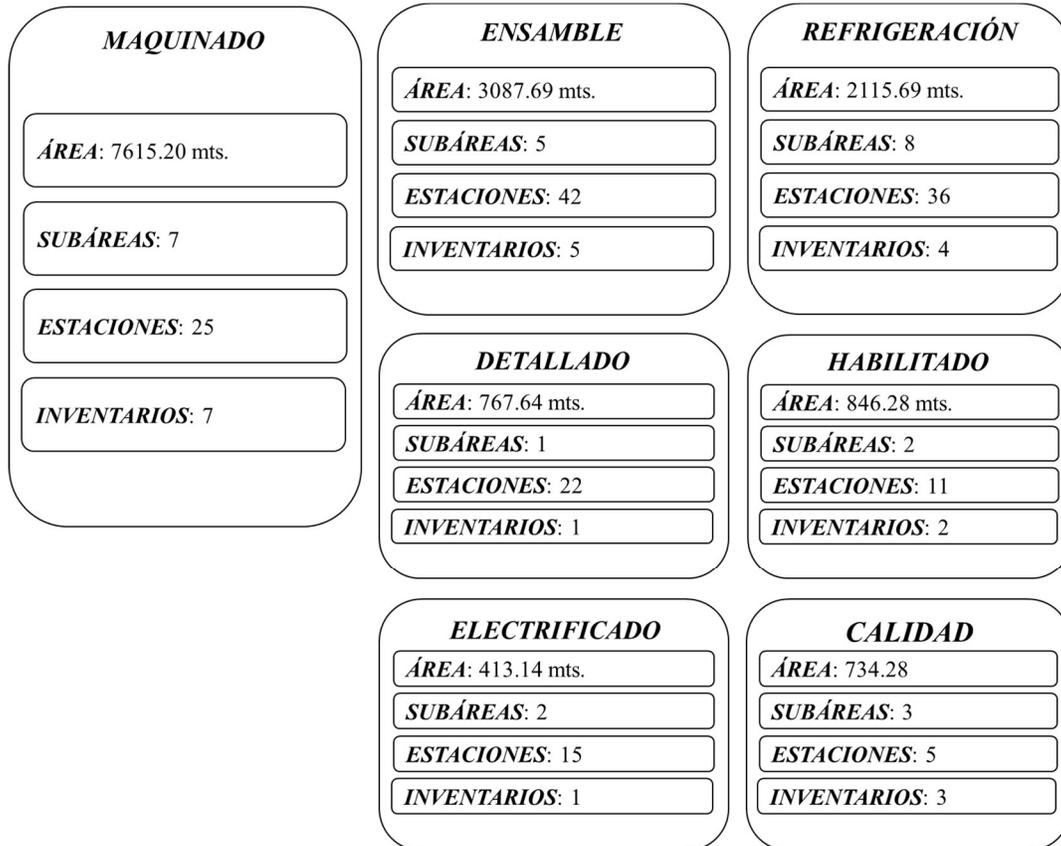
La descripción física de las áreas productivas sirvió para identificar la dimensión del área donde el producto podía posicionarse, ya que bajo esos rangos fue como se establecieron los puntos de captura y las referencias de ubicación, que se propusieron en la etapa del diseño del sistema. Para ello se establecieron los siguientes conceptos que definieron las características para el proceso:

- Área productiva: Zona donde al producto es modificado y cuenta con un proceso general especial, que la diferencia de las otras áreas. Puede contener subprocesos.
- Subárea: Zonas dentro de las áreas productivas donde se realiza una etapa del proceso. Estas pueden ser parte de un proceso seriado o pueden ser subprocesos independientes de otros subprocesos.
- Estaciones: Se refiere a máquinas, estaciones de trabajo o puntos de control, donde se realiza una parte del proceso y puede pertenecer a un área o a una subárea.
- Inventarios de proceso: Son las áreas delimitadas donde se encuentra una cantidad de productos en espera para entrar al proceso. Generalmente se encuentran antes de una área o subárea y no cuentan con estaciones.

Para recabar la información, se realizó un recorrido por toda la operación de la empresa. Con ayuda de los planos de la planta, se accedió a las medidas de las áreas y, junto con los encargados de cada una de las áreas, se fueron recabando los datos necesarios por cada uno de los conceptos descritos en el párrafo anterior.

En términos generales la empresa cuenta con siete áreas productivas y, en conjunto, abarcan una superficie de 15,579.92 metros cuadrados. El área que cuenta con una superficie mayor es Maquinado y el área con un mayor número de estaciones es la de Ensamble. El resumen de la información se muestra en el diagrama de la Ilustración 16.

Para más información, en la Tabla 6 se presentan las siete áreas productivas con una breve descripción de lo que se hace en cada una de estas, ordenadas de acuerdo con la secuencia del proceso.



*Ilustración 16.-Diagrama de las áreas productivas de la empresa.
Fuente: Elaboración propia.*

Teniendo definidas las áreas en las que está dividido el proceso, se procedió con la descripción del flujo para cada producto en las anteriores áreas descritas. En términos generales, el flujo del producto sirve para establecer cuantos puntos de ingresos de información son necesarios para llevar una trazabilidad del producto, como también conocer donde se concentra la mayor cantidad de productos, lo que provoca contratiempos en la ubicación de estos.

El flujo del producto realizado para la empresa objeto de estudio, se delimitó únicamente por las áreas productivas, por lo que el inicio del flujo fue definido por la colocación de una orden de fabricación y se termina cuando el producto es liberado por parte del departamento de calidad. Solamente contiene el flujo dentro de las áreas que están directamente relacionadas con la fabricación del producto. Para este estudio se excluyen todas las actividades fuera de la fabricación, como las actividades relacionadas con la colocación de la orden de fabricación del producto por

parte de ventas o aquellas ligadas con la logística de la entrega de los productos a los clientes. Esto se hizo debido a los alcances del trabajo y a las necesidades externadas por la empresa; si bien, un sistema de trazabilidad puede abarcar la cantidad de procesos que sean necesarios, para este caso, solamente se considerara lo relacionado con la fabricación.

*Tabla 6.-Descripción de las áreas productivas de la empresa.
Fuente: Elaboración propia*

Áreas productivas	Descripción
<i>Maquinado</i>	Es el inicio del proceso; aquí las bobinas de acero inoxidable son convertidas en láminas. Posterior a esto, se realizan los programas para el corte de las piezas que conforman el equipo. Se identifican, por medio de un etiquetado y pasan a un proceso de plegado, donde se les da la forma necesaria a las piezas por medio de prensas hidráulicas. El proceso culmina reuniendo las piezas para la elaboración de un equipo.
<i>Ensamble</i>	Ensamble del 70% de las piezas del equipo. Se realiza el ensamble por medio de soldadura. Se tienen diferentes subprocesos ya que se utilizan soldaduras TIG y Micro alambre, así como soldadura por resistencia.
<i>Detallado</i>	Se realiza un proceso de acabado estético de las uniones por soldadura. Se realiza por medio de pulido y otras técnicas de desbaste.
<i>Habilitado</i>	Etapas finales de algunos de los equipos, donde se da limpieza al equipo y se le colocan todos los accesorios que son ensamblados por remache, tornillería o algún otro tipo de ensamble que no implique el uso de soldadura.
<i>Electrificación</i>	En este proceso se colocan todos los componentes eléctricos y electrónicos que le permiten a los equipos funcionar. Se hacen cableados, armado de tableros eléctricos, paros de emergencia, etc.
<i>Refrigeración</i>	Área del proceso por donde pasan todos los equipos que contienen congeladores o refrigeradores. Aquí se hace el habilitado del sistema de refrigeración, instalación del producto aislante, llenado de carga de gas y detalles finales.
<i>Calidad</i>	Área conformada de tres subprocesos: en uno se validan las cuestiones dimensionales, estéticas y funcionamiento de los productos. En la segunda área se validan todas las cuestiones eléctricas, como uso adecuado de componentes, el correcto ensamble y validación del esquemático. La última área valida el rendimiento de los equipos que tienen una función específica, como refrigeradores, freidoras, mesas de preparación, etc.

Debido a la cantidad de múltiples productos que maneja la empresa (que son alrededor de 9000 modelos con formas, tiempos de procesos y tipos de ensamble diferentes), fue necesario categorizar cada uno de estos para poder facilitar el análisis del diagrama de flujo. En el caso de la empresa, esta cuenta con cuatro categorías de productos, que son los siguientes:

- Productos generales
- Productos eléctricos
- Productos para refrigeración
- Tarjas y limpieza.

Una vez establecidas las categorías involucradas para este caso, se procedió a realizar un diagrama de espagueti, donde se observó una panorámica general de la situación, mostrando los diferentes caminos que sigue el producto en las áreas productivas. Para ello se realizaron recorridos siguiendo los productos de las diferentes categorías en las áreas productivas y posteriormente se plasmó, de manera gráfica, la secuencia para cada uno de estos. El resultado de esta actividad se muestra en la Ilustración 17.

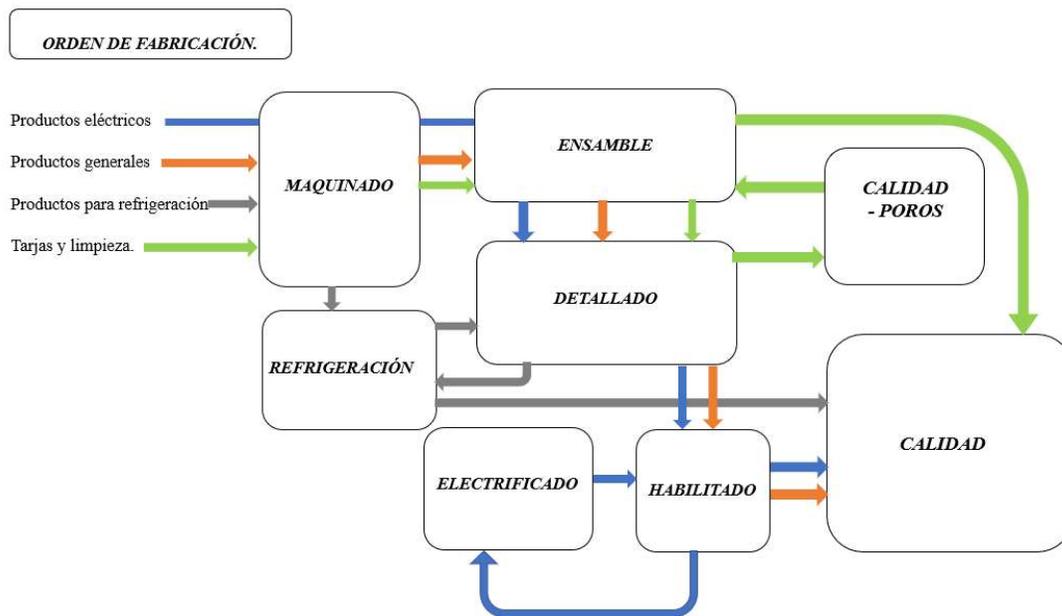


Ilustración 17.-Diagrama de proceso por producto.
Fuente: Elaboración propia

Cada una de las categorías está representada por un color, donde, por medio de una flecha, se puede observar el flujo que sigue dentro de los procesos productivos. En la Ilustración 17 se observa que las cuatro categorías de productos comparten el inicio en el proceso de fabricación, que es el área de Maquinado. Posteriormente, cada uno toma una secuencia diferente y llegan al mismo punto final que es el área de calidad. Por el tipo de producción que maneja la empresa, fue necesario realizar un diagrama de flujo para cada categoría, en el cual se incluyó información de utilidad para identificar puntos críticos en el proceso relacionados con la trazabilidad del producto, la información que genera cada área y los tiempos de proceso correspondientes.

Para la realización de los diagramas de flujo, se utilizaron mapas de flujo de valor. Los tiempos que se muestran en cada uno de los mapas fueron resultado del promedio de diferentes tomas de tiempo, ya que, para el caso de la empresa, se manejan diversos modelos que son muy diferentes entre sí y que repercuten en los tiempos de fabricación. Para el caso particular de la empresa, los datos que se manejaron en el mapa de flujo de valor fueron los siguientes:

- Tiempo ciclo: Es el tiempo que tarda el producto en un proceso. Abarca desde el primer momento que inicia el proceso y hasta que es pasado al proceso subsecuente.
- Tiempo de valor: Es la suma del tiempo que toma cualquier actividad que le está añadiendo un valor, que es lo que realmente tiene relación con lo que necesita el cliente.
- Turnos: Es la cantidad de turnos que maneja la compañía y en especial el proceso.
- Máquinas: Son aquellas máquinas o estaciones de trabajo habilitadas para realizar las actividades de fabricación.
- Tiempo de espera: Tiempo que pasa un producto en el inventario de proceso, que generalmente es la espera que tiene un producto entre cada uno de los procesos.
- Bases de datos/reportes: Son reportes que son generados por cada una de las áreas del proceso, para poder ser consultadas por gerentes y coordinadores de área. Los reportes generalmente cuentan con información de la fabricación del producto, así como productividad por turno y quien estuvo participando en el producto.

A continuación, se presentan cada uno de los mapas de flujo de valor para cada una de las categorías de producto.

En la Ilustración 18 se presenta el diagrama de los productos de la categoría general, que representan alrededor del 50% de la producción total de la empresa. En el mapa de flujo de valor de esta categoría se observa que tiene un tiempo de proceso total promedio de 140.33 horas, donde 97.45 horas que es un 69.44% del total se encuentra en el área de maquinado. El producto pasa por 4 áreas el mayor tiempo de espera se encuentra entre las subáreas de corte y dobléz con casi 72 horas. Este dato demuestra que el material en proceso esta físicamente detenido en esa área de la planta.

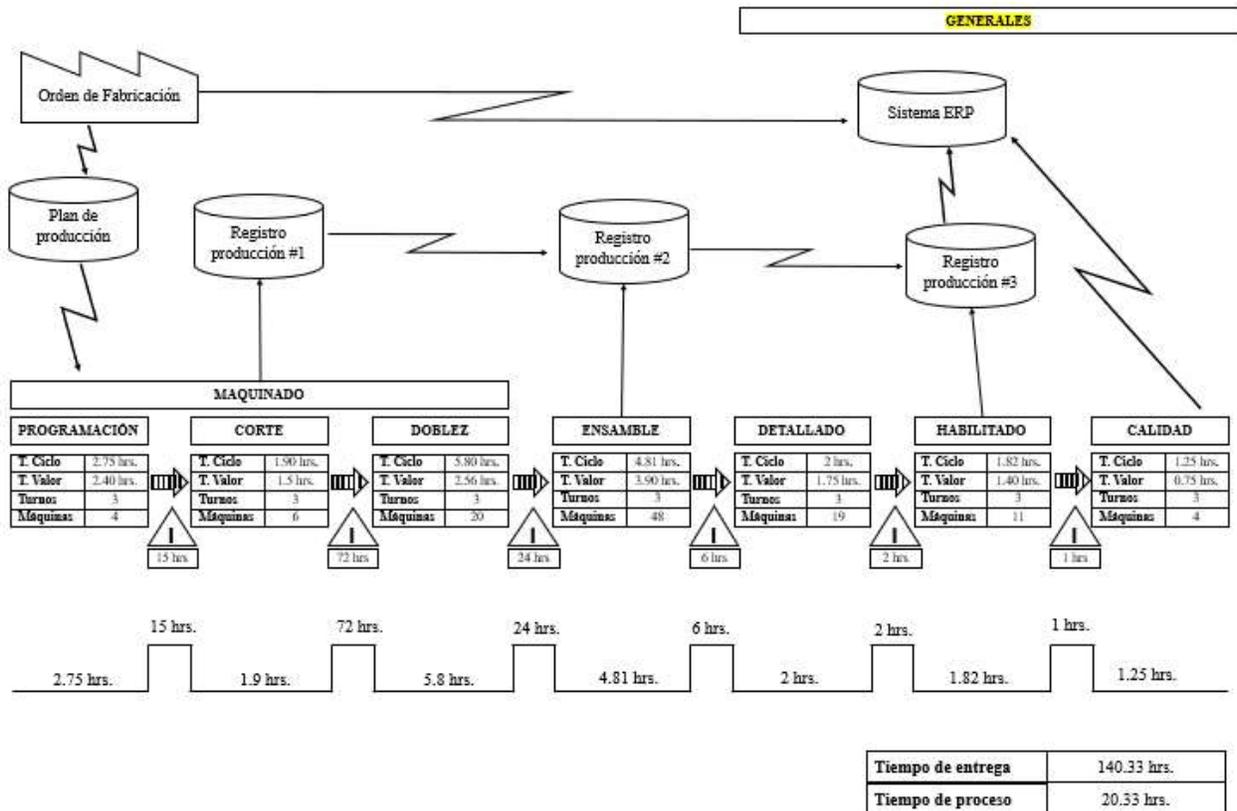


Ilustración 18.-Mapa de flujo de valor para productos generales.
Fuente: Elaboración propia.

Para la categoría de los equipos eléctricos, el mapa de flujo de valor se muestra en la Ilustración 19, donde se observa que cuenta con un tiempo total en producción de 154.3 horas, siendo esta categoría la que más tiempo le toma a la empresa en procesar. Como se observa en el mapa, si se suma el tiempo de las subáreas de maquinado que es programación, corte, doblado junto con los tiempos de espera, la sumatoria de tiempos da que el producto pasa un 65.75% del tiempo total en el área de maquinado.

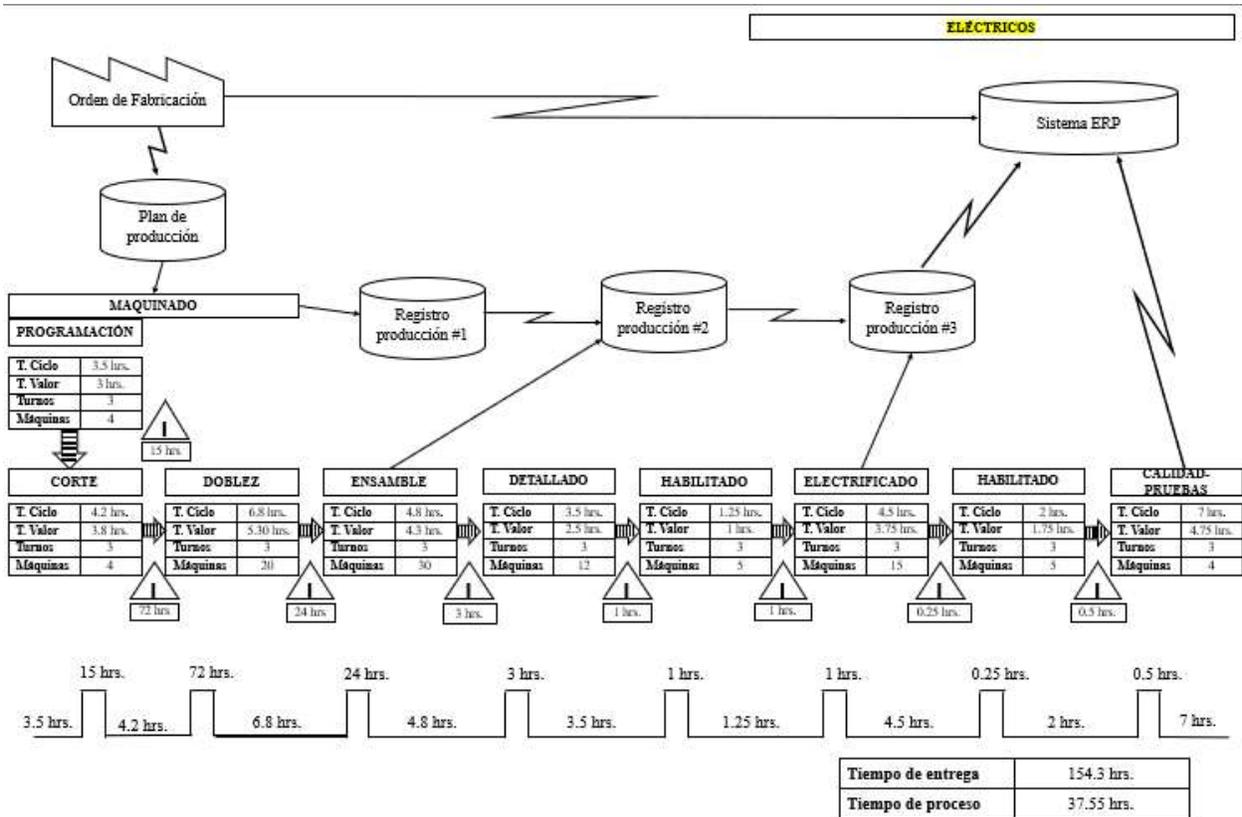


Ilustración 19.- Mapa de flujo para productos eléctricos.
Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 20 se muestra el mapa de flujo de valor para la categoría de Refrigeración. Para esta categoría en especial se tienen varias subáreas, pero realmente solo pasa por 4 áreas, que es Maquinados, Detallado, Refrigeración y por último calidad.

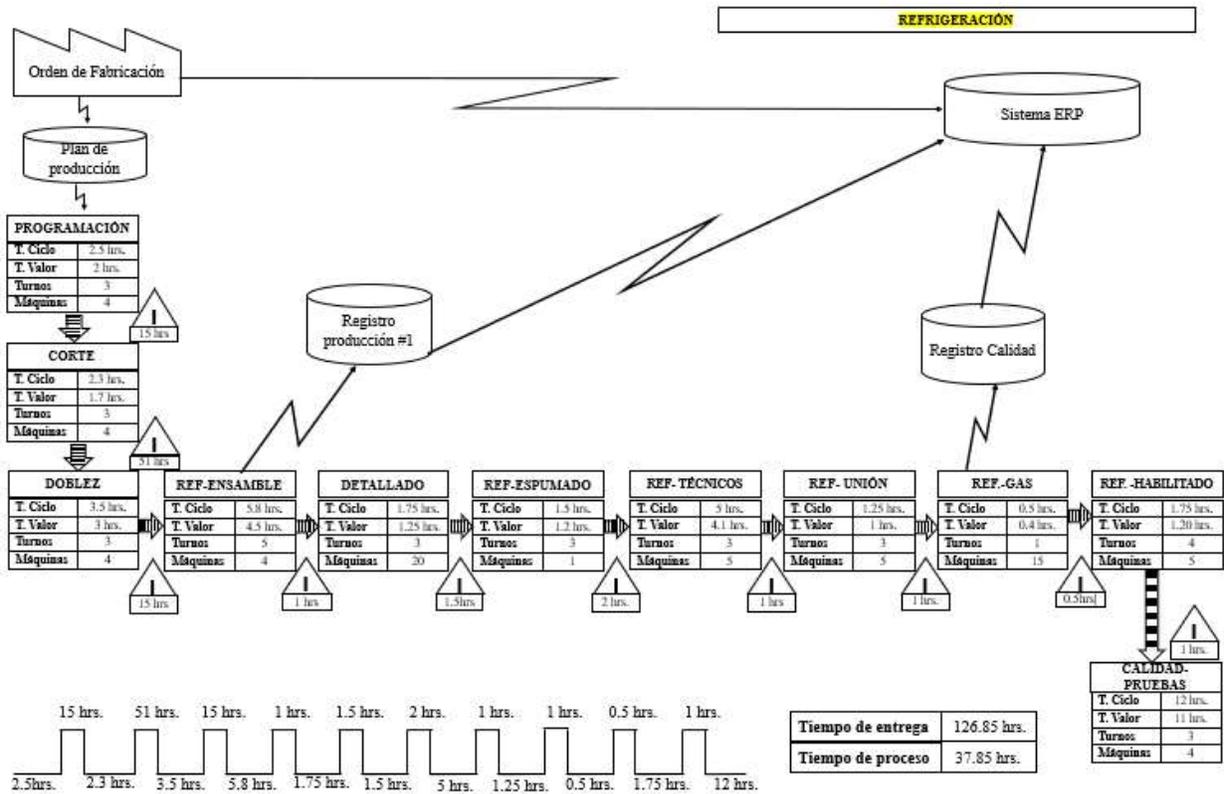


Ilustración 20.-Diagrama de flujo para productos refrigerados.
Fuente: Elaboración propia.

El tiempo completo de fabricación es de 126.85 horas y es una de las familias que tiene más inventarios durante el proceso. También se observa que el mayor tiempo que pasa en un área es el de Maquinados, con un 58.57% del tiempo total en esa área.

En la Ilustración 21 se muestra el mapa de valor de la categoría de Tarjas, siendo esta la categoría que menos tiempo pasa en el proceso. De igual forma como las anteriores categorías este producto pasa gran parte de su tiempo en el área de maquinados. Realmente no pasa por muchas áreas, tan solo por tres que sería ensamble, detallado y calidad. Por lo que la mayor parte del tiempo está en el área de maquinados.

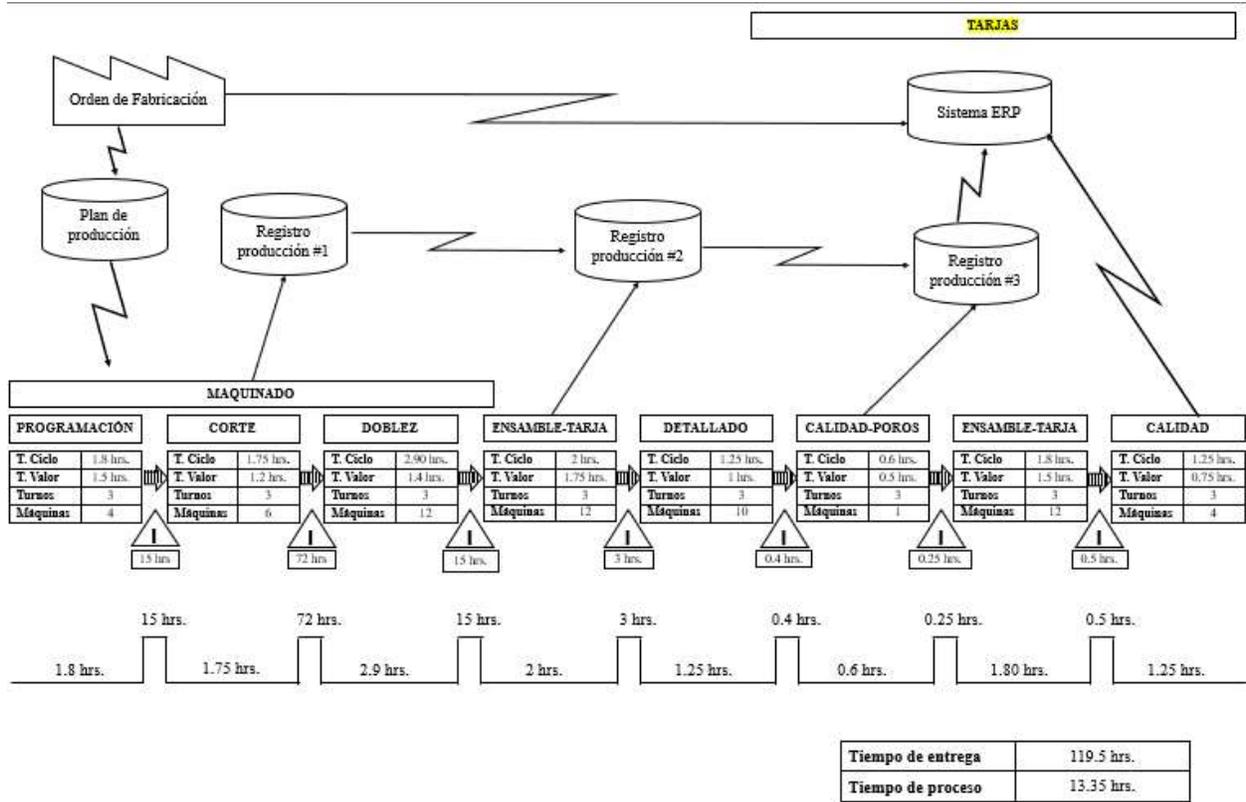


Ilustración 21.-Diagrama de flujo para productos con tarjetas y limpieza.
Fuente: Elaboración propia.

En resumen, de las áreas de acuerdo con la información de interés, establecida en el inicio de la actividad, se presenta una tabla donde se pueden comparar los conceptos de cada una de las categorías de producto:

Tabla 7.-Resumen de tiempos de los productos fabricados en la empresa.
Fuente: Elaboración propia

Concepto	Áreas			
	Generales	Eléctricos	Refrigerados	Tarjas y limpieza
Tiempo ciclo (h)	140.33	154.3	126.85	119.5
Tiempo de proceso (h)	20.33	37.55	37.85	13.35
Tiempo de espera (h)	120	116.75	89	106.15
Áreas de proceso	7	9	11	8
Base de datos	5	5	4	5
Inventarios de proceso	6	8	10	7

La Tabla 7 presenta el resumen de las categorías de equipos, de la cual se obtienen las siguientes conclusiones:

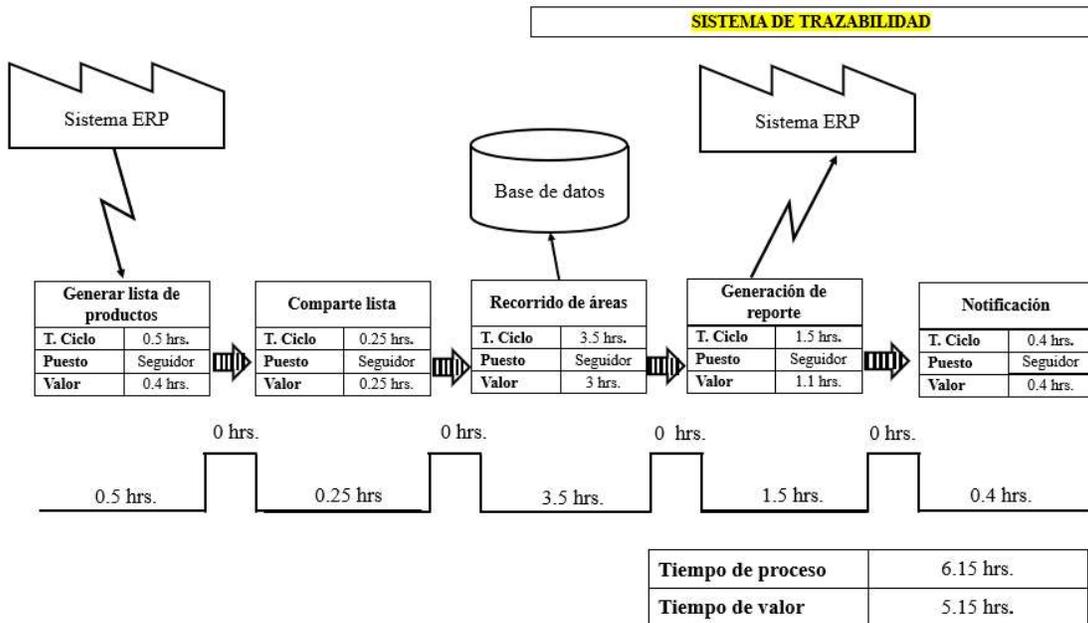
- Los equipos de la categoría eléctricos son los que más tiempo de proceso tienen, como también son los que cuentan con los mayores tiempos de espera.
- Los equipos de las categorías refrigeración y eléctricos son los equipos que mayormente cambian de área.
- Las bases de datos que se llenan en cada área solamente contienen información básica como: modelo, número de serie, fecha y turno en el que fue procesado.
- Las bases de datos que usa cada área no tienen el mismo formato y no están conectadas a un archivo general de consulta.
- Los inventarios de proceso de las áreas de ensamble y detallado, almacenan productos de las cuatro categorías.
- El área de Maquinados es la que almacena la mayor cantidad de unidades, y la que más equipos procesa en simultaneo, como también es el área donde mayor tiempo de espera representa, esto por la organización de la salida del material.
- Antes de ingresar al área de soldadura, los equipos pasan un 30% de su tiempo de espera total en el inventario en proceso.

3.1.2 Análisis de sistema de trazabilidad actual.

El sistema de trazabilidad actual de la empresa tiene como objetivo principal reportar la ubicación de los productos dentro del proceso productivo a los coordinadores y gerentes, con la finalidad de que se tomen decisiones enfocadas al cumplimiento de fechas de entrega de los productos con el cliente.

El sistema está conformado por nueve seguidores, distribuidos en tres turnos. El proceso inicia descargando del sistema ERP una lista de los productos con las fechas de embarque. Posteriormente, se hace una lista de los productos con fechas de embarque próximas y, con esta información, se define la carga de trabajo para cada grupo en cada turno. Los seguidores recorren las áreas productivas, ubicando los productos dentro de los procesos y anotando las ubicaciones en su carga. Conforme van identificando la ubicación de los productos, se procede a capturar la ubicación de los productos en el sistema ERP de la empresa. Como último paso, se realiza una junta al final del turno con el gerente de producción o subgerente, donde se reporta el estatus de

los productos ubicados y no ubicados durante el turno. En la Ilustración 22 se observa el mapa de flujo de valor del proceso de trazabilidad.



*Ilustración 22.-Diagrama de flujo de valor: Proceso de seguimiento.
Fuente: Elaboración propia.*

Del diagrama del mapa de flujo de valor, se detecta lo siguiente:

- El tiempo de búsqueda de los productos y la actualización de los estatus es de 5 horas.
- Se manejan dos bases de datos en el sistema: el digital, que es regido por el sistema ERP y uno de apoyo, que contiene la lista en físico en donde los seguidores realizan anotaciones de los productos.

En general, el sistema de trazabilidad que lleva la empresa tiene como entrada de información únicamente aquellos productos que tienen una fecha de entrega próxima a cumplir, por lo que el resto no es contemplado en ese momento para actualizar o reportar la ubicación. La salida del sistema contempla una actualización en el sistema ERP y una notificación verbal al gerente y subgerente, pero no contempla a los supervisores y encargados de áreas, por lo que entorpece la toma de decisiones en las cuestiones operativas.

3.1.3 Detección de las necesidades del cliente

Para asegurar una implementación exitosa de un nuevo sistema de trazabilidad, se requiere que esté orientado a cubrir las necesidades de los usuarios, ya que serán ellos los que consultarán información y extraerán reportes que les ayudarán a cumplir sus obligaciones y las tareas de su puesto. Esto, naturalmente, provocará que sigan los procedimientos establecidos para mantener al sistema de trazabilidad con la información actualizada y verificada. De esta etapa se obtiene la información que consulta cada área, con el fin de que estos datos sean utilizados en la etapa de diseño de la plataforma.

Los clientes directos se determinaron de acuerdo con el siguiente criterio: si requiere conocer el estatus de un producto para poder cumplir con alguna tarea del área, esto lo convierte como cliente directo. Se enlistan a las áreas consideradas como clientes directos, con una breve descripción de la necesidad de consultar el estatus del producto:

- *Planeación*: realiza la planeación semanal de acuerdo con las fechas compromiso de entrega y a lo que se está produciendo actualmente, para poder compartir a producción las prioridades de la semana en curso.
- *Áreas productivas*: se realiza la carga de trabajo diaria y el monitoreo de la operación de cada área de acuerdo con las unidades a procesar y las ya procesadas.
- *Embarque*: de acuerdo con los estatus de los productos, es como realizan la repartición de las unidades en los horarios de embarque.
- *Ingeniería*: deciden los planes de cambios de diseño de acuerdo con los estatus que tienen las unidades en el proceso productivo.
- *Calidad/Manufactura*: requieren de la información de fabricación de las unidades para poder trabajar en reclamos de cliente y garantías del producto.
- *Almacén*: preparan los materiales y accesorios para las unidades del proceso, por lo que requieren consultar el estatus para programar su carga de trabajo diaria.

De las áreas anteriormente mencionadas, el área productiva es la que tiene mayor contacto con el sistema de trazabilidad, ya que ellos atestiguan los cambios que origina el proceso y son los primeros auditores naturales del sistema, debido al uso cotidiano y a la relevancia de los datos para poder cumplir con sus labores.

Partiendo de este punto, se tuvieron reuniones por separado con cada uno de los usuarios, teniendo como objetivo identificar la información que requieren consultar para el cumplimiento de sus actividades. En la Tabla 8 se muestra la información del producto solicitada por cada área:

Tabla 8.-Información requerida del producto por área.

Fuente: Elaboración propia

Áreas	Información
Planeación	Producto-Número de serie-Ubicación
Producción	Producto-Número de serie-Ubicación -Tiempos de entrada/salida- ID Colaborador que participo en la fabricación. - Productos disponibles para fabricar por área.
Ingeniería	Producto-Número de serie-Ubicación
Embarques	Producto-Número de serie-Ubicación
Calidad/Manufactura	Producto-Número de serie-ID Colaborador que participo en la fabricación.
Almacén	Producto-Número de serie-Ubicación

De igual forma se consultaron las áreas sobre los reportes para el manejo de indicadores o para seguimiento de actividades. En el caso de la empresa, solamente el área de *Producción* fue la que requirió ciertos reportes por proceso, los cuales se detallan en la Tabla 9:

Tabla 9.-Reportes requeridos por cada área productiva.

Fuente: Elaboración propia

Áreas productivas	Reportes requeridos
Maquinado	Productos cortados por turno. Productos cortados por máquina. Productos doblados por turno Productos listos para entregar
Ensamble general	Productos disponibles en Inventario del proceso anterior. Productos procesados por turno. Productos procesados por colaborador.

El diseño de la interfaz se hace con base a la identificación de reportes requeridos y la cantidad de información que requieren los clientes directos.

3.1.4 Indicadores/métricas del sistema actual

Esta actividad tiene como objetivo establecer indicadores numéricos de los recursos invertidos y de los resultados que se están obteniendo del sistema de trazabilidad actual, con la finalidad de tener parámetros y comparar la propuesta de un nuevo sistema. Para ello, el primer paso es definir qué aspectos se evaluarán para medir los recursos invertidos y los resultados, por lo que en la Tabla 10 se muestran los factores establecidos.

Tabla 10.-Factores para medición del sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia.

Recursos	Resultados
Costo de capital humano involucrado en el sistema.	Tiempo de ubicación de un producto.
Costo tecnológico.	% Confiabilidad del sistema de acuerdo con datos mostrados.

En la cuestión de los recursos, el primer costo a contabilizar es el capital humano. Para este caso en específico, el capital humano es el recurso con mayor presencia dentro de la ejecución del sistema. Para contabilizar este costo se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Costo capital humano} = \text{Personas directas} \times \text{Costo por turno.}$$

Donde: *personas directas* son la cantidad de personas que ocupa el sistema para la operación. El *costo por turno* viene dado por los costos directos e indirectos que representa tener a una persona en operación; en él va incluido el salario integral, los costos de manejo y el costo representativo de los recursos indirectos que genera esta persona en las instalaciones de la empresa.

La empresa cuenta con los siguientes datos:

$$\text{Costo por turno} = \$1,512.00$$

$$\text{Personas directas} = 9 \text{ personas (3 personas por turno)}$$

El costo por turno es por operario y se expresa en pesos mexicanos. Fue establecido por el referente que cuenta la empresa para el tipo de personal operativo, que es un estándar manejado por cuestión estratégica de la empresa, ya que es una maquila para el corporativo y el personal de seguidores de producción es un personal que se considera *directo* para fines financieros; esto debido a que el personal involucrado en el sistema de trazabilidad es personal operativo sindicalizado.

Por lo tanto, el costo por día del capital humano se da de la siguiente expresión:

$$\text{Costo capital humano (diario)} = 9 \times \$ 1,512.00 = \$13,608.00$$

El costo por herramientas tecnológicas considera solamente el uso de un equipo de cómputo y una cuenta de Office 360. El sistema ERP que maneja la empresa es de fabricación propia y no genera un costo mensual. El costo del equipo electrónico y de la cuenta Office 360 ya está incluido en la tarifa estándar que maneja la empresa para el costo del personal operativo, por lo que, para este caso, no genera valor adicional.

$$\text{Costo tecnológico (diario)} = \$0.00$$

El costo total de los recursos del sistema está dado por la expresión siguiente:

$$\text{Recurso total (diario)} = \text{Costo capital humano} + \text{Costo tecnológico}$$

En donde se sustituye el valor de los costos definidos previamente en la expresión, que queda en la siguiente manera:

$$\text{Recurso total (diario)} = \$13,608.00 + \$0.00 = \$ 13,608.00$$

Por lo tanto, el costo de operación diario del sistema de trazabilidad que maneja la empresa es de \$13,608.00 pesos (Moneda nacional), en caso de requerir el costo mensual o anual, solo basta con multiplicar por los días laborables que contiene un mes o un año.

Para contabilizar los resultados obtenidos que tiene el sistema de trazabilidad, el primer concepto es establecer cuanto tiempo tarda en ubicar un producto utilizando el sistema actual. Para ello, primeramente, se establece la secuencia de actividades, la cual se muestra en la Tabla 11:

*Tabla 11.-Secuencia de actividades para consulta de ubicación en sistema de trazabilidad actual.
Fuente: Elaboración propia.*

Operación
Ingresar número de unidad en el sistema de trazabilidad
Dirigirse al área que señala el sistema
Realizar la ubicación de la unidad.

Posteriormente, se realizó un estudio de tiempos para determinar el valor de cada operación con la finalidad de determinar el costo total. Los resultados obtenidos de esta actividad se muestran en la Tabla 12:

*Tabla 12.-Estudio de tiempos de la ubicación de las unidades con Sistema de trazabilidad actual.
Fuente: Elaboración propia.*

Operación	Tiempo en horas
Ingresar número de unidad en el sistema de trazabilidad	0.01
Dirigirse al área que señala el sistema	0.08
Realizar la ubicación de la unidad.	0.32
Total	0.41

Después de este proceso, se tomó el tiempo requerido para actualizar la ubicación del producto, donde la actualización se realiza cuando se tiene la ubicación de 15 productos en el área. Para evaluar este punto, se tomó el tiempo de los 8 seguidores de producción, donde se consideraron las siguientes actividades:

- Búsqueda de productos de la lista asignada.
- Traslado al centro de captura.
- Cambio de estatus del producto.

Los resultados de las 8 tomas de tiempo de los productos se pueden observar en la Tabla 13:

*Tabla 13.-Toma de tiempos de ubicación de producto
Fuente: Elaboración propia*

Seguidor	Tiempo (h)
Seguidor 1	3.6
Seguidor 2	3.5
Seguidor 3	3.8
Seguidor 4	4.1
Seguidor 5	4.2
Seguidor 6	3.6
Seguidor 7	3.7
Seguidor 8	4.1
Promedio	3.825

Los tiempos mostrados en la Tabla 13 son los promedios de varias tomas de tiempos en diferentes condiciones. El estudio se realizó en diferentes áreas productivas y en diferentes tipos de producto. La cantidad de muestras fueron definidas por la cantidad de usuarios directos del sistema de trazabilidad.

Para obtener el porcentaje de confiabilidad del sistema, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Calcular la cantidad de productos a las que se hará la prueba para tener un 95% de confiabilidad en nuestro indicador.
2. Consultar la ubicación de un producto en el sistema de trazabilidad.
3. Verificar, físicamente, si el producto se encuentra en la ubicación que marca el sistema de trazabilidad actual.
4. Realizar la cantidad de veces de acuerdo con la muestra calculada en el paso 1.
5. Calcular el nivel de confiabilidad de acuerdo con la siguiente formula:

$$\% \text{ Confianza} = \frac{\text{Número de productos con ubicación correcta.}}{\text{Número total de productos auditados}} \times 100$$

El primer caso es determinar el tamaño de la muestra, para ello se establece que la población es la cantidad de producto que está en proceso, el cual para el caso de la empresa objeto de estudio es de 350 productos. El tamaño de la muestra se calculará bajo la siguiente expresión:

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

Donde:

- N = Total de la población
- Z = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%) •
- p = proporción esperada (en este caso 50% = 0.50) •
- q = 1 – p (en este caso 1-0.5 = 0.5) •
- d = precisión (en esta investigación se usó el 5%).

Como se estableció, el índice de confiabilidad es 95%, por lo que se procede a sustituir los datos para obtener la muestra necesaria:

$$n = \frac{350 \cdot 1.96^2 \cdot 0.05 \cdot 0.95}{0.05^2(350 - 1) + 1.96^2 \cdot 0.5 \cdot 0.95} = 61$$

De acuerdo con la muestra, se consulta la ubicación de 61 productos y los resultados obtenidos se sustituyen en la expresión para el cálculo de confianza:

$$\% \text{ Confianza} = \frac{23}{61} \times 100 = 38\%$$

El sistema tiene un nivel de confianza del 38%. Esto significa que, si se llegan a consultar las ubicaciones de 10 productos, solo 4 de estos estarán en el proceso que el sistema de trazabilidad mostró.

En conclusión, el sistema de trazabilidad actual tiene un costo mensual de \$ 408,240.00 pesos. Los resultados ofrecidos por el sistema arrojan un tiempo de ubicación del producto de alrededor de 18 minutos y con un 38% de fiabilidad con respecto a la ubicación de las ubicaciones mostradas.

3.1.5 Análisis de fuerzas de oposición

Siguiendo con la metodología del diagnóstico del sistema, esta actividad tiene como objetivo el identificar las fuerzas de oposición a la ejecución de un nuevo sistema de trazabilidad. Las fuerzas están presentes en la cultura organizacional de las personas que directamente están involucradas en la ejecución del sistema, de ahí la importancia de contemplarlas en el diseño del sistema y en su implementación. Para este caso, se realizaron las siguientes preguntas a los involucrados en el sistema de trazabilidad, desde usuarios, operadores del sistema y los encargados de los procesos participantes:

- ¿Qué es lo que más les preocupa de un nuevo sistema de trazabilidad?
- ¿Es posible que el proceso de captura se puede automatizar?
- ¿Cree que la cultura de la empresa permita que se tenga un mejor sistema de trazabilidad?

Después de haber tenido las respuestas de los involucrados en el proceso, se analizaron las respuestas para encontrar las de mayor ocurrencia y el resultado es lo siguiente:

- Lo que más preocupa del nuevo sistema es que involucre más recursos, tanto en el costo como en el tiempo de ejecución y que, al final, no se genere una mejoría.
- Ven difícil que el proceso de captura se pueda automatizar, ya que el ambiente del proceso tiene muchas variantes a controlar.

- Creen que la cultura de la empresa es reacia a cambiar, ya que son 30 años trabajando de la misma manera y que hasta este momento funciona.

De las anteriores respuestas resumidas, se identifican como principales fuerzas de oposición las siguientes:

- Desconfianza en la tecnología
- Costumbre de las operaciones del sistema de trazabilidad actual.
- Temor de perder tiempo y dinero en algo que funcionará igual.

Teniendo definidos los puntos que ejercerán como fuerzas de oposición en el desarrollo del sistema, de acuerdo con la metodología propuesta, se generó una lista de los puntos negativos que actualmente se tienen en el desarrollo del sistema de trazabilidad, con el fin de evidenciarlos ante los usuarios y operadores del sistema actual, para que estos puedan crear conciencia. Los puntos negativos detectados por los usuarios y en un análisis general del sistema son los siguientes:

- Poca fiabilidad en los datos mostrados del sistema de trazabilidad.
- El personal involucrado en la ejecución del sistema tiene mucho tiempo muerto.
- El recorrer las áreas en busca de los productos toma demasiado tiempo y es una tarea compleja.
- En ocasiones los datos capturados tienen errores provocados por los seguidores de producto.

Con los anteriores puntos obtenidos, se realizarán campañas donde los usuarios y el personal involucrado en el sistema de trazabilidad puedan observar los anteriores puntos negativos mostrados, con el fin de crear conciencia y entender que el nuevo sistema de trazabilidad ayudará a corregir los puntos anteriormente mencionados.

3.1.6 Elección del área de aplicación.

Partiendo de las áreas productivas de la empresa descritas en la *Tabla 6.-Descripción de las áreas productivas de la empresa* y analizando el flujo de los productos en ellas gracias a los diagramas de mapas de valor que se realizaron para cada una de las categorías de producto en este capítulo, se elegirá el área de aplicación donde se desarrollará el nuevo sistema de trazabilidad. Para esto, se

utilizarán los criterios que fueron establecidos en el apartado 2.2.4.-Elección de área para aplicación donde posteriormente fueron evaluados con los indicadores presentados en la Tabla 4.

Los cuatro criterios tienen un peso diferente al momento de realizar la evaluación de las áreas. La ponderación de los criterios se estableció conforme a los intereses del cliente y a las necesidades del sistema. Para ello se realizó una junta con los clientes interesados dentro de la empresa, donde los valores de los criterios se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.-Valor de los criterios de selección de área.

Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Valor
Cantidad de productos a capturar.	0.35
Bajo índice de confiabilidad.	0.35
Espacio del área.	0.20
Mayor tiempo de espera.	0.10

Con los criterios establecidos y con la ponderación asignada, se procedió a evaluar las áreas de acuerdo con los criterios. La evaluación se llevó a cabo dando un valor a cada criterio por área, el valor fue asignado, dependiendo del impacto del criterio en las áreas, el cual resultó de la siguiente manera:

- 3 = La problemática está muy presente en el área.
- 2= La problemática esta medianamente presente en el área.
- 1= La problemática esta ligeramente presente en el área.

En la Tabla 15 se muestra la calificación otorgada a cada área en cada criterio, siendo el resultado lo siguiente:

Tabla 15.-Tabla de evaluación de áreas.

Fuente: Elaboración propia

Criterios	Maquinado	Ensamble	Refrigeración	Detallado	Habilitado	Electrificado	Calidad
Cantidad de productos a capturar.	3	2	1	3	2	2	3
Bajo índice de confiabilidad.	3	3	2	2	1	1	1
Mayor tiempo de espera	3	3	3	3	2	2	2
Espacio del área	3	3	3	1	2	2	1

Con esta información se multiplicaron los puntajes con la ponderación general de cada criterio mostrados en la Tabla 16. Se muestra como ejemplo este ejercicio para el área de maquinado:

*Tabla 16.-Tabla de evaluación del área de Maquinado.
Fuente: Elaboración propia.*

Criterios	Valor	Maquinado	Total
Cantidad de productos a capturar.	0.35	3	1.05
Bajo índice de confiabilidad.	0.35	3	1.05
Mayor tiempo de espera	0.20	3	0.60
Espacio del área	0.10	3	0.30
Total			3

La columna de *total* resulta de la multiplicación del valor de criterio y el puntaje asignado a cada criterio por área. Al final se realiza la sumatoria de la columna del total y esa es la calificación general para cada área. Se repite el procedimiento mostrado en la Tabla 16; resultando la puntuación general de cada área con los valores mostrados en la Tabla 17.

*Tabla 17.-Clasificación para clasificación de áreas.
Fuente: Elaboración propia*

Área	Valor
Maquinado	3
Ensamble	2.65
Detallado	2.25
Refrigeración	1.95
Calidad	1.8
Habilitado	1.65
Electrificado	1.65

La Tabla 17 muestra que el área de Maquinado es el área crítica para la aplicación del sistema de trazabilidad, ya que es el área que contiene mayor número de procesos y es justo en esta área donde todos los productos pasan, teniendo una mayor concentración. Teniendo en cuenta lo anterior, el área de Maquinado fue la elegida para desarrollar el prototipo del sistema de trazabilidad. Con el área de la primera implementación definida, en la siguiente etapa se realizaron los pasos para la aplicación del prototipo.

3.1.7 Análisis de la situación

Después de analizar los diferentes puntos en cada uno de los rubros que se tomaron, se observan las siguientes áreas de oportunidad en cada uno de estos.

- El sistema de trazabilidad actual solamente cubre un 35% de las unidades que se encuentran fabricando en todas las áreas de proceso, lo que genera una desactualización de los datos mostrados en el sistema ERP.
- Aproximadamente el 53% del tiempo total destinado al sistema de trazabilidad es invertido en la búsqueda y localización de los productos, y un 24% en ingresar los datos en el sistema ERP.
- El tiempo que transcurre entre la ubicación y el cambio de estatus del producto es muy grande, lo que ocasiona que los estatus cargados en el sistema ERP ya no sean los mismos en el tiempo en el que se consulta, generando así que la confiabilidad del sistema de trazabilidad solamente sea del 38%.

De acuerdo con el análisis realizado con el equipo de trazabilidad y los encargados de esta área, las razones del rendimiento actual del sistema es la siguiente:

- El tiempo intermedio entre la ubicación del producto por los seguidores y la actualización del estatus, es alto comparado con el tiempo del proceso de algunas unidades. Un ejemplo de esto se puede ver en el Mapa de flujo de valor de los productos eléctricos de la Figura 8, donde hay tiempos de procesos de 3.5 horas o incluso de 1.25 horas, comparado con las 5 horas que toma reflejar la ubicación tomada en el sistema de trazabilidad actual. De acuerdo con los mostrado en la Figura 8, es probable que el producto haya cambiado de ubicación, creando así las diferencias entre lo real y lo mostrado por el sistema. Para reducirlo, sería necesario proveer de una herramienta que les ayude a realizar la captura de manera remota.
- El proceso para la captura manual de las ubicaciones de los productos en el sistema ERP es tardado, debido al interfaz poco amigable con el que fue diseñado.
- El tiempo de ubicación del producto se reduciría si los seguidores tuvieran una base de datos el cual les arrojara algún indicio de dónde empezar a buscar. Generalmente tienen que empezar desde el área de maquinados, para poder rastrear en los diferentes registros que maneja cada encargado de área. Los registros son en archivos de Excel, cuentan con un

formato distinto y, en muchas ocasiones, son de difícil acceso debido a que se usan de manera personal. Por lo que los seguidores tienen que decidir entre realizar un recorrido completo o esperar que los encargados de área cuenten con registros completos.

- Para mejorar el sistema actual, sería necesario en invertir en una herramienta que permita la actualización remota de los estatus del producto por parte de los seguidores, donde la complejidad del desarrollo del sistema consiste en generar una interfaz ágil de actualización y pueda mejorar la conectividad de la empresa, así como desarrollar un plan para interconectar los reportes de los encargados de área y volverlos de fácil consulta para aligerar la carga de los seguidores.
- No existe una comunicación eficiente entre los reportes entregados por parte de los seguidores y los encargados de cada área, esto debido a que el proceso de comunicación de resultados esta centralizado en el gerente y subgerente de producción; por lo que depende íntegramente en la comunicación directa y la disponibilidad de estos dos puestos para cubrir todas las áreas.

De acuerdo con los mapas de flujo de valor, el área con mayor tiempo de espera en el proceso de los productos es en maquinados. No es casualidad que esta área cuente con el mayor tiempo de espera, ya que es la primera área en donde todos los productos convergen, sin excepción. De acuerdo con lo analizado con los equipos involucrados en este proceso, las razones son las siguientes:

- *La falta de comunicación entre los subprocesos del área de maquinado.* Cada encargado de subproceso maneja un archivo en Excel donde reporta que es lo que ha procesado, por lo que depende únicamente de lo presentado por el encargado y no hay una forma viable de poder verificar lo reportado.
- *La cantidad de producto mezclado.* Esto genera una limitante al momento de poder encontrar los productos que se tienen, la cantidad de piezas que conforma cada producto y lo difícil que es conocer si los productos están completos, es lo que complica la toma de decisiones para poder ingresarla en el proceso siguiente, generando un mayor tiempo de espera.

- *El desconocimiento de que productos hay en cada inventario de proceso.* Genera que no se puedan tomar de manera rápida aquellos productos con fechas de embarque próxima, por lo que el ingreso de los productos a cada uno de los procesos se hace de manera aleatoria.
- *Falta de control en embarques.* Si bien en el área de programación de productos se pudiera suponer que se puede llegar a controlar la cantidad de productos con fechas de embarque parecidas; no es de todo controlable, debido al índice de aprovechamiento de lámina de acero que se tiene que cumplir. En muchas ocasiones, es necesario mezclar las piezas de diferentes productos de acuerdo con la geometría y dimensiones, lo que genera que se tenga que programar productos con diferentes fechas de embarque. No solamente eso, si no que los productos y las hojas de programación también dependen de la disponibilidad de láminas de acero, por lo que en el área de corte también se puede alterar el orden de procesamiento. Todo lo anterior genera una mezcla entre productos con prioridad alta, media y baja, que a su vez provoca que los supervisores de los subprocesos subsecuentes procesen de manera aleatoria. Las decisiones de programación y corte se fundamentan en el aprovechamiento del acero y los tiempos de operación de las máquinas, por lo que son recursos muy importantes para la empresa. Las variables que maneja cada uno de los procesos son difíciles de controlar, debido a los diseños y los requerimientos de diferentes clientes.

Como conclusión de esta primera etapa, se enlistan los requerimientos que debe cumplir el sistema de trazabilidad:

- *Alcanzar una cobertura del 90% de los productos del programa de producción semanal:* es el porcentaje de productos de los que se muestra el estatus del proceso, por medio del sistema de trazabilidad, Se considera sólo un alcance del 90%, ya que existen ciertos productos que, por sus dimensiones, no sería posible colocarles algún tipo de etiqueta legible, como también hay productos especiales que no son compatibles con los flujos de producto establecidos en el capítulo 3.1.
- *Mostrar, en tiempo real, la ubicación del producto en el proceso:* el sistema debe ser capaz de mostrar la ubicación en donde se encuentra el producto dentro de las áreas productivas. Esto se establece porque es necesario que se pueda identificar de manera física los productos que están en proceso.

- *Generación de reportes de productividad:* se requiere que el sistema genere reportes de productividad para cada una de las áreas productivas, donde se muestren los productos procesados por día, por supervisor y por semana, con el fin de dar mayor seguimiento a las actividades de producción.
- *Costo de arranque, instalación y mantenimiento sea menor o igual al costo actual del sistema de trazabilidad:* se determina, como objetivo, que el costo del sistema de trazabilidad a desarrollar no supere el costo anual que se tiene actualmente del sistema implementado. En los costos del nuevo sistema, se contempla la compra, renta y gastos de todo el equipo y servicios que sean necesarios.
- *Aumentar la confiabilidad al menos al 80%:* Se requiere que los datos mostrados en el sistema de trazabilidad, como ubicaciones y tiempos ingresados al área, cuenten con un 80% de confiabilidad cuando estos sean comparados con la ubicación física.
- *No generar subprocesos en la aplicación del sistema de trazabilidad:* el sistema debe estar diseñado para evitar la adición de subprocesos dentro de los procesos ya establecidos que generen burocracia. También se restringe añadir actividades al personal operativo relacionadas con la trazabilidad, esto con el fin de no entorpecer el flujo del material o de generar cuellos de botella en los procesos.
- *Los componentes físicos seleccionados para el sistema deben ser compatibles con los procesos productivos actuales:* los equipos necesarios para el sistema deben de ser resistentes a las condiciones de los procesos productivos de la empresa y no deben de tener una afectación o consideración especial que implique la modificación de los procesos productivos.
- *Apego a las normas de seguridad cibernética impuestas por la empresa:* el sistema debe de apearse a las normas y a las características de conexión referidas por el reglamento de seguridad cibernética establecido por la empresa. Algunos puntos son la conexión al servidor de la empresa, establecer cortafuegos, interfaz del usuario, tipos de acceso a las bases de datos alojadas en el servidor y entre otros.

3.2 Estrategia de la selección de la tecnología para trazabilidad

El objetivo de esta etapa de la metodología es mostrar la forma en que se llegó, para este caso, a determinar que la tecnología RFID era la adecuada para esta aplicación. Dependiendo de los requerimientos y necesidades de cada caso, la tecnología resultante para el sistema de trazabilidad puede ser distinta, lo que aquí se pretende es mostrar el proceso que se siguió, esperando que pueda servir como ejemplo en caso de que la metodología pretenda ser utilizada para ser replicada en otro proyecto similar.

Los criterios utilizados para la selección de herramienta de trazabilidad, se hizo con base al listado de requerimientos del sistema de trazabilidad, que fueron mostrados en las conclusiones del capítulo 3.1. Para poder realizar la selección de la tecnología para trazabilidad, fue necesario determinar información de entrada que permitiera determinar las características de desempeño técnico deseado. La información requerida fue la siguiente:

- *Tamaño de información de captura:* es la cantidad de información digital que puede ser transmitida y capturada por la herramienta. Para el caso de este sistema de trazabilidad, los datos que requieren ser transmitidos son: identificación del puerto de captura, el modelo del producto y horario en el que ha sido capturado. Por lo que el tamaño se estima a no más de 1 kb. El cumplimiento óptimo de esta característica asegura que los reportes de producción cumplan con lo solicitado por el cliente y evitará gastar en un recurso que este sobrecalificado para lo requerido.
- *Rango de captura:* se refiere a la distancia necesaria para realizar la captura de datos. Esta característica es relevante para evitar que el sistema genere nuevos cuellos de botella o que el estado de la herramienta llegue a verse comprometido por la interacción con otro proceso. Otro punto importante es la variabilidad de formas y tamaños de los productos. Esto genera que los puntos de captura deben ser flexibles para asegurar el 90% de captura de los productos producidos. Se estima que el rango de captura debe ser un poco más de 1.5 metros para que los sistemas de captura puedan tener la flexibilidad requerida.
- *Capacidad simultanea de captura:* es la velocidad con la que se puede capturar la información. Esta información permite determinar la frecuencia en que se pueden realizar los registros de los productos y permite determinar si es posible la captura de varios artículos en simultaneo. Este factor es importante para mantener una cobertura del 90% de

todos los productos procesados sin llegar omitir alguno, en caso de que en los puntos de captura se tenga un flujo continuo de productos o se requiera capturar más de dos equipos en el instante, situación que es frecuente en la empresa. Otro requerimiento es la capacidad del sistema para lograr una actualización casi instantánea, para que los datos mostrados sean lo más cercano a lo que está pasando físicamente en el proceso y, de esta forma, mantener la fiabilidad del sistema al 80%. Lo requerido es que la herramienta pueda realizar la captura de datos de diferentes productos al mismo tiempo.

- *Costo de la infraestructura requerida:* Consiste en calcular el costo total de los componentes que son necesarios para la implementación y ejecución de la herramienta de trazabilidad. La importancia de esta variable es fundamental para no sobrepasar el costo anual del sistema de trazabilidad actual. Para este costo, se considera la viabilidad de adquisición o renta del equipo necesario para implementación y ejecución, como también los consumibles que pudiesen ser necesarios para su funcionamiento.
- *Medio ambiente:* Esta característica está orientada a identificar el entorno en el que el sistema trabajará, con la finalidad de asegurar que no afecte el funcionamiento del sistema.
- *Dependencia humana:* determina el grado de intervención humana requerido para el funcionamiento del sistema. Se desea que la intervención humana sea mínima, para poder abaratar costos de mano de obra y reducir los errores provocados por el error humano. De igual forma, esta característica permite que no se generen subprocesos adicionales para la ejecución del sistema de trazabilidad, cumpliendo con uno de los requerimientos del cliente.

Una vez que se han identificado la información necesaria para realizar la elección de la herramienta, se procede a realizar una ponderación de los criterios que se usarán para la elección de la herramienta del sistema de trazabilidad. Para ello se realizará la Matriz de Ponderación de (Brassard M, 1994). En la Tabla 18 se muestra el resultado de la ponderación que se realizó de acuerdo con un grupo de trabajo conformado por el líder de proyecto, un representante de planeación y un representante del área de IT para que en conjunto se ponderara lo más importante para estos criterios.

*Tabla 18.-Tabla de ponderación de criterios para selección de herramienta
Fuente: Elaboración propia*

Criterio	R. Proyecto	R. Producción	R. IT	Total	Ponderado
Tamaño de información de captura	2	2	4	8	0.13
Rango de captura	6	6	5	17	0.27
Capacidad simultanea de captura	1	1	1	3	0.05
Costo de infraestructura	5	5	6	16	0.25
Medio ambiente	4	3	2	9	0.15
Dependencia humana	3	4	3	10	0.16

En la Tabla 18 se tiene en primera instancia la columna que enlista cada uno de los criterios, por cada representante se le asigno un orden de prioridad, siendo el número más alto del conteo el que más vale. Se suman cada uno de los valores que asignó cada uno de los representantes y en la columna de ponderación se muestra el valor general ponderado que tiene cada criterio. La columna de ponderado será usada para evaluar cada una de las tecnologías disponibles en el mercado.

Las opciones que serán analizadas son las mencionadas en el capítulo 1.5.2.1 del marco teórico, en el cual se presentan las tecnologías más utilizadas para la trazabilidad. Las tecnologías que se evaluaron son:

- Código de barras
- Código QR
- RFID
- NFC
- BLE (Bluetooth energía baja)
- GPS

Cada una de las opciones ofrece ciertas ventajas en diferentes rubros y fueron relacionados con la ponderación de las características que deben de cumplir, conforme con lo analizado. Para realizar esto se realizaron una serie de tablas por cada criterio y de acuerdo con el total de herramienta, se ordenaron de mayor a menor para ver cual cumplía en mejor medida con los criterios.

El resultado de esta relación se observa en la Tabla 19, donde se muestra ponderación de las múltiples herramientas de acuerdo con cada criterio que fue previamente establecido.

*Tabla 19-Matriz de ponderación para la selección de la herramienta del sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

Herramienta	Tamaño de información de captura	Rango de captura	Capacidad simultanea de captura	Costo de infraestructura	Medio ambiente	Dependencia humana	Total
Código de Barras	0.13	0.27	0.05	1.5	0.42	0.16	2.53
Código QR	0.26	0.54	0.1	1.25	0.84	0.32	3.31
RFID	0.52	0.81	0.2	1	0.56	0.96	4.05
NFC	0.65	1.35	0.25	0.5	0.28	0.48	3.51
BLE	0.39	1.08	0.15	0.75	0.7	0.8	3.87
GPS	0.78	1.62	0.3	0.25	0.14	0.64	3.73

Como resultado de la Matriz de ponderaciones se obtiene la Tabla 20, donde se muestran las opciones ordenadas de mayor a menor cumplimiento de las características requeridas, siendo la primera la que más cumple y la última la que menos cumple.

*Tabla 20.-Ponderación de las tecnologías para la elección.
Fuente: Elaboración propia*

Herramienta	Ponderación
Código de Barras	2.53
Código QR	3.31
RFID	4.05
NFC	3.51
BLE	3.87
GPS	3.73

De acuerdo con lo reflejado en la Tabla 20, la opción que más cumple con lo requerido es RFID. La razón por la cual el RFID se impuso ante opciones más económicas y adaptables al ambiente como lo son el QR o el BLE, es que la interacción humana es nula, reduciendo los recursos operativos para su ejecución y aumentando la efectividad para la captura de la posición del producto en cada uno de los puntos de localización requeridos. Si se utilizaran opciones como el

QR o código de barras, se necesitaría una intervención humana, donde es probable que existan omisiones en la captura o que se asigne a personal fijo que maneje solamente la operación de captura, teniendo así un incumplimiento ante los requerimientos del cliente referente a la reducción del costo de operación del sistema de trazabilidad y aumentar la confiabilidad y la cobertura de los datos relacionados a la ubicación de los productos. Las otras opciones como lo es GPS o el BLE no resultaron adecuadas al proceso debido a sus restricciones de uso en interiores. Adicional a esto, la infraestructura necesaria para estas tecnologías en cuestión de arranque es más especializada debido a que el rango de captura que ofrecen es mucho más grande que lo que era necesario. En conclusión, el RFID cumple medianamente con requerimientos como la infraestructura necesaria y la capacidad de adaptarse en el ambiente de proceso, pero, sobre todo, ofrece las ventajas de la autonomía de captura y un rango de lectura amplio, lo que genera flexibilidad en el proceso de ejecución del sistema, que es importante ante un proceso en el cual el producto tiene diferentes dimensiones, formas geométricas, y diferentes flujos en el proceso. El RFID, en conclusión, es la herramienta seleccionada para este sistema de trazabilidad en específico.

3.3 Diseño

En este capítulo se presenta cómo se realizó el diseño conceptual del sistema de trazabilidad, tomando como base los requerimientos definidos al término del capítulo 3.1 y la herramienta seleccionada en el capítulo 3.2. El diseño utiliza como pilares los siguientes puntos:

- Diseño de una salida efectiva
- Diseño de una entrada efectiva
- Diseño de base de datos

Estos comprenden una serie de características que los vuelve diferentes, pero que se entrelazan para que el sistema de trazabilidad logre cumplir con los objetivos establecidos.

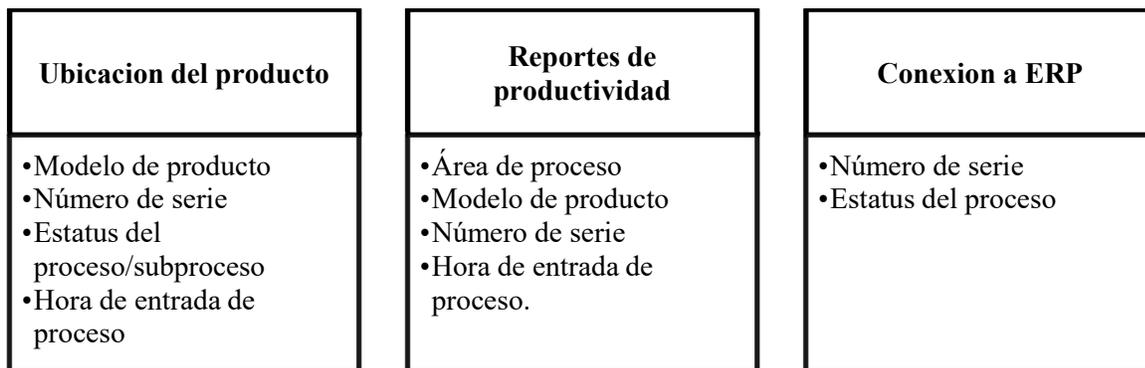
3.3.1 Diseño de una salida efectiva

La finalidad de iniciar diseñando la salida del sistema de trazabilidad es debido a que esta sección es lo más tangible para el usuario y, con base a esto, se determina si el sistema es útil o no. Es justo la salida del sistema en donde los requerimientos del usuario forman la base del diseño y las demás etapas son diseñadas de acuerdo con lo presentado en la salida, entendiendo que la salida es el “Qué” y las otras dos etapas son los “Cómo”. Es en la salida del sistema donde se define la

información que estará consultando cada usuario y en qué forma será presentada. Los requerimientos del sistema enlistados en el capítulo 3.1 que se estarán trabajando de manera directa en esta parte son los siguientes:

- Mostrar ubicación del producto en el proceso.
- Generación de reportes de productividad.
- Conectividad con el sistema ERP de la empresa.

Por cada punto se obtiene la información requerida para el usuario. Esta se estableció por medio de una reunión con los usuarios que consultaran el reporte, donde se recopilaron los datos necesarios para visualizar por cada punto. El desglose de la información obtenida se encuentra en el siguiente diagrama:



*Ilustración 23.-Diagrama de información en la salida del nuevo Sistema de Trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia.*

La información de la Ilustración 23 sirve como referencia para establecer qué información se requiere en las salidas del sistema. Una vez que la información fue establecida, se diseñó el entorno de visualización para que el usuario pueda acceder a ella. Para definirlo, se utilizó la metodología de diseño de salidas efectivas abordada en el Capítulo 2.3.3.1 de este trabajo, donde se establecieron las características primarias del entorno de la salida. Del desarrollo de la metodología se obtuvieron las siguientes características:

- *Tipo de usuarios:* Personal administrativo de las áreas de (Producción, Planeación, Calidad, Ingeniería y Logística).
- *Cantidad de usuarios:* Aproximadamente 70 a 80 usuarios.

- *Lugar de consulta de información de salida:* En cualquier punto físico de la empresa o incluso fuera de ella. Es deseable que los usuarios puedan consultar la información desde su lugar de trabajo.
- *Objetivo de salida:* La información y reportes que pudiesen ser generados deben ser utilizados únicamente para consulta. La información es usada para dar reportes de productividad y para consultar ubicación de los productos. La salida también es utilizada para cambiar los estatus de cada producto en la plataforma ERP que maneja la empresa.
- *Velocidad en que se necesita la información de salida:* Instantánea, se requiere en el momento que el usuario la consulta.
- *Frecuencia de uso/consulta:* En un rango de 75 a 100 veces por día.
- *Tiempo de almacenamiento de la información:* Durante un año. Es posible que se lleguen a hacer consultas para realizar investigaciones relacionadas con la calidad del producto o generar reportes comparativos de la producción.
- *Producción de las salidas:* La producción de las salidas debe encontrarse en los registros realizados por la herramienta RFID, que deben estar colocadas en cada una de las áreas productivas. Por lo que la herramienta RFID debe extraer la información de todos los productos que se encuentren en las áreas del proceso para enviar el registro a una base de datos para procesamiento y generación de las consultas y los reportes de producción.
- *Almacenamiento de las salidas:* El almacenamiento de reportes de producción debe ser asignado exclusivamente para el personal productivo y deben asignarse permisos especiales para el personal externo que pueda requerir de esta información. El almacenamiento debe hacerse de manera digital.
- *Distribución de la información:* La salida principal deber mostrar la ubicación en el proceso del producto consultado por el número de serie y debe poder ser consultada por cualquier usuario. Las salidas secundarias son los reportes productivos por proceso, donde se menciona la cantidad de productos producidos por: día, semana y mes de cada uno de los procesos.
- *Requerimientos humanos y ambientales para las tecnologías de salida:* Es necesario que el usuario ingrese información de referencia para que el sistema genere los reportes o la información solicitada. De acuerdo con la herramienta de trazabilidad elegida, y de acuerdo

con las necesidades del proyecto, la información de salida será en un ambiente digital, por lo que se requiere de un equipo de cómputo.

Siguiendo la metodología de Kendall & Kendall (2011), se define el tipo de tecnología a usar en la salida del sistema, que puede ser del tipo empujar o Jalar. Se tuvo una reunión con los usuarios, donde externaron los requerimientos y se llegó a la siguiente decisión.

- La consulta de la ubicación y los reportes de producción deben ser obtenidos por el usuario en el momento, por lo que corresponde al tipo *Jalar*, ya que el usuario decide en qué momento entra en contacto con la información y que tipo de reporte o consulta requiere. La tecnología que se emplea en el tipo *jalar* es por medio de la WEB, ya que es ahí donde se sitúa la interfaz del sistema y es por este medio que el usuario ingresa a la salida del sistema.

3.3.2 Diseño de una entrada efectiva

Ya con las salidas definidas, fue momento de identificar las entradas elementales para que la información mostrada a la salida tenga el fundamento adecuado y pueda desarrollarse de la manera correcta. La herramienta seleccionada para la trazabilidad tuvo un papel importante para el diseño de la entrada. Los conceptos contemplados en el diseño de la entrada fueron los siguientes:

- Información requerida de entrada.
- Ruta de captura.
- Proceso de alimentación de datos.

Información requerida de entrada. La información de entrada está definida por la información que muestran los reportes de salida, donde la información para cada reporte fue enlistada en la Ilustración 23. En la Tabla 21 se enlista la información requerida de entrada, junto con una breve definición, para que reporte será obtenido y el origen que tiene cada uno de estos.

*Tabla 21.-Características de los datos de entrada del sistema.
Fuente: Elaboración propia*

Dato	Reporte de destino.	Definición	Origen
Modelo de producto	Ubicación / Productividad	Identificación de cada producto.	Sistema ERP
Número de serie	Ubicación / Productividad	Número asignado a cada producto y con el que se usa para identificar el pedido de los clientes.	Sistema ERP
Estatus del proceso	Ubicación	Lugar físico donde el producto se encuentra o se encontró, usando algún proceso o subproceso como referencia.	De la ubicación del producto en proceso.
Fecha de registro	Ubicación / Productividad	Fecha y hora donde el producto ingreso a un proceso específico.	Al entrar a un proceso
Área de proceso	Productividad	Áreas físicas en las que esta dividida la producción y por cada una de estas se mide la productividad de cada una.	Establecidas por producción.

Con la información de la Tabla 21, se visualizó cuáles de los datos serían extraídos del proceso mediante la herramienta de trazabilidad. En el caso de este trabajo, serían únicamente los siguientes:

- Estatus del proceso.
- Fecha de registro.

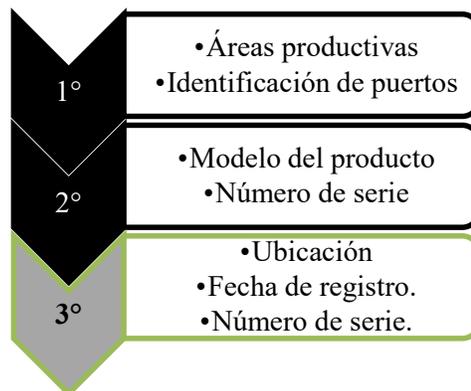
El RFID se encarga de capturar esta información del proceso e ingresarla al sistema, para que los registros puedan vincularse con un producto en específico. Cada ingreso de información debe de tener una identificación única para que un producto se pueda relacionar. Para este caso, se utilizó el número de serie asignado a cada producto para vincular los registros con algún producto. En la Tabla 22 se establece la información que será ingresada al sistema de trazabilidad por medio del sistema de captura RFID.

*Tabla 22.-Detalles de la información ingresada al sistema por medio RFID.
Fuente: Elaboración propia*

Dato	Especificación.
Estatus del proceso	Cada puerto de RFID cuenta con una dirección IP única, por lo que cada dirección se le asignara el nombre del área o proceso en donde se ubique.
Fecha de registro	La fecha de lectura se genera automáticamente por el RFID al momento de hacer la lectura.
Número de serie	Este dato lo contendrá la etiqueta que sea pegada en el producto. La información será cargada en el momento que se haga la impresión de la etiqueta.

Para los datos restantes, que son el Modelo del producto y el Número de serie, se establece que esta información se ingresara al sistema por medio de una conexión al sistema ERP. Estos datos solamente cuentan con un solo registro, ya que su función es establecer la base de datos inicial y no cambian con el transcurso del tiempo o del proceso, como sí lo hacen los datos de estatus del proceso y de la fecha de registro que van cambiando conforme el producto avanza en el proceso.

Establecidos los datos que se ingresan al sistema, se procedió a diseñar la ruta de captura para estos. En este punto se tomó en cuenta el orden en que tiene que ser capturados y la ubicación de cada punto físico de ingreso. Inicialmente, se analizó si los datos podían capturarse en una sola ocurrencia y si se debía respetar una secuencia en su captura. De acuerdo con la información de los datos y sus orígenes, se agruparon como se muestra en la Ilustración 24.

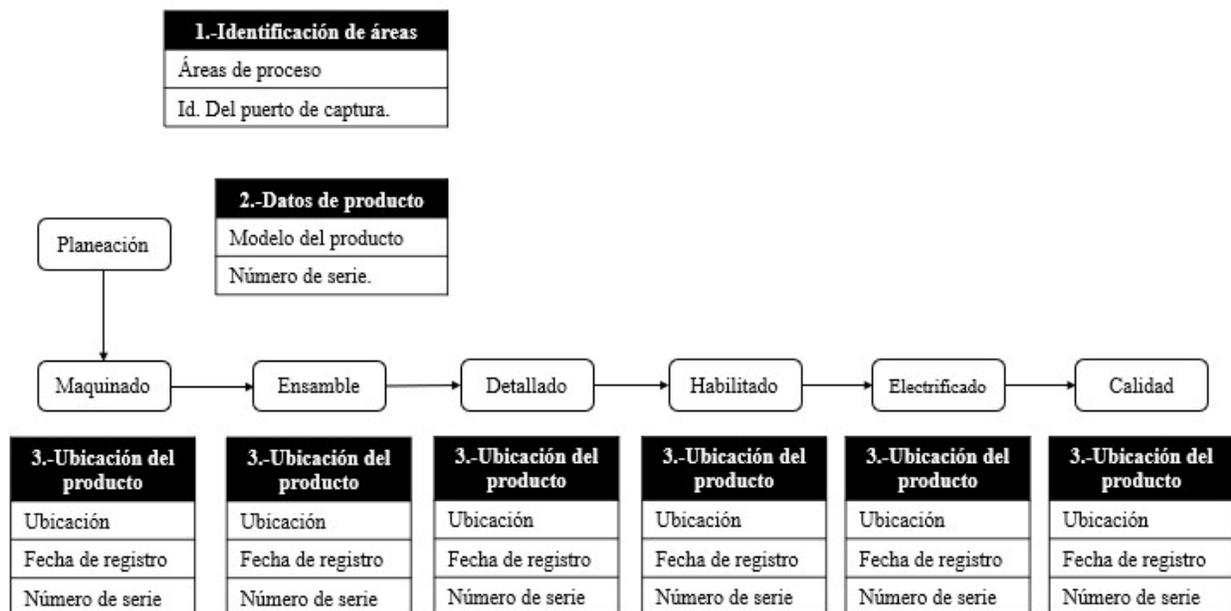


*Ilustración 24.-Diagrama de agrupación de datos y secuencia.
Fuente: Elaboración propia*

El acomodo del ingreso de los datos se estableció de esa manera por las siguientes razones:

- Las áreas productivas y la designación de los puertos es información que se ingresa solo una vez, ya que su finalidad es que se use como puntos de referencia para la ubicación. Se establece de acuerdo con la asignación física de las áreas del proceso. Esta información es la primera, debido a que con ella se define la ubicación de los productos.
- El modelo del producto y el número de serie comparten su origen, ya que ambos se extraen del ERP. Este registro se hace una sola vez al sistema y es con este en donde el producto nace digitalmente hablando en el sistema de trazabilidad.
- La ubicación y la fecha de registro son extraídos del proceso mediante el RFID, y estos registros son referenciados respecto al número de serie que se ingresó en el paso anterior. Debido a que esta información cambia con el progreso en la fabricación del producto, se generan múltiples registros para un mismo número de serie, por lo que también se generan múltiples ubicaciones físicas.

Establecida la secuencia en la que se ingresa la información en el sistema, se procedió a diseñar la ruta de captura, que se puede visualizar en la Ilustración 25:



*Ilustración 25.-Ruta de captura de información.
Fuente: Elaboración propia.*

En la Ilustración 25 se muestra la localización de los puntos dentro del proceso para la captura de la información señalada en la Ilustración 24. La información del punto 1 no tiene un lugar establecido, ya que este se ingresa desde un punto general del proceso. Esta información se ingresa conforme al acomodo de los procesos. La información del punto 2 se ingresa en el área de planeación, ya que es en esta área donde se tiene el primer contacto con el plan productivo semanal y de acuerdo con la secuencia de captura. Es el punto que alimenta la base de datos principal del sistema de trazabilidad. La información del punto 3 se distribuye en la entrada de cada proceso productivo. Estos abarcan cada una de las áreas productivas, dependiendo de la extensión o de los subprocesos de cada área, se establece la cantidad de puertos de captura necesarios.

El último punto dentro del diseño de la entrada del sistema consistió en definir los procedimientos para cada tipo de ingreso de informaciones, que para este diseño solamente fueron tres. Para cada uno, se establecieron los pasos que son necesarios para la captura de información.

En resumen, del diseño de entrada del sistema de trazabilidad se encuentra en la Tabla 23. En ella se menciona los tipos de información que se estarán registrando como datos y el procedimiento con el que se llevara a cabo. Esto servirá al momento de la implementación del sistema para llevar un orden al momento implementar los puntos físicos de registro.

*Tabla 23.-Listado de procesos para captura de información por cada punto.
Fuente: Elaboración propia*

Tipo de ingreso de información	Procedimiento
Identificación de áreas	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Contar con acomodo de las áreas productivas. 2.-Generar listados de las direcciones IP de cada antena RFID. 3.-Asignar un área/subárea a cada antena RFID. 4.-Generar listado que contenga la dirección IP de la antena que haya sido asignada al área/subárea. 5.-Ingresar esta información al sistema de trazabilidad.
Datos de productos.	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Consultar del sistema ERP los Números de serie recién creados. (Esto con el estatus de: Creado) 2.-Descargar el reporte de número de serie recién creados o con estatus de creado. (Estos incluyen el dato del modelo). 3.-Ingresar listado de los números de serie con modelo al sistema de trazabilidad. 4.-Generar etiqueta RFID para cada número de serie. 5.-Colocar etiqueta en cada uno de los productos.
Ubicación del producto.	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Pasar el producto en cada una de las antenas, previamente instalados en el inicio de cada proceso.

3.3.3 Diseño de base datos

Ya que se han establecidos las entradas de información, se continuó con el diseño de la estructura de datos que le permita al usuario un fácil acceso, un mantenimiento eficiente y con la determinación del espacio requerido para su almacenamiento. El diseño de la base de datos contempló los siguientes puntos:

- Diseño conceptual
- Diseño lógico
- Diseño físico.

Con el desarrollo de cada uno de los puntos anteriores, el usuario puede ver representado, de manera gráfica, el proceso de los datos dentro del sistema y sus relaciones.

La base de datos está compuesta por los registros de información que fueron definidos en la etapa de *Diseño de entradas efectivas*, y el propósito del diseño conceptual de la base de datos es generar un diagrama donde se muestren los campos que conformarán cada registro y como estos se relacionan entre sí, para mostrar los reportes solicitados en la Salida del sistema. El inicio del diseño conceptual inició con la definición, en forma de tabla, de cada una de las entradas del sistema, considerando los datos utilizados en la salida del sistema. Los elementos que conforman la base de datos son los siguientes:

- *Información del producto*: Ingreso de información que contiene todo lo relacionado con el producto, como; número de serie, descripción, modelo e información general.
- *Registros de captura*: Concentrado de información de la ubicación del producto, capturada por las antenas RFID instaladas en el proceso.
- *IP por área*: Ingreso de información donde se establece a que área se le asigna a cada una de la dirección IP de las antenas.
- *Estatus del producto*: Información de salida donde se muestra, por producto, en qué etapa del proceso se encuentra y en qué momento ha ingresado al área.
- *Producción por área*: Información de salida, donde se muestra la cantidad de productos que se han fabricado en un área específica.

Una vez descritos los puntos de información, se nombran las entidades, que este caso son cinco. Las entidades son los puntos donde existe un origen o intercambio de información, de ahí, la importancia de identificarlos ya que ellos definen la estructura y dictan el proceso para el manejo de los datos. Cada entidad está conformada por atributos, que son los tipos de información que se manejan en esos puntos. Teniendo identificados las entidades y los atributos, se establece la relación entre entidades y de esta forma se puede visualizar la composición de la base de datos del sistema. El resultado se muestra en la Ilustración 26, donde se muestran las entidades del sistema y los atributos que lo componen.

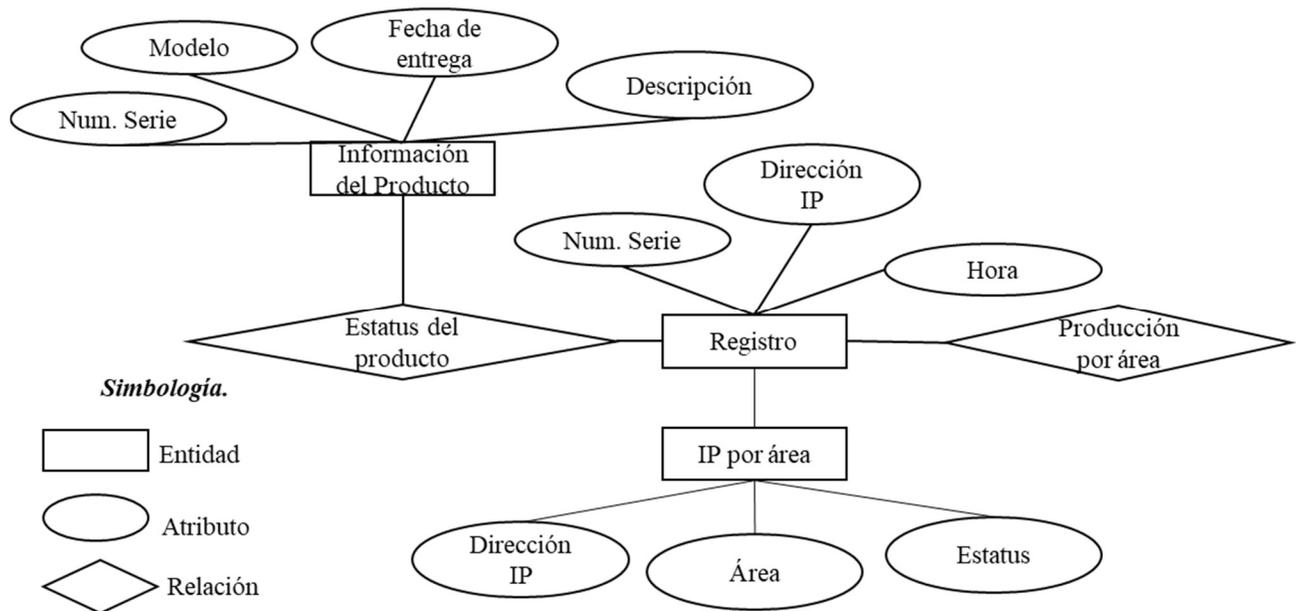
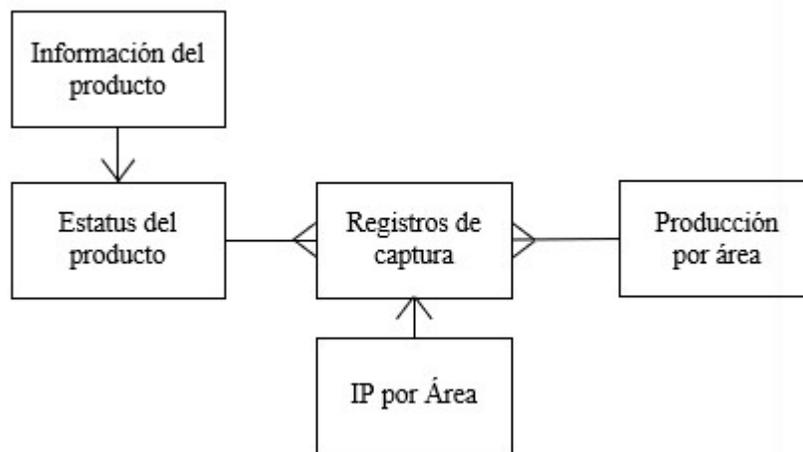


Ilustración 26.-Diagrama conceptual de la base de datos.
Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 26, los puntos señalados como relación corresponden a las entidades donde los atributos que lo conforman provienen de otras entidades. En este caso, se observa que las entidades de relación son aquellas que serán usadas como la información de la salida del sistema. En el diagrama conceptual de la base de datos se observan las entidades y los atributos que la componen, como también la relación que existen entre ellas. Poder visualizar esto permite comprender el flujo de la información y la lógica de la relación en las entidades para evitar ambigüedades. Las relaciones y las reglas por seguir se presentan en el diseño lógico de la base de datos.

Definido el diseño conceptual de la base de datos y teniendo identificado cuales son las entidades que se relacionan, se procedió a establecer la forma en como cada una de las entidades se

relacionan. En el diseño lógico de la base de datos se establecieron los tipos de relación que debían de tener las entidades para que los datos tuvieran un flujo continuo y el sistema pudiera funcionar. De acuerdo con la metodología del modelo relacional, existen tres tipos diferentes de relación de entidades: cuando la relación es uno a uno, uno a muchos y muchos a muchos. También en este apartado se colocaron restricciones de integridad en las relaciones de entidades, para evitar ambigüedad en las indicaciones que se dejaron en la base de datos para su funcionamiento. En la Ilustración 27 se muestra un diagrama preliminar del diseño lógico de la base de datos, y se visualiza la cardinalidad de las relaciones y el tipo de relación. En este diagrama se omiten los atributos de las entidades, ya que estas no son relevantes gráficamente para representar las relaciones de las entidades.



*Ilustración 27.-Diseño lógico de la base de datos preliminar.
Fuente: Elaboración propia*

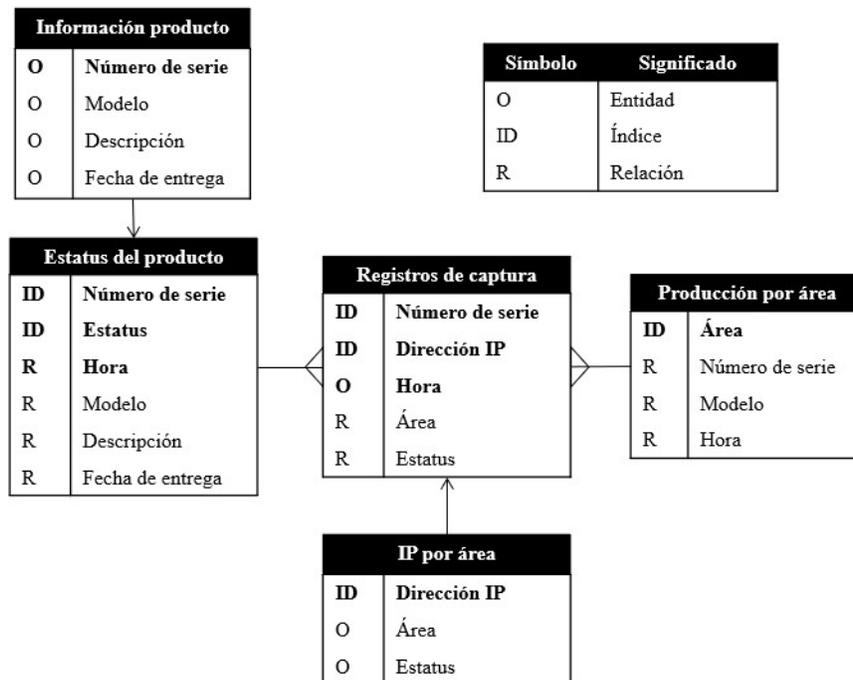
Del primer análisis del diseño lógico de la base de datos se obtiene la siguiente información:

- La entidad de la información del producto alimenta al estatus del producto.
- La entidad de IP por área alimenta la entidad de registros de captura.
- La entidad de registros de captura alimenta a dos entidades que son las de producción por área y estatus del producto.
- La relación de información del producto al estatus del producto será uno a uno.
- En la relación de registros de captura con estatus del producto se podrán tener varios registros de captura por un estatus del producto

- En la relación de registro de captura con producción por área, un área puede tener múltiples registros de captura, pero un registro no puede tener más de un área.
- En la relación IP por área y registro, solamente un registro puede tener un área.
- En las relaciones de información del producto con estatus del producto y registros de captura por estatus de producto, el atributo denominado número de serie funciona como restricción de clave en todas las relaciones.

Las características de las relaciones descritas en los puntos anteriores definieron los atributos para las relaciones de las entidades y su denominación.

Una vez definidas las características de las relaciones y las restricciones de integridad, se procedió a clasificar cada uno de los atributos de las entidades. Clasificar cada uno de los atributos sirvió para establecer la parte final del proceso de la relación de identidades. La definición de la categoría de cada atributo evitó que exista una duplicidad en los datos y se sobrecargue el almacenamiento de la información o bien que en el proceso de la información pudieran existir errores por duplicidad de registros. La clasificación de los atributos está compuesta por tres tipos; entidad, índice y relación. A cada atributo se le asignó un tipo de clasificación, conforme a lo presentado en la Ilustración 28, donde se muestra cada uno de los atributos que componen las entidades.

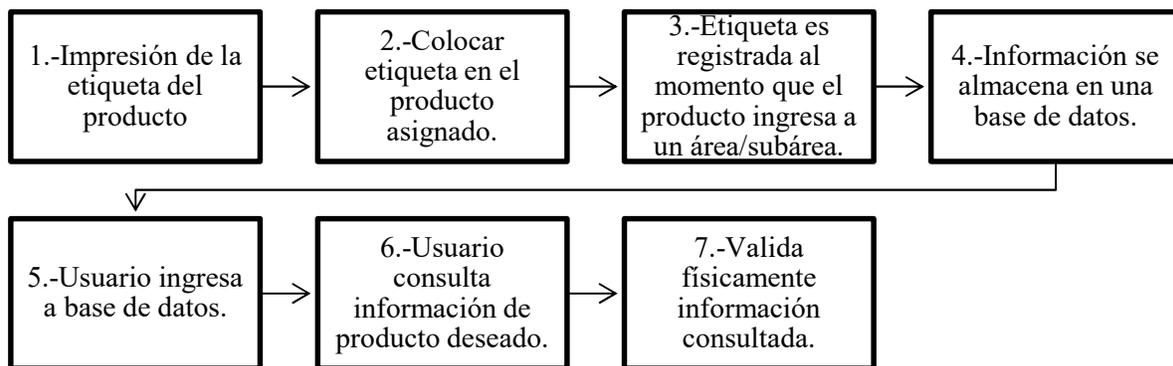


*Ilustración 28.-Diseño físico de base de datos.
Fuente: Elaboración propia*

Conforme con el diagrama del diseño físico de la base de datos, se observa que el atributo de número de serie es designado como campo llave en las relaciones entre los estatus del producto y los registros de captura. La dirección IP fue el atributo designado como índice para la relación de registros de captura e IP por área, con el fin de referenciar los atributos de área y estatus. Con esta información y la identificación de los atributos por cada entidad fue posible ingresar esto a una herramienta de administrador de base de datos para poder realizar la implementación del sistema de trazabilidad.

3.3.4 Diseño conceptual del sistema de trazabilidad.

Ya que han sido diseñado los tres apartados más importantes del sistema de trazabilidad, se generó un diagrama de flujo del sistema, el cual se muestra en la Ilustración 29, donde se definieron los pasos que se deben seguir para cada uno de los productos que ingresaran al sistema de trazabilidad, para su posterior rastreo.



*Ilustración 29.-Diagrama conceptual del proceso de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

En conclusión, se tienen las tres partes fundamentales del sistema de trazabilidad, la información plasmada en este capítulo permitió realizar una aplicación más sencilla, abordando desde la parte del software, la selección del hardware y de la ubicación de todos los componentes físicos para el sistema de trazabilidad.

3.4 Aplicación de prototipo

En este apartado se muestra el desarrollo que se siguió para la implementación el prototipo del sistema de trazabilidad en el área de maquinados. La secuencia para el desarrollo del prototipo del sistema tiene base en el Diagrama conceptual del proceso de trazabilidad, mostrado en la Figura 34 de la sección 3.4: Diseño del sistema. Se siguió esta secuencia lineal y por etapas, con el objetivo de que el avance en la implementación fuera validado con los requerimientos implementados por la etapa subsecuente. Este procedimiento se siguió buscando evitar incompatibilidades entre los elementos tecnológicos adquiridos, y errores en la comunicación con el desarrollo digital, mediante el aseguramiento de las características requeridas de los equipos físicos y requerimientos digitales al inicio de cada una de las etapas. Con el criterio anterior, se definió la estructura de la implementación, que quedó de la siguiente manera:

- *Impresión de etiqueta del producto:* En esta etapa se implementó lo necesario para lograr la identificación del producto. Esto abarca desde la obtención de la etiqueta y establecer el formato físico y digital que se requiere, como también el proceso necesario para su generación y aplicación.
 - Información de la etiqueta
 - Tipo de etiqueta (Formato físico y digital y requerimientos)
 - Modo de impresión (Tipo de impresora)
 - Procedimiento de identificación de producto.
- *Captura de información en el proceso:* Aquí se establecieron los puntos donde se realizarán las entradas de información. Se definieron las características de los equipos de captura y de su ubicación dentro del proceso.
 - Establecimiento de puntos de captura
 - Requerimientos de hardware
 - Compra e instalación del hardware
- *Administración de información y visualización:* Etapa donde se definieron los elementos necesarios para el manejo de los datos capturados. También se fue realizando la interfaz de consulta para la ubicación de los productos.
 - Tipo de conexión
 - Establecimiento de líneas de comunicación
 - Almacenamiento de datos (Tamaño de servidor)

- Tipos de mantenimiento y control
 - Diseño de la interfaz
 - Tipo de reportes
 - Entregas de manuales.
- **Capacitación:** Se estableció el plan de entrenamiento para cada una de las etapas anteriores. El programa de capacitación se diseñó de acuerdo con las intervenciones y las responsabilidades que surgen al momento de procesar el sistema de trazabilidad.
 - Capacitación en proceso de impresión y colocación de etiqueta.
 - Campaña para dar a conocer nuevo sistema de trazabilidad.
 - Capacitación para manejo de la plataforma.
 - Capacitación para la generación de reportes de producción.

3.5.1 Etapa 1: Impresión de etiqueta del producto.

El primer paso para la definición del diseño de la etiqueta fue la selección de la información que incluiría. En este caso, la etiqueta RFID cuenta con dos tipos de carga de información; impresa y digital. La información impresa tiene como fin que el usuario tome una decisión y sea contextualizado inmediatamente en el proceso. La información digital se utiliza para que algún dato sea almacenado y posteriormente procesado para una consulta. La información impresa determina el tamaño de la etiqueta ya que depende de los datos que se requieran visualizar, mientras que los datos digitales vienen definidos de acuerdo con el diseño de entrada de datos. El contenido de la etiqueta para ambos rubros se define de la siguiente manera:

- **Contenido visual:** Para la definición de la información fue necesario hacer un recorrido en el proceso, donde se identifica mediante las siguientes preguntas la información necesaria:
 - ¿Qué información consulta el usuario cuando ve un producto?
 - ¿Qué información necesita ver el supervisor para asignar la carga?
 - ¿Qué información requiere el equipo de producto terminado para el almacenamiento de los productos?

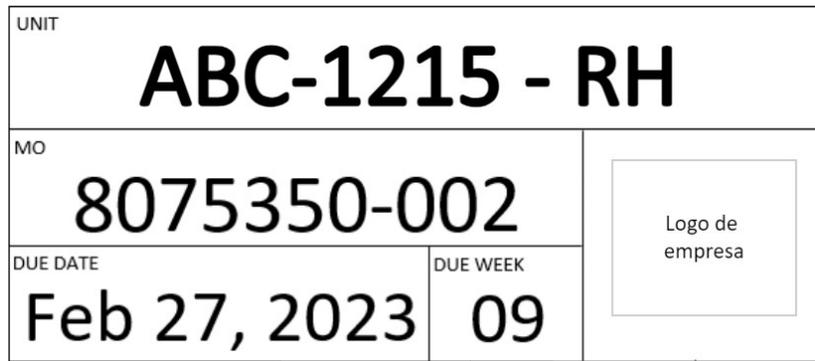
De acuerdo con las respuestas obtenidas del personal involucrado, que en este caso son los supervisores de producción y de producto terminado, se determina que los datos necesarios son los siguientes:

- Modelo del producto

- Número de serie
- Fecha de entrega
- Contenido digital
 - Los datos digitales requeridos fueron establecidos en apartado 3.2.2 *Diseño de una entrada efectiva*, donde se definieron los datos necesarios para que el sistema visualice lo requerido por el usuario. Teniendo en cuenta esto, la etiqueta solamente necesita el número de serie de cada producto. El número de serie, para el caso de la empresa, está conformado por 10 dígitos numéricos. Esta información es importante, ya que, dependiendo de la longitud del número de serie, se define el tamaño digital que debe de tener la etiqueta, un aspecto que se abordará después.
 - Información de la etiqueta
 - Tipo de etiqueta (Formato físico y digital y requerimientos)
 - Modo de impresión (Tipo de impresora)
 - Proceso para ingresar información
 - Ubicación de impresora
 - Procedimiento para realizar la impresión

Establecida la información de la etiqueta, se definieron las características físicas, como lo son: el tamaño, el acomodo de los datos y el color. Para definir el tamaño y el color fue necesario tomar como referencia las medidas estándar que hay en el mercado, ya que, si se solicita una etiqueta sobre diseño, es posible que esta tenga un costo mayor que una etiqueta de serie y sería propensa a desabasto. Para la selección del tamaño y del color se consultaron los modelos que existen en el mercado y, después de hacer pruebas colocándolas sobre algunos productos, se definió que el tamaño que permite mejor la visualización de los datos es la medida de 100 mm de largo y 40 mm de ancho, de color blanco y letras en color negro.

Para definir el arreglo de los datos en la etiqueta, se toma en cuenta la frecuencia en la consulta de los datos durante los procesos. Para el caso de la empresa, el dato más consultado es el modelo del producto, ya que con este se accede a los planos de fabricación. El segundo dato es el número de serie, que es con el que se accede a diferenciar los modelos en proceso y con los que se accede a los materiales en almacén. Después de establecer el tamaño y el tamaño de los datos, el formato de la etiqueta se muestra en la Ilustración 30:



*Ilustración 30.-Formato de la etiqueta para la identificación del producto.
Fuente: Elaboración propia.*

Establecido el formato impreso y los datos generales de la etiqueta, se procedió a la selección del modelo de la etiqueta RFID, considerando las características del ambiente de trabajo y de los requerimientos del sistema. En la Tabla 24 en lista cada una de las características con las cuales se hace una elección de etiqueta RFID y se presenta la justificación de esta selección:

*Tabla 24.- Características generales de la etiqueta.
Fuente: Elaboración propia*

Criterio	Característica	Justificación
Tamaño de etiqueta	100 mm x 40 mm	Visualmente permite la lectura del número del modelo y es fácilmente identificable en proceso.
Tamaño de la información digital (Tamaño de la información a guardar)	24 bits	De manera digital solo almacenará el número de serie, que consta de 10 dígitos numéricos.
Superficie donde se usará (Metal/Plástico/cerámico)	Acero inoxidable	El producto por identificar está constituido de acero inoxidable.
Forma de la superficie donde se usará (Plana o curva).	Plana	Los productos que se fabrican cuentan con superficies planas, no se tienen productos con superficies curvas.
Pasiva o Activa	Pasiva	La etiqueta no será reutilizable, por lo que se requiere de una etiqueta económica.
Rango de lectura.	15 metros	De acuerdo con la posición de la etiqueta y las zonas de captura, se usará un rango no mayor a 15 metros.
Uso de interior o exteriores	Interior (Plastificada)	Debido a los tipos de proceso que se tienen, se sugiere una resistencia mayor que la que ofrece el papel, por lo que se usara la plastificada.

De acuerdo con las características anteriores de la tabla y después de haber consultado las opciones que existen en el mercado nacional, se hace la elección del siguiente modelo de etiqueta que la etiqueta Zebra 10026770 (Zebra, 2023) que pertenece a la línea Silverline. Las características de la etiqueta se muestran en la Tabla 25.

*Tabla 25- Características técnicas de la etiqueta.
Fuente: Elaboración propia*

Criterio	Característica
Tamaño de etiqueta	100 mm x 40 mm
Memoria de etiqueta	96 bits
Superficie donde se usará (Metal/Plástico/cerámico)	Acero inoxidable
Superficie donde se puede colocar.	15 m en acero / 9 m en plástico / 10 m en líquido.
Tipo de transmisión	ETSI: 865 - 869 MHz FCC: 902 - 928 MHz
Rango de lectura.	15 metros
Uso de interior o exteriores	Interior (Plastificada)

Después de definir la etiqueta necesaria, se realiza la selección de la impresora de acuerdo con la etiqueta seleccionada, siendo la impresora Zebra T410 (Zebra, 2023) el modelo que se adapta a las características de la etiqueta. Ya con los equipos necesarios para poder realizar la impresión, se procedió a implementar un procedimiento integral para llevar a cabo la impresión de etiquetas en el proceso. Para ello fue necesario responder a las siguientes preguntas:

- ¿En qué momento se tiene que hacer la impresión de la etiqueta?
- ¿Quién se encargará de imprimir las etiquetas?
- ¿Dónde se colocará la etiqueta?
- ¿Cómo se asegurará que la etiqueta sea colocada en el producto que corresponde?

El objetivo de estas preguntas es resolver las necesidades para realizar una identificación efectiva del producto en el proceso. Las respuestas de estas preguntas permiten que este proceso auxiliar se pueda adaptar al proceso productivo, aumentando así las probabilidades de éxito del proceso de identificación. Para el caso de la empresa, estas respuestas fueron respondidas por el equipo de implementación del proyecto, mediante una observación en el proceso de producción del área de maquinados. El equipo de implementación siguió los pasos que se muestran en la Ilustración 31 para poder establecer el procedimiento.

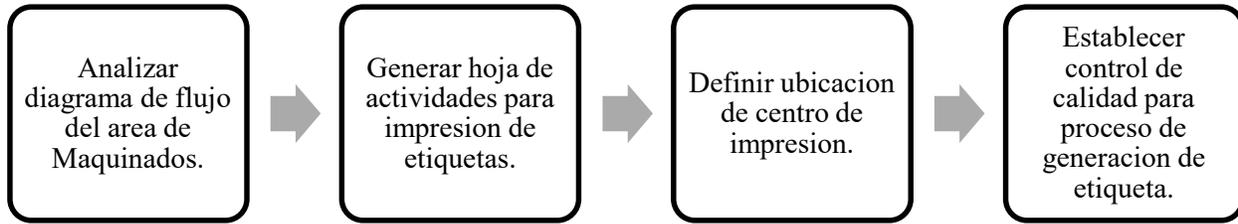


Ilustración 31.-Diagrama de proceso para la definición del proceso de identificación del producto en proceso.
Fuente: Elaboración propia

La generación del proceso de identificación del producto comenzó con un análisis en el proceso del área de maquinados, utilizando el Mapa de Flujo de Valor para los productos generales de la Ilustración 18 de la sección 3.1.1. Se identificó la espera entre los procesos que cumplan las siguientes características:

- Subproceso donde la salida del proceso concentra todos los productos.
- Subproceso donde se separen los productos para ser procesados en diferentes estaciones de trabajo.
- Subprocesos que reciban la información del programa de producción.

Con los criterios antes mencionados, se identificaron los subprocesos con estas características. Posteriormente, se calculó el tiempo de espera entre subprocesos, con el fin de obtener un espacio temporal donde colocar el proceso de identificación de producto. En el caso de la empresa caso de estudio, el espacio temporal seleccionado para la impresión de las etiquetas es el localizado entre el proceso de *Programación y Corte*, ya que, en el proceso de *Programación*, todos los productos se concentran en un solo espacio y que en el proceso de *Corte* se separan por las máquinas de corte. Entre estos dos procesos hay una espera de 15 horas en promedio, siendo este un espacio idóneo para colocar un subproceso sin afectar el tiempo de proceso total.

El segundo punto consistió en definir el diagrama de proceso para la identificación del producto. Este proceso tiene como entrada los productos procesados por *Programación*, ya con una etiqueta de identificación colocada antes de pasar al proceso de *Corte*. El listado de actividades para la impresión de las etiquetas se establece usando como herramienta el Diagrama de flujo, con la finalidad de establecer roles, tiempos de proceso y sentar las bases para la capacitación de esta actividad. Para generar el diagrama de flujo, fue necesario que una persona realizara la actividad,

anotando en una lista las situaciones de decisión para que sea completado el proceso. En la Ilustración 32 se presenta el diagrama de flujo de la actividad del proceso de identificación de productos.

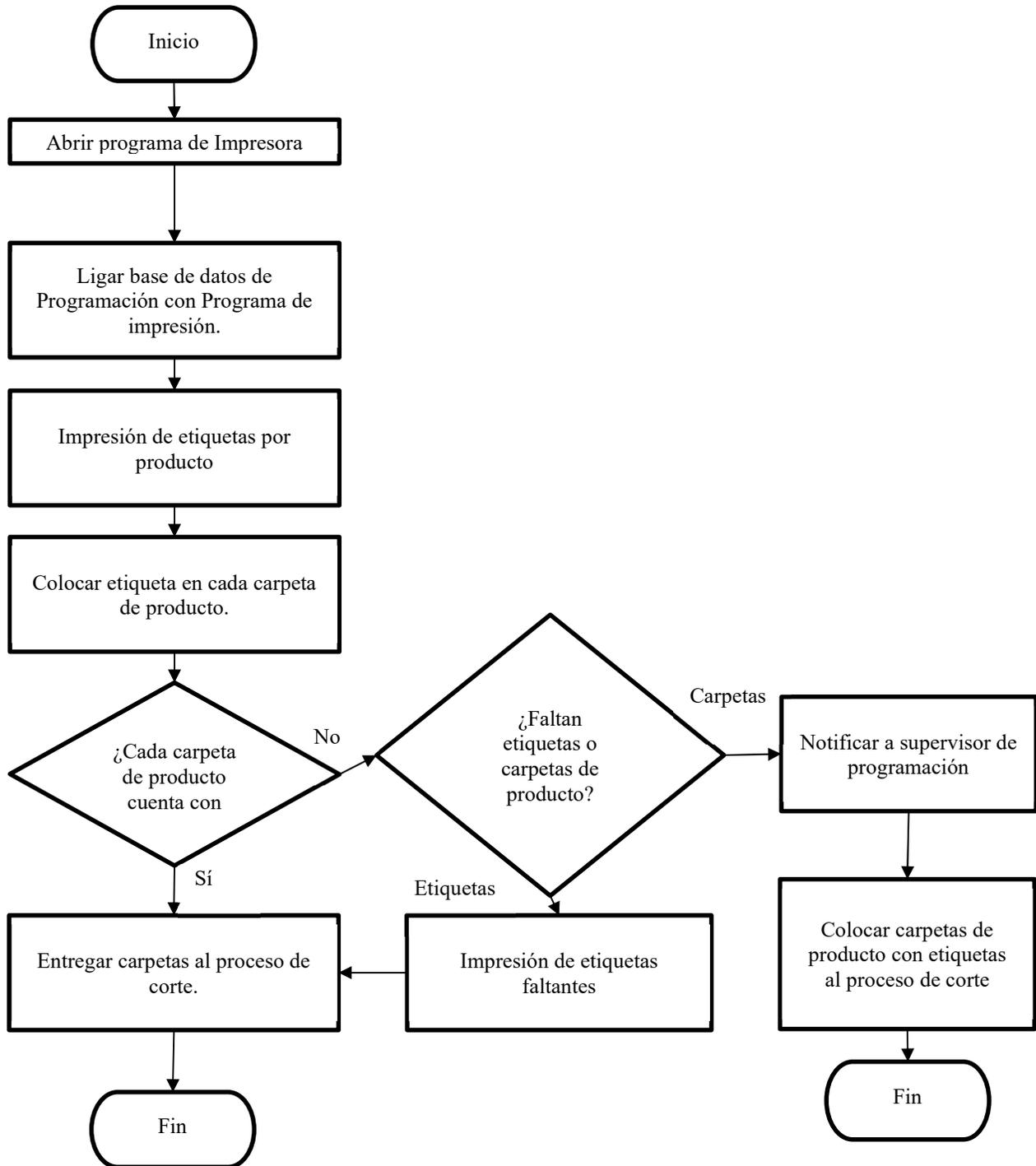


Ilustración 32.-Diagrama de flujo de la operación de la colocación de etiqueta al producto. Fuente: Propia.

El listado de actividades toma como referencia el diagrama de flujo de la Ilustración 32, asignando al responsable de cada actividad y con los tiempos promedios de esta actividad. Estos se muestran en la Tabla 26:

*Tabla 26.-Listado de actividades para la operación de identificación de producto.
Fuente: Elaboración propia*

#	Actividad	Duración (min)	Responsable
1	Abrir programa de impresora	5	Auxiliar de programación.
2	Ligar base de datos de programación de producción con programa de impresión.	10	Auxiliar de programación.
3	Impresión de etiquetas por producto	45	Auxiliar de programación.
4	Colocar etiquetas en carpeta del producto	25	Auxiliar de programación.
5	Entregar carpetas al proceso de corte.	10	Auxiliar de programación.
Total:		95	

De la Tabla 26, el proceso de identificación de equipos tiene una duración de 95 minutos para una cantidad de productos procesada durante un turno de 12 horas, por lo tanto, diariamente se requiere de 190 minutos. La duración de todo el proceso, comparado con el tiempo de espera entre *Programación y Corte*, que es de 15 horas. Se decide que la operación puede realizarse por una persona externa a la que se le denomina *auxiliar de programación* donde, como recurso, se requiere una computadora con conexión a la red de la empresa y una impresora de etiquetas RFID. El punto de impresión fue colocado en el área de programación y en Ilustración 33 se puede observar la impresora adquirida por la empresa, ya instalada:



Ilustración 33.-Punto de impresión colocado en el área de programación.

El último paso que se requirió en el proceso de identificación del producto fue el aseguramiento del buen funcionamiento. Para esto, los puntos revisados en el proceso fueron los siguientes:

- Todos los productos programados deben contener la etiqueta RFID.
- Los productos deben estar identificados correctamente.

Para estos dos pasos, se contabilizaron los productos procesados y las etiquetas utilizadas. Este número debía coincidir, por lo que fue necesario activar el contador de impresiones del software de impresión. Para conocer si las unidades cuentan la identificación correspondiente, fue necesario realizar una auditoría, que llevaron a cabo los seguidores de producción.

3.5.2 Etapa 2: Registro de información a través de la etiqueta

El objetivo de esta etapa fue definir los puertos de captura, desde la elección de los modelos del equipo, así como su ubicación en el proceso de *Maquinados*. El desarrollo tuvo como base los conceptos abordados en el capítulo 3.3.2, con especial énfasis en la identificación de la ruta de captura, que consistió en recrear el recorrido que tendría un producto en el proceso e identificar los puntos donde se realizaría el ingreso de información. El equipo de implementación de esta etapa trabajó con el esquema de actividades mostrado en la Ilustración 34:

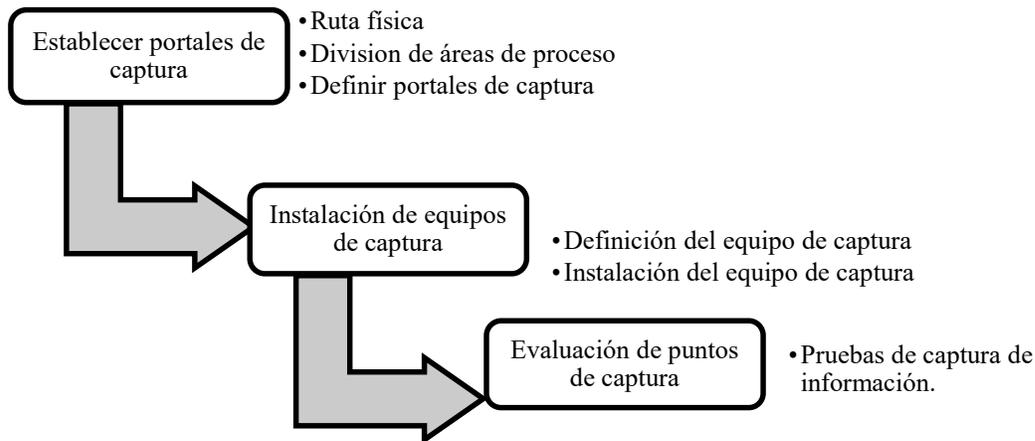


Ilustración 34.-Diagrama de flujo para la implementación de los puntos de captura.
Fuente: Elaboración propia

La implementación inició con un recorrido por el área de maquinados, donde el equipo de implementación recorrió cada uno de los subprocesos de esta área. En este recorrido, la información identificada para cada una de las subáreas fue:

- Puntos donde existía mayor concentración de productos y un flujo constante.
- Cantidad de estaciones de trabajo por subárea.
- Altura y dimensiones promedio de los productos en estas subáreas.
- Pilares, bajadas eléctricas y puertos de conexión a red.

Los dos primeros puntos sirvieron en la identificación de zonas donde el producto pasa con una mayor fluidez y se podrían colocar los puertos de captura donde realmente fueran necesarios. Como puntos de concentración de material se tomaron en cuenta aquellas zonas en el proceso donde el producto permanece por más tiempo, ya sea en espera de ser procesada (generalmente se encuentran a lado de las maquinas) o en los inventarios de producto en proceso. Los puntos restantes sirvieron para medir la factibilidad de la ubicación de los puertos, ya que se requerían puntos de apoyo para sujeción y para la definición de la altura de la posición de las antenas y las cantidades de lectores, refiriéndose a los puntos del RFID.

En la implementación el equipo, se definieron primeramente las subáreas en el proceso y se dividió el área de *Maquinados* por medio de una cuadrícula en el Layout, utilizando como medida la separación entre pilares, con el fin de utilizarlos como referencia de localización, ya que en los pilares se localizan las tomas eléctricas y los puertos de red. Un ejemplo del resultado de esta actividad se encuentra en la Ilustración 35:

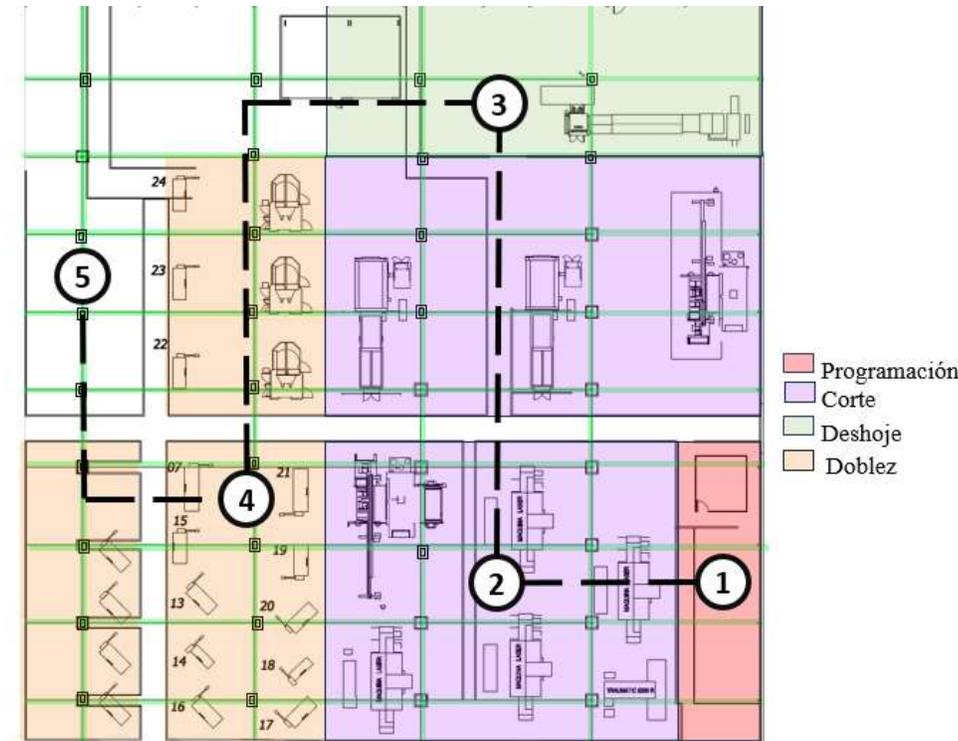


Ilustración 35.-Área de maquinados con la identificación de subáreas y el flujo del proceso.
Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 35 representa el Layout del área de *Maquinados*, organizado por áreas y señalando el flujo del producto. En él se puede visualizar la cantidad de pilares contenidos por subáreas y las estaciones de trabajo. Las subáreas que no cuentan con ningún color en el diagrama corresponden a pasillos principales y áreas que no corresponden a *Maquinados*. Las líneas verdes en el Layout muestran la cuadrícula en resultante de la división del área, con una separación vertical de 8 metros y una separación horizontal de 15 metros. Esta cuadrícula sirvió de referencia para seccionar las subáreas y definir los rangos de lectura. Las subáreas están resaltadas en colores, siendo cuatro en total. Esta representación permitió trazar la ruta física y se procedió a resaltar aquellas zonas con una concentración de material frecuente. Las zonas están conformadas por un área de 18 metros cuadrados en promedio y llegan almacenar entre 5 a 8 productos, dependiendo del tamaño, y se pudieron identificar los productos con facilidad. En la Ilustración 36 se presentan las zonas de mayor concentración de producto, distinguiendo por colores las de cada una de las áreas.

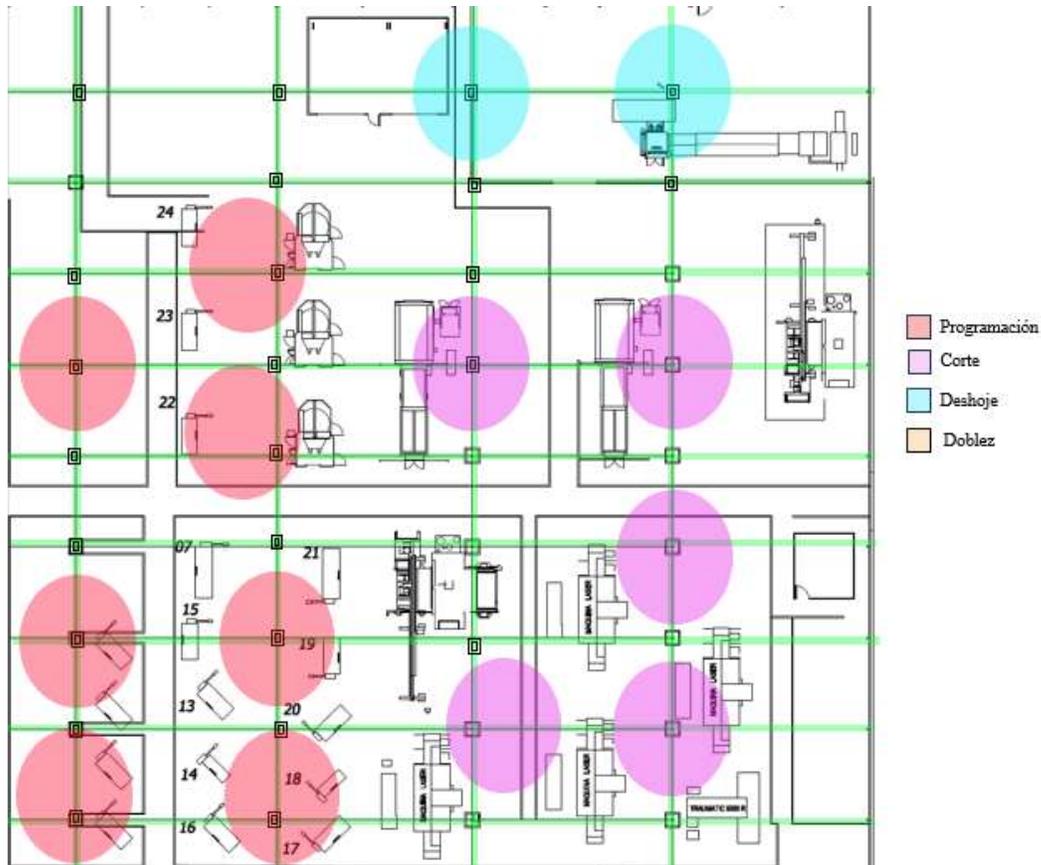


Ilustración 36.- Área de maquinados con los puntos de concentración de productos.
Fuente: Elaboración propia

Después de obtener las zonas de concentración de material y las áreas en promedio que estas abarcan, se procedió a identificar los posibles puntos de captura. Con ayuda de la Ilustración 36 se obtiene la ubicación y la cantidad necesaria de puntos de captura. Posteriormente, se obtuvo el área que se requiere cubrir y con esta información se pudo calcular la cantidad de antenas RFID y el alcance requerido para cada una. También se analizó la distancia existente desde el punto medio del punto de captura hasta el puerto de red más cercano, con el fin de obtener la cantidad de lectores y de cable requerido. La información necesaria se resume en la Tabla 27 donde se identifica cada puerto de captura, colocando el área que abarca y a qué área pertenece.

Con los datos de la Tabla 27 se hizo una selección de los modelos de las antenas, usando como criterio el rango de captura y la compatibilidad con la lectura de la etiqueta previamente definida. Otro de los criterios para seleccionar los equipos RFID de captura fue el tipo de aplicación de acuerdo con las condiciones ambientales. Para este caso, las antenas y los lectores serían utilizados en interiores, por lo que no estarían sometidos a la exposición de la radiación del sol, ni lluvia o humedad.

*Tabla 27.-Listado de puertos requeridos para el área de maquinados.
Fuente: Elaboración propia*

Número de Puerto	Subárea	Radio de zonas de captura (metros)	Distancia mínima a puerto de red (metros)
1	Corte	6	4
2	Corte	7	5
3	Corte	5	6
4	Corte	8	4
5	Corte	6	4
6	Deshoje	5	5
7	Deshoje	5	3
8	Doblez	4	3
9	Doblez	5	3.5
10	Doblez	6	5
11	Doblez	7	4
12	Doblez	5	3.5
13	Doblez	6	4.5
14	Doblez	6	4

Para seleccionar la cantidad de antenas, se estableció que el rango de lectura sería unidireccional, por lo que solo se cubriría un área equivalente a la mitad de un círculo. Considerando que las zonas a cubrir son circulares (como se aprecia en la Ilustración 36), fue necesario colocar dos antenas por cada zona de captura. La selección de los lectores dependió de la compatibilidad con las antenas y la cantidad de antenas a conectar. En la Tabla 28 se muestra un resumen de los criterios que se usaron para la selección de los modelos y las cantidades a usar para cada uno de los equipos de captura de RFID:

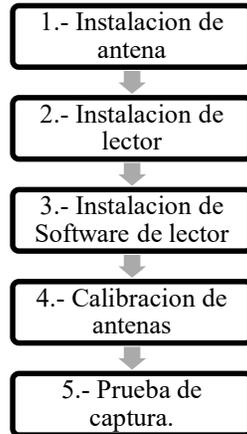
*Tabla 28.-Listado de componentes requeridos para los puertos RFID.
Fuente: Elaboración propia*

Equipo	Criterio de selección	Modelo	Cantidad
Antena	<ul style="list-style-type: none"> • Uso en interiores • Radio de captura de 8 metros. 	AN480-CL66100 WR	28 antenas
Lector	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad con antena. • Cantidad de antenas a conectar. 	FX7500- 42325A 56-WR	12 lectores
Cable	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad con antena y lector. • Longitud entre lector y puerto de red. 	CBLRD- 1B40024 00R	160 metros

Con las ubicaciones y la cantidad de equipos por los puertos de captura definidos, el último punto para iniciar la instalación fue la definición de la altura para la instalación de las antenas. Para ello se obtuvo la altura promedio de los productos, para que las antenas puedan capturar todas las

etiquetas. El rango de alturas que manejan los productos de la empresa oscila entre los 0.5 metros y los 1.6 metros, por lo que la posición de las antenas será a una altura de 1.8 metros.

La instalación de los equipos y la habilitación de cada uno de los puntos de captura se realizó de bajo el proceso mostrado en la Ilustración 37:



*Ilustración 37.-Proceso para instalación de puntos de captura.
Fuente: Elaboración propia*

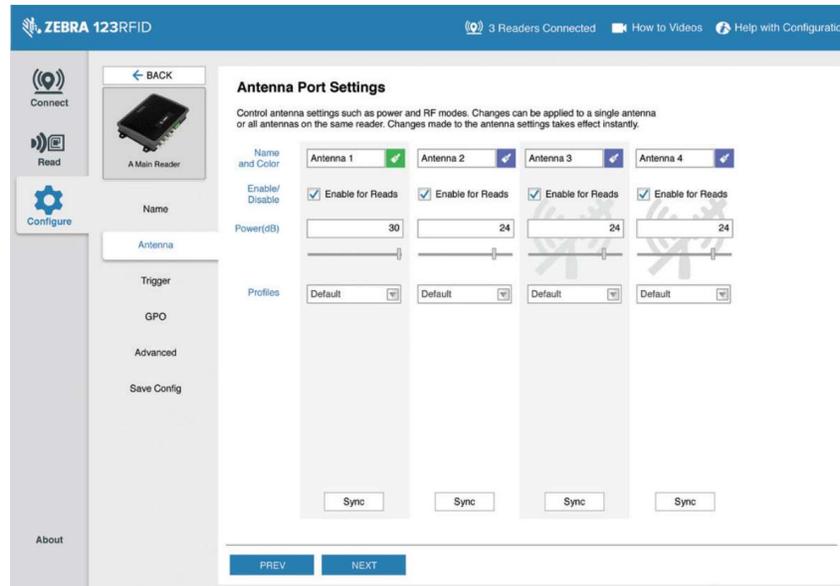
En la Ilustración 37, se contempla la instalación de las antenas con el lector y del lector con los puertos de conexión a la red interna de la empresa. En la Ilustración 38 se muestra un puerto con la antena ya instalada en el área de *Doblez*.



Ilustración 38.-Puerto de captura de información en el área de doblado.

Posteriormente, se instala el software del fabricante del equipo para realizar las funciones de calibración de las antenas, con el fin de ajustar el rango de captura conforme con la zonificación

de concentración de material. Para realizar esta actividad, se requirieron las etiquetas para asegurar que fueran capturadas dentro del rango de distancia definido. En la Ilustración 39 se presenta la interfaz del fabricante para ajustar la potencia de las antenas y con ello ajustar el rango de lectura.



*Ilustración 39.-Interfaz de ajuste de las antenas RFID.
Fuente: (Zebra, 2023).*

Al finalizar la calibración de las 28 antenas por los 14 puntos de capturas, se realizaron las pruebas para validar que las etiquetas pudieran ser capturadas dentro de los rangos de altura y dentro de las áreas definidas para cada puerto. Con la validación de la captura de las etiquetas se dio por terminada la fase de implementación.

3.5.3 Etapa 3: Administración de información y visualización

Ya con el equipo físico instalado en el área de maquinados, se procedió al desarrollo de la plataforma para el sistema de trazabilidad. Para el desarrollo de la plataforma, se debió de considerar una serie de especificaciones técnicas y se debió tener en cuenta cómo debía lucir su interfaz. Los pasos que se usaron para el desarrollo del interfaz del sistema de trazabilidad fueron los siguientes:

- Lista de requerimientos de la salida
- Listado de características de salida del sistema.
- Diseño conceptual del aspecto de la plataforma.

- Desarrollo de la plataforma.

En este apartado se presenta el desarrollo de los aspectos anteriormente listados y al final se podrán visualizar algunas pantallas de la interfaz del sistema.

El desarrollo inició con la definición de los requerimientos de visualización de datos solicitados por los clientes directos, ya que es como se muestran los datos recabados del producto a lo largo de su proceso productivo. Este punto debe estar presente a lo largo del desarrollo de la plataforma para asegurar que la interfaz cumpla con los requerimientos del cliente. Los requerimientos de la plataforma fueron previamente establecidos en el capítulo *3.3.1 Diseño de una salida efectiva*, donde se definió que la información de salida estaría conformada de los siguientes tres apartados:

- Mostrar ubicación del producto en el proceso.
- Generación de reportes de productividad.
- Conectividad con el sistema ERP de la empresa.

Con los requerimientos anteriormente listados, se procedió a establecer las características del sistema. El listado de características tiene como fin denotar los requerimientos técnicos del sistema, también aspectos de conexiones con el servidor, el espacio requerido, las herramientas digitales y las bases para la interfaz. Las características se establecen considerando los atributos específicos del lugar de aplicación, por lo que estas cuestiones dependen propiamente de la empresa donde se desee replicar la metodología y de los requerimientos del cliente. En la Tabla 29 se enlistan las características del sistema.

Ya con las características del sistema establecidas, se procedió a hacer un diseño conceptual del aspecto de la plataforma, donde lo que se buscaba era establecer el número de pantallas necesarias para la interfaz y las funciones para cada comando. Se realizó un mapa de sitio de aplicación para estructurar la plataforma y saber la cantidad de ventanas y accesos necesarios.

*Tabla 29.- Características específicas para la salida del sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

Características	Tipo de acuerdo con empresa objeto de estudio.
Tipo de usuarios	Personal con conocimientos en manejo de equipo de cómputo, con la siguiente clasificación: <ul style="list-style-type: none"> • Usuario de producción • Usuario de calidad • Usuario de planeación • Usuario de logística • Líderes de producción.
Cantidad de usuarios	50 a 70 usuarios
Lugar de consulta	Equipos de cómputo de escritorio y portátiles.
Objetivo de salida	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el estatus de un producto en específico • Consultar los reportes de producción al inicio de turno.
Frecuencia de uso	75 a 100 veces al día.
Velocidad en que se necesita la información	Esta se requiere de manera inmediata.
Tiempo de almacenamiento	1 año almacenado en un espacio específico del servidor.
Producción de las salidas.	Los datos se exportarán desde la base de datos exportada por el lector de RFID
Almacenamiento de las salidas	Reportes de producción en Excel y PDF de acuerdo con lo consultado por el usuario. La bitácora de movimientos de los productos se respaldará en el servidor.
Distribución de la información	Página de consulta donde se compondrá de las siguientes páginas: <ul style="list-style-type: none"> • Menú principal <ul style="list-style-type: none"> - Planeación - Programación - Laser - Deshoje - Doblez - Consulta específica.
Requerimientos humanos y ambientales para la salida.	Manejo de equipo de cómputo, conocimiento del número de serie y de los productos. Requiere de conexión a la red local.

De acuerdo con los requerimientos y accesos que fueron establecidos por el cliente anteriormente, se presenta el mapa de sitio el cual se muestra en la Ilustración 40.

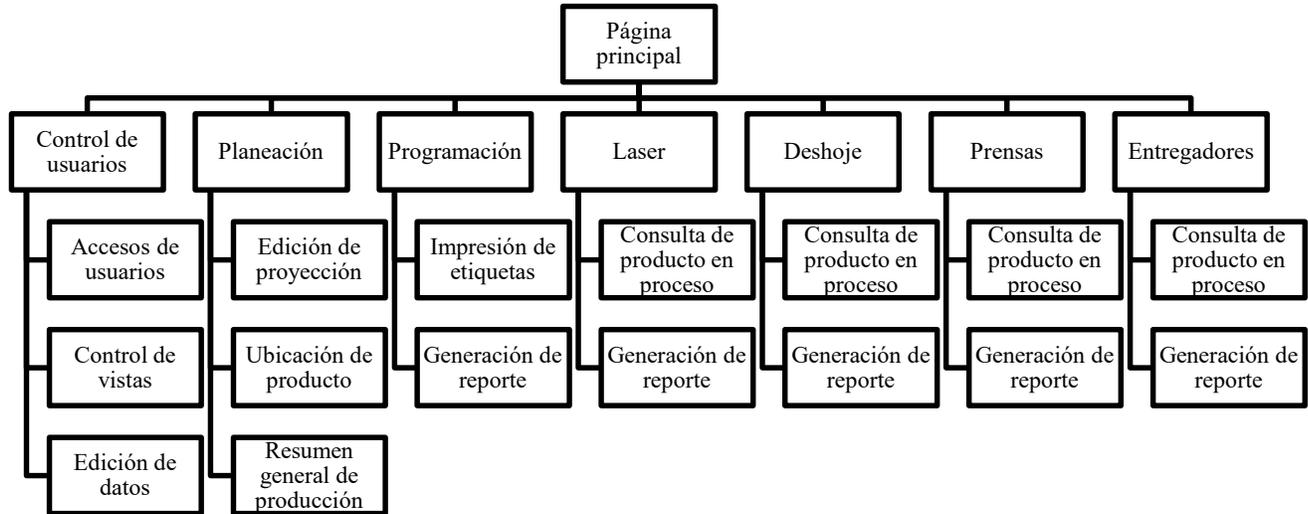


Ilustración 40- Diagrama de la estructura de la plataforma del sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 40 muestra la estructura para la plataforma, conformada por siete accesos; cada uno cuenta con submenús para las tareas en específico, dependiendo el tipo de usuario. La estructura tiene como base los requerimientos que habían sido notificados y las subáreas del proceso de *maquinados*. Cada uno de los apartados cuenta con un submenú para visualizar los productos que están en proceso y la información necesaria para poder generar el reporte. Para visualizar la función de cada submenú, se generó la Tabla 30, donde se presentan las funciones para desplegar la página y se definen los usuarios autorizados, con el fin de dar los accesos y generar candados en la visualización del interfaz.

*Tabla 30.- Listado de usuarios y accesos de la plataforma del sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

Función	Usuario	Descripción
Acceso de usuarios	Administrador	Dar de alta y baja a los usuarios.
Control de vistas	Administrador	Edición de permisos para visualizar submenús de los reportes.
Edición de datos	Administrador	Edición de datos relacionados con el producto o modificación a números de serie.
Edición de proyección	Equipo de planeación	Edición de datos relacionados con el programa de producción, para eliminar o añadir números de serie o modelos.
Ubicación de producto	Equipo de Producción, todos los usuarios.	Consulta de la ubicación de un producto, usando el número de serie o el modelo.
Resumen general de producción	Equipo de Producción	Se genera un listado de los productos que están actualmente en el área de maquinados, incluyendo números de serie, modelos y en que subárea se encuentran.
Impresión de etiquetas	Equipo de Programación	Se imprimen las etiquetas por número de serie de los productos que fueron programados, mostrando la cantidad de veces que estas fueron impresas.
Consulta de producto en proceso	Equipo de Producción	Aquí se consulta los productos que actualmente se encuentran en la subárea.
Generación de reporte.	Equipo de Producción	Se exporta el reporte de las salidas que se tuvieron en la subárea, en un lapso ingresado por el usuario. Exportar en Excel o PDF.

Una vez realizado lo anterior, la siguiente actividad consistió en realizar el desarrollo de la página. En la Ilustración 41 se muestra el menú principal de la plataforma, con cada uno de los accesos a los submenús por áreas, que son los que se habían definido previamente en la Ilustración 40.

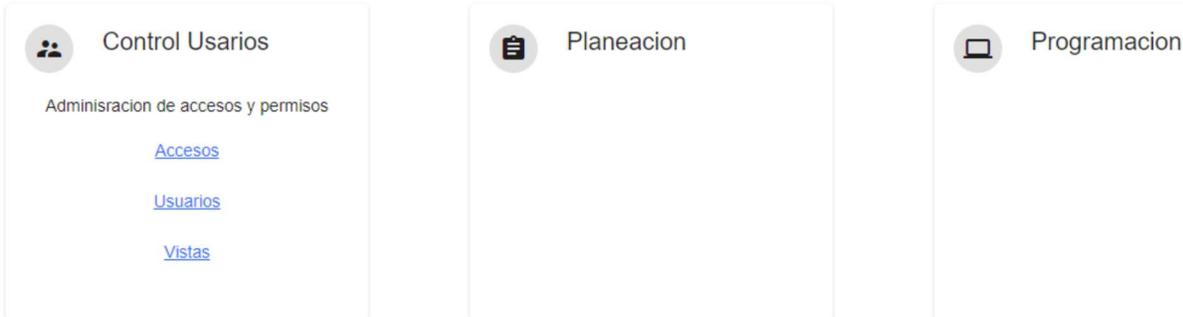


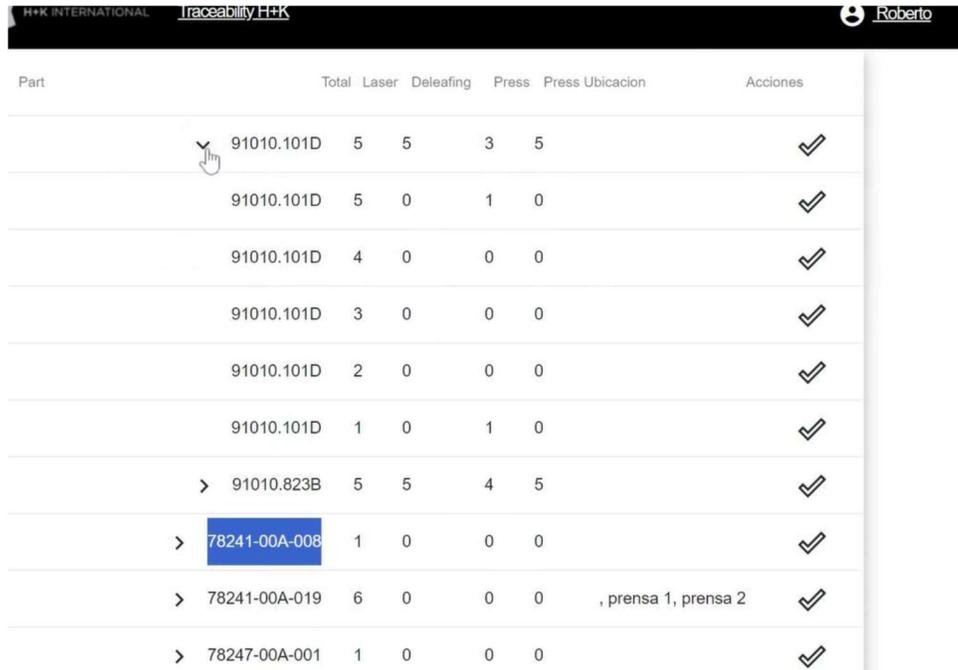
Ilustración 41.-Página principal del sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 42, la pantalla de *planeación* muestra un panorama general de todos los productos que están en proceso de fabricación del área de maquinados. Esta información sirve al personal de producción para monitorear el flujo del producto dentro de sus procesos y permite dar un enfoque especial a ciertos productos que ellos crean convenientes.

Descripción ↑↓ ▾	Cant ↑↓ ▾	MO ↑↓ ▾	Cant ↑↓ ▾	Labor ↑↓ ▾	PROCESS ↑↓ ▾	Tipo Fabri
<input type="text" value="Buscar por Descripción"/>	<input type="text" value="Buscar por Cant"/>	<input type="text" value="Buscar por MO"/>	<input type="text" value="Buscar por Cant"/>	<input type="text" value="Buscar por Labor"/>	<input type="text" value="Buscar por PROCESS"/>	<input type="text" value="Buscar po"/>
OOAT W/HEATED SURFACE	1	8112284	1	10.35	MO RAISED	NORMAL
OOAT W/HEATED SURFACE	1	8112562	1	10.35	MO RAISED	NORMAL
OOAT W/HEATED SURFACE	1	8112563	1	10.35	MO RAISED	NORMAL
OOAT W/HEATED SURFACE	1	8112564	1	10.35	MO RAISED	NORMAL
OOAT W/HEATED SURFACE	1	8112799	1	10.35	MO RAISED	NORMAL
OOAT W/HEATED SURFACE	1	8112958	1	10.35	MO RAISED	NORMAL
[R] ASSY.4VELFLRH.IT.S95.2 TA	1	8101516	1	24.9	MO RAISED	NORMAL
[R] ASSY.4VELFLRH.IT.S95.2 TA	1	8101517	1	24.9	MO RAISED	NORMAL
[R] ASSY.4VELFLRH.IT.S95.2 TA	1	8101518	1	24.9	MO RAISED	NORMAL
[R]STACKING OVEN TROLLEY W/ TO	10	8115561	10	9.9	MO RAISED	NORMAL

Ilustración 42.-Pagina de resumen general de los productos en proceso.
Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 43 se muestra la pantalla de los *Entregadores*, donde se consultan los productos en proceso, desplegando la información por producto, con el fin de tener un inventario en proceso y poder entregar un informe al proceso subsecuente.



The screenshot shows the 'Traceability H+K' software interface. At the top, there is a header with 'H+K INTERNATIONAL', 'Traceability H+K', and a user profile for 'Roberto'. Below the header is a table with the following columns: 'Part', 'Total', 'Laser', 'Deleafing', 'Press', 'Press Ubicacion', and 'Acciones'. The table contains several rows of data, with the row for '78241-00A-008' highlighted in blue. A mouse cursor is visible over the first row.

Part	Total	Laser	Deleafing	Press	Press Ubicacion	Acciones
91010.101D	5	5	3	5		✓
91010.101D	5	0	1	0		✓
91010.101D	4	0	0	0		✓
91010.101D	3	0	0	0		✓
91010.101D	2	0	0	0		✓
91010.101D	1	0	1	0		✓
> 91010.823B	5	5	4	5		✓
> 78241-00A-008	1	0	0	0		✓
> 78241-00A-019	6	0	0	0	, prensa 1, prensa 2	✓
> 78247-00A-001	1	0	0	0		✓

Ilustración 43.-Pagina de consulta de los productos en el área de doblez.
Fuente: Elaboración propia

Para finalizar la etapa de desarrollo, se realizó una prueba, pasando diversos productos con las etiquetas en cada uno de los puertos de captura y se comprobó que las actualizaciones se reflejaran en la plataforma conforme su ubicación cambiaba en las áreas del proceso. Esto se irá monitoreando en los primeros meses de la implementación para que se puedan realizar ajustes.

3.5.4 Capacitación

Con esta etapa se da el arranque oficial del Sistema de Trazabilidad con todos los equipos involucrados. Se realizaron reuniones con cada uno de los departamentos. La capacitación del sistema se programó en las siguientes etapas:

- *Capacitación para la impresión de etiqueta:* Se explica la instrucción de trabajo al personal asignado de la impresión y se detalla el diagrama de flujo de esta tarea.
- *Capacitación para la colocación de etiqueta:* Se explica la instrucción del trabajo al personal encargado de colocar etiqueta, así como los cuidados y las buenas prácticas de esta tarea.
- *Despliegue de información de puntos de captura:* Se presenta la ubicación de los puntos de captura y se explica el área de lectura que abarcan.

- *Capacitación para utilización de módulo de consulta de ubicaciones plataforma:* Se explica el tutorial para acceso y utilización de la plataforma y consulta para visualizar las ubicaciones de unidades. Esta capacitación se imparte a todos los clientes, tanto directos como indirectos, del sistema de trazabilidad.
- *Capacitación para generación de reporte de producción:* En este módulo se presenta un tutorial a los supervisores y coordinadores de producción para que estos puedan generar y obtener el reporte de productos terminados.
- *Capacitación del módulo de ayuda:* Esta capacitación va dirigida a los integrantes del sistema de trazabilidad. En esta capacitación se explica que hacer en caso de problemas con el sistema y se el equipo de soporte técnico para acudir en caso de que surjan problemas con la utilización o el funcionamiento del sistema.

En primera instancia, se brindó capacitación a los equipos con tareas que influían directamente en el sistema, tales como las actividades de impresión y colocación de etiquetas. En la Ilustración 44 se presenta evidencia de una sesión de capacitando para el personal de diferentes áreas.



Ilustración 44.- Capacitación del sistema de trazabilidad a un equipo de trabajo.

Posteriormente, la información fue difundida en sesiones adicionales de capacitación con el personal involucrado para un mejor aprovechamiento del sistema.

Capítulo 4. Análisis y discusión de resultados.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras la evaluación del Sistema de Trazabilidad, usando como parámetros los indicadores establecidos en el capítulo 2.4.

El propósito de realizar la evaluación es asegurar que el Sistema de Trazabilidad cumpla con lo esperado por los clientes directos del sistema. Al término de la actividad, se señalan las áreas de oportunidad encontradas, que sirven para diseñar el plan de ajuste.

La evaluación del sistema se centra en los siguientes puntos:

- Reducción en el tiempo de actualización de la ubicación de los equipos.
- Aumento en la confiabilidad de la ubicación de los productos en el proceso.
- Usabilidad en la gestión de los recursos por medio de la consulta de información.

En cada punto se aborda el enfoque y los parámetros con los que se midieron los resultados.

4.1 Tiempo de búsqueda y actualización de la ubicación de los productos.

La optimización en el tiempo de ubicación del producto es un parámetro que busca disminuir los recursos invertidos por parte de Producción y Planeación. Como se señaló en el punto 3.1, el tiempo invertido para conocer la ubicación de los productos tenía, en promedio, una duración de 0.41 horas por producto, y realizar una actualización en el sistema anteriormente utilizado podría tomar 4 horas después de conocer la ubicación. Por esta razón, se evalúa el tiempo para la actualización de la ubicación en el producto en el nuevo Sistema de Trazabilidad, con la finalidad de verificar que este sistema aporta una reducción de recursos invertidos para esta tarea.

La evaluación se llevó a cabo mediante la toma de tiempo de ubicación del producto y el tiempo del proceso de actualización de la ubicación. Para la toma de tiempo de ubicación de un producto, la cantidad de tomas realizadas se establecieron considerando diferentes criterios, que son:

- *Diferentes Departamentos:* Se tomaron tres personas de cada departamento seleccionado para la prueba con el fin de considerar las variaciones que se tiene por la diferencia de ubicación en el proceso productivo, ya que algunos departamentos están más familiarizados con el proceso. Los departamentos seleccionados fueron:
 - Ingeniería

- Logística
 - Ventas
 - Calidad
 - Producción
 - Planeación.
- *Conocimiento del producto:* Para la selección de los 3 usuarios por cada departamento, se consideró el conocimiento del producto de acuerdo con los años de experiencia en la compañía, con el propósito de sondear a usuarios que:
 - Identifican muy poco el número de modelo con el producto físico.
 - Identifican medianamente los modelos con el producto físico.
 - Reconocen fácilmente el producto físico, asociándolo con el número de modelo.
 - *Tamaño de los productos:* A cada usuario se le asignó la búsqueda de tres productos con diferentes dimensiones, para poder comprobar el rendimiento del sistema, considerando las variaciones de las unidades que maneja la compañía, Los tamaños fueron clasificados por la cantidad de piezas que conforman a los modelos. Las categorías quedaron de la siguiente manera:
 - Modelos con 8 piezas o menos
 - Modelos con 9 a 20 piezas
 - Modelos con más de 20 piezas,

De acuerdo con los criterios explicados anteriormente, se realizó la toma de tiempos, conformada por 54 tomas de tiempo que fueron realizadas en un lapso de una semana. La información de los tiempos se muestra en tabla donde la primera columna se coloca el nivel de experiencia, siendo 1 el más experimentado, 2 el de experiencia intermedia y 3 el de menor experiencia. En la columna de producto se hace mención del modelo del producto. La columna de tamaño muestra el rango de cantidad de piezas que tiene el producto, en la columna de ubicación señala el área donde está ubicado el producto y en la última columna se muestra el tiempo invertido en realizar la ubicación en minutos.

En la Tabla 31 se muestran los resultados del departamento de Producción. Este es el departamento con el menor tiempo de ubicación promedio, ya que el contacto con el producto es diario, por lo que la identificación con el modelo y el aspecto físico es rápido comparado con el resto de los equipos en donde se hizo la comparación.

En los resultados se observa que el personal con mayor experiencia tiene el menor tiempo de ubicación, al igual que se muestra que es más rápida la ubicación de las unidades con mayor cantidad de piezas ya que son muy grandes y fáciles de ubicar visualmente.

Tabla 31.- Tabla de resultados de toma de tiempos departamento de Producción.

Fuente: Elaboración propia

Experiencia	Producto	Tamaño	Ubicación	Tiempo (Minutos)
1	52567	< 8 pzs	Deshoje B	5.4
2	60045	< 8 pzs	Doblez A	7.2
3	86503	< 8 pzs	Deshoje	5.4
1	60038	> 20 pzs	Doblez B	5.4
2	60046	> 20 pzs	Doblez B	5
3	86079	> 20 pzs	Laser A	4.6
1	60039	8 pzs > 20 pzs	Doblez A	7
2	80057	8 pzs > 20 pzs	Doblez A	6
3	83089	8 pzs > 20 pzs	Deshoje B	5.6
Promedio				5.73

En la Tabla 32 se muestra los resultados del área de calidad, donde se tiene el mejor segundo tiempo promedio entre todos los departamentos involucrados en el muestreo. Ya que tanto Calidad como Producción están diariamente en contacto con el producto, aunque el equipo de calidad no está familiarizado con las subáreas de maquinados como si el equipo de producción, de ahí la diferencia en tiempos. De igual forma se observa que el personal con mayor experiencia cuenta con los menores tiempos y el personal de baja y mediana experiencia en algunos casos presentan el mismo tiempo ya que la diferencia en años no es tanta entre estos dos sectores.

Tabla 32.-Tabla de resultados de toma de tiempos departamento de Calidad.

Fuente: Elaboración propia

Experiencia	Producto	Tamaño	Ubicación	Tiempo (Minutos)
1	77541	< 8 pzs	Deshoje	7.2
2	92042	< 8 pzs	Deshoje	7
3	52325	< 8 pzs	Deshoje	6.2
1	77540	> 20 pzs	Programación	8.4
2	78082	> 20 pzs	Laser B	8
3	WTB1514	> 20 pzs	Doblez C	7
1	78081	8 pzs > 20 pzs	Deshoje B	7.8
2	86561-C	8 pzs > 20 pzs	Laser A	7.2
3	CST086	8 pzs > 20 pzs	Doblez A	4.8
Promedio				7.07

En la Tabla 33 se muestran los resultados del tercer departamento con mejor tiempo de ubicación el cual es el departamento de Planeación. La diferencia entre los tiempos promedios entre este departamento y los dos anteriores resulta con una diferencia de casi 1.6 minutos, esto es debido a que no están familiarizados tanto con la forma física del producto, ya que ellos solo ven los modelos y no recorren de manera frecuente las áreas productivas.

*Tabla 33.-Tabla de resultados de toma de tiempos departamento de Planeación
Fuente: Elaboración propia*

Experiencia	Producto	Tamaño	Ubicación	Tiempo (Minutos)
1	UH654V-CN	< 8 pzs	Deshoje	9
2	60128	< 8 pzs	Deshoje	9.6
3	85219	< 8 pzs	Deshoje	8.4
1	CH402	> 20 pzs	Laser B	7.8
2	UH342V	> 20 pzs	Doblez C	10.2
3	61496	> 20 pzs	Laser B	7.2
1	88053	8 pzs > 20 pzs	Laser A	9.6
2	60127	8 pzs > 20 pzs	Doblez A	8.4
3	60185	8 pzs > 20 pzs	Laser A	7.2
Promedio				8.6

En las Tablas de 34,35 y 36 se muestran los resultados de las áreas de Ingeniería, Logística y Ventas respectivamente. Estas son las áreas con mayor tiempo promedio de las 6 que se tomaron de las muestras. En estos departamentos se tuvo el tiempo más alto de ubicación con 13 minutos, que fue en el área de ventas, el segundo tiempo más alto fue el de 12 minutos en el área de logística, ambos ocurrieron en el personal con menos experiencia y con los productos con menor cantidad de piezas.

*Tabla 34.-Tabla de resultados de toma de tiempos del área de ingeniería.
Fuente: Elaboración propia*

Experiencia	Producto	Tamaño	Ubicación	Tiempo (Minutos)
1	WTB1465	< 8 pzs	Deshoje	7.2
2	POP064X-4	< 8 pzs	Deshoje	8.4
3	POP275-3	< 8 pzs	Doblez A	7.8
1	CST083	> 20 pzs	Laser A	10.8
2	BRM807T4	> 20 pzs	Laser A	10.2
3	FB25-A	> 20 pzs	Laser A	9
1	WTB1301	8 pzs > 20 pzs	Doblez C	11.4
2	ARB017	8 pzs > 20 pzs	Doblez B	8.4
3	POP313-5	8 pzs > 20 pzs	Doblez C	7
Promedio				8.91

*Tabla 35.-Tabla de resultados de toma de tiempos del área de Logística.
Fuente: Elaboración propia*

Experiencia	Producto	Tamaño	Ubicación	Tiempo (Minutos)
1	FB25X-A	< 8 pzs	Doblez A	12
2	POP446	< 8 pzs	Deshoje	10.4
3	UH594PG	< 8 Pzs	Deshoje	9.6
1	82102	> 20 pzs	Doblez C	11.4
2	WTB1560	> 20 pzs	Laser A	9.6
3	7004	> 20 pzs	Laser B	7.2
1	71096X	8 pzs > 20 pzs	Doblez B	10.8
2	71096	8 pzs > 20 pzs	Doblez B	9.4
3	90555	8 pzs > 20 pzs	Deshoje B	8
Promedio				9.82

*Tabla 36.-Tabla de resultados de toma de tiempos del área de Ventas.
Fuente: Elaboración propia*

Experiencia	Producto	Tamaño	Ubicación	Tiempo (Minutos)
1	604035.6	< 8 pzs	Deshoje	13
2	APB002L-04A	< 8 pzs	Doblez B	10.4
3	70027	< 8 Pzs	Deshoje	9.5
1	80117-09A	> 20 pzs	Doblez C	12
2	CXP001.03A	> 20 pzs	Laser A	10.5
3	CXP006.03A	> 20 pzs	Doblez B	7.8
1	501985	8 pzs > 20 pzs	Doblez A	11
2	83556.11A	8 pzs > 20 pzs	Doblez C	10.3
3	WNG002	8 pzs > 20 pzs	Doblez A	9
Promedio				10.38

Estos tiempos en si son provocados por la inexperiencia del personal y generalmente los productos con una menor cantidad de piezas son difícil de ubicar ya que los productos medianos y grandes tapan la visibilidad de los productos más pequeños. Esto fue una constante en las muestras de cada departamento. Ya que para todos los departamentos los tiempos más altos se tuvieron para los productos con piezas más pequeñas.

En conclusión, de la toma de datos en el tiempo de ubicación de productos por departamento, se tiene la Tabla 37, donde se muestra el tiempo promedio de cada una de las áreas. Se observa que el área con un menor tiempo de ubicación es el área de producción y la que más tiempo tarda es el área de Ventas. La diferencia de casi el doble del tiempo entre estos departamentos es que el área de Ventas generalmente no está familiarizada con las áreas productivas y la experiencia de sus

integrantes comparado con el personal productivo es muy grande, ya que este departamento cuenta con una mayor cantidad de recién contratados. Para el caso de las áreas de Calidad y Planeación, estas del todo no están acostumbradas a pasar por las subáreas de máquinas, por lo que provoca que tomen un mayor tiempo para identificar un producto dentro de muchos otros productos, aunque se les facilita en mayor medida que departamentos como logística e ingeniería.

*Tabla 37.-Promedio general de ubicación de productos de los departamentos evaluados.
Fuente: Elaboración propia*

Departamento	Tiempo promedio (min)
Producción	5.73
Calidad	7.07
Planeación	8.71
Ingeniería	8.91
Logística	9.82
Ventas	10.39
Promedio general	8.44

Una vez obtenido el tiempo promedio de ubicación de los productos, se realizó una comparación con el tiempo de ubicación promedio del sistema anterior. Se toma en cuenta el tiempo de ubicación que se obtuvo en apartado 3.1.4. En la Tabla 13, se muestra que el tiempo invertido en la búsqueda de los productos fue de 24 minutos. De acuerdo con la comparación, se tiene que de un tiempo de 24 minutos se redujo a 8.5 minutos aproximadamente, esto representa una reducción del 65% del tiempo de búsqueda anterior. En la Ilustración 45 se visualiza la comparación en tiempos entre el sistema antiguo de trazabilidad y el nuevo.

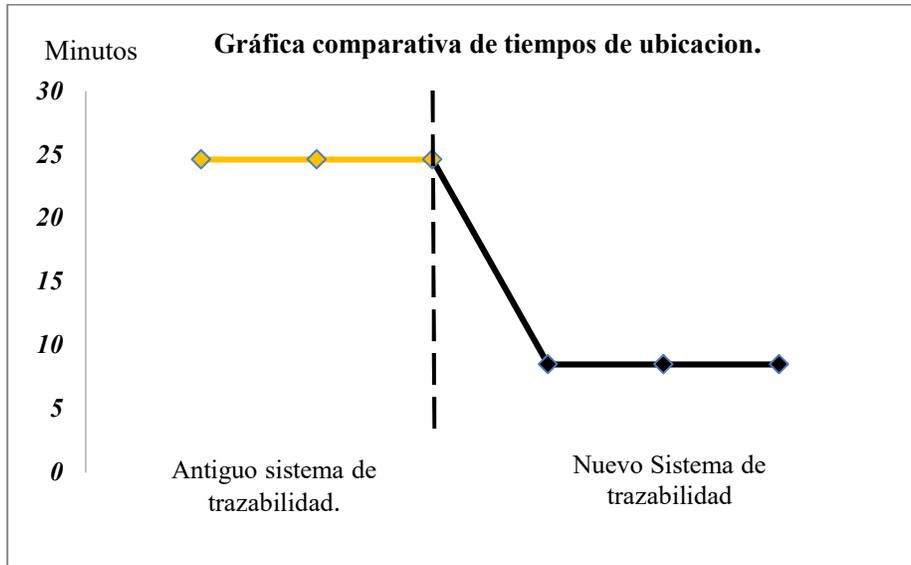


Ilustración 45.-Gráfico comparativo del tiempo de ubicación de productos, comparando los sistemas de trazabilidad . Fuente: Elaboración propia.

La reducción en los tiempos de ubicación de los productos con el nuevo sistema de trazabilidad permite que las actividades que realiza la división de los seguidores del producto sean reestructuradas. La actividad relacionada con el cambio de estatus se realizaba manualmente por los seguidores. Con el nuevo sistema, esta actividad se lleva a cabo de manera. Ahora, la tarea de los seguidores se modifica a una validación de la información mostrada por el sistema, siendo esta una actividad nueva y temporal, ya que tiene como fin la retroalimentación con respecto a la información mostrada por el interfaz del sistema. En la Tabla 38 se muestra la comparación de las actividades realizadas entre el sistema antiguo y el sistema nuevo.

Tabla 38.-Tabla comparativa de actividades de seguidores de producto.
Fuente: Elaboración propia.

<i>Antiguo Sistema de Trazabilidad</i>		<i>Nuevo Sistema de trazabilidad</i>	
Actividades	Tiempo (min)	Actividades	Tiempo (Min)
<i>Búsqueda de productos de la lista asignada. (15 productos)</i>	372	<i>Búsqueda de productos de la lista asignada. (15 productos)</i>	127.5
<i>Traslado al centro de captura.</i>	15	<i>Traslado al centro de captura</i>	15
<i>Cambio de estatus del producto.</i>	60	<i>Cambio de estatus del producto.</i>	NA
		<i>Validación de datos</i>	15
Tiempo total (Min)	447	Tiempo total (Min)	157.5

En la Tabla 38, se puede observar que a un seguidor de producción le tomó solamente 157.5 minutos validar la ubicación de 15 productos, cuando anteriormente le tomaría 447 minutos, que es una reducción del 64% del tiempo de sus actividades. Esto quiere decir que, con el sistema actual, el seguidor de producto podría cubrir alrededor de 45 productos por turno, supliendo el trabajo que realizaban en el sistema anterior 3 seguidores de producto. En el caso de la empresa, la plantilla de seguidores de producto estaba conformada por 9 personas. Después de la implementación, el equipo fue reestructurado a 3 personas. Las 6 personas restantes del equipo fueron reasignadas a las áreas productivas, y otras al equipo del almacén.

Para el caso de la empresa, los seguidores de producto eran contemplados en la productividad semanal, por lo que era necesario que sus actividades influyeran directamente en los procesos productivos para elevar la eficiencia en los recursos al departamento. En la Tabla 39 se presenta una comparación de los costos mensuales generados por el sistema de trazabilidad actual y el nuevo, donde se hace mención del costo de las etiquetas para la identificación del producto y la plantilla de los seguidores del producto. En la Tabla 39, se hacen mención solamente de los costos que son considerados fijos; la inversión requerida para el nuevo sistema de trazabilidad será incluida en un análisis posterior.

*Tabla 39.-Comparación de costo mensual entre Sistema de trazabilidad antiguo, contra el nuevo.
Fuente: Elaboración propia.*

Costo mensual			
<i>Sistema de trazabilidad antiguo</i>		<i>Sistema de trazabilidad nuevo</i>	
<i>Concepto</i>	<i>Costo MXN</i>	<i>Concepto</i>	<i>Costo MXN</i>
Etiquetas (4000 prom.)	\$ 3,238.40	Etiquetas (4000 prom.)	\$ 80,464.00
Seguidores de producto (9 personas)	\$ 408,240.00	Seguidores de producto (3 personas)	\$ 136,080.00
Renta de impresora	\$ 2,500.00	Renta de impresora	\$ 3,000.00
		Servicio adicional por desarrollador. (Mensual)	\$ 4,000.00
Total	\$ 413,978.40	Total	\$ 223,544.00

Con el nuevo sistema de trazabilidad se tiene un ahorro de \$190,434.40 por mes, donde, a pesar de que el costo por el cambio de las etiquetas aumentó con el nuevo sistema, la reducción en el costo de la plantilla fue mayor, quedando en \$272,160.00, que es un gran ahorro en este concepto. Esto quiere decir que, con el nuevo sistema de trazabilidad, la compañía ahorrará, de manera anual, alrededor de \$2,285,212.80. Cabe señalar que para que este ahorro fuera posible, se realizó una inversión inicial para la adquisición del equipo de trazabilidad y el desarrollo de la plataforma digital. Por esta razón, se calculó el momento en el que se recupera la inversión realizada. Para clarificar el costo de la inversión inicial, en la Tabla 40 se desglosa cada uno de los conceptos y el costo realizado para la instalación del sistema de trazabilidad.

*Tabla 40.-Desglose de costos para la instalación del Sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia.*

Concepto	Costo Mxn
Desarrollo de plataforma	\$ 234,000.00
Antenas RFID(8 antenas)	\$ 42,891.84
Lectores RFID (7 lectores)	\$ 173,360.88
Misceláneos (varios, cables y consumibles de instalación)	\$ 54,061.20
Costo de instalación	\$ 26,888.40
Expansión de servidor	\$ 381,000.00
Costo de desarrollo (Interno)	\$ 359,200.00
Total	\$ 1,271,402.32

La inversión inicial del sistema de trazabilidad para el área de *Maquinados* fue de \$ 1,271,402.32. En este costo se contempló la adquisición de todo el equipo instalado, cables y misceláneos, de igual forma los servicios externos para el desarrollo de la plataforma. También en este se incluye el costo interno de los involucrados en el proyecto para el desarrollo de este, como lo son los ingenieros de proyecto y aquellos recursos que estuvieron asignados al desarrollo, para ello se consultó el registro de hora por hora que llena cada uno de los involucrados en el proyecto. Al momento de expandir el sistema a las demás áreas productivas, hay algunos gastos, como es el costo del desarrollo de la plataforma y la expansión del servidor, que no es necesario volver a hacer. Para esta empresa, la inversión inicial se recupera al término del 6° mes, ya que, de acuerdo con la gráfica de la Ilustración 46 donde se representa el acumulado del monto ahorrado mensual, para el inicio del 7° mes estaría rondando los \$ 1,333,040.80.

En resumen, la empresa estaría ahorrando en el primer año a partir de que el sistema de trazabilidad fue implementado, alrededor de \$1,013,810.48, considerando ya saldada la inversión inicial. Este ahorro permite que el sistema de trazabilidad pueda expandirse a las demás áreas, justificando así la aplicación de este a lo largo de las áreas productivas.

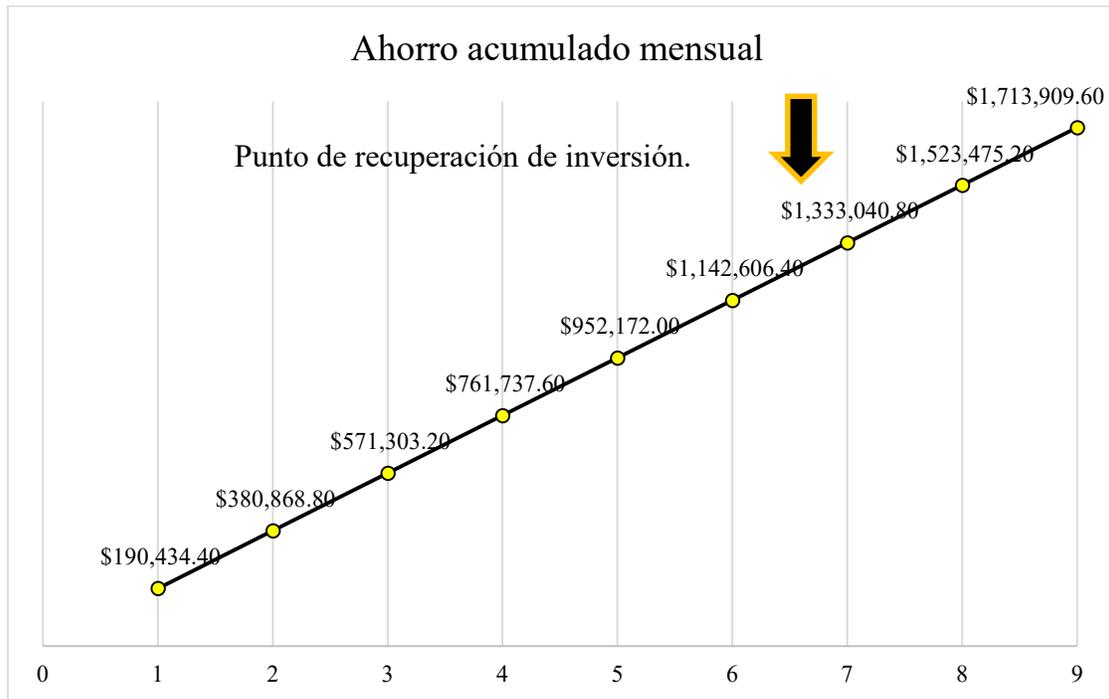


Ilustración 46.-Gráfica de ahorro acumulado mensual. Proyectado a 9 meses.

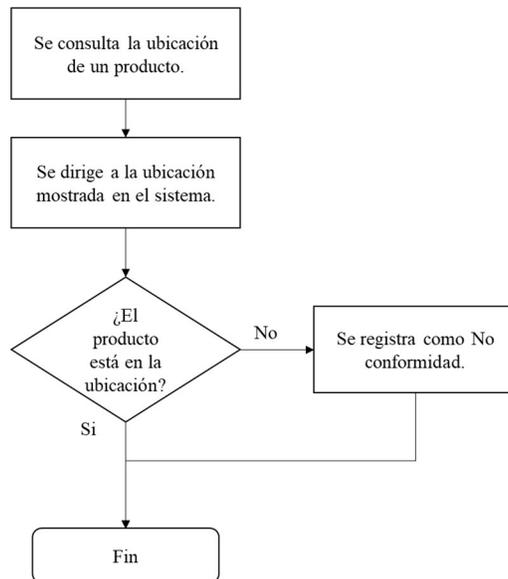
Fuente: Elaboración propia

En este apartado, únicamente se consideró el ahorro generado directamente sobre las actividades de la división de los seguidores de producto, no se está considerando el ahorro que se logrará en las áreas restantes, como Ingeniería, Calidad, Logística, Producción y Manufactura, ya que el impacto es diferente, y difícil de cuantificar sin realizar todo el proceso de evaluación, que va más allá del alcance de este trabajo. Sin embargo, considerando que el mayor problema de encontraba en esta área, los beneficios obtenidos en las áreas restantes son adicionales, lo que implica que el objetivo del sistema, respecto a ahorros económicos, se está cumpliendo cabalmente.

4.2 Confiabilidad de los datos.

Uno de los puntos a evaluar establecidos para la aplicación del nuevo sistema fue la confiabilidad de los datos que se muestran en el interfaz. Este atributo representa que tan confiable es la ubicación mostrada de un producto, para poder tomar una decisión. Entre más confiable sea la información mostrada por el sistema, las nuevas tareas asignadas a los seguidores de producción, como la validación de la ubicación, tenderán a reestructurarse, ya que el único objetivo de esta tarea es el aseguramiento de la ubicación de los productos. El atributo de la confiabilidad de los datos representa, en mayor medida, la eficiencia del sistema de trazabilidad.

Para el cálculo de la confiabilidad del sistema, se realizó una validación de los datos mostrados en la plataforma, donde la ubicación del producto fue valida físicamente y se registró cada vez que el sistema arrojaba una información incorrecta. En la Ilustración 47 se muestra un diagrama de flujo, donde se presenta el proceso para validar la ubicación de los productos y las acciones a seguir cuando la ubicación mostrada no es la que se tiene realmente.



*Ilustración 47.- Proceso de obtención de comprobación de la ubicación de los productos
Fuente: elaboración propia.*

El proceso detallado en la Ilustración 47 es apto para realizarse la cantidad de veces que sea necesaria; pudiendo realizarse para todos los productos de la empresa o con una muestra representativa. Para el caso de esta empresa, se decidió que se tomara una muestra representativa, debido a los limitantes de recursos destinados para la realización de este proceso.

La muestra fue calculada con la expresión de cálculo de la muestra de población finita y cualitativa (Barojas Aguilar, 2005), que fue mencionada en el capítulo 2.3.1.2. Para una población de 350 productos, que es la cantidad de productos mostrados en la plataforma del sistema, un nivel de confiabilidad del 99% que es lo que se busca de los datos recabados. El resultado del cálculo de la muestra fue de 142 productos, lo cuales tenían que ser auditados, validando la ubicación mostrada en el sistema.

Se realizó el ejercicio con los 142 productos, dando como resultado 124 productos ubicados correctamente, 16 se encontraban en un cuadrante distinto al asignado por parte del sistema y 2 estaban identificados de manera incorrecta.

La distribución de los resultados se muestra en la Ilustración 48:



Ilustración 48.-Gráfica de resultados de auditoría de confiabilidad de datos.

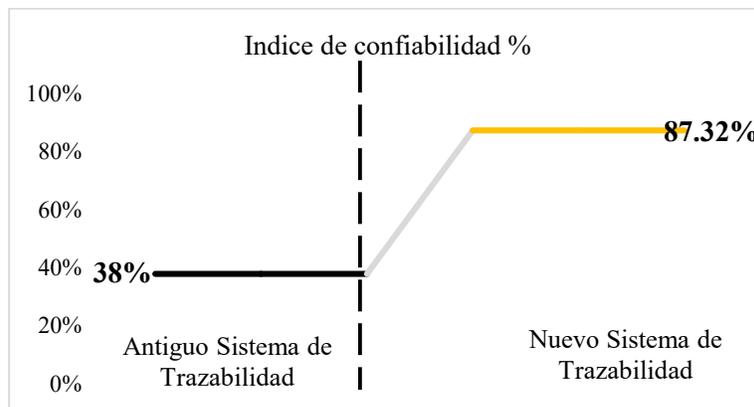
Con resultados del total de las validaciones, se procedió a calcular el índice de confiabilidad del sistema de trazabilidad, que es realizado bajo el desarrollo de la siguiente expresión:

$$\% \text{ Confianza} = \frac{\text{Número de productos con ubicación correcta.}}{\text{Número total de productos auditados}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Índice confiabilidad} = \frac{124}{142} = 87.32 \%$$

El índice de confiabilidad de la ubicación de los productos en el nuevo de sistema de trazabilidad es de un 87.32 %. Para este trabajo se estableció como objetivo incrementar a 80% el índice de confiabilidad, por lo que, con los resultados obtenidos, se concluye que se superó el objetivo establecido. El 11.27% que no fue leído de la manera correcta fue originado por la duplicidad en la lectura de las etiquetas, ya que el producto fue colocado entre los límites del rango de lectura entre dos antenas y el 1.41% fue por una mala identificación del producto en el proceso, ya que la información de la etiqueta no correspondía con lo físico.

Para poder dimensionar la mejora obtenida en el rubro del índice de confiabilidad, fue necesario hacer una comparación entre los índices de confiabilidad obtenidos de los sistemas de trazabilidad. El índice de confiabilidad del sistema de trazabilidad anterior era del 38%, como se señaló en la sección 3.1.4. La Ilustración 49 presenta, a modo de gráfica, la comparación entre los índices de confiabilidad de ambos sistemas.



*Ilustración 49.- Gráfico de comparación de la confiabilidad entre los sistemas de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

Comparando la información, puede verse que se pasó de un 38% de confiabilidad a 87%, aumentando un 49% la confiabilidad en los datos mostrados en la plataforma del sistema de trazabilidad. Esta mejoría en la confiabilidad de los datos, aunado a la reducción de los recursos invertidos para realizar el rastreo de los productos, muestran que sistema de trazabilidad es más eficiente que el anterior.

4.3 Usabilidad en la gestión de los recursos.

Este apartado tiene como objetivo identificar las áreas de oportunidad detectadas para la interfaz del sistema, a través de la retroalimentación de los usuarios. En uno de los objetivos planteados al inicio de ese trabajo, se expresó que el sistema de trazabilidad ayudaría a los mandos intermedios a poder mejorar la administración de los recursos, de ahí que la usabilidad se evalué. La evaluación se llevó a cabo mediante encuestas de satisfacción aplicadas a los usuarios, ya que los puntos a evaluar fueron de la índole cualitativa. La encuesta consistió en una breve serie de preguntas que serían respondidas de manera afirmativa o negativa, orientadas a observar si la interfaz y la información expuesta eran consideradas de utilidad para el usuario. También se recopilaron los comentarios que los usuarios detectaron, por medio de una pregunta abierta al final de la encuesta. La evaluación concluyó recabando los datos obtenidos para identificar tendencias e identificar las áreas de oportunidad del sistema.

Las preguntas de la encuesta estuvieron basadas en los puntos de interés identificados en el capítulo 3.3.1, donde se consideraron los requerimientos de los usuarios y, con ello, el diseño del interfaz del sistema. Los dos puntos que se tomaron en cuenta para la evaluación fueron:

- *Modo de mostrar la ubicación del producto en proceso:* Se evaluó si la información era accesible, fácil de consultar, clara al momento de ser consultada y que no existiera saturación de información o faltante de ella.
- *Reportes de productividad:* En este punto se evaluó si el reporte contenía toda la información requerida para los supervisores, si mostraba los indicadores necesarios y la facilidad de obtención del reporte desde la plataforma.

La encuesta fue aplicada a todos los supervisores de producción y a los coordinadores de cada una de las áreas, ya que ellos son los usuarios directos, tanto para la consulta de la ubicación de los productos como de la entrega de los reportes de producción.

La estructura de la encuesta estuvo conformada por 6 preguntas (ver Tabla 41):

*Tabla 41.-Estructura de la encuesta aplicada a los encargados de proceso.
Fuente: Elaboración propia*

Pregunta		Sí	No	Comentarios
1	¿Es sencillo consultar la ubicación de las unidades es sencillo?			
2	¿El formato de la ubicación de la plataforma es el correcto?			
3	¿La información contenida en el reporte de producción es completa?			
4	¿Es fácil generar el reporte de producción es fácil desde la plataforma?			
5	¿La plataforma requiere de algún cambio o mejora?			
6	¿Tiene algún comentario o sugerencia sobre el nuevo sistema de trazabilidad?			

La encuesta fue aplicada a todos los encargados de los procesos, los cuales eran responsables de administrar cargas de trabajo y de reportar los indicadores de producción al mando gerencial. La encuesta se realizó dos semanas después de concluir la liberación de la plataforma y de la capacitación a los usuarios, con el fin de que pudieran familiarizarse con el interfaz del sistema.

La aplicación de la encuesta fue breve, y se realizó a medio turno, para que los usuarios pudieran estar despejados de cualquier situación ajena al sistema de trazabilidad. Los resultados generales de la encuesta se encuentran simplificados en la Tabla 42, donde se visualiza la respuesta de cada usuario por cada pregunta y un comentario. Se marca en color rojo las respuestas que son negativas, como es el caso de las preguntas 2 y 3. En el caso 5 la respuesta “No” tiene una connotación positiva, por lo que no se resalta, ya que la pregunta cinco es para sugerir algún cambio en la plataforma.

*Tabla 42.-Resultados de la encuesta realizada en la empresa sobre el sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

Preguntas						
Supervisor	1	2	3	4	5	Comentarios
Programación	Sí	Si	Sí	Sí	No	
Laser 1	Sí	No	Sí	Sí	No	Mostrar por hoja procesada y después por Número de serie
Laser 2	Sí	No	Sí	Sí	No	Mostrar por hoja procesada y después por Número de serie
Laser 3	Sí	No	Sí	Sí	No	Mostrar por hoja procesada y después por Número de serie
Deshoje 1	Sí	Sí	Sí	Sí	No	
Deshoje 2	Sí	Sí	Sí	Sí	No	
Doblez 1	Sí	Sí	No	Sí	No	Mostrar al doblador involucrado en el proceso del producto
Doblez 2	Sí	Sí	Sí	Sí	No	
Doblez 3	Sí	Sí	No	Sí	No	Mostrar al doblador involucrado en el proceso del producto
Encargado WIP 1	Sí	Sí	No	Sí	No	Mostrar por quien fue el supervisor en turno que fabricó la unidad.
Encargado WIP 2	Sí	Sí	No	Sí	No	Mostrar por quien fue el supervisor en turno que fabricó la unidad.
Encargado WIP 3	Sí	Sí	No	Sí	No	Mostrar por quien fue el supervisor en turno que fabricó la unidad.

El análisis de la encuesta se realizó bajo la relación de las respuestas positivas de cada pregunta entre la cantidad de encuestados, con el fin de obtener una aceptación por cada pregunta. Las preguntas con una aceptación menor al 100% se sometieron a una entrevista con los encuestados para obtener la causa raíz de la respuesta no favorable. En la Tabla 43 se visualiza cada una de las preguntas de la encuesta con el nivel de aceptación por cada una de estas.

*Tabla 43.-Tabla de aceptación por pregunta en la encuesta sobre el sistema de trazabilidad.
Fuente: Elaboración propia.*

	Pregunta	% Aceptación
1	¿Consultar la ubicación de las unidades es sencillo?	100%
2	¿El formato de la ubicación de la plataforma es el correcto?	75%
3	¿El reporte de producción cuenta con la información completa?	58%
4	¿Generar el reporte de producción es fácil desde la plataforma?	100%
5	¿La plataforma requiere de algún cambio o mejora?	100%

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 43, se tiene una aceptación general promedio de un 86.6% en los encuestados. Donde se destaca la facilidad con la que pueden acceder a consultar la ubicación de los productos y la facilidad para generar los reportes productivos diarios. Por otro lado, se observa que hay áreas de oportunidad en dos puntos que son en cómo se visualiza la información del producto al momento de consultar la ubicación y sobre la información presentada en algunos reportes de producción. Estos dos últimos puntos se ajustarán en el apartado 4.4 Ajustes del sistema, donde se analizarán las razones de estos puntos y se realizarán los ajustes necesarios.

4.4 Ajustes del sistema.

En este apartado se analizarán aquellas áreas de oportunidad detectadas en el momento de la evaluación. Por cada una de ella se realizará un análisis y se validará que los cambios realizados hayan mejorado el desempeño del sistema. Los dos aspectos generales en atender es; aumentar la confianza de los datos mostrados del sistema de trazabilidad y realizar ajustes en la información mostrada al personal de producción.

El primer punto es el relacionado con la confiabilidad de los datos mostrados en la plataforma. De acuerdo con la Ilustración 49 el 11.27% de la información del sistema marcaba una ubicación errónea a la que se encontraba el producto. Para ello se realizarán los siguientes pasos para dar solución a este primer apartado:

- Identificar en que cuadrantes se encontró el error.
- Validar lectura en las antenas donde se produjeron los errores.
- Validar el área que cubren los cuadrantes.
- Realizar ajuste en el rango de lectura de cada antena en caso de identificar

Al realizar la ejecución de los anteriores puntos, se detectó que existía una duplicidad de registros entre dos de los cuadrantes, ya que en los límites de ambos cuadrantes las antenas asignadas realizaban el mismo registro de la etiqueta, lo que generaba una duplicidad en los registros. Se realizaron los ajustes en el rango de las antenas y se realizó de nuevo la validación de lectura para asegurar que no se esté duplicando el registro, dando un resultado correcto.

El 1.41% de los productos que también registraban una ubicación errónea fue porque existía una mala colocación de la etiqueta de identificación. Esto se debió a una omisión de parte del operador, ya que los productos donde se cometió el error son iguales salvo una diferencia en la orientación de alguna de las piezas. Por lo que esto provocó que se colocara una etiqueta en un producto que no correspondía. Estas situaciones pueden llegar a ocurrir en un 1.14% semanalmente, ya que la cantidad de productos que cuentan con estas características son 2 a 4 por semana, dentro de una población de 350 a 400 productos. Por este motivo solamente se optó en publicar una alerta en el proceso para evitar que esto llegue a ocurrir.

El segundo aspecto general por atender fue el relacionado con los reportes de producción. De acuerdo con los resultados obtenidos mostrados en la Tabla 43 la pregunta relacionada con la información contenida en los reportes de producción generados por la plataforma tuvo una aceptación de apenas un 58%, siendo esta la primera en ser atendida. Para ello se indagó más con los encuestados, obteniendo más información sobre la problemática, mediante preguntas directas que resolvían cuestiones como la razón de la importancia y especificar qué información requerían. Para este aspecto, el déficit de información era una solicitud de los supervisores de 2 áreas, el área de Doble y WIP. En el caso del área de doblez, requerían que el reporte arrojara el número de prensista que realizó el doblez por cada producto, para que los encargados del área realizaran métricas personales para la medición de desempeño. Para el área de WIP, los encargados expresaron que era importante que, en el reporte, se incluyera el nombre del supervisor de prensas, el nombre del proceso, el modelo de la unidad, esto para identificar si una pieza estuvo mal doblada y para poder generar el indicador de eficiencia para los reportes productivos.

Los cambios propuestos por ambas áreas fueron realizados, ya que no generaban modificaciones en la base de datos, solo requerían una modificación en el código para extracción de información. Para la segunda pregunta con aceptación negativa, se entrevistó al área de Láser, donde los encargados expresaban que requerían que se mostrara en el reporte de ubicación el número de identificación de las láminas y no el del producto como en las otras áreas, con el fin de llevar un mejor control en el seguimiento del proceso de corte. Al igual que el anterior punto, este cambio solo se realizó cuando los usuarios de Láser ingresaran a la plataforma, y solo tuvo que cambiar el código de la interfaz para poder cambiar el orden de los datos reflejados.

Una vez realizadas las modificaciones, los usuarios con opiniones negativas fueron consultados nuevamente, para asegurar que sistema de trazabilidad cumpliera con lo esperado de parte de los usuarios, obteniendo una aceptación de su parte y, logrando con esta actividad, una aceptación del 100% con el nuevo sistema.

Conclusiones.

A lo largo de este trabajo se desarrolló una estrategia que permitiera el diseño, la implementación y la evaluación de un sistema de trazabilidad en una empresa manufacturera metalmecánica. El inicio fue conformado por una investigación para contextualizar el concepto de trazabilidad y el rol que juega en la manufactura de hoy en día, para después evaluar las tecnologías existentes en el mercado. Con las bases del conocimiento tecnológico, se estructuró la forma en cómo se realizaría el diseño de un sistema de trazabilidad, considerando elementos como; la elección de la tecnología, el proceso de implementación, diseño para la interfaz de consulta e incluso la elección del área. El diseño del sistema debía considerar un análisis del entorno para el aseguramiento de los requerimientos por parte de los involucrados.

El objetivo general de esta tesis trata del diseño de un sistema de rastreo para la localización de los productos en el proceso que permitiera aumentar la confiabilidad de la información mostrada y asegurar la entrega en tiempo de los productos. Este objetivo se cumple de acuerdo con la mejora en el índice de confiabilidad, pasando de un 37% a un 87% de confiabilidad, trayendo consigo el aumento de la frecuencia en la consulta de la información entre los usuarios relacionados con la operación de la empresa. También permitió que los supervisores utilicen los reportes de la plataforma para administrar los recursos durante su turno y dispongan de más de tiempo para la planificación de su turno. Con esto, se puede afirmar la hipótesis planteada que plantea que *un sistema de RFID permite conocer de manera instantánea y confiable la ubicación de un producto en las áreas productivas* se cumple. Los argumentos para sustentar esta afirmación son el tiempo que le toma al sistema visualizar la ubicación del producto, casi instantánea y que los datos mostrados en la plataforma permiten que físicamente se ubiquen los productos en un tiempo más corto, teniendo una reducción del 64% del tiempo de búsqueda con respecto al tiempo inicial, provocando así un ahorro en los recursos invertidos para la operación de trazabilidad.

Debido a su estructura, la metodología puede ser aplicada en empresas manufactureras donde su producción sea del tipo proyectos y tengan una variación considerable entre sus productos, siendo un factor determinante la reducción del tiempo invertido en la captura de la información y en el aumento de la confiabilidad de los datos. De igual forma esta estrategia permite la implementación en una empresa que no cuenta con una base de un sistema de trazabilidad, ya que engloba la forma

de identificar los requerimientos que se tienen tanto en el ambiente como por parte de los usuarios. El uso del RFID como tecnología en un giro metalmecánico es aplicable ya que los resultados obtenidos mostraron que se puede realizar una captura de información de manera instantánea y que resulta más económico en el tiempo, comparado con un sistema manual de captura de información, aunque se recomienda que antes de su aplicación, se considere un estudio de factibilidad tecnológica en la empresa en donde se desee replicar la metodología, ya que en el caso de estudio ya se contaba una infraestructura tecnológica y de telecomunicaciones que respaldó la selección de RFID. La aplicación de la etapa “*Selección de la tecnología para la trazabilidad*” permitirá identificar la tecnología adecuada para el caso particular en el que se desee implementar.

Referencias

- Abad, M. G. (2018). Evaluación de la implantación de un sistema de trazabilidad mediante. *Universidad Complutense de Madrid*, 215.
- Aguilar, D. M. (2017). Implementación de un sistema de código de barras para mejorar la trazabilidad de los materiales en un warehouse de una empresa de servicios de mantenimiento de turbinas. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 95.
- Barojas Aguilar, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en tabasco*, 6.
- Brassard M, R. D. (1994). *GE Capital Services Memory Jogger II*. Massachusetts: Goal/QPC.
- Cantillo, S. R. (2010). Desarrollo de aplicaciones. *PFC Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática.*, 108.
- Duarte, J. A., & Iñiguez, B. M. (2020). Revision de aplicaciones de sistemas de trazabilidad.Caso de estudio:Industria arnesera. *Estudios de administracion*, 17.
- Duroc, Y., & Tedjini, S. (2018). RFID: A key technology for Humanity. *Comptes Rendus Physique*, 8.
- Espinal, A. C., & Montoya, R. A. (2008). Tecnologia de la informacion en la cadena de suministros. *Universidad Nacional de Colombia*, 12.
- Espinal, A. C., Lopez, C. E., & Montoya, R. A. (2010). Sistemas de identificacion por radiofrecuencia,codigo de barras y su relacion con la gestion de la cadena de suministro. *Estudios gerenciales*, 27.
- González Espinosa, J. X. (2019). Diagrama de flujo y su relacion con la vida cotidiana. *Universidad tecnica de Machala.*, 25.
- Granada, J. I. (2008). *Gestion Logistica Integral*. Medellin: ECOE.

- Kendall, K. E., & Kendall, J. (2011). *Analisis y diseño de sistemas*. Camden, New Jersey: Pearson Education.
- López Duque, M. E., Restrepo de Ocampo, L. E., & López Velásquez, G. L. (2013). Resistencia al cambio en organizaciones modernas. *Scientia Et Technica*, vol. 18., 149-157.
- Marqués, M. (2011). *Bases de datos*. Castello de la Plana: Coleccion Sapienta.
- Molinera, S. D. (2016). Sistema de localizacion mediante tecnologia RFID. *Universitat Oberta de Catalunya*, 71.
- Moltoni, A. F., & Moltoni, L. A. (2011). Trazabilidad en el argo y sus herramientas. *INTA*, 12.
- Patiño, M. R., & Valero, J. M. (2010). Guia para la implementacion de redes de sensores inalambricos (WSN). *Universidad Pontifica Bolivariana* , 43.
- Romero, E. N., Fernandez, V. F., Gonzalez, S. H., & Madrigal, I. d. (2021). El potencial de la tecnologia RFID y de los transelevadores en las actividades de almacenamiento de una empresa del sector automotriz. *Pistas educativas*, 15.
- Saavedra Herrera, L. (2017). Propuesta de modelo para mitigar la resistencia al cambio en organizaciones en fusion o adquisicion. *Universidad Santo Tomas*, 100.
- Sosa Leonardo, C. I. (2017). Propuesta de un sistema de trazabilidad de productos para la cadena de suministro agroalimentaria. *Universidad Politecnica de Valencia*, 82.
- Vázquez, M. L., Pérez, M. M., Hermida, V. J., & Herranz, M. I. (2021). Herramientas de trazabilidad: nuevas tecnologías. *MONOGRAFÍAS DE FARMACIA HOSPITALARIA Y DE ATENCIÓN PRIMARIA*, 25.
- Zebra . (19 de February de 2022). *Zebra*. Obtenido de Zebra: <https://www.zebra.com/la/es/products/supplies/rfid-labels-tags.html>
- Zebra. (1 de 07 de 2023). *Zebra*. Obtenido de Zebra: <https://www.zebra.com/us/en/support-downloads/printers/industrial/zt410.html>