



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Implementación de un sistema RFID para automatizar  
un proceso de logística en una fábrica  
utilizando técnicas de *Project Management*

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

Que para obtener el título de

**Ingeniero Eléctrico Electrónico**

**PRESENTA**

Rodrigo Edgardo Armenta Santiago

**ASESOR DE INFORME:**

M. I. Mauro Gilberto López Rodríguez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del puesto . . . . .	2
1.2. Objetivo de la labor profesional . . . . .	2
1.3. Contenido del informe . . . . .	2
<b>2. Preliminares</b>	<b>5</b>
2.1. El concepto <i>producción en serie</i> . . . . .	5
2.1.1. Elementos de la producción . . . . .	5
2.1.2. Mejora del proceso . . . . .	6
2.2. Principios básicos del Sistema de Producción Toyota (TPS) . . . . .	7
2.2.1. La planta como primer principio . . . . .	7
2.2.2. El <i>kanban</i> como herramienta del TPS . . . . .	7
2.3. Estabilidad básica de TPS . . . . .	11
2.4. Trabajo en equipo . . . . .	11
2.5. Gestión de proyectos en ingeniería . . . . .	12
2.5.1. La importancia de la gestión de proyectos . . . . .	13
2.5.2. Definición de <i>proyecto</i> . . . . .	13
2.5.3. Ciclo de vida del proyecto . . . . .	14
2.5.4. Grupos de procesos de gestión de proyectos . . . . .	15
2.5.5. Áreas de conocimiento de la gestión de proyectos. . . . .	16
<b>3. Tecnología utilizada</b>	<b>17</b>
3.1. Identificación por radio frecuencia (RFID) . . . . .	17
3.1.1. Ventajas de RFID frente al uso de códigos de barras . . . . .	18
3.1.2. RFID utilizada en cadenas de suministro . . . . .	19
3.2. Sistema de Gestión de Recursos Empresariales . . . . .	21
3.3. <i>Middleware</i> usado en cadenas de suministro . . . . .	22
3.3.1. Plataforma CrossTalk . . . . .	23
3.3.2. RFID como Agente Cross Talk . . . . .	24

<b>4. Trabajo profesional realizado</b>	<b>27</b>
4.1. Mejora del proceso . . . . .	27
4.2. Desarrollo del proyecto . . . . .	30
4.3. Fase 1: Iniciación del proyecto . . . . .	30
4.3.1. Documentación de inicio de proyecto . . . . .	31
4.3.2. Culminación de la fase 1 . . . . .	36
4.4. Fase 2: Organización y preparación . . . . .	36
4.4.1. Realización de la estructura de descomposición de trabajo . . . . .	36
4.4.2. Análisis de riesgos . . . . .	36
4.4.3. Línea de tiempo detallada. . . . .	40
4.5. Fase 3: Ejecución del trabajo . . . . .	40
4.5.1. Adquisición de hardware . . . . .	40
4.5.2. Instalación de hardware . . . . .	41
4.5.3. Instalación de software . . . . .	41
4.5.4. Realización de pruebas técnicas . . . . .	44
4.5.5. Inicio de operaciones del nuevo sistema . . . . .	44
4.6. Fase 4: Cierre del proyecto . . . . .	45
<b>5. Conclusiones</b>	<b>49</b>
5.1. Trabajo profesional actual . . . . .	50

# Capítulo 1

## Introducción

Hoy en día existe una tendencia en el ámbito laboral en la que los ingenieros deben contar con conocimientos y habilidades que no necesariamente se encuentran dentro de su área de preparación profesional. Esto es debido a que se desenvuelven dentro de un entorno multidisciplinario en donde se les exige, entre otras cosas, comunicarse tanto escrita como oralmente, adaptarse a los diferentes estilos de trabajo de las personas que los rodean, conocer técnicas de gestión de recursos y dirección de proyectos, y por sobre todas las cosas, saber trabajar eficientemente en equipo. Por consiguiente, es necesario contar con una formación integral que agregue valor a los resultados y relaciones interpersonales de los ingenieros recién egresados.

En este informe de trabajo profesional presento cómo utilicé la capacitación orientada a la gestión de recursos que recibí de la empresa para la que laboro, que incluyó sobre todo la administración de proyectos, mejor conocida por su nombre en inglés como *Project Management* mezclado con fuertes bases en la formación que me dio la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde estudié la carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Esta carrera tiene como objetivo fundamental la formación de profesionales de alto nivel con capacidad de diseñar, innovar, integrar, planear y poner en operación sistemas eléctricos y electrónicos [1]. Éstos se aplican a diversos sectores como son el eléctrico, de comunicaciones, salud, transporte, industrial y de servicios, todo ello con el fin de elevar la productividad y la competitividad de las empresas y el bienestar de la sociedad.

El ingeniero eléctrico electrónico es el profesionista que aplica y crea tecnología en los campos de la electricidad, las comunicaciones, el control y la electrónica mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos durante su formación académica. Además, dirige y planea la operación de sistemas de generación y distribución de energía eléctrica e interviene en el estudio y la puesta en operación de sistemas de comunicación inalámbrica. Asimismo diseña sistemas de control de procesos industriales y de servicio con base en microcomputadoras.

Mi desarrollo profesional ha estado ligado a lo anterior con el desarrollo de sistemas propios

de Industria Conectada (también conocida como industria 4.0) como la instrumentación para supervisar variables de entorno y la implementación de sistemas eléctricos y de comunicaciones para la automatización de procesos logísticos. A lo largo de este informe daré a conocer dichos conocimientos y cómo pude aplicarlos a mi labor profesional.

## 1.1. Descripción del puesto

Actualmente dentro de la empresa me encuentro desempeñando el rol de ingeniero de manufactura en el área de consultoría interna para Servicios de Planeación de Manufactura e Ingeniería. El campo de negocios en el que me especializo es en el de Industria Conectada (también conocida como industria 4.0). El principal propósito de mi trabajo es brindar soporte a la compañía en sus plantas de manufactura, utilizando métodos estandarizados de gestión de proyectos, mejora de procesos, planeación, logística y tecnologías de información y comunicación. En el campo de negocios de industria 4.0 he aplicado conocimientos de programación, electrónica y diseño de sistemas. En este informe profesional detallaré mi participación en un proyecto de aplicación de una solución de Industria Conectada. Con respecto a los demás campos de negocio, mi preparación como ingeniero me ha permitido ampliar mis conocimientos y aptitudes aprendiendo métodos controlados internacionalmente para gestionar proyectos y al mismo tiempo ponerlos en práctica en diversos proyectos.

## 1.2. Objetivo de la labor profesional

El valor del gestor de proyectos dentro de la labor profesional es alcanzar los objetivos de negocio dentro de los límites de tiempo y dinero establecidos. Eso implica que mis principales funciones es integrar equipos de trabajo y propiciar un ambiente de colaboración, generar transparencia dentro del proyecto y comunicar riesgos y oportunidades que surgen a lo largo del proyecto a los interesados para que puedan ser atendidos o aprovechados. Dentro del proyecto que incluyo en este informe tuve la tarea de elegir el hardware adecuado para la situación, considerando las opciones disponibles, preparar la infraestructura tanto tangible como intangible para el funcionamiento del sistema a implementar y preparar a los usuarios claves para el nuevo proceso estándar que seguiría.

## 1.3. Contenido del informe

El presente informe contiene el compendio de las actividades que desempeñé durante un proyecto como ingeniero. Además incluyo en este informe los fundamentos teóricos relativos a mis funciones y logros durante el proyecto. El contenido del informe es el siguiente: en el capítulo 2 presento el trasfondo de la gestión de proyectos como disciplina,

que es el área medular de mis funciones dentro de la empresa y las bases teóricas de la producción esbelta. En el Capítulo 3 presento la tecnología utilizada en el proyecto, con el fin de que el lector se contextualice con respecto al área en dónde fue implementado el proyecto. En el Capítulo 4 profundizo en la descripción de la planeación y ejecución del proyecto en el que participé, haciendo énfasis en mis aportaciones como ingeniero al aplicar los principios de razonamiento y ética profesional aprendidos durante el estudio de mi carrera en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, además de los conocimientos mismos adquiridos en las capacitaciones recibidas una vez egresado. Finalmente, en el Capítulo 5, presento las conclusiones del informe.





# Capítulo 2

## Preliminares

En este capítulo se muestra parte de la teoría desarrollada en las últimas décadas relacionada con la gestión de proyectos. El objetivo es sentar las bases para el juicio del capítulo que le sucede. La generalidad del contenido está sustentada en publicaciones del Instituto de Gestión de Proyectos (PMI por sus siglas en inglés) tal como la guía del PMBOK<sup>1</sup>. En mi labor profesional es ineludible comprender esta disciplina, pues es utilizada en cada proyecto, aunque no de idéntica manera en cada caso (esta tesis se explica en esta misma sección).

### 2.1. El concepto *producción en serie*

La producción es una red de procesos y operaciones [2]. La Figura 2.1 ilustra como un proceso se realiza a través de una serie de operaciones transformando material en producto. Cuando observamos dicho proceso, contemplamos el flujo de material en el tiempo y espacio, su transformación desde las primeras materias a componentes semiacabados o productos acabados. Cuando observamos las operaciones, contemplamos el trabajo realizado para completar dicha transformación tales como la interacción y flujo de equipos y trabajadores en el tiempo y espacio.

#### 2.1.1. Elementos de la producción

Pueden identificarse cuatro elementos distintivos en el flujo desde los materiales en bruto hasta los productos acabados.

1. Proceso – Un cambio físico en el material o en su calidad.
2. Inspección – Comparación con un estándar establecido.

---

<sup>1</sup>Project Management Body of Knowledge®

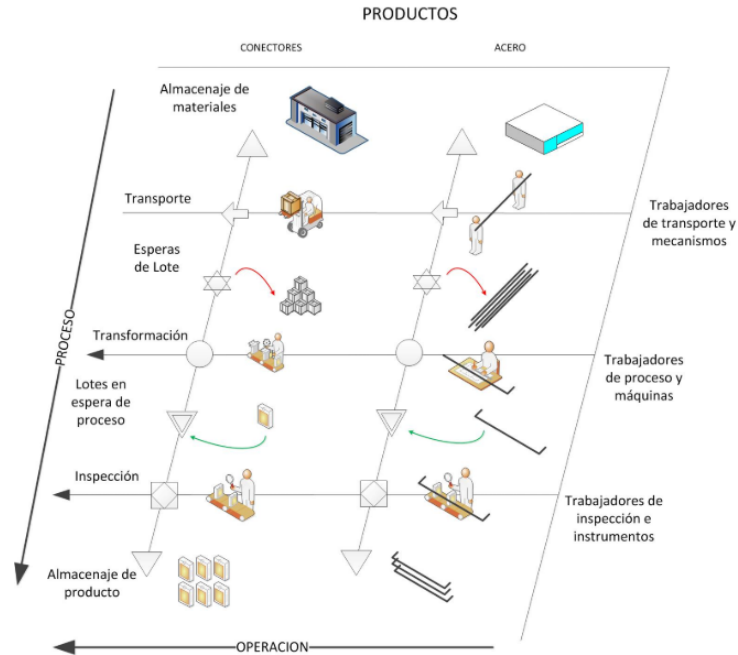


Figura 2.1: Ejemplo de proceso: entrada, herramientas y técnicas y salidas

3. Transporte – El movimiento del material o del producto, un cambio en su posición.
4. Retraso – Un periodo de tiempo durante el cual no ocurre un proceso, una inspección o un transporte. A su vez existen dos tipos de retraso:
  - Retraso de proceso – Un lote completo espera mientras se procesa el lote anterior o se inspecciona o se mueve.
  - Retraso de lote – En operaciones en lote, mientras una pieza se procesa, las otras esperan.

### 2.1.2. Mejora del proceso

Los procesos pueden mejorarse de dos modos. El primero mejora el producto a través de la ingeniería de valores. El segundo mejora los métodos de fabricación desde el punto de vista de la ingeniería industrial o la tecnología de la fabricación. Por un lado la ingeniería de valores es el primer paso en el proceso de mejora. Aquí la pregunta que se plantea es ¿cómo puede rediseñarse este producto manteniendo la calidad mientras se reducen los tiempos de fabricación? Por otro lado, en la segunda fase del proceso de mejoras, la cuestión es ¿cómo puede mejorarse la fabricación de este producto?

Las mejoras relacionadas con las tecnologías de fabricación implican factores tales como la temperatura apropiada de una mezcla, la velocidad de corte, la selección de útiles de

corte, etc. Las mejoras basadas en la ingeniería industrial pueden incluir la adopción de moldeo al vacío, galvanoplastia de alta velocidad, secado instantáneo, etc.

## 2.2. Principios básicos del Sistema de Producción Toyota (TPS)

El Sistema de Producción Toyota (TPS por sus siglas en inglés) es un sistema cuyo objetivo es eliminar absolutamente el desperdicio y por ende, los costes improductivos asociados a él. Para lograrlo es necesario tener en cuenta lo siguientes puntos:

1. La mejora del rendimiento tendrá sentido sólo cuando vaya ligado a la reducción de costos. Para conseguirlo, se debe producir únicamente lo necesario utilizando la mano de obra mínima.
2. Observar el rendimiento de cada línea en la producción y de los operarios para después analizarlos como un grupo y a la planta como una unidad. Dicho rendimiento deberá ser mejorado en cada paso.

### 2.2.1. La planta como primer principio

La planta de producción es la mayor fuente de información sobre el proceso de fabricación [3]. Ofrece la información más directa, actual y estimulante sobre su funcionamiento. Los encargados de mejorar su rendimiento deben estar directamente en ella ya que proporciona la información vital para su gestión. Los procesos, aún cuando se diseñan en un escritorio, deben probarse una y otra vez directamente en la planta además de que deban ser entendidos por todos a simple vista.

En cada planta en donde se instala el TPS se establece un fuerte control visual. En cada estación de trabajo existe una hoja de registro perfectamente visible. Cuando alguien mira ve enseguida el letrero indicador de paro de línea en donde se observa la ubicación y naturaleza de situaciones problemáticas.

### 2.2.2. El *kanban* como herramienta del TPS

*Kanban* es el método operativo del sistema de producción Toyota para el control de flujo de material. Su forma más usual es un trozo de papel o tarjeta dentro de un sobre de vinilo rectangular que contiene información dividida en tres categorías

1. Información de recogida
2. Información de traslado
3. Información de fabricación



Supplier: <b>PU1</b>	Customer: <b>PU2</b>
Description: <b>Production Unit 1</b>	Location: <b>Loc02</b>
Kanbans: <b>9</b>	Container: <b>Box 1</b>
	Qty: <b>100</b>
created: 10/12/2013 22:33:00	Description: <b>Item 012345</b>
printed: 11/12/2013 12:10:11	
 INTEGRATED KANBAN SYSTEM	Kanban ID:
Item ID: <b>012345</b>	
	1090

Figura 2.2: Ejemplo de tarjeta *kanban*

La información en el *kanban* está dispuesta de forma vertical u horizontal tal como se puede ver en la Figura 2.2. Se dice que este sistema se ha inspirado en el concepto de los supermercados (es por ello que a los conjuntos de material controlados por este sistema, dentro de una planta de manufactura que utiliza TPS, se les llama *supermercados*) ya que éstos tienen algunas características distintivas que son evidentes también en el sistema *kanban* tales como:

1. Los consumidores eligen directamente los artículos y compran los que desean.
2. Los consumidores reducen el trabajo del personal del almacén transportando por sí mismos sus compras hasta la caja.
3. En vez de utilizar un sistema de reaprovisionamiento estimado, el supermercado reaprovisiona solamente lo que ha vendido, reduciendo los stocks excedentes.
4. Los puntos 2 y 3 anteriores hacen posible reducir los precios; las ventas aumentan y los beneficios también.

La característica principal adoptada por el sistema *kanban* es la número 3: en vez de utilizar un sistema de reaprovisionamiento según estimación, se reaprovisiona solamente lo que se ha vendido, reduciendo los stocks no deseables. En el caso de los supermercados, los artículos que los clientes compran son comprobados por la caja registradora. Después las tarjetas que contienen información sobre los tipos y las cantidades de los artículos vendidos se entregan al departamento de compras. Utilizando esta información, los artículos vendidos se remplazan comprando nuevos. Las tarjetas equivalen al *kanban* de retirada del sistema de producción Toyota. En el supermercado, los artículos que se guardan en el almacén representan el stock de la planta de producción.

Si un supermercado tuviera cerca su propia planta de producción, existiría un *kanban* de producción además del *kanban* de retirada que existe entre el almacén y el departamento de producción. Siguiendo estrictamente las directrices del sistema, el departamento de producción fabricaría el número de artículos vendidos.

En el sistema de producción Toyota el exceso de producción está completamente controlado y previsto gracias al *kanban*. Como resultado, no es necesario contar con un stock excesivo y, en consecuencia, no hay necesidad de un almacén.

### **Funciones generales del *kanban***

En el proceso ordinario de control, tres tipos de tarjetas o fichas satisfacen las funciones principales del sistema:

- Ficha de identificación – indica lo que es el producto.
- Ficha de instrucciones de trabajo – indica lo que debe hacerse, en cuanto tiempo y en qué cantidades.
- Ficha de transferencia – indica desde dónde y a dónde el artículo debe transportarse.

Además se utilizan dos tipos de fichas o tarjetas:

- *Kanban* de trabajo en proceso – sirve como tarjeta de identificación de trabajo y de instrucciones.
- *Kanban* de transporte – sirve como tarjeta de identificación y de transferencia

La naturaleza repetitiva de la producción de automóviles (que es donde nació el sistema Toyota) ha producido dos características distintivas – características realmente de un sistema *kanban*:

- El *kanban* se usa repetidamente.
- El número de tarjetas *kanban* se restringe para limitar los flujos de producto, eliminar el desperdicio y mantener los stocks al mínimo.

El *kanban* en sí mismo retiene la función de una tarjeta de instrucciones de trabajo de forma que en una reproducción no repetitiva, sirve simplemente para proveer trabajo y transferir instrucciones.

### **Circulación de las tarjetas *kanban***

Con el fin de minimizar los stocks de artículos acabados, la orientación básica del sistema de producción Toyota es hacia la producción basada en órdenes [2]. Para esto se utiliza un sistema *pull*, en el cual uno de los procesos siguientes acude a su proceso anterior a retirar los productos que necesita. Con este concepto el flujo del *kanban* se muestra en la Figura 2.3. La circulación es la siguiente:

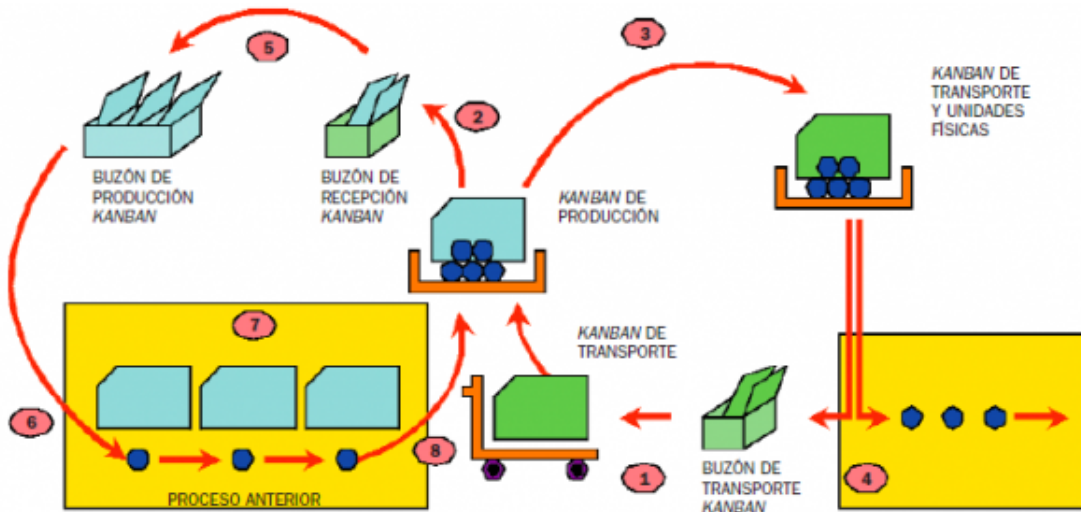


Figura 2.3: Circulación del *kanban*

1. Cuando las partes necesarias en las líneas de montaje se van a utilizar primero, se recoge un *kanban* de transporte y se coloca en una posición específica.
2. Un trabajador lleva este *kanban* hasta el proceso previo para obtener partes procesadas. Retira un *kanban* de producción de un buzón de partes procesadas y lo coloca en una posición prefijada. El *kanban* de transporte se coloca en el buzón y éste se transporta a la línea.
3. El *kanban* de trabajo en proceso o *kanban* de producción retirado del buzón en el proceso previo, sirve como tarjeta de orden e instrucción de trabajo que promueve el procesamiento de partes semiprocesadas provisionadas desde el proceso previo.
4. Cuando ocurre esto, la tarjeta de producción correspondiente al proceso anterior al previo se retira de un buzón de piezas semiprocesadas y se reemplaza por un *kanban* de transporte.

Por tanto, de este modo trabaja una reacción en cadena de intercambios de tarjetas de transporte por tarjetas de producción siguiendo de adelante hacia atrás la secuencia de procesamiento. Con este sistema solamente se necesitan indicar los cambios de planes al final de la línea de montaje. Obsérvese que este cambio circulará simple, automáticamente y de manera segura.

El movimiento de las tarjetas *kanban* regula el movimiento de los productos. Al mismo tiempo, el número de tarjetas *kanban* restringe el número de productos en circulación. Por tanto, una condición críticamente importante del sistema se expresa en la frase “el *kanban* debe moverse siempre con los productos”. El considerable compromiso asignado al problema de la pérdida de un *kanban* debe entenderse en este contexto.

Cuando se procesan varios tipos de diferentes de piezas, es extremadamente importante mantener un stock mínimo para comenzar el procesamiento con piezas disponibles cuyas tarjetas *kanban* pueden circular rápidamente a partir de ese momento y proceder a continuación en orden.

## 2.3. Estabilidad básica de TPS

Para la aplicación de *Lean Manufacturing*<sup>2</sup>, es de suma importancia contar con la estabilidad básica en la manufactura. Con este concepto de estabilidad, se le conoce a los elementos o piezas claves que no deben faltar en la manufactura para lograr el éxito de sistemas como *Kanban*. En el sentido más simple, estabilidad implica predictibilidad general y una consistente disponibilidad en términos de mano de obra, máquinas, materiales y métodos. Bajo cada uno de estos bloques básicos de producción, TPS intenta establecer un proceso consistente y predecible antes de ir más lejos. Es decir, se considera que se tiene un proceso de manufactura estable cuando estos cuatro elementos presentan una cantidad de fallas dentro de un criterio de estabilidad, por ejemplo, 80 % de disponibilidad de la maquinaria, 98 % de materiales dentro de los parámetros de calidad solicitados por el cliente, 100 % de personal capacitado y 90 % de cumplimiento del método estandarizado.

En términos de este proyecto, las máquinas, los materiales y la mano de obra *per se* no se vieron afectadas, pero el método (sistema *Kanban*) sí fue modificado. Por lo tanto, para obtener la estabilidad deseada (propuesto en este proyecto: 90 % de cumplimiento del método *Kanban* con RFID), se planificaron entrenamientos al personal operativo y supervisión continua después de la implementación del nuevo sistema durante 7 semanas. A esta etapa la llamamos estabilización del proceso y esperábamos que las primeras semanas hubieran considerables desviaciones al proceso nuevo y que durante las semanas 6 y 7 ya contáramos con un proceso estable, es decir, 90 % de cumplimiento del estándar.

## 2.4. Trabajo en equipo

La producción y todas las herramientas necesarias para maximizar su rendimiento requiere de armonía, lo que no se daría si no existe el trabajo en equipo. Haciendo una analogía con el deporte, en un equipo de baloncesto con nueve jugadores por ejemplo, la clave del éxito o el fracaso está en el trabajo en conjunto. Incluso teniendo uno o dos jugadores destacados un equipo no tiene porqué ganar necesariamente. La fabricación también se desenvuelve mediante el trabajo en equipo. Por ejemplo, se necesitarían de 10 a 15 trabajadores para realizar un trabajo desde la generación de las materias primas

---

<sup>2</sup>Manufactura Esbelta: de manera general, así se le conoce a la manera de realizar la manufactura propuesta por Toyota y utilizada por muchas otras compañías.

hasta la obtención del producto terminado. La idea del trabajo en equipo, no el número de piezas elaboradas por un trabajador sino el número de productos terminados por la línea en conjunto.

El punto común más importante entre los deportes y el ámbito laboral es la continua necesidad de práctica y entrenamiento. La teoría es fácil de entender, el problema es aplicarla a la práctica. El objetivo está en pensar y hacer instintivamente gracias a la colaboración con los compañeros de equipo, lo que conlleva que el espíritu en conjunto de continuar con el entrenamiento sea el primer paso del camino hacia el éxito.

## 2.5. Gestión de proyectos en ingeniería

La gestión de proyectos es una disciplina que se ha utilizado desde siglos atrás. Gracias a su aplicación debemos la existencia de obras de ingeniería como Las Grandes Pirámides de Guiza o La Gran Muralla China creadas en la antigüedad, y por otro lado obras de la era moderna lo pueden ser La Torre Eiffel o El Canal de Panamá. En cuanto a la Gran Pirámide de Guiza, se desconoce la forma exacta en que fue construida, incluso no se sabe con veracidad su finalidad, pero es un hecho que requirió la administración de centenares de personas, la dirección de recursos y tuvo que haber un plan para su construcción. En el caso de la gran Muralla China, se sabe que su construcción se decidió debido a la necesidad de proteger al imperio chino de las tribus nómadas enemigas. La construcción cesó hasta que el imperio se unificó con el rival y dejó de ser necesario impedir la entrada de éstos. De igual manera, fue necesario organizar obreros y recursos para cumplir la expectativa del emperador. El Canal de Panamá implicó la gestión de profesionales de múltiples disciplinas como ingenieros civiles, arquitectos, ingenieros eléctricos, ingenieros mecánicos, etc. El proyecto se realizó con el objetivo de agilizar el intercambio comercial interoceánico entre el mar Caribe y el Océano Pacífico. Actualmente influye decisivamente en los patrones del comercio mundial e impulsa el crecimiento económico de los países en vías de desarrollo y de regiones remotas del mundo. Hasta inicios del siglo XX los grandes proyectos de ingeniería civil eran dirigidos por arquitectos y maestros de obra. Fue hasta los años 50 que se comenzaron a utilizar técnicas estandarizadas para la gestión de proyectos de ingeniería. Precursores como Henry Gantt y Henri Fayol dieron nacimiento a herramientas que se siguen utilizando tal como el diagrama de Gantt o la Estructura de Descomposición de Trabajo. Así pues, estas buenas prácticas y esfuerzos dieron lugar al desarrollo del Estándar para la Gestión de Proyectos<sup>3</sup> por parte del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI). Cabe destacar que este no es el único estándar

---

<sup>3</sup>ANSI. (2017). The Standard For Project Management.



para esta profesión, otros ejemplos son la ISO 21500<sup>4</sup>, PRINCE2<sup>5</sup> e ICB<sup>6</sup> pero dada la naturaleza de nuestro negocio y nuestras operaciones, en el área en que trabajamos hacemos uso del estándar de la ANSI, en el cual se basa el PMI<sup>7</sup> para el continuo desarrollo del PMBOK.

### 2.5.1. La importancia de la gestión de proyectos

La gestión de proyectos se logra a través de la aplicación correcta de los métodos y herramientas identificados como necesarios para el proyecto, esto permite a las organizaciones realizar los proyectos de una manera eficaz y eficiente. La aplicación efectiva de gestión de proyectos ayuda a las organizaciones a lograr objetivos de negocio, satisfacer a los interesados, incrementar las probabilidades de éxito, optimizar la utilización de recursos, resolver problemas, responder a riesgos a tiempo, gestionar limitaciones de costo, tiempo, alcance, calidad o recursos y balancear la influencia de estas.

### 2.5.2. Definición de *proyecto*

Según el Estándar para el Manejo de Proyectos desarrollado por Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés) un proyecto es un esfuerzo temporal realizado para obtener un resultado único, es decir, se realiza para lograr un propósito definido, conseguir una posición estratégica, crear un producto para ser producido en masa, un servicio para ser brindado, etc. Es parte de su naturaleza tener un inicio y un fin, lo cual no necesariamente significa que deba ser corto (la construcción del castillo de Chapultepec duró 10 años mientras que la construcción del campus central

---

<sup>4</sup>La norma ISO 21500 ha sido escrita como una guía que busca orientar a las empresas en su gestión. De hecho, no contiene requisitos como tal y no está diseñada con fines de certificación. En este aspecto difiere de la norma ISO 9001 sobre sistemas de gestión de la calidad, que describe los procedimientos y sistemas que se recomiendan a las organizaciones para mejorar sus procesos o determinados aspectos de sus operaciones. ([www.obs-edu.com](http://www.obs-edu.com))

<sup>5</sup>PRINCE2 fue desarrollado por la Oficina de Comercio del Gobierno y gestionado por la Asociación de Gestión de Proyectos con un claro enfoque en proyectos de informática y telecomunicaciones, por lo que tradicionalmente este estándar se ha considerado más centrado en estos campos de actividad, a diferencia del PMBOK o ICB que están más focalizados en proyectos industriales o de obra civil.

<sup>6</sup>El ICB, IPMA Competence Baseline, es el estándar en gestión de proyectos desarrollado por el International Project Management Association. Este estándar consta de 46 elementos de competencia que cubren: las técnicas de gestión, el comportamiento profesional del personal implicado en la gestión del proyecto, y las relaciones con el contexto del proyecto. Por lo tanto es un estándar que da más importancia a la persona y al equipo que el PMBOK

<sup>7</sup>El Project Management Institute (PMI) es una de las asociaciones profesionales de miembros más grandes del mundo que cuenta con medio millón de miembros e individuos titulares de sus certificaciones en 180 países. Es una organización sin fines de lucro que avanza la profesión de la dirección de proyectos a través de estándares y certificaciones reconocidas mundialmente, a través de comunidades de colaboración, de un extenso programa de investigación y de oportunidades de desarrollo profesional. ([americalatina.pmi.org](http://americalatina.pmi.org))

de la Universidad Nacional Autónoma de México duró dos años). Es responsabilidad del *Project Manager* diseñar el ciclo de vida del proyecto (concepto avante en este mismo Capítulo del informe) para cumplir con las metas demandadas por los patrocinadores o dueños de éste. Además, es posible que se presenten circunstancias que impliquen un cambio tal como prolongar o mermar la duración planeada. Teóricamente, las siguientes son posiciones que conllevan el fin del proyecto:

- Se lograron los objetivos del proyecto.
- Los objetivos del proyecto no se lograrán o no se pueden lograr.
- Se agotaron los recursos para continuar la ejecución del proyecto.
- Ya no es necesario ejecutar el proyecto.
- El proyecto debe ser detenido por razones legales o por conveniencia.

Por difícil que sea la decisión, es parte del arte del responsable del proyecto comunicar el estado de éste para tomar las decisiones necesarias por ejemplo para no caer en la falacia del costo hundido <sup>8</sup>. A pesar de que los proyectos son temporales, sus entregables y resultados pueden perdurar en el tiempo, como por ejemplo, un medicamento que estará disponible de manera no precisamente definida pese haberse terminado su proyecto de desarrollo.

### 2.5.3. Ciclo de vida del proyecto

Un proyecto es dividido en fases por las que tiene que pasar para ser completado. A este conjunto de fases se le llama ciclo de vida. Independientemente del tipo, este ciclo de vida tiene una base de desarrollo mostrado en la Figura 2.4. Una fase es un conjunto de actividades unidas de manera lógica que culminan en uno o más entregables. Las fases a su vez están separadas por puertas que tienen como objetivo el medir el desempeño de las actividades y tomar la decisión de si se avanza o no a la siguiente fase. Dependiendo de la industria, las puertas pueden tener diferentes nombres como puerta de calidad, puerta de revisión, punto de cierre, etc.

Un proyecto exitoso comienza al iniciarse la primera fase y se termina al culminar la última. Su ciclo de vida es independiente del ciclo de vida del producto o servicio que genera. Mientras que el producto puede tener una fase de desarrollo, mercadeo, mejora, etc, puede ejecutarse todo un proyecto sólo para desarrollar o mejorar un producto.

Dentro de cada fase o a través de ellas hay procesos que utilizan una o más entradas para generar una o más salidas. Los procesos están vinculados de manera lógica, de esta

---

<sup>8</sup>Un costo hundido es aquel en el que ya se ha incurrido independientemente de si se realiza o no el proyecto, por lo que no es relevante para la toma de decisiones, por lo que se deben suprimir en el análisis y la valuación de un proyecto.

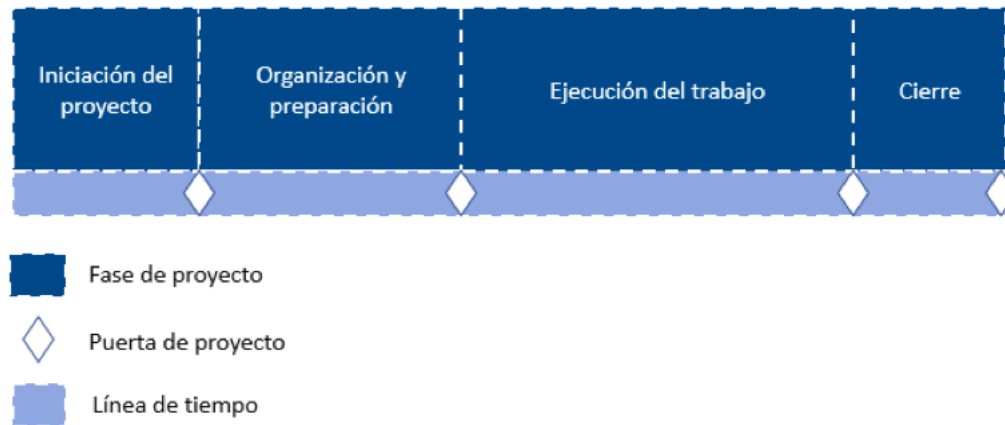


Figura 2.4: Esbozo genérico de un proyecto en fases

manera, las salidas pueden ser entradas para otros procesos o entregables del proyecto. Además de tener una conexión lógica, los procesos, pueden ser agrupados de diferentes maneras. El PMI sugiere que sean agrupados en cinco categorías llamados grupos de procesos de gestión de proyectos.

#### 2.5.4. Grupos de procesos de gestión de proyectos

Durante todo el proyecto se realizan diversos procesos como obtención de información, realización de un plan, listado de requerimientos, etc. No todos los procesos existentes se usan en cada proyecto, sino que se eligen los adecuados para los fines particulares de cada proyecto. A lo largo del informe menciono los procesos usados en este proyecto. De acuerdo con estándar <sup>9</sup>, existen cinco grupos de procesos y cada proceso debe pertenecer a alguno de ellos:

1. Procesos de iniciación: Ejecutados para definir el proyecto o una nueva fase para obtener la autorización de iniciar.
2. Procesos de planeación: Necesarios para establecer el alcance, afinar objetivos y definir el curso de acción para cumplirlos.
3. Procesos de ejecución: Procesos para completar el trabajo y alcanzar los objetivos.
4. Procesos de monitoreo y control: Utilizados para dar seguimiento, revisar y regular la ejecución del proyecto
5. Procesos de cierre: Procesos necesarios para cerrar o completar formalmente una fase, proyecto o contrato.

<sup>9</sup>ANSI, Project Management Knowledge Areas, Project Management Process Groups

### 2.5.5. Áreas de conocimiento de la gestión de proyectos.

Los procesos de gestión de proyectos están clasificados en áreas de conocimiento a pesar de que se encuentren interrelacionados. Las áreas de conocimiento aplicadas en la mayoría de los proyectos son diez:

1. Gestión de integración: procesos y actividades para definir, combinar, unificar y coordinar las actividades de los grupos de procesos del proyecto.
2. Gestión de alcance: procesos necesarios para incluir el trabajo necesario para lograr los objetivos del proyecto y sólo el trabajo necesario.
3. Gestión del plan: procesos requeridos para lograr el logro de los objetivos dentro de un tiempo establecido.
4. Gestión de costos: procesos que involucran la estimación, planeación, fondeo, financiamiento y control de costos del proyecto.
5. Gestión de calidad: procesos necesarios en orden de lograr las políticas de calidad definidas por la organización para lograr las expectativas de las partes interesadas.
6. Gestión de recursos: procesos necesarios para la identificación, adquisición y manejo de recursos requeridos para completar los objetivos.
7. Gestión de la comunicación: procesos necesarios para lograr en un tiempo definido la planeación, almacenamiento, distribución y supervisión de la información del proyecto.
8. Gestión de riesgos: procesos para identificar y analizar riesgos, crear planes de acción y supervisión de riesgos.
9. Gestión de adquisición: procesos para comprar o adquirir productos, servicios o resultados externos al equipo del proyecto.
10. Gestión de partes interesadas: procesos para identificar a las personas, grupos u organizaciones que podrían impactar o ser impactadas por el proyecto, analizar sus expectativas y cómo pueden impactar al proyecto con el fin de desarrollar estrategias que involucren a las partes de manera efectiva en la toma de decisiones y la ejecución del proyecto.

# Capítulo 3

## Tecnología utilizada

En el proyecto mostrado en este informe la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID por sus siglas en inglés) fue utilizada para automatizar operaciones en el Sistema de Gestión de Recursos Empresariales (ERP por sus siglas en inglés), por lo tanto, para la comprensión del informe, es necesario describir el funcionamiento de éstos. En este capítulo haré una descripción general de las dos tecnologías.

### 3.1. Identificación por radio frecuencia (RFID)

La tecnología RFID es una forma de identificar objetos biunívocamente la cual fue desarrollada por el MIT y ha estado presente desde los años veinte del siglo pasado [4]. Cuenta con tres componentes básicos:

1. La antena: La función de la antena es transmitir y recibir señales electromagnéticas entre una etiqueta y un lector. El tipo utilizado depende de la aplicación para la que está diseñado y de la frecuencia de operación. Por ejemplo, en alta frecuencia se utiliza una espiral plana y un factor de forma cuadrada para lograr distancias de decenas de centímetros.
2. El transpondedor o etiqueta RFID: Su objetivo es permitir al material encapsulado en un chip transmitir la información de identificación de la etiqueta.
3. El transceptor o lector RFID: Envía periódicamente señales para ver si hay alguna etiqueta en sus inmediaciones. Cuando capta una señal de una etiqueta, extrae la información y se la pasa al subsistema de procesamiento de datos.

Tal y como se pueden apreciar en la Figura 3.1, el transpondedor está contenido en una etiqueta llamada más comunmente *RFID Tag* y contiene un circuito integrado reescribible que se encarga de almacenar información (por ejemplo, una cadena de identificación única). Por otro lado, la antena es encargada de generar un campo electromagnético para

activar la etiqueta y entablar la comunicación entre la etiqueta y el transceptor, el cual es un subsistema que contiene un decodificador y un módulo de control que se encarga de enviar información a otro sistema para su uso.

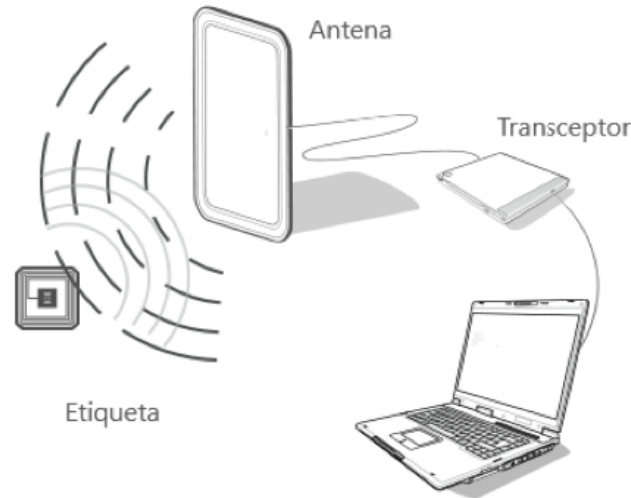


Figura 3.1: Componentes de un sistema RFID

La tecnología RFID tiene muchas aplicaciones en la industria, por ello existen diferentes variantes en cuanto al hardware y los parámetros de operación. Por su frecuencia de operación, existen sistemas de baja frecuencia, alta frecuencia y ultra alta frecuencia. En cuanto a las etiquetas, las hay activas y pasivas: las activas tienen su propia fuente de alimentación, lo que los dota de mayor alcance y capacidad de almacenamiento. Por otro lado, los transceptores pueden estar empaquetados en un mismo dispositivo cuando se requiere un rango pequeño de lectura, o pueden estar separados para poder conectar varias antenas a un mismo transceptor con el fin de aumentar el rango y fiabilidad de lectura, por ejemplo en aplicaciones de pago de peaje en carreteras donde se requiere que se detecte un etiqueta dentro de un vehículo al pasar por una caseta de cobro.

### 3.1.1. Ventajas de RFID frente al uso de códigos de barras

La identificación de objetos o productos también puede ser realizada con códigos de barras [5], la cual es una tecnología mucho más sencilla, pero que presenta ciertas desventajas comparada con RFID, como son:

- Una vez impreso el código de barras éste no puede ser modificado, mientras que una etiqueta RFID puede ser reprogramada.

- La comunicación del código de barras con el sistema de lectura debe ser directa mientras que con RFID, al ser por medio de un campo electromagnético, puede ser a través de otros objetos.
- La lectura de etiquetas de códigos de barras debe ocurrir de una en una mientras que un sistema RFID puede detectar muchos elementos a la vez.
- Una etiqueta de códigos de barras puede ser fácilmente dañada mientras que una etiqueta RFID puede soportar ambientes duros como el lodo, la nieve y el aceite. La presencia de éste último muy común en la industria.
- La velocidad de lectura de las etiquetas de códigos de barras depende del proceso (la forma en que se posiciona la etiqueta frente al lector) mientras que la lectura de una etiqueta RFID puede ser menor a 100 ms una vez que ésta se aproxima a la antena.

Todas estas ventajas han llevado a que cada vez más se prefiera la tecnología RFID en todo tipo de ámbitos, tanto de consumo como comerciales e industriales y donde el principal objetivo es eficientar procesos y por ende, reducir costos.

### 3.1.2. RFID utilizada en cadenas de suministro

En la industria de manufactura, la administración de cadenas de suministro es un factor clave de costos, por lo tanto, es crucial que sea efectiva para lograr ventaja competitiva [6]. En un esfuerzo por lograrlo, un gran número de minoristas prefieren la Identificación de Radio Frecuencia y la codificación de barras por radiofrecuencia.

Como ya se especificó anteriormente, la tecnología RFID crea una etiqueta o *tag* releíble y re-escribible para los productos mientras se mueven a lo largo de la cadena de suministro. Esencialmente se crean productos inteligentes que retroalimentan información al proceso de forma automatizada. El potencial impacto de esta tecnología no tiene límites ya que su curva de costos decrece rápidamente.

Obtener los beneficios de la identificación por radiofrecuencia para la industria manufacturera implica la modificación de los sistemas de control de producción, las herramientas de producción, las estrategias de ejecución, los sistemas de información a nivel de planta, así como la sincronización de los planes de producción y la distribución con la información de la cadena de suministro que proporcionarán los dispositivos de identificación por radiofrecuencia.

La tecnología RFID ofrece un flujo continuo de información, desde la cadena de suministro hasta las actividades y controles del proceso de fabricación. Con esta óptica, su tecnología es una extensa oportunidad para la creación de valor y una ventaja estratégica, lo que favorece el retorno de inversión. Sin embargo, su principal beneficio es la agilización y mejora en los procesos productivos y consecuentemente el reafirmar su liderazgo en el eslabón de la cadena.

Dentro de los beneficios más evidentes que RFID proporciona a los procesos de manufactura se encuentran:

- Disminución del stock de materiales.
- Prevención de falsificaciones.
- Eficiente administración del inventario.
- Reducción de mermas o pérdidas.
- Facilidad para establecer procesos de producción justo a tiempo (*just in time*) al tener un conocimiento real de lo que está sucediendo en el mercado.
- Facilidad de mantener productos líderes dado su consumo, además de proporcionar características especiales con base en conocimiento real de los hábitos de consumo de cada sector de la población.
- Eficientar los envíos al mercado dado que las órdenes de producción son sobre lo que realmente se está consumiendo.
- Seguimiento de producto desde las materias primas hasta el producto terminado.
- Controles de empaque y embalaje.
- Reducción de errores de empaque y embarque al verificar, con lecturas automáticas, que el producto es el mismo de la orden de embarque.
- Localización de lotes de producción en tiempo real.
- Chequeo de calidad.
- Seguridad en ensamble de partes garantizando compatibilidad y secuencia de procesos.
- Disponibilidad de líneas de producción.
- Mantenimientos preventivos y correctivos oportunos.
- Reprogramación de cargas de trabajo con base en disponibilidad de líneas y estatus de avances de producción.
- Disponibilidad de materiales en cada etapa del proceso de producción, reduciendo los paros por falta de los mismos.
- Cálculo de eficiencias, replanteo de líneas de producción con base en cálculos reales de los tiempos de producción por cada operación.



Siendo tan amplias las ventajas de utilizar RFID en cadenas de suministro, es posible combinarla con otras tecnologías y agregar el conjunto resultante a métodos como el *kanban*. Antes de la Industria Conectada, en dicho método la identificación de los objetos o productos se realizaba de forma manual, el operador debía principalmente realizar los movimientos de materia prima a nivel lógico, tecleando de manera la información del material, tal como número de parte, cantidad por contenedor, área de suministro, etc. Este proceso acarreaba errores humanos que tenían que ser identificados y corregidos, lo que conllevaba pérdida de recursos pero sobre todo pérdida de tiempo. El hecho de automatizar el método *kanban* utilizando la tecnología RFID en conjunto con sistemas informáticos y de comunicaciones subsana en gran medida dichas pérdidas. A continuación se da una descripción de dichos sistemas.

### 3.2. Sistema de Gestión de Recursos Empresariales

Los sistemas de gestión de recursos empresariales (ERP por sus siglas en inglés) son sistemas informáticos que integran varias de las operaciones llevadas a cabo dentro de una compañía dedicada a la producción de bienes y servicios. Los ERP incorporan la información de producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas, etc. de la empresa con el fin de automatizar los procesos de negocio de un modo coordinado [7]. Estos sistemas necesitan de una plataforma de tecnología de la información común para toda la empresa y se concretan en paquetes de software que se dividen entre software hecho a la medida y una aplicación estándar.

En general, estas soluciones de sistemas de información suelen tener como consecuencia un uso más adecuado de los recursos y una reducción de costos frente a la opción de desarrollo de sistemas independientes.

Las principales características distinguen a los sistemas ERP de cualquier otro software empresarial es que son:

- Modulares: La funcionalidad de los ERP está dividida en módulos que están destinados a las diferentes secciones de la empresa como recursos humanos, ventas, finanzas, etc. Dichos módulos son instalados de acuerdo con las necesidades de la empresa.
- Configurables: Existe el software genérico que puede ser configurado de acuerdo con las necesidades de la empresa, por ejemplo una compañía puede requerir la partición por lotes de su inventario mientras otras no.
- Especializados: Brindan soluciones a procesos complejos dentro de una empresa que se encuentra en constante cambio, por ello un ERP especializado está optimizado de acuerdo con los tipos de proceso de la empresa o la industria a la que pertenece.

Otras características de los sistemas ERP son que cuentan con bases de datos centralizadas en donde los módulos interactúan entre sí, requiriendo a veces que ciertos procesos

empresariales se adapten a su funcionamiento, además de que son capaces de suministrar información para la toma de decisiones a todos los niveles directivos de la organización. En general, la implementación de un sistema ERP es compleja y puede llegar a ser tardada. Por otro lado, tiene la ventaja de administrar todos los recursos de la compañía de manera integral y controlada. Por ejemplo, en una empresa de manufactura, el módulo de logística administra el inventario de materia prima, el de contabilidad permite la realización de facturación y administración de bienes y el de producción administra el cálculo de costos de fabricación de sus productos. Todos ellos compartiendo información de manera armónica, ya que por ejemplo, el costo de fabricación depende del costo de la materia prima (administrado por el módulo de logística) y del costo de los activos fijos (administrados por el módulo de contabilidad). En conclusión, la administración de la manufactura en una compañía se vuelve muy compleja sin un ERP.

### 3.3. *Middleware* usado en cadenas de suministro

El software de lógica de intercambio de información entre aplicaciones o *middleware* asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras aplicaciones o paquetes de programas, redes, hardware o sistemas operativos. Simplifica el trabajo de los programadores en la compleja tarea de generar las conexiones y sincronizaciones que son necesarias en los sistemas distribuidos. De esta forma, se provee una solución que mejora la calidad de servicio así como la seguridad, el envío de mensajes, la actualización del directorio de servicio, etc.

El *middleware* funciona como una capa de abstracción de software distribuida que se sitúa entre las capas de aplicaciones y las capas inferiores (sistema operativo y red). Abstrae de la complejidad y heterogeneidad de las redes de comunicaciones subyacentes, así como de los sistemas operativos y lenguajes de programación, proporcionando una API<sup>1</sup> para la fácil programación y manejo de aplicaciones distribuidas. Dependiendo del problema a resolver y de las funciones necesarias, serán útiles diferentes tipos de servicios de *middleware*. Por lo general el *middleware* del lado cliente está implementado por el Sistema Operativo, el cual posee las bibliotecas que ejecutan todas las funcionalidades para la comunicación a través de la red.

Los servicios de *middleware* proporcionan un conjunto más funcional de las APIs para permitir una aplicación para:

- Localizar objetos abstractos claramente a través de la red, proporcionando así una interacción con otro servicio o aplicación.
- Filtrar los datos para que sean utilizables en un ambiente público.
- Ser independiente del servicio de red.

---

<sup>1</sup>Interfaz de Programación de Aplicaciones

- Ser fiable y siempre disponible.
- Añadir los atributos complementarios como semántica en comparación con el sistema operativo y servicios de red.

Un *middleware* ofrece algunas ventajas únicas tecnológicas para los negocios y la industria. Por ejemplo, los sistemas tradicionales de bases de datos suelen ser desplegados en entornos cerrados, donde los usuarios acceden al sistema sólo a través de una red restringida (por ejemplo, red interna de una empresa). Con el crecimiento de la internet, los usuarios pueden acceder desde cualquier parte del mundo a prácticamente cualquier base de datos para las que tengan derechos de acceso. *Middleware* aborda también el problema de diferentes niveles de interoperabilidad entre las estructuras de base de datos diferente además de que facilita el acceso a la herencia de un sistema de gestión de bases de datos o aplicaciones a través de un servidor web, sin tener en cuenta las características específicas de la base de datos correspondiente.

Las empresas frecuentemente utilizan las aplicaciones de *middleware* para vincular la información de bases de datos de sus departamentos, tales como nóminas, ventas y contabilidad, o bases de datos alojadas en múltiples localizaciones geográficas.

### 3.3.1. Plataforma CrossTalk

La plataforma CrossTalk es un sistema *middleware* propiedad de la compañía alemana *Kathrein Solutions*. Tiene como objetivo la administración de dispositivos y eventos para soluciones de internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés). Una de las características clave de este sistema es su arquitectura, la cual está distribuida en agentes como componentes del software [8]. Además, es altamente escalable, de fácil implementación y cuenta con comunicación en tiempo real.

En la Figura 3.2 se puede observar un diagrama que representa el sistema Cross Talk, el cual incluye:

- El Centro de Aplicaciones *CrossTalk (CT App Center)* es la plataforma en donde se hace el seguimiento de aplicaciones y la configuración y monitoreo central para los dispositivos de infraestructura de IoT.
- El *Repositorio CrossTalk (CT Repository)* es una plataforma de almacenamiento de datos altamente escalable.
- Los Agentes *CrossTalk (CT Agents)* permiten la integración de dispositivos *plug and play*, la captura de datos en tiempo real y el procesamiento y el filtrado de eventos.

Una de las aplicaciones en la industria es la comunicación entre dispositivos conectados a una red y sistemas ERP, permitiendo la automatización de operaciones de negocio, por ejemplo la administración de la logística de materiales de una fábrica. En este escenario

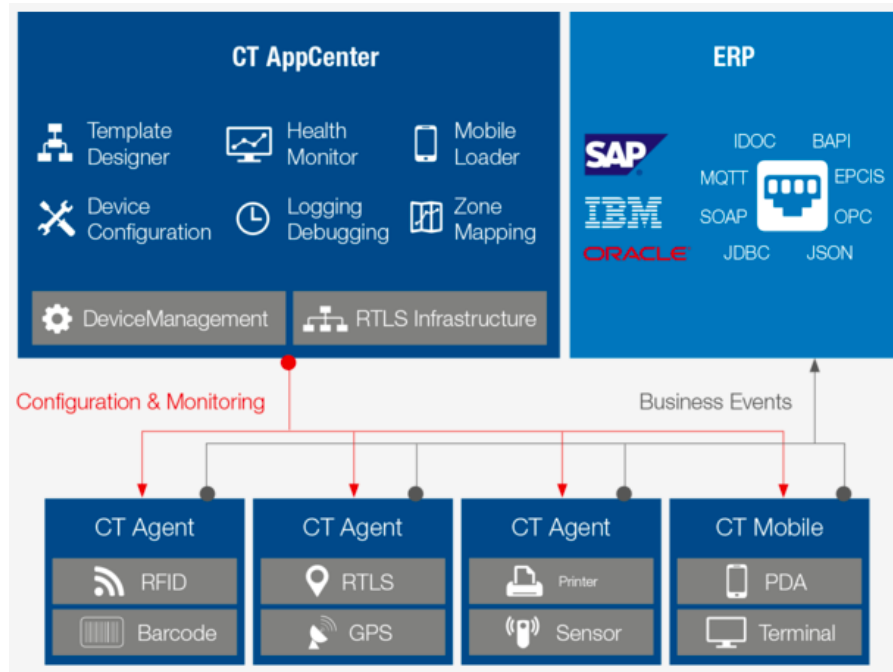


Figura 3.2: Plataforma Cross Talk

todos los eventos se retroalimentan al sistema mediante los Agentes CrossTalk a una aplicación de soporte, donde los eventos serán procesados. Todas las funciones e interfaces de usuario son entregadas también por dicha aplicación.

### 3.3.2. RFID como Agente Cross Talk

La plataforma *Cross Talk* está construida en una arquitectura distribuida, lo que es muy importante para cualquier infraestructura de IoT. Sus dispositivos se encuentran presentes en almacenes, plantas de producción o tiendas. Los centros de datos están conectados por medio de redes enrutadas con líneas más o menos estables pero costosas. Por ello, es importante contar con una instancia de procesamiento en tiempo real y filtrado en el propio dispositivo o en la red de área local del a la que pertenezca. El agente CrossTalk está diseñado para ejecutarse en un espacio reducido en sistemas operativos comunes. Con ello, múltiples procesos se pueden implementar y monitorear fácilmente en un agente usando aplicaciones alojadas en un servidor.

En un caso particular, en cadenas de suministro, la tecnología RFID actúa como agente *CrossTalk* en plantas de producción. Como se puede observar en la Figura 3.2, el *CT App Center* configura y monitorea al agente (que también puede tratarse de códigos de barras en lugar o combinado con tecnología RFID) mientras que éste envía información al ERP en forma de eventos de negocio. Básicamente, las señales generadas por la tecnología

RFID son abstraídas a un nivel lógico para después ser enviadas e interpretadas por el software del sistema ERP. Un ejemplo práctico de este proceso es el caso del método *kanban*, en donde el RFID Tag hace las veces de una tarjeta *kanban* leyendo una cadena de datos que envía a la plataforma Cross Talk. A su vez, éste último se conecta con el ERP en donde se tiene todo el listado del contenido de las tarjetas, registrando la información de los productos u objetos dentro de la cadena de suministro.

El proceso descrito, aún cuando pareciese fácil de implementar dado que tanto la tecnología RFID, como los sistemas ERP y el *middleware CrossTalk* permiten llevar a cabo una integración completa entre ellos, se requiere de una rigurosa planificación dado el tamaño del sistema resultante y dependiendo también de la escala a la cual se quiera llevar a cabo. En el caso particular de este trabajo informe, detallo la documentación que realicé con el fin de gestionar el proyecto para su cumplimiento y la interacción del equipo multidisciplinario, lo que mostraré en el siguiente capítulo.



# Capítulo 4

## Trabajo profesional realizado

El Proyecto en el que trabajé como ingeniero de Industria Conectada consistió en la implementación de la tecnología RFID para la automatización de operaciones de negocio en el ERP de la empresa, específicamente en la operación de la logística de resurtimiento de materia prima, que a su vez ya era controlada por el sistema *kanban* de manufactura esbelta que se menciona en la Sección 2.2.2 pero de forma manual, lo que presentaba varias oportunidades de mejora para el proceso. Al contratar a La Empresa, el cliente buscó implementar dichas mejoras ya que podían ahorrarse recursos de diversa índole que se podrían ver reflejadas en los estados financieros del negocio. Una vez realizado el primer acercamiento a la planta y conociendo a detalle el proceso, se dispuso implementar un sistema RFID para automatizar las operaciones *kanban*. Desde luego, al tratarse de un proyecto a mediana escala, en el equipo al que pertenezco utilizamos herramientas de *Project Management* para realizar la automatización del sistema, siendo los objetivos de utilizar tecnología RFID los siguientes:

- Reducir el error humano y tareas repetitivas.
- Reducir desperdicio: el tiempo de una operación que no agrega valor al producto.
- Incrementar la transparencia en el inventario de materia prima.

En el presente capítulo se detalla la implementación completa del proyecto así como la mejora del proceso realizada con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos anteriormente mencionados.

### 4.1. Mejora del proceso

El proyecto se enfocó en la automatización de las transacciones realizadas en el ERP de la empresa durante el movimiento de materia prima. En la Figura 4.1 se muestra un mapa simplificado de los pasos a seguir en la cadena de valor del proceso de manufactura en el que

se implementó el proyecto, las flechas representan flujo de material, las líneas punteadas representan flujo físico de información y las líneas quebradas representan flujo virtual de información. En la ilustración se observa que el supermercado de materia prima se controla con un sistema *kanban* tradicional y que hay una operación asistida por computadora, la cual es realizada por un operador y consiste en el movimiento lógico de materia prima dentro del sistema ERP. La finalidad de esta operación es la administración de inventario, entendiéndose en el mapa que es realizada en el momento en el que el operador toma el material y lo distribuye al proceso de manufactura. Si bien dicho proceso es esbelto, la operación tiene oportunidades de mejora. Al ser una tarea manual puede estar sujeta a errores de entrada (por ejemplo, teclear un valor incorrecto), puede tomar un tiempo considerable bajo la premisa de que es realizada cientos de veces al día además de que la operación se realiza en cuanto el material es tomado del supermercado, lo cual implica que no hay transparencia en el sistema de ERP que indique en tiempo real dónde se encuentra dicho material, es decir, no se puede saber cuánto material hay en el almacén y en el supermercado. En la Figura 4.2 se muestran los pasos que se seguían con el sistema manual.

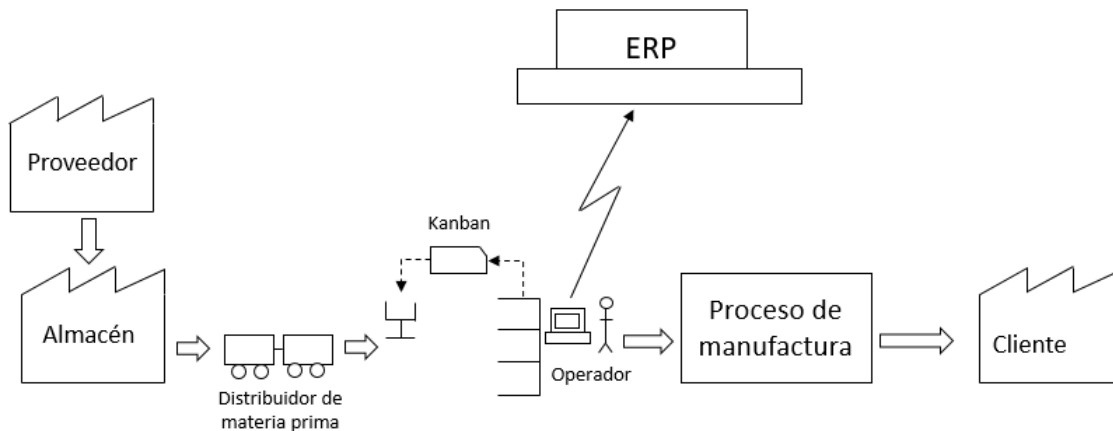


Figura 4.1: Mapa de cadena de valor en la situación inicial.

La propuesta de situación objetivo fue instalar un sistema que permita hacer la operación en un tiempo considerablemente menor, que disminuya la probabilidad de error humano y que brinde transparencia que permita diferenciar la cantidad de materia prima en el almacén y en el supermercado. En la Figura 4.3 se muestra un mapa de cadena de valor simplificado de la situación objetivo, las flechas representan flujo de material, las líneas punteadas representan flujo físico de información y las líneas quebradas representan flujo virtual de información. Aquí se propone instalar lectores RFID en el supermercado y en el buzón de tarjetas *kanban*. Estas tarjetas serían equipadas con una etiqueta RFID que les



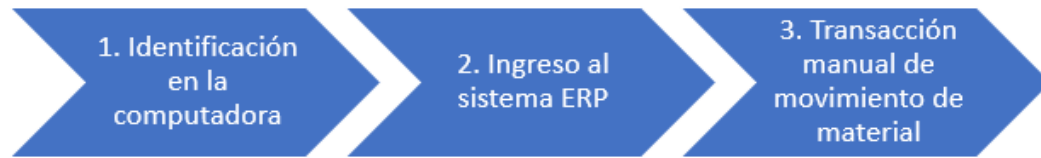


Figura 4.2: Pasos a seguir en la operación manual.

permitiera identificarse de manera única y asociarse a su información tal como número de parte, cantidad de material por tarjeta, etc. El proceso logístico propuesto consiste en que el operador escanee la tarjeta *kanban* en el lector RFID del supermercado en el momento en que toma el material, es entonces cuando el lector RFID envía la información de dicho material al ERP a través del *middleware* para realizar el movimiento de material, indicando que ya ha sido utilizado. Adicionalmente se propone que el distribuidor de material escanee la tarjeta *kanban* en el momento en que entrega el material al supermercado, de esta manera puede transferirse del almacén al supermercado a nivel lógico. Esta manera de escanear una etiqueta RFID, en lugar de realizar una entrada manual, evita cometer un error de cantidad de material ya que esta información está asociada a una y sólo una etiqueta RFID. Hay que enfatizar que el escanear la tarjeta *kanban* toma menos de dos segundos.

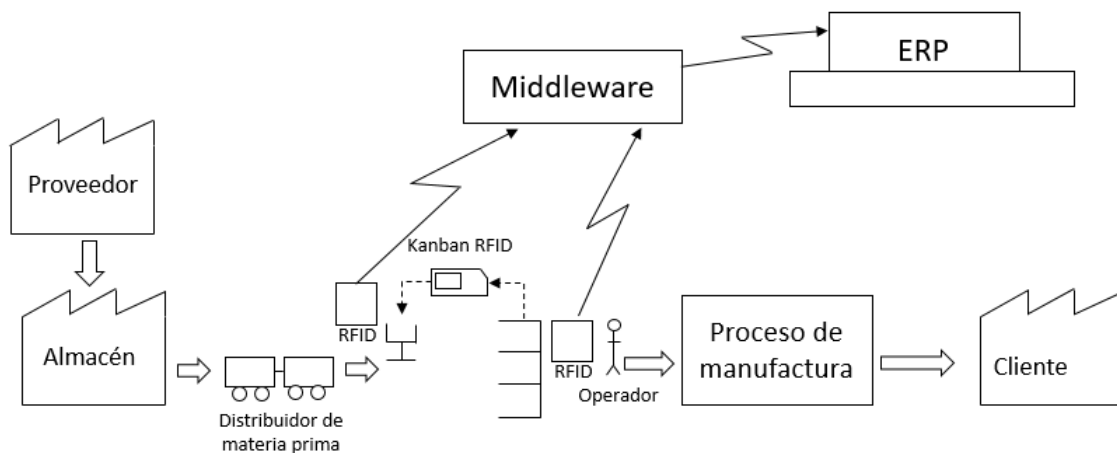


Figura 4.3: Mapa de cadena de valor en la situación objetivo.

## 4.2. Desarrollo del proyecto

La ejecución del Proyecto requirió a un equipo multidisciplinario que incluyó técnicos en cableado de red, especialistas en informática y redes, especialistas en operación de ERP, especialistas en sistemas de producción, especialistas en logística y particularmente especialistas en sistemas RFID y *middleware*. Para el cumplimiento de los objetivos del proyecto se necesitó que todos los técnicos y especialistas, expertos cada uno en sus áreas respectivas, trabajen de forma armónica. Para lograrlo, el equipo de proyecto fue coordinado por el líder de proyecto y yo, siendo yo el encargado las tareas especializadas en RFID y *middleware*, además de brindar apoyo en las otras áreas.

El desarrollo del proyecto se realizó con un ciclo de vida basado en el modelo general propuesto por el PMI. Este fue dividido en cuatro fases:

1. Iniciación del proyecto
2. Organización y preparación
3. Ejecución del trabajo
4. Cierre

A continuación se describe a detalle cada una de estas etapas.

## 4.3. Fase 1: Iniciación del proyecto

La primera fase tiene como objetivo la justificación del proyecto en la cual se hace la evaluación de factibilidad financiera y técnica, además del proceso de desarrollo del documento de inicio de proyecto (que pertenece al grupo de procesos de iniciación). Las entradas de este proceso fueron documentos de negocio, acuerdos y documentación del proceso actual.

Las técnicas y herramientas utilizadas fueron:

- Obtención de información:
  - Lluvia de ideas con el equipo del proyecto.
  - Grupos de enfoque.
  - Entrevistas.
- Habilidades interpersonales requeridas:
  - Manejo de conflictos.
  - Facilitación.
  - Coordinación de reuniones.

Como resultado se obtuvo la documentación de inicio de proyecto. En el documento de inicio de proyecto mostrado, el equipo formado por el líder de proyecto, nuestra oficina de manejo de proyectos y yo será evocado como *La Consultora* y los miembros del equipo que forman parte del personal operativo de la planta serán evocados como *La Planta* (El siguiente es el documento tal y como se elaboró durante la fase de iniciación del proyecto, es por ello que se expresa en futuro, ya que en el momento en que se realizó el documento, no se había comenzado la fase de ejecución del proyecto).

### 4.3.1. Documentación de inicio de proyecto

#### 1. Descripción y factibilidad del proyecto

Implementación de la solución estandarizada de la automatización de manejo de inventarios con soporte de tecnología RFID.

- Factibilidad técnica – El Proyecto es un despliegue de un estándar que ya se ha implementado en otras plantas de la empresa, por ello a nivel tecnológico es factible. La consultora ha evaluado los prerequisites y se cumple con ellos. Estos se muestran a continuación:
  - Se cuenta con la migración de inventario en el Sistema ERP.
  - El sistema *kanban* se sigue como estándar.
  - Se cuenta con la infraestructura de TI para la instalación del hardware.
  - Los especialistas técnicos están disponibles en sitio para la ejecución del proyecto.
- Factibilidad financiera – Con base en implementaciones pasadas La Consultora ha realizado un estimación de costos. Analizando el nuevo sistema y la mejora del proceso, se ha previsto un ahorro potencial de costos de operación gracias al ahorro en tiempo y en ajustes de inventario. Tomando en cuenta este análisis financiero, se ha calculado un Retorno de Inversión de dos años. Entonces, se concluye que el proyecto es factible desde el punto de vista financiero.
- Control de información – Se contará con una carpeta con acceso restringido a los miembros del equipo para almacenar la siguiente información:
  - Planes de Proyecto
  - Cotizaciones y órdenes de compra
  - Reportes y presentaciones
  - Otros archivos requeridos para el proyecto

Es importante destacar que el líder de proyecto tendrá la propiedad de la carpeta de proyecto.

## 2. Plan integral de supervisión y control

De manera diaria La Consultora supervisará el estado de las tareas de Proyecto. La tarea puede ser abierta, cerrada, retrasada o cancelada.

### a) Plan de manejo del alcance.

El alcance del Proyecto ejecutado por La Consultora incluye solo la porción del proceso actual de manejo de material prima que cumple con el estándar *kanban* de transporte, dentro de la cadena de valor de producción.

La consultora conducirá los talleres y reuniones necesarias para coordinar las actividades ejecutadas por los miembros del equipo de proyecto. La Planta debe ejecutar las tareas de proyecto asignadas a los especialistas en tiempo y forma para el éxito del proyecto además de que proveerá a La Consultora de la información que necesite para la ejecución de áreas especializadas en ERP, *middleware* y *Project Management*. Los cambios en el alcance serán solicitados al líder del proyecto y se someterán a aprobación por el patrocinador del proyecto.

### b) Manejo de calendario.

De manera diaria se comparará el estado real de las tareas contra las fechas planeadas. Con base en estimaciones pasadas e información en cuanto a los procesos de instalación de hardware y software que brindaron los especialistas, La Consultora ha realizado el proceso de generación de línea de tiempo base, la cual se muestra en la Figura 4.4 y es la que se seguirá a lo largo del proyecto. Todos los cambios en el calendario serán sometidos a aprobación por el líder de Proyecto. Los que impacten en costo y duración se comunicarán al patrocinador y se solicitará su aprobación.

### c) Manejo de costos.

La Consultora ha calculado los costos del proyecto y se ha asignado el presupuesto al proyecto. El líder del Proyecto controlará el presupuesto utilizado, tanto en horas hombre utilizadas como en el utilizado en adquisición de recursos. Cualquier cambio en la utilización del presupuesto será notificado el patrocinador del Proyecto y se solicitará su aprobación.

### d) Manejo de calidad.

La Consultora asegurará la calidad del proyecto dándole seguimiento a los siguientes aspectos:

- La Consultora supervisará el cumplimiento de las tareas en tiempo y presupuesto.
- La Consultora brindará material de entrenamiento y entrenará a los usuarios operarios de la nueva tecnología.
- La Consultora probará toda la tecnología antes de ser liberada para utilización operacional.

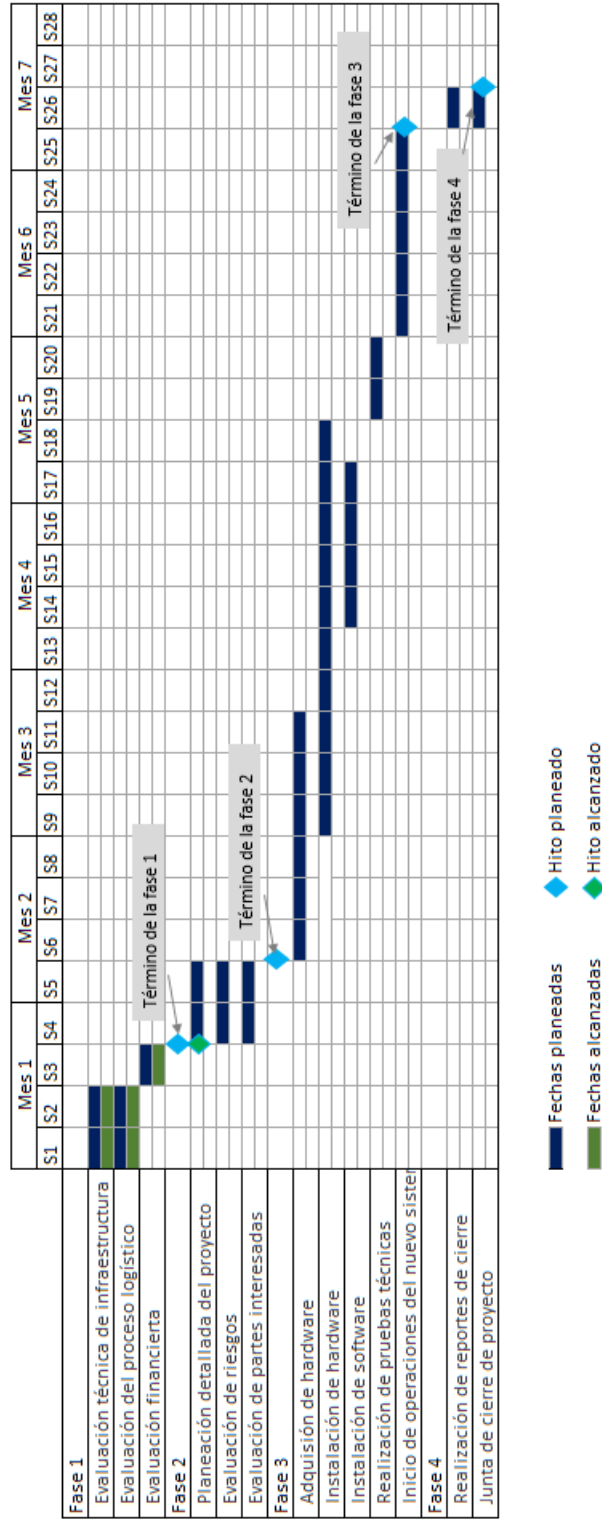


Figura 4.4: Línea de tiempo esbozada durante la fase 1 del proyecto. La resolución es de una semana de calendario de 5 días hábiles (Sx = Semana x)

e) Manejo de comunicación.

En la Tabla 4.1 se muestran las formas de comunicación planeadas que se utilizarán durante el proyecto.

Comunicación	Frecuencia	Método de comunicación	Organizador	Participantes
Junta de introducción	Única	Reunión presencial	Líder de proyecto	Equipo de proyecto y todas las áreas involucradas
Reporte de estado	Semanal	Reunión presencial	Líder de proyecto	Equipo de proyecto
Reporte de calendario y costos	Mensual	Correo Electrónico	Líder de proyecto	Director de La Consultora y el responsable financiero
Junta de dirección	Semanal	Reunión presencial	Líder de proyecto	Equipo de proyecto y el patrocinador del proyecto

Tabla 4.1: Plan de comunicación general del proyecto.

En caso de que una tarea de proyecto asignada a un responsable no sea cumplida en tiempo por el mismo se seguirá un camino de escalación que tiene como fin no retrasar el proyecto. Dicho camino se muestra en la Tabla 4.2.

Evento	Destinatario	Periodo de tiempo
Primer contacto	Responsable de la tarea	Fecha límite de cumplimiento
Segundo contacto	Gerente del responsable de la tarea	1 día
Tercer Contacto	Director del área	1 día
Cuarto Contacto	Patrocinador del proyecto	1 día

Tabla 4.2: Ruta de escalación a seguir en caso de incumplimiento de una tarea en tiempo.

En caso de que se presente un problema mayor durante el proyecto, el cuál pueda implicar un impacto en costo o duración, éste debe comunicarse siguiendo el camino de escalación de la Tabla 4.3.

Evento	Destinatario	Momento de comunicación
Cambio menor que no afecta el costo del proyecto	Líder de proyecto	Junta de dirección de proyecto
Cambio mayor que afecta el costo del proyecto	Líder de proyecto	Inmediatamente

Tabla 4.3: Ruta de escalación a seguir en caso de un problema mayor durante el proyecto.

f) Plan de manejo de riesgos.

Durante la fase de planeación del proyecto se realizará el proceso de identificación de riesgos que tendrá como salida el registro de riesgos y planes de acción. Además el Líder de proyecto registrará nuevos riesgos que aparezcan durante el proyecto.

El seguimiento de manejo de riesgos se presentará ante el comité directivo en las reuniones de comité de dirección.

g) Plan de manejo de adquisiciones.

El manejo de las adquisiciones de hardware, software e infraestructura será realizada por La Consultora. Este será realizado con una tabla de seguimiento de fechas. La Planta será responsable de la emisión y seguimiento de las órdenes de compra del proyecto.

h) Plan de manejo de recursos humanos.

Se listan a continuación la lista de recursos humanos necesarios durante el proyecto.

Recursos de La Planta:

- Responsable del departamento de logística.
- Responsable del personal operativo de logística.
- Especialista de sistemas de producción.
- Especialista de sistemas de TI.
- Especialista de sistemas de ERP.

Soporte del área central de proyectos:

- Responsable de proyectos centrales de logística.
- Especialista en sistemas RFID y *middleware* estandarizados para la empresa.

La consultora:

- Líder de proyecto.
- Ingeniero de Manufactura e Industria Conectada.

La disponibilidad de tiempo de los recursos humanos será solicitada a los gerentes a priori. En caso de no contar con capacidad libre por parte de los recursos, el patrocinador del proyecto será el encargado de adquirir los recursos necesarios.

3. Plan de cierre de proyecto.

Para realizar la conclusión oficial de la fase 4 del proyecto, se conducirá una sesión de análisis de objetivos alcanzados por parte de La Consultora. Como entregable de este proceso se presentará el reporte de cierre de proyecto, el cual será oficial en cuanto el patrocinador esté de acuerdo con el reporte y lo firme.

### 4.3.2. Culminación de la fase 1

Una vez que se hizo el análisis financiero que establece que el proyecto tiene un retorno de inversión, se realizó y presentó la documentación de inicio de proyecto ante el comité directivo. Es en este momento en el que se decide que el proyecto en efecto se realizará y se distribuye este documento a las partes involucradas para empoderar al líder de proyecto y proceda a dirigir la fase 2.

## 4.4. Fase 2: Organización y preparación

La Fase 2 del proyecto consistió en la planeación y evaluación del proyecto. Esta planeación requiere un esfuerzo considerable que tiene como entregable un plan detallado para la ejecución del proyecto, mismo que incluye fechas y responsables asignados una vez que se ha analizado su tiempo disponible. En este apartado se presentará el resultado de los procesos de *Project Management* ejecutados para obtener el entregable mencionado.

### 4.4.1. Realización de la estructura de descomposición de trabajo

Para la realización de la estructura de descomposición de trabajo, el líder de proyecto y yo dirigimos una sesión de lluvia de ideas con el equipo de proyecto. En ella adquirimos información de los especialistas de la planta acerca de los procesos internos relativos a los paquetes de trabajo necesarios para la realización del proyecto. Un ejemplo es el proceso a llevar a cabo para la instalación de hardware.

Además se sumaron paquetes de trabajo que no habíamos considerado en la Fase 1, como la necesidad de crear una red de área local virtual para la protección de la red interna de la empresa. Al mismo tiempo hicimos las anotaciones para realizar una Matriz de Riesgos, que es el entregable del análisis de riesgos. Una vez realizado el WBS que se muestra en la Figura 4.5 (Este está orientado a áreas de trabajo para poder otorgar a los subequipos de los correspondientes departamentos un enfoque basado en tareas), se procedió a realizar un diccionario del mismo. En este documento se muestra la explicación de los paquetes de trabajo y a su vez su descomposición en una lista de actividades con duración y un responsable asignado.

### 4.4.2. Análisis de riesgos

Teniendo como entrada los riesgos detectados durante la sesión de creación del WBS, realizamos una evaluación de la probabilidad y el impacto de los riesgos en el proyecto. A continuación se explican los riesgos analizados:

- Imposibilidad de edición de ERP.

Existe dentro de la empresa un periodo en el que no se pueden realizar ediciones en



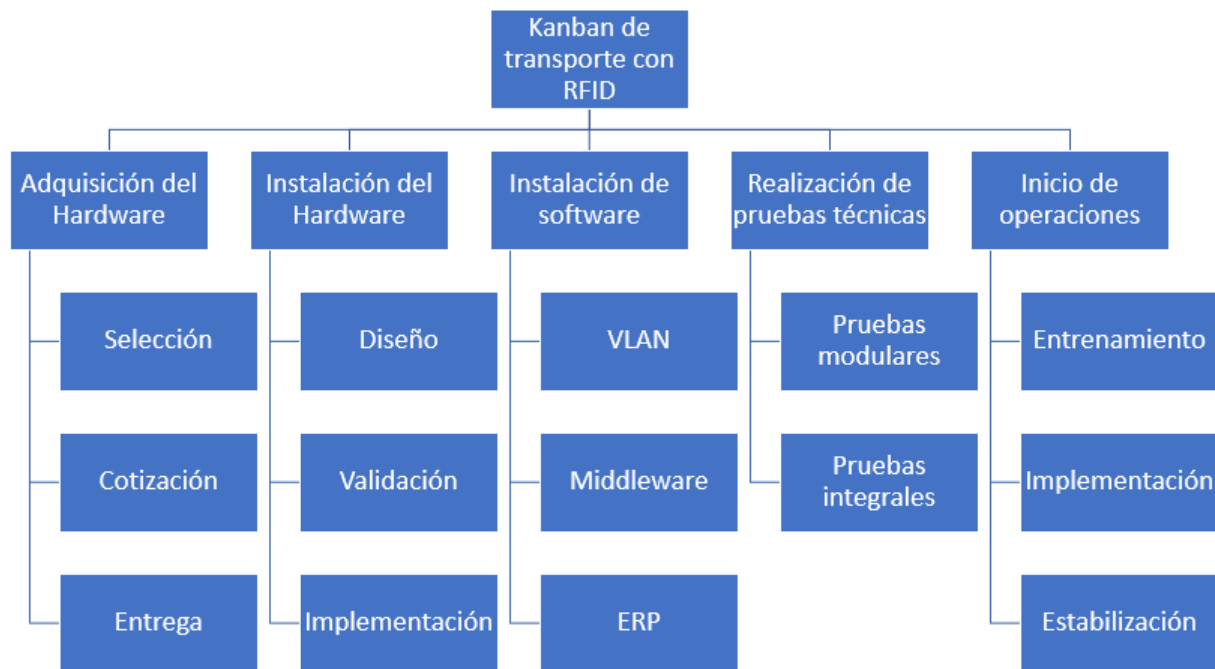


Figura 4.5: Estructura de Descomposición de Trabajo.

el sistema ERP debido a un cierre de tareas para la realización de mantenimiento global. Este periodo fue de tres meses, por lo que el impacto en nuestro proyecto, en caso de no realizar las ediciones en el ERP antes del inicio del periodo de cierre, implicaría un retraso mínimo de esos mismos tres meses. Si esto ocurría, incumpliríamos nuestra meta. La probabilidad de ocurrencia de este cierre dentro de nuestra línea de tiempo fue muy grande, por lo que fue necesario realizar un plan de acción contra este riesgo.

El plan de acción diseñado fue adelantar la instalación software y la edición del ERP, lo cual implicaría una inversión mayor de recursos en el primer mes del proyecto, lo que se compensaría reduciendo al mínimo la inversión de recursos en el seguimiento de adquisición de hardware.

- Inestabilidad del proceso.

El nuevo proceso *kanban* representa un cambio para el personal operativo. El especialista de sistemas de producción expresó que de no estabilizarse<sup>1</sup> el nuevo proceso, los objetivos de ahorro del proyecto no se alcanzarían y por lo tanto el proyecto sería

<sup>1</sup>La estabilidad en este contexto se refiere al seguimiento del proceso estandarizado de *Kanban* soportado con RFID por parte del personal operativo: siempre de la misma manera, con los mismos pasos y con el resultado esperado

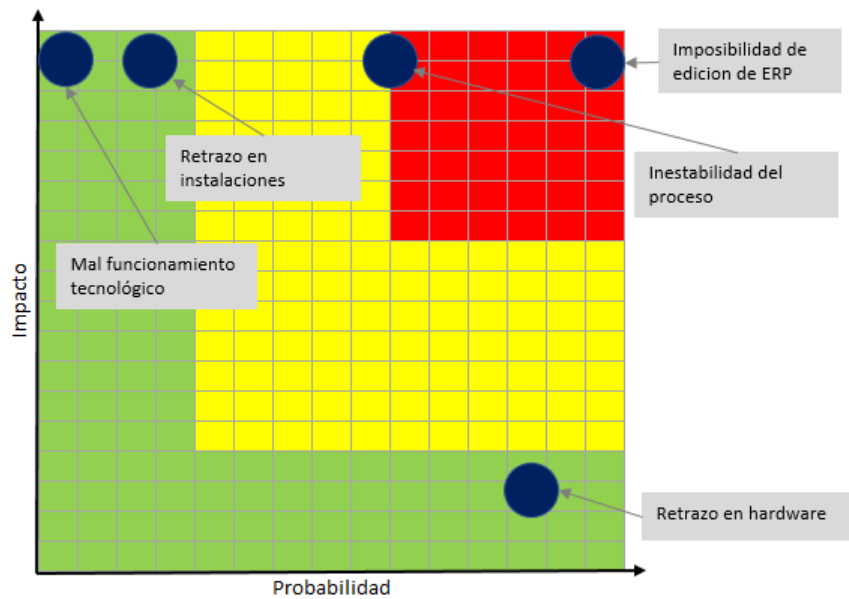


Figura 4.6: Matriz de riesgos del proyecto.

un fracaso. Entonces se propuso extender el tiempo de estabilización del proceso, lo cual implicaría un ligero incremento en el costo, pero aseguraría dicha estabilización

- Retraso en instalaciones y mal funcionamiento tecnológico.  
Estos riesgos, si bien tienen un impacto grande en el proyecto, la probabilidad de que ocurran es casi nula ya que el tiempo de instalación tiene considerado un lapso extra como mitigador en caso de retrasos. Por otro lado, en cuanto al funcionamiento del sistema y al ser un estándar global dentro de la empresa, es muy improbable que funcione de manera incorrecta por lo que se decidió asumir este riesgo.
- Retraso de hardware.  
En cuanto la adquisición del hardware, la probabilidad de que se retrase el tiempo de entrega es considerable debido a que en la planta no se había adquirido este tipo de equipos anteriormente. Sin embargo, considerando la línea de tiempo propuesta en la Fase 1 y en caso de que ocurriera, el impacto sería muy bajo ya que no representa un costo extra ni un retraso general del proyecto. De igual forma que en el punto anterior, se decidió asumir este riesgo.

Finalmente los riesgos fueron concentrados y mostrados de una manera visual en una matriz de riesgos mostrada en la Figura 4.6 para el reporte al comité de dirección.

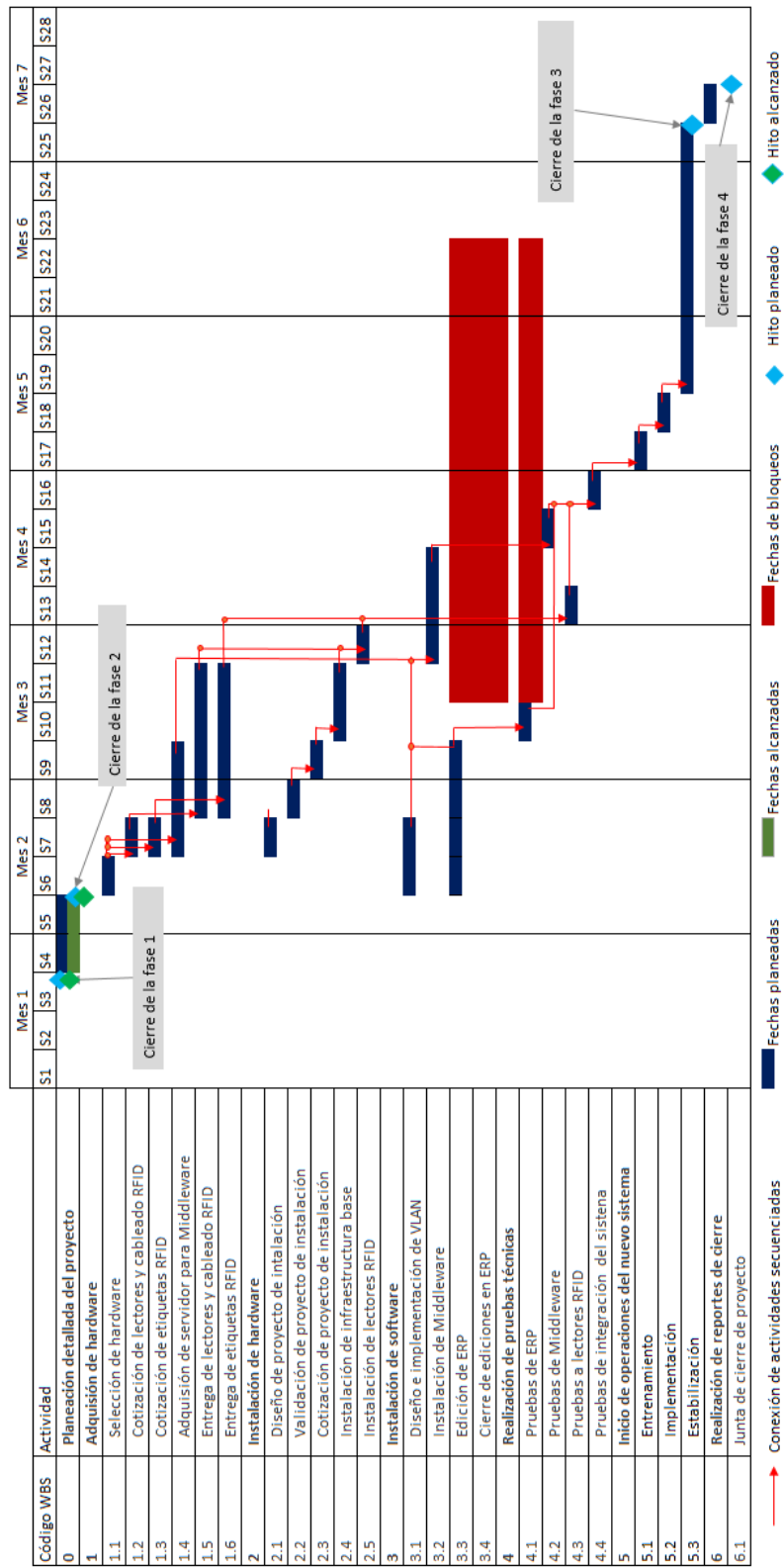


Figura 4.7: Diagrama de Gantt de la planeación detallada del proyecto, considerando los riesgos y su plan de mitigación.

### 4.4.3. Línea de tiempo detallada.

El WBS y la matriz de riesgos sirven como entrada para realizar una línea de tiempo detallada. El líder de proyecto y yo realizamos una línea de tiempo donde incluimos los planes de acción propuestos en el análisis de riesgos. Esta línea de tiempo puede observarse en el diagrama de Gantt de a figura 4.7.<sup>2</sup>

## 4.5. Fase 3: Ejecución del trabajo

Durante la Fase 3 del proyecto realizamos la ejecución del plan detallado desarrollado en la Fase 2, es decir, las actividades descritas en el diccionario del WBS. En esta sección comentaré el resultado de dichas actividades.

### 4.5.1. Adquisición de hardware

La adquisición de hardware conllevó los siguientes pasos:

1. Selección de hardware

Con base en las recomendaciones del equipo central de proyectos de la compañía, seleccioné el lector RFID con las características adecuadas para que el sistema fuera lo suficientemente robusto ante las condiciones ambientales de la fábrica y su uso ininterrumpido: que pudiera operar en nuestro país, que fuera fácil de instalar y que no presentara fallas recurrentes. Por tanto, el dispositivo seleccionado fue el lector RFID marca Sick modelo RFU620-105101 que se muestra en la Figura 4.8. Este puede ser alimentado con tecnología PoE <sup>3</sup>(aprovechando así la disponibilidad de puertos PoE y no requerir una instalación eléctrica extra). En la figura 4.10 se ven los datos de operación del equipo, aquí se muestra que su MTBF<sup>4</sup> es de 23 años.

La etiqueta RFID seleccionada fue el modelo *Dogbone* del fabricante *Smartrac*, cuyos datos técnicos son mostrados en la figura 4.11. Es idónea para la aplicación de este proyecto debido a sus medidas físicas, pues pueden ser adheridas en las tarjetas Kanban y por sus características técnicas es compatible con el lector RFID seleccionado para aplicaciones industriales.

---

<sup>2</sup>Un diagrama de Gantt es una herramienta gráfica para gestión de proyectos que muestra una lista de actividades y su duración en el tiempo. Esta manera de presentar las tareas de un proyecto permite tener una sobrevista de la duración del mismo. El diagrama fue nombrado así en honor a Henry Laurence Gantt, quien divulgó su uso a principios de siglo XX

<sup>3</sup>La tecnología *Power Over Ethernet* (PoE) incorpora suministro eléctrico en el cableado Ethernet, permitiendo de esta manera conectar un dispositivo a una red de área local y a suministrarle energía con la misma instalación y cableado.

<sup>4</sup>El *Mean Time Before Failure*(MTBF) de un equipo es una característica que indica cuánto tiempo pasa antes de que el equipo presente una falla, basado en pruebas realizadas en su manufactura.



Figura 4.8: Fotografía del lector RFID seleccionado para la implementación.

2. Adquisición de servidor para Middleware.

De acuerdo al estándar de la empresa, se requirió un servidor con una capacidad mínima de procesamiento de 8 núcleos a 1 GHz, 8 GB de almacenamiento en memoria de acceso aleatorio, 64 GB de espacio en disco duro y sistema operativo Windows Server 2012. Esta fue solicitada al departamento de TI de la empresa, el cual es responsable de la administración y mantenimiento de todos los servidores.

3. Cotizaciones y entregas.

Las cotizaciones y entregas fueron realizadas siguiendo los procesos internos de la empresa (ejecutados por el departamento de compras y TI a solicitud mía ). Mi función fue solicitar la ejecución y dar seguimiento a las tareas. Posteriormente comunicar las fechas de entrega al equipo de mantenimiento para coordinar la instalación. Tanto la entrega del servidor como de los lectores RFID tuvieron un retraso de una semana cada una. El retraso del servidor no tuvo un impacto debido a que se planeo utilizarlo tres semanas después de que se entregara. El retraso de los lectores RFID causó que se retrasara una semana la instalación y prueba de los mismos, pero no así con las pruebas de integración, por lo tanto no impactaron la entrega general del proyecto en tiempo.

#### 4.5.2. Instalación de hardware

Todo el proceso de instalación de hardware fue realizado siguiendo el proceso estándar de la empresa para este fin (diseño, cotización, validación y ejecución). Este proceso fue ejecutado en tiempo y forma como era esperado. Esta fue la tarea relativamente más sencilla del proyecto desde nuestra gestión, ya que fue llevada a cabo por el área de mantenimiento que para nosotros fungió como un proveedor de servicios.

#### 4.5.3. Instalación de software

La instalación de software involucró los siguientes pasos:

## Datos técnicos detallados

## Características

<b>Version</b>	Mid Range
<b>Categoría de producto</b>	Equipo de lectura/escritura con antena integrada
<b>Autorización para tipo de equipo de radio</b>	EE. UU. (FCC Part 15.247) Canadá (RSS-210) México (NOM-121)
<b>Banda de frecuencias</b>	UHF (860 MHz ... 960 MHz)
<b>Frecuencia portadora</b>	902,75 MHz ... 927,25 MHz
<b>Flujo de potencia</b>	0,32 W (EIRP, 25 dBm)
<b>Estándar RFID</b>	EPCglobal UHF Class 1 Generation 2, ISO/IEC 18000-6 C
<b>Modulación</b>	PR-ASK
<b>Tipo de conexión</b>	POE
<b>Calentamiento</b>	No
<b>Alcance</b>	≤ 2 m <sup>1)</sup>
<b>Antena</b>	Integrado (circular polarizada, relación axial tip. 3 dB, ángulo de apertura 100°, ratio frontal-trasero > 7 dB)
<b>Funciones de servicio</b>	Clonación de parámetros mediante ranura para tarjeta de memoria MicroSD integrada
<b>Funciones de servicio</b>	Función de clonación (tarjeta de memoria MicroSD o sistema), Diagnóstico, Firmware actualizable, Formato flexible para la salida de datos (configuración de parámetros libre), Heartbeat, Activación, las funcionalidades SICK AppSpace pueden desbloquearse con el accesorio para tarjeta SD SDK6U-P00100 (para firmware ≥ 2.0.0)

Figura 4.9: Datos técnicos detallados del lector RFID Sick RFU 620 extraída de la documentación técnica brindada por el fabricante.

Tipo	RFU620-10xxx
Compatibilidad electro-magnética (CEM)	EN 301489-3
MTBF	23 años <sup>3)</sup>
Resistencia a oscilaciones	EN 60068-2-6: 2008-02
Resistencia a choque	EN 60068-2-27: 2009-05
Rango de temperatura ambiente	RFU620-101xx <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionamiento: -40 °C ... +50 °C</li> <li>• Almacenamiento: -40 °C ... +70 °C</li> </ul> RFU620-104xx / RFU620-105xx <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionamiento: -25 °C ... +50 °C</li> <li>• Almacenamiento: -40 °C ... +70 °C</li> </ul>
Humedad relativa del aire	0 % ... 90 %, sin condensación
Conformidad	CE, UL
Reloj	Protocolo de tiempo de red NTP, sin reloj interno

Figura 4.10: Información de operación del lector Sick RFU 620 extraída de la documentación técnica brindada por el fabricante..

1. Diseño e implementación de VLAN

El especialista en TI realizó el diseño de un segmento de red con 256 hosts, considerando que para la expansión del proyecto en el futuro se requerirían más IPs.
2. Instalación de Middleware

La instalación del *middleware* fue ejecutada de manera remota por un especialista que se encontraba en otro país. Yo le brindé toda la información que necesitaba y sostuvimos teleconferencias en las que me explicó cómo operar el *middleware* para las pruebas del mismo.
3. Edición de ERP

La edición de la configuración del ERP consistió en el cambio de la forma de representar la ubicación del material ya que por el nuevo proceso aumentarían las posibilidades al ubicarlo. Es decir, en la situación inicial el material podía estar de manera lógica en el almacén y en la línea de producción y con el nuevo modelo, el material podría estar en el almacén, en el supermercado y en la línea de producción. Yo disminuí el tiempo dedicado al seguimiento de las entregas de material para apoyar al especialista de ERP, mitigando de esta manera la posibilidad de retrasar esta tarea al punto de no terminarla antes del cierre de ediciones de ERP de la empresa.

<b>Overview</b>
<b>Operating Frequency</b> 860 - 960 MHz
<b>Integrated Circuit (IC)</b> NXP UCODE 8
<b>Antenna Size</b> 94 × 24 mm (3.7 × 0.9 in)
<b>Die-cut Size</b> 97 × 27 mm (3.8 × 1.1 in)
<b>International Standards</b>
▶ EPC Class 1 Gen 2 ISO 18000-6C
<b>Application Areas</b>
▶ Industry ▶ Supply Chain Management

Figura 4.11: Información técnica de la etiqueta RFID seleccionado extraída de la documentación brindada por el fabricante.

#### 4.5.4. Realización de pruebas técnicas

Todas las pruebas fueron realizadas de manera satisfactoria, a excepción de las pruebas de los lectores RFID que fueron realizadas una semana después de lo planeado. Este retraso no impactó la entrega del proyecto.

#### 4.5.5. Inicio de operaciones del nuevo sistema

- Entrenamiento  
Yo brindé entrenamiento al personal operativo mostrando cómo escanear las tarjetas *kanban* y explicando los beneficios. Además les fueron brindadas instrucciones estándar sintetizadas en forma de documento impreso.
- Implementación  
El especialista de ERP y yo realizamos la escritura de las etiquetas RFID con base en el proceso estándar de la compañía. Una vez que fueron grabadas todas las etiquetas necesarias procedimos al cambio de proceso y estabilización.
- Estabilización  
Realicé el seguimiento de la ejecución del nuevo proceso estándar diariamente. Consideré que el proceso era estable una vez que fue realizado sin desviaciones durante 2 semanas y tomando medidas correctivas en caso de que las hubiera. Esta estabilización duró 5 semanas, en lugar de 7 como fue considerado originalmente.



## 4.6. Fase 4: Cierre del proyecto

Ya que el nuevo proceso era estable pudimos condicionar que el proyecto estaba terminado. Procedimos entonces con el reporte interno de cierre de proyecto y la reunión de cierre en el piso de manufactura, donde se le mostró a los interesados el funcionamiento del nuevo estándar y la evidencia de que el proceso era estable. En la Figura 4.12 se muestran los tiempos reales alcanzados durante el proyecto. Es importante poner atención a este diagrama de Gantt, ya que muestra los tiempos esperados y reales alcanzados en el proyecto y de cada tarea del mismo.

En cuanto al sistema RFID, el entranamiento y la supervisión diaria planeada. Reservamos 7 semanas del calendario para este fin, colocando como criterio de estabilidad dos semanas seguidas con un 90% de cumplimiento del proceso estandarizado con RFID. Este seguimiento se muestra en la Figura 4.13. Como resultado, las primeras 3 semanas resultaron como esperábamos y al ser el nuevo proceso más simple que el anterior, fue aprendido más rápido de lo esperado y durante las semanas 4 y 5 observamos más del 90% de cumplimiento del método. Entonces declaramos estable el proceso al final de la quinta semana y cerramos el seguimiento.



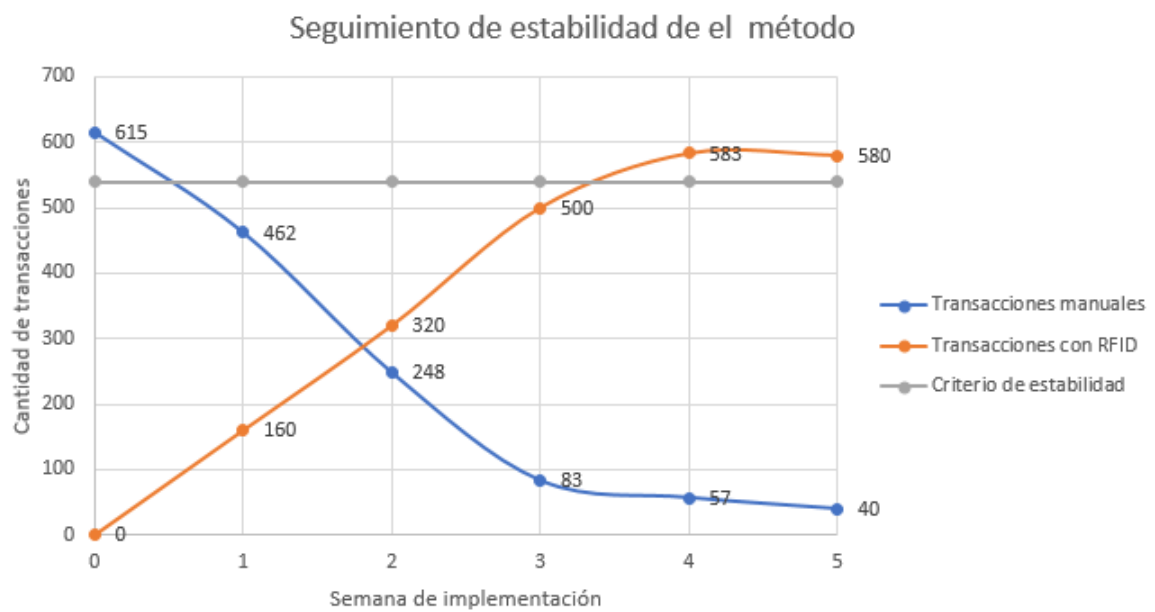


Figura 4.13: Gráfico de seguimiento de transacciones manuales y con RFID obtenidas de un reporte del ERP durante las semanas seguidas a la implementación del sistema RFID.



# Capítulo 5

## Conclusiones

Durante el tiempo que cursé la carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, adquirí los conocimientos de electricidad, electrónica y tecnologías de la información necesarios para llevar a cabo mi labor profesional. Fue de mucha importancia la capacidad autodidáctica que se desarrolla en la Facultad de Ingeniería, ya que yo no conocía la mayoría de los equipos que utilizamos en el proyecto ni ciertos conceptos de redes que debía comprender para poder trabajar con los ingenieros de TI, los cuales no representaron un problema tras leer la documentación correspondiente a dichos conceptos y equipos para familiarizarme con lo que debía saber para trabajar eficientemente.

Utilicé dichos conocimientos durante el desarrollo del proyecto descrito a lo largo de este informe sobre todo para tomar decisiones en cuanto a la selección de hardware, así como para comunicarme con el resto de los integrantes del equipo de manera eficiente utilizando lenguaje científico y técnico según fuera necesario.

Además, mi experiencia en proyectos universitarios fue muy importante, sobre todo en la fase de realización de pruebas y de ponernos manos a la obra, ya que no fue algo nuevo para mí el realizar todas las instalaciones y observar que de inicio el sistema no opera como lo esperaba sino que era de hecho una situación esperada, ante la cual solo hay que proponer soluciones o pruebas creativas para realizar la configuración adecuada a los equipos.

Aunado a lo anterior, la formación en gestión de proyectos proporcionada por La Empresa me permitió dar apoyo al Project Manager en cuanto a la elaboración del análisis de riesgos y manejo de tiempos con el fin de cumplir con las siguientes metas:

- Finalizar el proyecto con límite de siete meses,
- Utilizar el presupuesto calculado al inicio del proyecto como máximo y
- Alcanzar la situación objetivo

Una de las tareas más importantes fue el análisis de riesgos realizado en la planeación del proyecto. Éste nos permitió prever la posibilidad de retrasar el proyecto tres meses y

tomar un plan de acción alternativo. Seguir dicho plan nos condujo, por el lado positivo, a terminar una tarea antes de lo planeado en la fase cero (Edición de ERP) y por otro negativo, sobrellevar un retraso de una semana en la entrega de los lectores RFID del servidor debido a la baja frecuencia de comunicación con los proveedores de hardware. Sin embargo, ese retraso fue considerado y asumido *a priori* debido al bajo impacto en el tiempo general de entrega del proyecto.

Finalmente, también consideramos la posibilidad de que el proceso se estabilizara hasta en siete semanas; sin embargo, el haber realizado un entrenamiento enfocado en el personal operativo y brindarles instrucciones claras disponibles en su área de trabajo permitió lograrlo en cinco.

Una vez que el proceso ya era estable, con base en la medición del tiempo que toma hacer las operaciones de ERP y la información de repeticiones que se hacen a lo largo del día (obtenida por medio de reportes), pudimos comprobar que hubo reducciones del 80 % del tiempo invertido, 90 % del ajuste de inventarios. Así pues, el proyecto fue cerrado de manera satisfactoria pues se cumplieron las metas de tiempo y presupuesto invertidas, así como el alcance de la situación objetivo.

## 5.1. Trabajo profesional actual

Hoy en día sigo trabajando la misma área de proyectos y he adquirido más responsabilidades. Ahora soy el responsable de los entrenamientos de Industria 4.0 que se brindan a los equipos de manufactura de la empresa y además, haciendo uso de la experiencia adquirida en el proyecto presentado en este informe, continuo participando en proyectos de tecnología RFID aplicada a otros procesos. También he ampliado mis conocimientos acerca de nuevas soluciones de Industria 4.0 enfocadas al ahorro de energía y logística de almacenes, así como de sistemas de producción esbelta basados en el Toyota Production System con el objetivo de vislumbrar propuestas creativas relacionadas en la eliminación de desperdicio en la manufactura, mismas que son ofrecidas a nuestros clientes.

# Bibliografía

- [1] Dirección General de Orientación y Servicios Educativos, UNAM. *Guía de carreras UNAM 2008-2009*. Ciudad Universitaria, México, D. F. 2008.
- [2] OHNO, Taichi. *Toyota Production Systems: Beyond large-Scale Production*. Tokio, Japan. 1978.
- [3] SHINGO, Shigeo. *A study of the Toyota Production System from an industrial engineering viewpoint*. Tokio, Japan. 1981.
- [4] DARGAN, Gaurav; JOHNSON, Brian; PANCHALINGAM MUKUNTHAN y STRATIS, Chris. *The Use of Radio Frequency Identification as a Replacement for Traditional Barcoding*. 2004.
- [5] JONES; Erick y CHUNG, Christoper. *RFID in Logistics: A Practical Introduction*. Taylor and Francis Group. Boca Raton, Florida. 2008.
- [6] GODÍNEZ GONZÁLEZ, Luis Miguel. *RFID: Oportunidades y riesgos, su aplicación práctica*. Alfaomega. Madrid, España. 2008.
- [7] DE PABLOS HEREDERO, Carmen et al. *Dirección y gestión de los sistemas de información en la empresa*. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España. 2001.
- [8] Kathrein Solutions. *Crosstalk solution overview*. Stephanskirchen, Alemania, 2019. Recuperado de: <https://www.kathrein-solutions.com>