DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA KANBAN. UN CASO APLICADO A LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

LUIS FELIPE CAMPUZANO ZAPATA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE MINAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LA ORGANIZACIÓN
MEDELLÍN
2010

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNICA KANBAN. UN CASO APLICADO A LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

LUIS FELIPE CAMPUZANO ZAPATA

Tesis para optar al titulo de
Magíster en Ingeniería Administrativa

Director
MARTÍN DARÍO ARANGO SERNA. Ph. D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE MINAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LA ORGANIZACIÓN
MEDELLÍN
2010

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____
_____
_____
_____

_____
_____
_____
_____

_____

JURADO

_____

JURADO

Medellín, Febrero de 2010

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Dios, porque me dio la fortaleza y la vida para poder desarrollar este trabajo.

Martín Dario Arango Serna, Ph. D. en Ingeniería Industrial y Director de la investigación, por sus valiosas orientaciones y su constante motivación en el desarrollo del trabajo.

Rymel Ingeniería Eléctrica S.A., por el gran apoyo que me brindaron los compañeros de trabajo y la compañía en general.

A todas las personas que de una u otra manera me apoyaron en el desarrollo de este trabajo.

Gracias, muchas gracias…

Tabla de contenido

RESUMEN..... 9
ABSTRACT..... 10
1. INTRODUCCIÓN..... 11
2. MARCO TEÓRICO..... 13
2.1 METODOLOGÍAS JAPONESAS PARA EL MEJORAMIENTO DE PROCESOS..... 13
2.1.1 Justo a Tiempo (JIT)..... 13
2.1.2 Kaizen..... 13
2.1.3 Reingeniería..... 14
2.1.4 Gestión de calidad total (TQM)..... 15
2.1.5 Mantenimiento productivo total (TPM)..... 16
2.1.6 Las 5'S..... 17
2.1.7 SMED..... 19
2.1.8 Poka-Yoke..... 20
2.1.9 Kanban..... 20
2.2 DEFINICIONES DE KANBAN..... 22
2.3 ESTADO ACTUAL DE KANBAN..... 25
2.3.1 Empresa Schneider Electric..... 25
2.3.2 Empresa Harry Winston Rare Timepieces..... 27
2.3.3 Almacenes Easystor..... 27
2.3.4 Kanban no solo ha avanzado en el sector manufacturero, sino que se ha ido expandiendo a otros campos como lo ha sido el desarrollo de software:..... 28
2.3.5 Middleware, Gestión RF, Voice Picking, RFID..... 29
3. METODOLOGÍAS..... 31
3.1 Modelo de gestión de inventarios por medio de dos tipos de Kanban..... 31
3.1.1 Secuencia de operación de los dos Kanban:..... 31
3.1.2 Otros tipos de Kanban existentes son:..... 32
3.2 Metodología de intercambio de Kanbans en un almacén..... 33

3.2.1 Existe una disciplina estricta para llevar adelante Kanban, llamada "las seis reglas de Kanban": 34
3.2.2 Propiedades de Kanban 35
3.3 Metodología practica de implementación del sistema Kanban en las Mypimes Colombianas propuesta por Ballesteros, Diana.2008 36
3.4 Sistema básico de Kanban 39
3.5 Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos sin pendientes 40
3.6 Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos con un número limitado de pendientes y pérdida de demanda. 41
3.7 Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, un único producto con material de transferencia tipo 1, un número limitado de pendientes y pérdida de demanda. 42
3.8 Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, múltiples productos con material de transferencia tipo 1, un número limitado de pendientes y pérdida de demanda. 43
4 HERRAMIENTAS DE APOYO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL KANBAN 44
4.1 EPC (Electronic Product Code) 44
4.1.1 ¿Qué es el EPC? 44
4.1.2 ¿Cuál es el objetivo del EPC? 44
4.1.3 ¿Qué es el EPCIS? 44
4.1.4 ¿Quién administra esta tecnología? 44
4.1.5 ¿Cómo funciona la red EPCglobal? 44
5. APLICACIÓN 46
5.1. Transformador de distribución 46
5.1.1. Principio de funcionamiento del transformador y sus componentes 47
5.1.2. Tipos de transformadores 47
5.2. Diagnóstico de operación 48
5.2.1. Antecedentes 49
5.3. Estructura de la metodología propuesta 56
5.3.1. Objetivos de la metodología propuesta. 56
5.3.2. Reglas de la metodología propuesta. 57
5.3.3. Desarrollo metodológico. 57
5.3.4. Diseño propuesto de la tarjeta Kanban triangular y tablero. 59
5.4. Fases para la implementación de la metodología propuesta 62

5.5. Simulación de la metodología propuesta. 62
5.5.1. Modelo de simulación #1 62
5.5.2. Modelo de simulación #2 68
5.5.3. Análisis de resultados del modelo #1 vs modelo #2. 71
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83
REFERENCIAS 86

Tablas

Tabla 1. Comparación del sistema Kanban antiguo vs el sistema Kanban con Water Spider 26
Tabla 2. Resultados Modelo #1 81
Tabla 3. Resultados Modelo #2 82

Imágenes

Imagen 1. Tablero madre del sistema Kanban 28
Imagen 2. Gestión de inventario mediante un sistema RFID. 29
Imagen 3. Tarjetas de identificación de bobinas en Rymel S.A. 52
Imagen 4. Bobina completamente elaborada y marcada. 52
Imagen 5. Marcación del núcleo 53
Imagen 6. Código programador Modelo #1 65
Imagen 7. Código Bobinado Modelo #1 66
Imagen 8. Código Horno curado de bobinas Modelo #1. 66
Imagen 9. Código del CT núcleo Modelo #1 67
Imagen 10. Código Horno de recocido de núcleos Modelo #1. 68
Imagen 11. Código CT Armado y Conexión Modelo #1. 68
Imagen 12. Código Programador Modelo #2 70
Imagen 13. Código Admón Token Modelo #2 71

Gráficos

Gráfico 1. Módulo EASYKBAN……. 28

Gráfico 2. Esquema del Kanban de producción y Kanban de transporte. 31

Gráfico 3. Procedimiento del funcionamiento del Sistema Kanban con dos tipos de tarjeta. 32

Gráfico 4. Intercambio de Kanbans en el almacén 34

Gráfico 5. Fases en la implementación del sistema Kanban. 37

Gráfico 6. Sistema básico de Kanban con tres productos diferentes. 39

Gráfico 7. Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos sin pendientes. (Tomado de Mitra y Mitrani 1990, Fig. 3)……. 40

Gráfico 8. Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos con un número limitado de pendientes y pérdida de demanda. 41

Gráfico 9. Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, un único producto con transferencia de material Tipo-1, número limitado de pendientes y pérdida de demanda..... 42

Gráfico 10. Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, múltiples productos con transferencia de material Tipo-1, número limitado de pendientes y pérdida de demanda..... 43

Gráfico 11. Esquema de funcionamiento de la red EPCglobal. 45

Gráfico 12. Esquema de funcionamiento de un transformador..... 47

Gráfico 13. Organigrama de Rymel S.A……. 50

Gráfico 14. Diagrama de operaciones del transformador de distribución. 55

Gráfico 15. Tarjeta propuesta de Kanban Triangular..... 60

Gráfico 16. Tablero Kanban propuesto……. 61

Gráfico 17. Modelo de simulación #1……. 63

Gráfico 18. Modelo de simulación #2……..... 69

Gráfico 19. Comportamiento cola de núcleos recocidos. 71

Gráfico 20. Histograma de frecuencia y distribución ajustada a cola de núcleos actual. 73

Gráfico 21. Comportamiento cola de bobinas curadas. 75

Gráfico 22. Histograma de frecuencia y distribución ajustada a cola de bobinas actual. 77

Gráfico 23. Porcentaje de núcleos recocidos sin bobina. 78

Gráfico 24. Porcentaje de bobinas sin núcleo……..... 79

Gráfico 25. Comportamiento de órdenes de producción de núcleos y bobinas. 80

RESUMEN

En la presente tesis se desarrolla una metodología que busca optimizar la implementación del Kanban en la industria de fabricación de transformadores de distribución. Inicialmente se realiza un repaso sobre la gran mayoría de metodologías japonesas para el mejoramiento de los procesos, entre las que se destacan el Justo a Tiempo (J.I.T.), Kaizen, Mantenimiento Productivo Total (TPM), SMED, las 5's, Poka-Yoke, Kanban entre otras. Posteriormente se resaltan las definiciones del Kanban que le han dado diferentes autores y se concluye el marco teórico con el estado del arte del Kanban en diferentes empresas del medio, en donde se resaltan las adecuaciones que le han dado a la metodología para adaptarla a diferentes sectores, además sobresalen los desarrollos tecnológicos que han surgido para dar solución a problemas de manejo de información y control de inventarios.

Subsiguientemente en el capítulo tres se muestran diferentes modelos teóricos del Kanban, como también metodologías implementadas en diferentes ambientes de trabajo como lo es el manejo del inventario en un almacén; posteriormente en el cuarto capítulo se destaca una de las más recientes herramientas para el control de la información y los inventarios, la cual funciona con un dispositivo de radiofrecuencia llamado IPC ó código de producto electrónico.

En el capítulo cinco se describe el sector en el que se desarrolla la parte aplicativa, como también el principio de funcionamiento del transformador y sus componentes. Seguido, se describe el diagnostico de operación realizado, que junto con el modelo general del Kanban pautarán los lineamientos a seguir para dar paso finalmente al desarrollo de la metodología propuesta.

Esta tesis fue desarrollada debido a que los modelos generales del Kanban son desplegados en condiciones de trabajo diferentes a las que se vive en la industria de fabricación de transformadores para el caso de Rymel S.A., por tal motivo se desarrolla una metodología para la implementación del Kanban, que guarde su filosofía y propósito pero que se adapte a condiciones específicas del ambiente de producción de la empresa caso de estudio.

ABSTRACT

In this thesis develops a methodology that seeks to optimize the implementation of the Kanban manufacturing industry of distribution transformers. Initially, a review is conducted on the vast majority of Japanese methods for improving processes, among which stand out the Just In Time (JIT), Kaizen, Total Productive Maintenance (TPM), SMED, the 5's, Poka-Yoke, Kanban among others. Later highlights Kanban definitions that have given different authors and concludes the theoretical framework with the state of the art of Kanban in different companies of the medium, that highlight the adaptations that have given the methodology to adapt to different sectors to other outstanding technological developments that have arisen to solve problems of information management and inventory control.

Subsequently, in chapter three show different theoretical models of the kanban, as well as methodologies implemented in different work environments like the management of inventory in a warehouse, then in the fourth chapter highlights one of the latest tools for monitoring Information and inventories, which operates with a radiofrequency device called CPI or electronic product code.

In Chapter Five describes the area where the applied part is developed as well as the operating principle of the transformer and its components. We then describe the diagnosis of operation performed, which together with the general model of the kanban guidelines to follow a guideline to give way eventually to the development of the proposed methodology.

This theory was developed because the general models of the kanban are deployed in different working conditions to those living in the transformer manufacturing industry in the event Rymel SA, accordingly develops a methodology for implementation of the Kanban, to save his philosophy and purpose but to suit the specific conditions of the production environment of the business case study.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas que no son lo suficientemente flexibles a las condiciones del mercado podrían perder capacidad competitiva, por tal motivo es importante que las empresas se acomoden a las necesidades del cliente en cuanto a tiempos de entrega, calidad del producto, diseño, etc.

Cuando las empresas enfrentan el tema de la flexibilidad en la planeación de la producción, se encuentran con uno de los problemas más comunes en el que se debe producir lo necesario en el tiempo adecuado sin sobrantes ni faltantes, y para poder lograr esto es necesario un plan maestro de producción flexible, es decir que se pueda modificar ágilmente.

Además, se debe tener presente que el plan de producción es influenciado por las condiciones de cambio en el mercado o al interior de la organización, por ello se tener permanente comunicación con los centros de trabajo ya que se busca alcanzar una producción justo a tiempo en la que en cada momento la información del que, cuanto y como producir esta actualizada con las condiciones internas y externas de la empresa en ese momento. Teniendo en cuenta que no es conveniente lanzar ordenes de producción por altos volúmenes, por el hecho de que se puede quedar corto o largo en producto y ello conlleva a costos adicionales por faltantes o sobrantes respectivamente; es conveniente generar lotes pequeños de producción que le permiten ser flexible con el plan maestro de producción y en sí, es el concepto fundamental que maneja la metodología Kanban para el control de trabajo en proceso.

Adicionalmente, es de gran relevancia que los trabajadores permanezcan informados sobre lo que se está produciendo, las especificaciones que se deben manejar además de tener presente lo que se va a producir más adelante y que características se deben respetar. Es por tal motivo que muchas compañías japonesas expresan que en el proceso de diseño, producción, distribución y servicio al cliente es Kanban; el cual es el cor de este proceso ya que es él, quien maneja directa o indirectamente mucho de la organización manufacturera; siendo esta metodología desarrollada por Toyota en los 50's buscando mejorar el flujo de materiales en una línea de ensamble.

En los últimos años, Kanban se ha definido como un sistema de producción muy efectivo que busca desarrollar un óptimo ambiente manufacturero que genere poder de competencia en el ámbito global. (MANAGEMENT DEVELOPING CENTER, 2006)

El problema que se planteó y da pie al desarrollo de esta tesis es el siguiente:

A diario vemos como las industrias manufactureras en su afán de dar solución a problemas tan puntuales como el control de inventarios, entre otros; buscan técnicas y metodologías actuales que para algunos casos han sido ya implementadas en otras industrias; con el objeto de aplicarlas y de esta forma esperar obtener los mismos resultados que han podido obtener dichas industrias.
En gran parte de los casos en los que las empresas intentan implementar alguna técnica o metodología por el solo hecho de que en su contexto formula que da solución al problema que se pretende resolver, o en otros casos porque ya ha sido implementada en otro sector diferente y han dado resultado; vemos como muchas empresas fracasan y no alcanzan a implementar la técnica, por el hecho de que cada sector de la industria manufacturera es un mundo diferente o porque la técnica en sí es un modelo general que requiere de un acondicionamiento al sector en el

que se espera implementar. Por tal motivo será de gran importancia desarrollar una metodología con el objeto de minimizar la probabilidad de fracaso al implementar la técnica y encontrar uno de los posibles métodos que optimice la implementación de la misma en el tipo de industria en el cual se pretende dar soluciones por medio de la técnica elegida.

En consecuencia el objetivo general de esta tesis es:

Diseñar una metodología que facilite la implementación de la técnica Kanban en el sector de la fabricación de transformadores de distribución.

Los objetivos específicos son:

- Crear estándares que permitan flexibilidad en la programación de la producción.
- Facilitar la creación de indicadores que contribuyan a un efectivo control de la productividad.
- Proporcionar la trazabilidad del producto en proceso además de establecer un adecuado control del mismo.

Finalmente, este trabajo de investigación aplicada presenta en su capítulo 5 la aplicación de dicha metodología utilizando un proceso de simulación integral de manufactura; utilizando como herramienta de software el Simul8 versión 9.0.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 METODOLOGÍAS JAPONESAS PARA EL MEJORAMIENTO DE PROCESOS.

2.1.1 Justo a Tiempo (JIT)

La filosofía del justo a tiempo busca reducir o eliminar todo tipo de desperdicios generados en las actividades de compras (altos inventarios de materia prima), producción (altos inventarios de producto en proceso) y demás actividades de apoyo de una organización.

El desperdicio es todo aquello que no hace parte de los recursos mínimos o necesarios de materia prima, mano de obra y maquinaria, para transformar y agregar valor al producto.

Los cuatro objetivos principales del JIT son:

1. Dar prioridad de solución a los problemas raíz. Una de las herramientas que más se manejan en la cultura japonesa para representar y entender los conceptos son las imágenes.
2. Tratar de buscar las soluciones más simples y efectivas.
3. Eliminar o minimizar todo aquello que no agregue valor al producto.
4. Crear sistemas que faciliten la identificación de los problemas. Unos de los sistemas que sacan los problemas a la luz es el Kanban, como también el control estadístico entre otros. (BOGARD, 2004)

2.1.2 Kaizen

Kaizen es conocido como una práctica de mejoramiento continuo que implica un cambio cultural y una evolución hacia las mejores prácticas.

Gemba en japonés significa el lugar de los hechos o la acción, por tanto el Kaizen en el gemba es llevar el mejoramiento continuo al lugar de la acción, es decir, incentivar la aplicación de las buenas prácticas desde el nivel operativo hacia los demás niveles.

En consecuencia el Gemba Kaizen es una práctica que busca obtener información valiosa y necesaria directamente en el lugar donde tiene origen la acción; con el objeto de impulsar el mejoramiento continuo desde cada uno de los centro de trabajo de la empresa, mediante la puesta en marcha de cinco sistemas fundamentales para tal fin:

- ✓ Administración y control de la calidad total.
- ✓ Sistema productivo justo a tiempo.

- ✓ Mantenimiento productivo total (TPM).
- ✓ Formalización de políticas.
- ✓ Solido sistema de sugerencias e incentivos.

Finalmente el objetivo general del Kaizen apunta a tres puntos fundamentales como lo son la calidad, el costo y la entrega. La calidad implica calidad en los productos, servicios y también en los procesos relacionados con los productos y servicios. El costo hace referencia al costo total que abarca el diseño, la producción, venta y suministro de los productos o servicios. Finalmente la entrega significa destinar a tiempo lo que el cliente ha solicitado con los volúmenes y especificaciones deseadas por el cliente; por consiguiente el cliente estará plenamente satisfecho cuando se cumplen las condiciones de calidad, costo y entrega. (BOGARD, 2004)

2.1.3 Reingeniería

La reingeniería es el replanteamiento radical de los procesos, que tiene por objeto el logro de mejoras contundentes de desempeño en áreas tan importantes con el costo, la calidad, el servicio y la rapidez.

Las palabras clave cuando se habla de reingeniería son fundamental: radical, dramáticas y pagina en blanco de procesos. Tales palabras clave, son debido a que la reingeniería debe indagar si lo que se está realizando es algo fundamental y por consiguiente los cambios de diseño en los procesos deberán ser radicales y no superficiales; con el ánimo de obtener mejoras gramáticas y no de leves porcentajes.

Por ello se puede decir que una reingeniería es un cambio dramático en el proceso y su efecto será la ruptura de la vieja estructura y la cultura organizacional, esto significa que la reingeniería debe comenzar desde cero, realizando un cambio que ordena la empresa alrededor de los procesos.

Cuando se necesita en una organización reingeniería:

- ✓ Cuando la organización tiene un rendimiento inferior al de la competencia.
- ✓ Cuando la organización tiene un caída del mercado.
- ✓ Cuando las condiciones del mercado cambian, como las herramientas tecnológicas.
- ✓ Cuando la organización quiere ser líder.
- ✓ Cuando se necesita responder efectivamente a una competencia agresiva.
- ✓ Cuando la organización desea seguir manteniendo su liderazgo en el mercado.

Cuáles son las características comunes después de realizar una reingeniería:

- ✓ Se compactan los procesos verticalmente.
- ✓ El paso a paso de los procesos sigue una secuencia natural.
- ✓ Existen procesos en múltiples versiones.

- ✓ Se realizan los cambios en los puntos fundamentales.
- ✓ Se reduce el control de procesos.

¿Cómo se hace una Reingeniería?

Para poder reinventar empresas los gerentes tienen que deshacer los conceptos antiguos que saben sobre cómo organizar y manejar los negocios: deben abandonar los principios y procedimientos organizacionales y operacionales que actualmente utilizan y crear otros completamente nuevos. Esto creará que las nuevas organizaciones no se parezcan a las actuales.

Para reinventar una empresa se debe realizar 5 pasos generales con el objeto de diseñar nuevos procesos operacionales.

- ✓ Establecer las prioridades y metas, desarrollando con visión los objetivos de los procesos de la empresa.
- ✓ Identificar los procesos críticos o cuellos de botella.
- ✓ Analizar, comprender y medir los procesos actuales.
- ✓ Involucrar las personas que tienen que ver con los procesos.
- ✓ Diseñar, elaborar y discutir un prototipo del proceso, para realizar su implementación. (HAMMER, 1994)

2.1.4 Gestión de calidad total (TQM)

El principal objetivo de la gestión total de calidad es satisfacer al cliente, pero no solo al cliente final quien es el comprador del producto, sino también a los clientes internos de la organización. El producto además incluye unos servicios, una presentación, una factura y todos aquellos elementos que son intrínsecos a la venta de un producto y/o servicio que influye en la satisfacción del cliente.

Un cliente satisfecho conduce a buenas ventas y por consiguiente a un buen flujo de caja. Para que este flujo de caja sea convertido en beneficios para la organización, el costo de calidad debe ser minimizado y es por tal motivo que no se debe optar por la inspección como forma de mejorar calidad sino reestructurar los procesos para tal fin. El seguimiento y control de los procesos de fabricación, pueden ahorrar costos de reprocesos, desperdicios e inspección. De esta forma la gestión de calidad total se convierte en la adopción de un enfoque de negocio en donde la organización se dedica a obtener algo mejor que calidad aceptable mediante la mejora continua de la misma sin importar que tan buena sea esta. (GIDEON, 2001)

2.1.5 Mantenimiento productivo total (TPM)

El concepto básico de TPM es ser una filosofía de gestión, que enfatiza en la eliminación de las pérdidas mediante la reorientación de los procesos internos de las distintas áreas de la compañía, con el objeto de alcanzar la satisfacción de cada uno de los grupos de interés como los clientes, empleados, comunidad, accionistas y entorno.

Es por ello que TPM es un sistema de gerenciamiento integral que busca eliminar las pérdidas de toda la compañía partiendo de las áreas productivas, en las que organizan pequeños equipos desde la alta dirección hasta los operarios de planta; los cuales se focalizan en el proyecto de cero pérdidas.

La mejor forma de implementar TPM es a través de los ocho pilares que se convierten en la estrategia fundamental para el desarrollo del programa.

1. Mejoras Enfocadas

Este pilar busca desarrollar diversas actividades que apuntan a maximizar la eficiencia global de los equipos, procesos y plantas; centrando la atención en la eliminación de cualquiera de las dieciséis grandes pérdidas de las plantas industriales.

2. Mantenimiento Autónomo

Este pilar busca la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento cuyo proceso genera mayor impacto en la mejora de la productividad. Su propósito es involucrar a los operarios en el cuidado de la maquinaria a través de la preparación y formación, respecto a las condiciones de operación y los mecanismos de los equipos; conservando los lugares de trabajo libres de suciedad, contaminación y desorden.

3. Mantenimiento Planificado

El objetivo del mantenimiento planificado es eliminar los problemas de los equipos a través de acciones de mejora, prevención y predicción. Para una adecuada gestión de las actividades de mantenimiento es necesario contar con buenas fuentes de información, gestión de tecnologías de mantenimiento y un poder de motivación y coordinación del equipo humano que estará encargado de realizar estas actividades.

4. Mantenimiento de la Calidad

Su propósito es mejorar la calidad del producto mediante el control de las condiciones de proceso y de los equipos que tiene un impacto directo sobre las características del producto. Por consiguiente el mantenimiento de la calidad es una clase de mantenimiento preventivo que se focaliza en el cuidado de las características resultantes del producto.

5. Prevención del Mantenimiento

Este pilar se centra en la mejora de todas aquellas actividades que se realizan en las etapas de diseño, construcción y puesta en marcha de las máquinas, con el objetivo de reducir los costos de mantenimiento durante su explotación. Para ello es importante contar con buenas bases de datos sobre los historiales de averías con la visión de mejorar la fiabilidad de los equipos.

6. Áreas administrativas

Este pilar reúne departamentos como planificación, desarrollo y administración; los cuales no producen un valor directo sobre el producto como el caso de producción, pero facilitan y ofrecen el apoyo necesario para que el proceso productivo funcione eficientemente, con los menores costos y la más alta calidad. Su apoyo normalmente es ofrecido a través de un proceso que produce información, en el que también las pérdidas potenciales a ser recuperadas son enormes.

7. Educación y Entrenamiento

Este pilar busca fomentar las habilidades en el personal para la correcta forma de interpretar y actuar en el funcionamiento de los procesos. Además busca difundir el conocimiento adquirido a través de la experiencia del personal, que ha desarrollado habilidades para el buen desempeño de las funciones. Habilidades para identificar y detectar problemas en los equipos, para comprender el funcionamiento de los mismos, entender la relación entre los mecanismos de la máquina y las características de calidad del producto, analizar y resolver problemas de funcionamiento de los equipos, capacidad para difundir el conocimiento adquirido entre sus demás compañeros y finalmente la habilidad para trabajar y ayudar a las áreas relacionadas con sus procesos.

8. Seguridad y Medioambiente

Las paradas también crecen conforme se presentan los accidentes, es por ello que el desarrollo del mantenimiento autónomo y una efectiva implementación de las 5's son una base solidad para alcanzar buenos niveles de seguridad. Una de las principales habilidades que se busca desarrollar mediante este pilar es la habilidad de percepción para la identificación de riesgos, la cual busca formar el personal con un mayor sentido de responsabilidad por la salud y la seguridad. (PÉREZ, 2009)

2.1.6 Las 5'S

Las 5's son de origen japonés y representan el nombre de cinco acciones: Separar, ordenar, limpiar, estandarizar y autodisciplina. Cuando se implementan integradamente se consiguen grandes beneficios como: la eliminación de todo aquello que no es útil en el espacio de trabajo, la organización eficaz del área de trabajo, mejores niveles de limpieza, se previene la aparición de la

suciedad y el desorden y finalmente se fomentan todos los esfuerzos en tal sentido de la limpieza y el orden.

Por otra parte el implementar la metodología permite mejorar las condiciones de trabajo, reducir gastos de tiempo y energía, minimizar riesgos de accidente, mejorar la calidad del producto y el ambiente laboral.

Separar

Este es el primer paso y consiste en separar todo los materiales del puesto de trabajo en necesarios e innecesarios con el objeto de eliminar del área de trabajo estos últimos. Para esta tarea es de gran utilidad jerarquizar el material según su uso.

Ordenar

En esta etapa se busca establecer la mejor ubicación para cada uno de los materiales identificados como necesarios, de manera que sea fácil y ágil encontrarlos, utilizarlos y reponerlos. Esta tarea se facilita con la utilización de métodos visuales que facilitan el orden con el objeto de evitar pérdidas de tiempo y energía.

Limpiar

Una vez el puesto de trabajo se encuentra despejado y ordenado, se facilita la tarea de limpiarlo. En esta tarea no solo se pretende hacer la limpieza del puesto de trabajo, sino que también se busca identificar y eliminar las fuentes de suciedad con el ánimo de asegurar que todos los elementos se encuentren en buen estado para la operación. El no cumplimiento de la limpieza puede acarrear anomalías o mal funcionamiento de las máquinas y herramientas.

Estandarizar

Consiste en identificar fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y visibles para todos. Se debe tener presente que el orden y la limpieza deben mantenerse todos los días y para poder lograr esto es indispensable la creación de estándares.

Autodisciplina

Todo lo que se ha aplicado en las anteriores etapas, se debe mantener con rigor para que la metodología no pierda su eficacia y por consiguiente se indispensable trabajar permanentemente de acuerdo a las normas establecidas.

Los resultados de la implementación de las 5’s se miden tanto en la productividad como en la satisfacción del personal y el clima organizacional. Los impactos de esta herramienta son a largo plazo y para ello es indispensable que en la organización permanezca un alto grado de disciplina. (DORBESSAN, 2000)

2.1.7 SMED

El SMED en la gestión de la producción es el cambio de una herramienta en pocos minutos. Este concepto hace referencia a que cualquier cambio de máquina o inicio de algún proceso no debería durar más de un minuto.

El concepto se le atribuye a Shigeo Shingo uno de los mayores contribuyentes al fortalecimiento del Sistema de Producción Toyota (conocido como Just in time). Un concepto conexo con SMED y más desarrollado es One –Touch Exchange of die que afirma que los cambios deberían ser realizados en menos de diez segundos.

El método SMED se utiliza en el marco de cambios de utillaje que es el tiempo transcurrido desde la última pieza valida de fabricación de una serie hasta la producción de la primera pieza correcta de la serie siguiente. Su objetivo es minimizar los tiempos de cambio, y permitir reducir el tamaño del lote mínimo logrando así disminuir el tiempo dedicado al ajuste, con el fin de obtener ajustes rápidos e instantáneos.

En este método se conocen dos tipos de ajuste:

- Ajustes / tiempos internos: Corresponde a procedimientos que se ejecutan fuera de las horas de producción (máquina parada).
- Ajustes / tiempos externos: corresponden a procedimientos que se ejecutan durante el periodo de producción (máquina en marcha).

El método de SMED se desarrolla en cuatro etapas:

1. **Ajustes internos y externos**

Es una fase preliminar donde los dos ajustes se encuentran mezclados, lo que es necesario realizar un estudio detallado de las condiciones reales, logrando así un análisis continuo de producción.

En un cambio de producción, deben definirse los procedimientos a realizar, la preparación de la maquinaria y del puesto de trabajo, la revisión de la materia prima y de los equipos de medición, el desmontaje y montaje de las herramientas, los ajustes de las cotas de fabricación, la limpieza y orden del lugar de trabajo.

2. **Separación de los ajustes internos y externos**

Es la primera etapa del método SMED, y es la más importante porque se debe distinguir los ajustes internos o externos.

3. **Transformación de ajustes internos en externos**

Es la segunda etapa del método, su objetivo es transformar los ajustes internos en externos por ejemplo el precalentamiento, la utilización de un banco de reglaje previo en el cual se pueden organizar las herramientas especificas a utilizar al momento de realizar el cambio. Dentro de los cambios también se encuentran las tareas repetitivas las cuales se pueden acondicionar los equipos siempre y cuando sea necesario.

4. **Racionalización de todos los aspectos de la operación de ajuste**

Es la tercera etapa del método, su objetivo es reducir al mínimo el tiempo de ajuste. La conversión en ajustes externos permite ganar tiempo, pero normalizando los ajustes se puede disminuir aún más el tiempo de cambio. Por ejemplo, el uso de arandelas partidas (tener en cuenta que el agujero debe ser mayor que la tuerca). (SHINGO, 2003)

2.1.8 Poka-Yoke

El poka yoke es un dispositivo destinado a evitar errores, el cual garantiza la seguridad de los usuarios de cualquier maquinaria. Estos dispositivos fueron empleados en Toyota donde se convirtió en una técnica de calidad muy común.

Shingo aseveraba que la causa de los errores que se producían se debía a los trabajadores y a los defectos que se generaban en las piezas fabricadas al no ser corregidos estos. Como consecuencia de esto se implementaron dos objetivos:

1. Impedir el error humano
2. Resaltar el error de tal manera que sea obvio para el que lo cometió.

Actualmente los poka yoke consisten en un sistema de detección y un sistema de alarma el cual le avisa al trabajador al producirse un error para que él lo corrija. (SHIMBUN, 1988)

2.1.9 Kanban

“Un sistema de producción altamente efectivo y eficiente". Su función principal es ser un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo.” En japonés significa tarjeta de instrucciones.

Objetivos de Kanban:

- Mejorar la comunicación entre los procesos.

- Producir basándose en las condiciones presentes, no sobre la base de pronósticos.
- Controlar el inventario.
- Prevenir la sobreproducción.
- Establecer la prioridad de reabastecimiento.
- Mostrar limitaciones (cuellos de botella) que puedan ser direccionados por Kaizen.
- Hacer visible el control del flujo de material.
- Mostrar establecimientos de almacenaje y entrega.
- Mostrar la cantidad estándar y el tipo de contenedor.
- Mostrar el método de transporte o frecuencia.
- Programación que muestre el estado de la producción
- Mantener al personal comprometido con los procedimientos estandarizados.

Pre-requisitos para la implementación del Kanban:

- Cierta flexibilidad en el programa de producción. Programa Maestro
- Programa del nivel de producción. Cambio Rápido
- Equipo adecuado. Mantenimiento Productivo Total para reducir tiempos muertos y eliminar defectos.
- Buena organización en la planta. 5´s
- Calidad y entrega predecible de los proveedores.
- Trabajo Estandarizado.

Reglas del Kanban:

Regla 1: No se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes
Regla 2: Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario.
Regla 3: Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente.
Regla 4: Balancear la producción.
Regla 5: Kanban es un medio para evitar especulaciones.
Regla 6: Estabilizar y racionalizar el proceso.

Fases para la implementación del Kanban:

Fase 1: Entrenar a todo el personal en los principios de KANBAN, y los beneficios de usarlo.

Fase 2: Implementar KANBAN en los componentes con más problemas para facilitar su manufactura y para resaltar los problemas escondidos. El entrenamiento con el personal continúa en la línea de producción.

Fase 3: Implementar KANBAN en el resto de los componentes, esto no debe ser problema ya que para ello los operadores ya han visto las ventajas de KANBAN, se deben tomar en cuenta todas las opiniones de los operadores ya que ellos son los que mejor conocen el sistema. Es importante informarles cuando se va a estar trabajando en su área.

Fase 4: Esta fase consiste en la revisión del sistema KANBAN, los puntos de reorden y los niveles de reorden; es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para el funcionamiento correcto de este sistema:

a) Ningún trabajo debe ser hecho fuera de secuencia.

b) Si se encuentra algún problema, notificar al supervisor inmediatamente.

Información necesaria en una tarjeta Kanban:

1- Número de parte del componente y su descripción.
2- Nombre/Número del producto.
3- Cantidad requerida.
4- Tipo de manejo de material requerido.
5- Donde debe ser almacenado cuando sea terminado.
6- Punto de reorden.
7- Secuencia de ensamble/producción del producto.

Podríamos auditar el desempeño del sistema Kanban mediante el siguiente Check List:

- Se siguen las 6 reglas de Kanban.
- Los niveles de las áreas de inventario/ WIP (trabajo en proceso), están claramente marcadas.
- Una tarjeta Kanban/ etiquetado/ Código de barras en cada contenedor.
- Un inventario altamente exacto.
- Cantidad mínima de WIP (trabajo en progreso) entre las estaciones.
- Capacitación en Kanban a todos los niveles de la planta.
- Kanban establece las prioridades de material del operador.
- Flujo de materiales en PEPS (primeras entradas – primeras salidas).

2.2 DEFINICIONES DE KANBAN.

- ✓ Gross, John M. y Mclnnin, Kenneth R. en su libro *Kanban Made Simple* definen Kanban de la siguiente forma: "En la programación con Kanban, los operarios usan señales visuales para determinar cuando ellos deben ejecutar un programa de producción, pararlo o incorporarle cambios. Las reglas del Kanban también le dicen a los operarios que debe hacer cuando tienen problemas y a quien deben acudir cuando esos problemas se crecen. Finalmente, una buena planeación con Kanban tiene indicadores visuales que permiten a todos los administradores y supervisores ver el estado del programa de producción de la línea con un vistazo. Nosotros definimos la programación con Kanban como la programación de la demanda. En los procesos controlados por Kanbans, los operarios producen productos basados en el consumo actual en lugar de usar pronósticos. Por

consiguiente, para que un proceso de programación sea considerado un autentico proceso Kanban, el proceso productivo debe llevar el control de:
Sólo se producen productos para reemplazar los productos consumidos por los clientes.
Sólo se producen productos basado en indicaciones enviadas por los clientes" (GROSS Y MCINNIS, 2003)

- ✓ South West MAS publicó un artículo en Cambridge, Inglaterra; en el que define el Kanban de la siguiente forma: "Kanban es a menudo visto como un elemento central 'Lean Manufacturing' y es probablemente el tipo de sistema de señal 'halar' más ampliamente usado. Kanban fue derivado del japonés y significa "Tarjeta de señal". El concepto de tarjeta Kanban (u otro indicador) ha estado alrededor de muchos años. Sea quien sea el creador o inventor, el sistema Kanban es generalmente fácil de entender, simple de visualizar y comparativamente fácil de configurar. El sistema Kanban es comúnmente usado en la industria automotriz donde hay una estabilidad en demanda y flujo." (South West MAS, 2009)

- ✓ El Management Developing Center en su texto de consultoría y capacitación de herramientas de mejora de proceso definen Kanban como "Un sistema de producción altamente efectivo y eficiente. Es muy común la asociación de KANBAN = JIT o KANBAN=CONTROL DE INVENTARIOS, esto no es cierto, pero si esta relacionado con estos términos, KANBAN funcionará efectivamente en combinación con otros elementos de JIT, tales como calendarización de producción mediante etiquetas, buena organización del área de trabajo y flujo de la producción.
  KANBAN es una herramienta basada en la manera de funcionar de los supermercados.
  KANBAN significa en japonés "etiqueta de instrucción". La etiqueta KANBAN contiene información que sirve como orden de trabajo, esta es su función principal, en otras palabras es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de que se va a producir, en que cantidad, mediante que medios y como transportarlo." (MANAGEMENT DEVELOPING CENTER, 2006)

- ✓ Artola García Luis, define Kanban como "una metodología que viene de la filosofía Lean Software Development (que a su vez provienen del Lean Manufacturing). Kanban comparte con otras metodologías como Feature Driven Development o SCRUM la idea de crear un Backlog del producto que tenga una serie de items (user stories, features…) priorizados. Pero la principal diferencia con otras aproximaciones ágiles, es que en Kanban no existen las iteraciones. En su lugar, Kanban se centra en controlar el WIP (Work In Progress). Esto es, cuando hay poco WIP, se añade el ítem más prioritario del Product Backlog, y se controla que nunca se supere una cierta cantidad de WIP." (ARTOLA, 2009)

- ✓ Geek with Laptop definen "La palabra Kanban (en kanji 看板, en katakana カンバン) parte de las palabras kan (看 o カン) que significa visual y ban (板 o バン), que significa tarjeta o tablero. La idea surge en el seno de la metodología de Lean, la cual fue desarrollada por Toyota, para mejorar la producción, basándose en técnicas como just-in-time (JIT).

Los principios que se promueven son:

- Calidad perfecta a la primera: Todo lo que se hace, debe de intentar hacerse bien, no rápido, ya que cuesta más tiempo hacer algo rápido y tener que arreglarlo después, que hacerlo bien desde el principio.
- Minimización del despilfarro: Hacer lo justo y necesario (y hacerlo bien, como se decía antes) y no entretenerse en otras tareas secundarias o no necesarias (principio YAGNI).
- Mejora continua: Ir mejorando continuamente los desarrollos, según los objetivos a lograr y alcanzar.
- Flexibilidad: Lo siguiente a realizar se decide del backlog pendiente, con lo que las tareas entrantes se pueden priorizar y condicionar según las necesidades puntuales.
- Construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores." (GEEK Y LAPTOP, 2009)

✓ IMAI, la define como "una herramienta de comunicación para la producción por lotes en el sistema de justo a tiempo. Se agrega un Kanban, que significa cartón de señales en japonés, a un determinado número de partes o productos en la línea de producción, dando instrucciones de la entrega de una determinada cantidad. Cuando todas las partes han sido utilizadas el Kanban se devuelve a su origen, en donde se convierte en una orden para producir más. (IMAI, 1998)

✓ ACEVEDO SUÁREZ, José; define el Kanban como "una técnica de gestión de producción basada en un sistema pull (halar) que se fundamentan en la autogestión de los procesos, eliminando la programación centralizada. Se produce y transporta lo que se demanda en los procesos consumidores, manteniendo en rotación sólo aquellas cantidades que garantizan la continuidad del consumo. Cuando se interrumpe el consumo se detiene la producción. Es una herramienta para conseguir la producción JIT.

Kanban = Tarjeta = Señal

Con el sistema Kanban se reduce el sistema de información ya que no se requiere elaborar el plan detallado para la subdivisión productiva o para cada proceso. En su lugar basta con informar a la línea de montaje final o proceso terminal." (ACEVEDO, 2001)

Esto puede expresarse como:

"El proceso siguiente retira las piezas (trabajo) del proceso anterior"

✓ Leonardo De Seta, define Kanban como "un dispositivo de señalización inventado y desarrollado por Toyota, que instruye la creación o movimiento de partes en un sistema de producción por demanda, generalmente mediante el uso de una tarjeta física. El objetivo de Kanban es minimizar el TEP (Trabajo En Progreso), o stock, entre los procesos. Para lograr esto Kanban se asegura que el proceso superior produzca partes sólo si el

proceso inferior las necesita. "Por demada" significa que los trabajadores del proceso inferior consumen las partes que necesitan de los procesos superiores." (DE SETA, 2008)

- ✓ Steve Hudgik define Kanban Como "Un sistema de suministro continuo de componentes, partes y suplementos, tal que los trabajadores tienen todo lo que ellos necesitan, donde ellos lo necesitan y cuando ellos lo necesitan." (HUDGIK, 2009)

2.3 ESTADO ACTUAL DE KANBAN

En la actualidad, la necesidad de producir eficientemente sin causar trastornos ni retrasos en la entrega de un producto determinado es un factor de suma importancia para las empresas que desean permanecer activas en un mercado como el actual, que exige respuestas rápidas y cumplimientos en calidad, cantidad y tiempos de entrega. Por lo tanto, la implementación de sistemas de producción más eficientes ha llegado a ser un factor que se debe marcar como primordial por implementar en las plantas productivas.

Kanban no solo se ha venido extendiendo en el mercado de manufactura sino que ha mutado a diferentes áreas y en algunas empresas se ha posicionado como unos de los sistemas más complejos y eficaces para la mejora de sus procesos. Algunas de las empresas que ha implementado el Kanban y han creado variaciones del mismo para dar solución a algunos conflictos enmarcados en la misma implementación son:

2.3.1 Empresa Schneider Electric

Matías Sandre 2004, muestra en su tesis de maestría como mejorar el suministro de materiales en la línea de ensamble de la empresa Schneider Electric por medio del método Water Spider del sistema Kanban. Dicha empresa se encuentra ubicada en Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala (México), se dedica a la fabricación de breakers, dispositivos y equipos de 1 a 52 KV, interruptores, fusibles, disyuntores, contactores, transformadores, dispositivos aéreos, puestos de exterior e interior.

Esta empresa utiliza el sistema Kanban para abastecer los materiales y controlar el flujo de estos entre estaciones de trabajo por medio de tarjetas y contenedores. Cada operador tiene un número de contenedores de materiales en su mesa de trabajo, adicionalmente en su mesa de trabajo cuenta con lámparas con tres colores, estas lámparas indican el estado de la operación que se esta realizando:

- VERDE: Están ensamblando el producto.
- AMARILLO: No se encuentra trabajando la estación; esto puede deberse a que no se encuentra el operario o a que falta alguna herramienta en la estación.
- ROJO: Indica que el material se ha terminado.

Al momento de accionarse la señal en rojo, la persona encargada de llevar los materiales, se acerca a la estación de trabajo, observa que material es el que se ha agotado y se dirige a los racks o a los almacenes, para buscar dicho material y abastecer nuevamente la línea de ensamble.

Este proceso de ir a buscar dicho material al almacén retrasaba los trabajos de producción debido a que el operario no encontraba con facilidad las piezas necesarias para la terminación del producto, por ello optaron por implementar el método Water Spider del sistema Kanban que está basado en mantener un suministro constante de partes frente al operador, manejando para ello almacenes centrales en el piso de producción.

El sistema Water Spider entrega contenedores pequeños a la línea en circuito de reparto y recolección. Conforme entrega los contenedores llenos, recoge los vacios y los devuelve llenos en su siguiente recorrido. Para identificar con facilidad las partes se usan etiquetas donde se especifica la línea a la que pertenece, la ubicación de los contenedores y la cantidad que se tiene que depositar.

Cada uno de estos contenedores lleva dos etiquetas en la parte frontal y posterior que facilita abastecer los materiales y los estantes en los cuales son ubicados los contenedores llevando un código que identifica la línea, la estación de trabajo y la posición.

Debido a que con el Kanban antiguo tuvieron varios inconvenientes y con el sistema de Wáter Spider lograron solucionarlos a continuación se hace una comparación de los dos sistemas en la tabla 1.

PROBLEMA	SISTEMA KANBAN ANTIGUO	SISTEMA KANBAN CON WATER SPIDER	COMENTARIOS
Paros de la línea de ensamble	4 paros de línea en promedio por día	Cero paros de línea	El problema se eliminó
Dificultad para encontrar los productos	Se presenta el problema en una de cada 5 búsquedas	Ningún problema para encontrar materiales	El problema se eliminó
Proveedores		El proveedor se ve obligado a entregar los materiales en los contenedores que se usan en la línea	El abastecimiento es más rápido debido a que el Spider no necesita hacer cambios de contenedor
Producción	103 piezas promedio/turno	117 piezas promedio/turno	La producción aumento un 20%
Abastecedor	Tarda en identificar falta de material	El Spider tiene una ruta que debe cubrir de acuerdo a un itinerario	Se elimina el problema
Espacio de los contenedores en las mesas de trabajo	Los contenedores estorban en la mesa de trabajo	Se colocan los contenedores en estantes de gravedad	Se aumento el área de trabajo 45 cm de la mesa de trabajo a los contenedores

Fuente: SANDRE ZAHUANTITLA, Matías. 2004

Tabla 1. Comparación del sistema Kanban antiguo vs el sistema Kanban con Water Spider

Por lo tanto concluyen que al implementar el sistema de Water Spider se logró eliminar el problema de abastecimiento a la línea de producción, eliminando por completo los paros y con ello se logró aumentar la producción. (SANDRE, 2004)

2.3.2 Empresa Harry Winston Rare Timepieces

Rocio Vayá, en su trabajo aplicado y con apoyo del Institut Catholique d'Arts et Métiers desarrolló el proyecto de implementación del sistema Kanban en Harry Winston, la cual es una sociedad de relojes de lujos con sede en Ginebra. Fabrica un promedio de 400 relojes al año. En principio la empresa tenía un problema de desorganización en cuanto al flujo de producción entre los departamentos de logística, compras y fabricación.

La empresa funcionaba con un sistema de producción MRP, que en un principio podría parecer el más adecuado. Sin embargo una vez estudiada de cerca la situación de la empresa se dieron cuenta de que existían otros factores que hacían que este no fuera el más propicio. Decidieron implementar Kanban; en un principio podía no parecer el sistema más adecuado debido a la linealidad que requiere para su buen funcionamiento, pero en conjunto aporta una visualidad fundamental para la mejora de la producción en HWRT.

A solo dos meses de haber implementado Kanban ya se notaban los cambios. Los dos indicadores que más tomaron en cuenta fueron en primer lugar: el número de piezas producidas por el departamento de fabricación (Sólo se encargaba de las cajas y los brazaletes en metal) que faltan en el momento del montaje del reloj y retrasan la producción, han pasado de 200 el primer día a 142 dos meses después. En segundo lugar, para concretar que el Kanban fue un éxito, se paso de un plazo de producción de 20 semanas a 6 semanas. (VAYÁ, 2007)

2.3.3 Almacenes Easystor

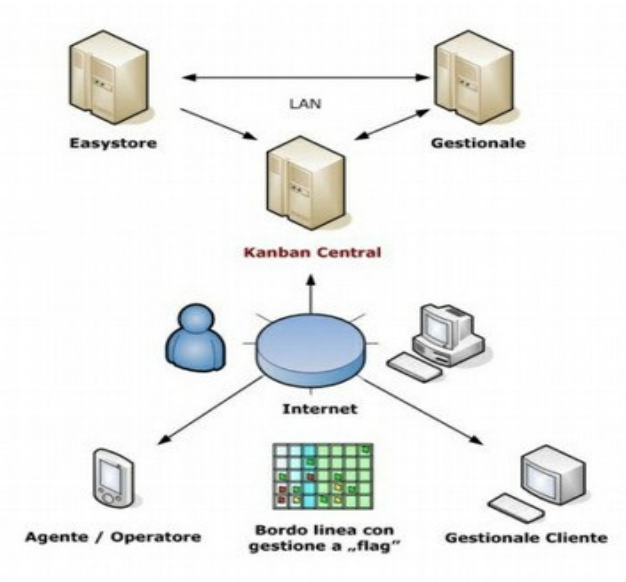
Módulo EASYKBAN

El método "Kanban" se aplica en los almacenes EasyStor, utilizando la radiofrecuencia en lugar de la señal de papel: la "llamada" de mercancía al alcanzar el nivel de seguridad de existencias es efectuada directamente por el encargado, que la hace en un terminal industrial (serie DAT) incorporado en la línea.

La llamada puede ser automatizada cuando los "rendimientos" de producción son conocidos en tiempo real: esto puede determinarse utilizando sistemas Incas (ANTARA o ENKA), o sistemas de terceros (o bien desde el mismo Sistema de Gestión de la Empresa). (INCASGROUP, 2008)

Funciones:

- Mapa de las áreas WIP (work in progress)
- Monitorización de los niveles de existencia/registro de los consumos vía terminal
- Llamada automática al Sistema de Gestión para el reaprovisionamiento



Fuente: INCASGROUP, 2008.

Gráfico 1. Módulo EASYKBAN

El gráfico 1, nos muestra cómo funciona el módulo EASYKBAN de Incasgroup a través de una red por radiofrecuencia, evitando la utilización de tarjetas impresas, mejorando la velocidad y calidad de la información.

2.3.4 Kanban no solo ha avanzado en el sector manufacturero, sino que se ha ido expandiendo a otros campos como lo ha sido el desarrollo de software:

En el desarrollo de estas prácticas es muy común ver adheridas en un tablero o en una pared tarjetas o simplemente tarjetas de tareas las cuales son conocidas como “Tarea Kanban” o “Software Kanban”.

Fuente: QUESADA ALLUE, Xavier.2009

Imagen 1. Tablero madre del sistema Kanban.

En la imagen 1 se muestra el tablero con las actividades a realizar y se representan con tarjetas (notas adhesivas, tipo post-it) y el estado de cada tarea se muestra al pegar la tarjeta en distintas áreas del tablero: pendiente, en trabajo y terminada.

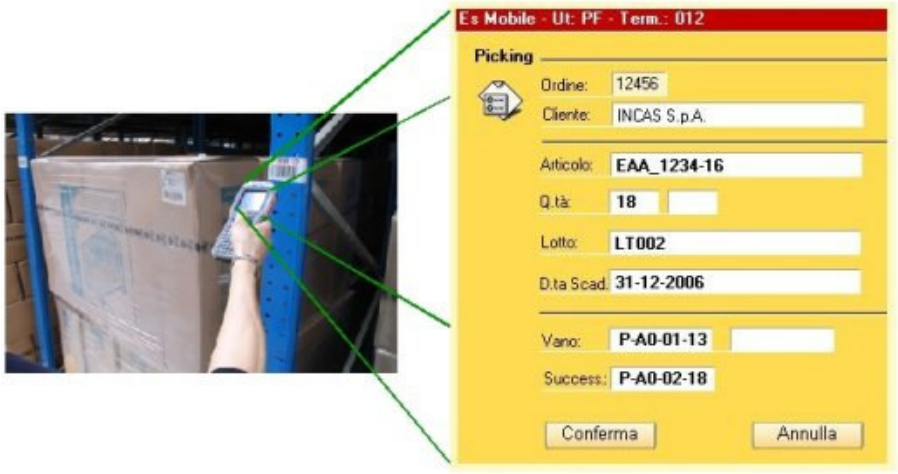
En un proceso productivo las partes se distribuyen desde un proceso superior hacia un proceso inferior. Una tarjeta Kanban es el punto de partida de una tarea, en las cuales hay información escrita como la identificación, el nombre, el tiempo estimado, el nombre de quien está asignado la tarea etc. Cada una de las tarjetas poseen un estado (pendiente, en trabajo, terminada) las cuales son compartidas por todo el equipo de trabajo y tienden a minimiza la burocracia dentro del equipo.

Por otra parte se pueden utilizar un sistema de Kanban en cascada tradicional pero con flujo, donde se pueden separar varios procesos y las tarjetas se mueven entre procesos, como “diseño”, “desarrollo” y “validación”. Cada tarjeta Kanban representa un aviso para el sistema, las cuales van avanzando una a una, logrando así una fase estable y sustentable en el ciclo de vida del producto. (DE SETA, 2008)

2.3.5 Middleware, Gestión RF, Voice Picking, RFID

Módulo EASYRF

Representa un “middleware” para la gestión directa de terminales de radiofrecuencia. Manejando todo tipo de terminales incluso los de última generación tal como se muestra en la imagen 2.



Fuente: INCASGROUP, 2008.

Imagen 2. Gestión de inventario mediante un sistema RFID.

Módulo VOICE (gestión actividad “con manos libres”)

AUDIO-PICK, solución de vanguardia para gestionar el "voice picking"; este sistema utiliza el reconocimiento de la voz para transformar los datos recibidos y enviados al centro EDP, en instrucciones sencillas y eficaces que facilitan el trabajo del operador.

Mediante órdenes vocales sencillas, el operador recibe del ordenador la instrucción por voz y la retransmite/confirma hablando a su vez, lo cual le permite una mayor agilidad, rapidez y eficiencia en la preparación de los pedidos.

Dichos pedidos son transmitidos a través de la misma red sin hilos, utilizada por los terminales R.F., que al estar conectados continuamente, permiten la conexión entre el ordenador de gestión y el operador.

Una peculiaridad del sistema AUDIO-PICK de Incas es que permite el uso híbrido: puede ser gestionado sólo con la voz, combinado con el sistema normal de radiofrecuencia, o bien sólo tradicionalmente en modalidad R.F.

Características principales:

- Posibilidad de elegir la modalidad operativa: sólo voz, sólo escáner, combinada en función del producto o de la zona en la que se trabaja.
- Gestión manos libres utilizando comandos vocales sencillos.
- Gestión de todas las operaciones de almacén
- Utilización en situaciones difíciles como: baja temperatura, manipulaciones específicas
- Aprendizaje veloz de los operadores
- Utilización de red de datos estándar 802.11
- Adaptable en estructuras existentes

Ventajas:

- Libertad de movimiento
- Libertad de visión
- Máxima seguridad
- Máxima productividad
- Máxima precisión
- Disponibilidad con el módulo RFID: gestión de los TAGS de lectura automática de los códigos por radiofrecuencia. (INCASGROUP, 2008)

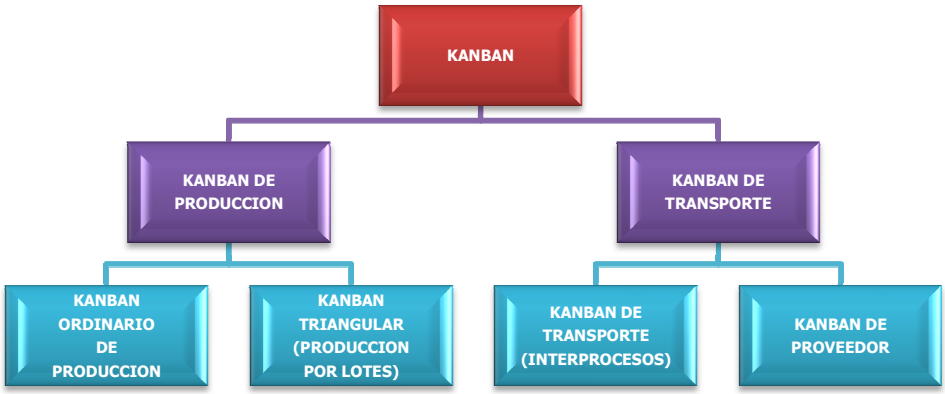
3. METODOLOGÍAS.

3.1 Modelo de gestión de inventarios por medio de dos tipos de Kanban

El siguiente modelo es propuesto por José Acevedo en su trabajo sobre gestión de inventarios. Allí se proponen los siguientes tipos de Kanban tal como se muestra en el gráfico 2.

1. Kanban de transporte: Especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar por el proceso posterior. Este a su vez se divide en Kanban de proveedores que contiene instrucciones a seguir para entregar las piezas o materiales. Es común que estos Kanbans incluyan un código de barras y especifiquen el plazo y el lugar de entrega.

2. Kanban de producción: Indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior, denominándose con frecuencia Kanban de proceso. Este a su vez se divide en Kanban triangular (producción por lotes) que es la que acompaña a la caja que contiene el lote. De esta manera, cuando los pedidos retirados llegan a la posición señalada por este Kanban, habrá que poner en marcha la orden de producción. (ACEVEDO, 2001)



Fuente: DR.C.P./LIC. Victor Eduardo Barg. Administración de la producción. Universidad de Buenos Aires

Gráfico 2. Esquema del Kanban de producción y Kanban de transporte.

3.1.1 Secuencia de operación de los dos Kanban:

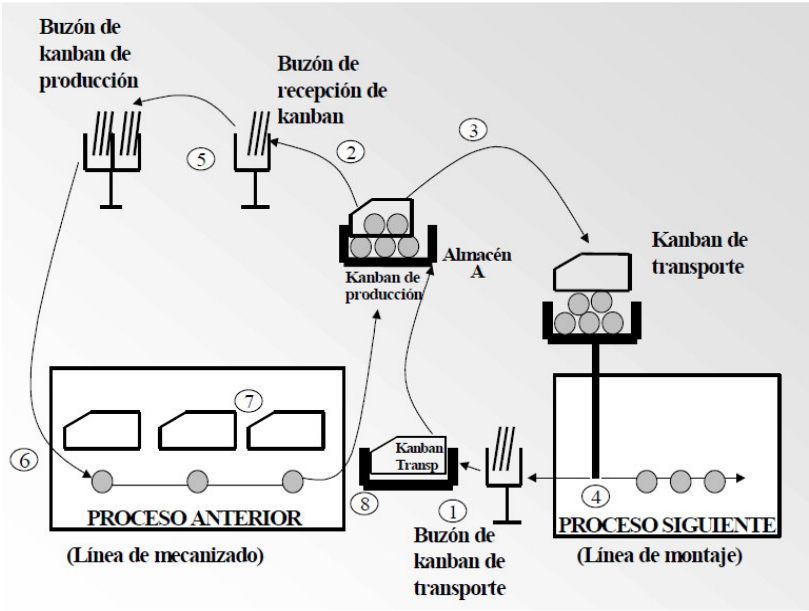
1. El operario del proceso posterior se dirige al almacén del proceso anterior cuando el buzón de Kanban de transporte ha acumulado un cierto número de tarjetas. En ese momento el operario lleva un número determinado de tarjetas de Kanban de transporte necesarias, además de los contenedores vacíos para realizar tal retiro.

2. Cuando el operario recoge las piezas en el proceso anterior, debe despegar las tarjetas Kanban de producción y llevarlas al buzón indicado. También debe dejar en orden los contenedores donde se hallaban alojadas las piezas.

3. Al despegar cada tarjeta de Kanban de producción, debe pegar la tarjeta correspondiente de Kanban de transporte. En tal momento debe realizar la plena verificación de los datos y especificaciones de la pieza.

4. En el proceso anterior, se deben recoger del buzón de recepción las tarjetas de Kanban de producción que fueron dejadas por el proceso posterior para generar de nuevo la producción de las mismas, respetando el orden en el cual fueron consumidas.

En el gráfico 3 se muestra la secuencia de operación ya descrita con los dos tipos de tarjetas Kanban.



Fuente: ACEVEDO SUÁREZ, José A. 2001

Gráfico 3. Procedimiento del funcionamiento del Sistema Kanban con dos tipos de tarjeta.

3.1.2 Otros tipos de Kanban existentes son:

Lefcovich define otros tipos de Kanban que se pueden implementar según su finalidad.

- **Kanban urgente:** Se emite en caso de escasez de una pieza o elemento. Aunque tanto el Kanban de movimiento como el Kanban de producción se orientan a resolver este tipo de problemas, en situaciones extraordinarias se emite el Kanban urgente, que debe recogerse inmediatamente después de su uso.

- **Kanban de emergencia:** Se emitirá de modo temporal un Kanban de emergencia cuando se requieran materiales o elementos para hacer frente a unidades defectuosas, averías de la maquinaria, trabajos extraordinarios o esfuerzos especiales en operaciones de fin de semana.

- **Kanban orden de trabajo:** En tanto que los Kanban hasta ahora mencionados resultan de aplicación a una línea de fabricación repetitiva de productos, un Kanban orden de trabajo se dispone para una línea de fabricación específica y se emite con ocasión de cada orden de trabajo.

- **Kanban único:** Cuando dos o más procesos están tan estrechamente vinculados con cada uno de los demás, que pueden verse como un proceso único, no se requiere intercambiar Kanban entre tales procesos adyacentes, sino que se utiliza una ficha Kanban común para los varios procesos. Dicho Kanban se denomina Kanban único y es semejante al "billete único" válido para dos ferrocarriles adyacentes.

- **Kanban común:** Un Kanban de movimiento (transporte) puede utilizarse también como Kanban de producción cuando la distancia entre dos procesos es muy corta y ambos tienen el mismo supervisor.

- **Carretilla utilizada como Kanban:** El Kanban resulta frecuentemente muy efectivo si se utiliza en combinación con una caretilla, conteiner, o camión. La carretilla suele desempeñar el papel de Kanban. De tal manera el personal encargado de colocar componentes o insumos en las carretillas llevará el carro vacío hasta el proceso anterior, es decir, al proceso de montaje o generación de los mismos y recogerá allí tales insumos o elementos, cambiándolo por el vacío, otro carro lleno con los insumos o elementos necesarios. Aunque, siguiendo la regla general, las piezas deberías llevar adherido un Kanban, en este caso el número de carretillas tiene el mismo significado que el número de Kanban.

- **Etiqueta:** Para transportar las piezas a la línea de montaje se utiliza con frecuencia una cadena de transporte que lleva las piezas colgadas en suspensores. A cada uno de éstos, a intervalos regulares, se adhiere una etiqueta que especifica qué piezas, en qué cantidad y dónde deben suspenderse de la cadena. En este caso, la etiqueta se utiliza como un tipo de Kanban. (LEFCOVICH, 2006)

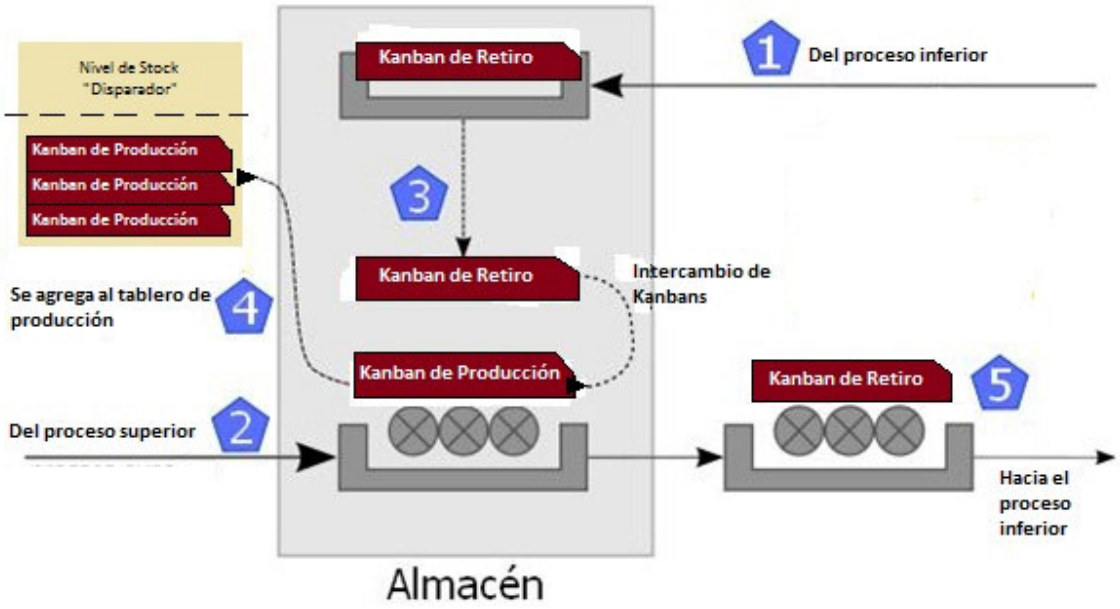
3.2 Metodología de intercambio de Kanbans en un almacén:

Leonardo De Seta escribe en el sitio web "DosIdeas" sobre la metodología de intercambio de Kanbans en un almacén tal como se muestra en el gráfico 4. A continuación se resaltan los dos tipos de Kanban que trabajan juntos:

Kanban de Retiro: es un ítem en la lista de compras que el empleado lleva al almacén.

Kanban de Producción: instruye al proceso superior a producir partes para los procesos inferiores.

Los Kanban de Retiro circulan entre los procesos, mientras que los Kanbans de Producción circulan dentro del proceso, y se intercambian en el almacén. Detallemos entonces un poco más la mecánica de este procedimiento.



Fuente: Kanban y Scrum, Leonardo De Seta - Agosto 2008.

Gráfico 4. Intercambio de Kanbans en el almacén

El operario del proceso inferior visita al proceso superior con las tarjetas de Kanban de retiro que constituyen la necesidad del proceso inferior teniendo en cuenta las cantidades. Independientemente de lo que ocurre en el proceso inferior, en el superior las partes procesadas son almacenadas con los Kanban de producción correspondiente.

Cuando el operario del proceso inferior llega al proceso superior, recoge las partes indicadas en el Kanban de retiro, comprueba e intercambia las tarjetas para ubicar posteriormente las Kanban de producción en el tablero correspondiente del proceso superior, donde se disparará la producción de partes de acuerdo a las tarjetas que se encuentren en tal tablero de producción.

Finalmente el operario se lleva las partes al proceso inferior con las Kanban de retiro adjuntas y cuando este requiera de más partes, se repetirá nuevamente el procedimiento ya descrito.

El almacén funciona como una cola entre los dos procesos, intercambiando partes e información a través de los Kanban. En las tarjetas de Kanban se escribe información como el número ó nombre de la parte, cantidad, tipo de pallet, dirección del almacén, etc.; de forma que el manipulador de materiales que toma la tarjeta sepa qué hacer. (DE SETA, 2008)

3.2.1 Existe una disciplina estricta para llevar adelante Kanban, llamada "las seis reglas de Kanban":

1. Los procesos cliente deben retirar la cantidad exacta que indica el Kanban.

2. Los procesos proveedores producen ítems en la secuencia y cantidad exacta que indica el Kanban.

3. No se transportan o producen ítem sin un Kanban.

4. Los ítems siempre deben estas acompañados por una tarjeta Kanban.

5. No se deben enviar cantidades incorrectas o producto defectuoso al proceso siguiente.

6. La cantidad de tarjetas Kanban que circulan se deben reducir lentamente para disminuir el trabajo en proceso y sacar a relucir posibles problemas.

Como se ha mostrado, el almacén trabaja como una cola de ítems, los pallets funcionan como transportadores de partes, y las tarjetas Kanban hacen las veces de "lista de compras". Se convierte en un sistema por demanda, creando un balance entre sostener un "flujo continuo" (eliminando las esperas) y minimizando el TEP (eliminando los desperdicios por sobreproducción). Este mecanismo de gestionar la cantidad "exacta" de TEP en el flujo entre el retiro y reposición de items es exactamente lo que ocurre en un supermercado, y hacerlo de forma correcta es clave para mantener las ganancias del almacén.

Con lo anterior, se observa cómo funciona Kanban en un proceso productivo de manufacturación. Hay que tener en cuenta que lo contado hasta ahora es un modelo simplificado de Kanban. Por ejemplo, el Kanban muestra visualmente el flujo de información e items a todos los trabajadores, y estimula el Kaizen (mejora de los procesos) en el Gemba (lugar de trabajo). El Kaizen comienza al poder observar lo que ocurre en el Gemba a través del Kanban. Todos los trabajadores y no sólo los directivos pueden ver el flujo y pueden así detectar desperdicios, y sugerir mejoras al proceso en el cual participan.

3.2.2 Propiedades de Kanban

1. Físico: Es una tarjeta física. Puede tenerse en la mano, moverse, y ubicarse en algún lugar.

2. Limita el TEP: Limita el TEP (Trabajo En Proceso); por ejemplo, previene la sobreproducción.

3. Flujo continuo: Notifica la necesidad de producción antes de que el almacén se quede sin stock.

4. Auto-dirigido: Contiene toda la información de qué hacer y hace que la producción sea autónoma de una manera descentralizada, y sin micro-administración.

5. Visual: Se apila o pega para mostrar el estado actual y progreso, visualmente.

6. Señal: Su estado visual señaliza las próximas acciones de Retiro o Producción.

7. Kaizen: El flujo del proceso visual muestra y estimula el Kaizen.

8. Adjunto: Se adjunta y se mueve con las partes físicas provistas.

El objetivo es reducir el trabajo en proceso y mantener un flujo continuo y sustentable para prevenir así la sobreproducción. El sistema Kanban está físicamente adjunto a las partes, se recolecta y reutiliza por lo que la cantidad de Kanbans es fija.

El primer mecanismo, "Kanban físicamente adjunto", se comporta como la ley de la conservación de la energía, ya que una vez se defina la cantidad de kanbans el trabajo en proceso (TEP) queda limitado al número de Kanbans sin importar las entradas y las salidas de de las partes. Por tanto el número máximo de Kanbans es fijo y conserva el límite superior del trabajo en proceso en cualquier momento

El segundo mecanismo, "la demanda", este factor también limita el TEP al hacer que la velocidad del proceso superior (cantidad de PET) dependa de la velocidad de consumo del proceso interior (dirección y velocidad del flujo)

- Dirección: El motivador de la producción sólo es dado por el proceso inferior.
- Velocidad: El Kanban comunica el momento y la cantidad de la próxima producción.
- Demanda: Lla demanda limita el TEP al hacer que la producción del proceso superior sea dependiente de los consumos del proceso inferior. Esta dependencia se logra cuando se intercambian los Kanban en el almacén, empujando la información de control de producción desde el proceso inferior al superior.

El Kanban es auto-dirigido y promueve el Kaizen. Al ver las tarjetas Kanban pegadas en el tablero, todos pueden darse cuenta de lo que está ocurriendo y que tan bien va funcionando el proceso sin necesidad de un control centralizado-

El objetivo final del sistema Kanban es limita el TEP y a la vez mantiene un flujo continuo y sustentable. Amortigua el impacto de las variaciones por causas comunes, y expone las variaciones especiales, que son candidatos para el Kaizen.

3.3 Metodología practica de implementación del sistema Kanban en las Mypimes Colombianas propuesta por Ballesteros, Diana.2008

Las condiciones mínimas para implementar el sistema Kanban en una empresa son:

- Conocer la programación de la producción.
- Establecer un flujo racional de materiales.
- Hacer uso del Kanban, ya sea de señal, producción o transporte.
- Contar con un flujo adecuado de información desde el cliente hasta el cliente.
- Actualizar en forma permanente el sistema Kanban y hacer su respectiva retroalimentación.

Cumplidos los anteriores requisitos se aplican las siguientes fases en la implementación del sistema. En el gráfico 5, se puede observar cómo se relacionan entre ellas:

FASE 1: Se debe entrenar a todos los que hacen parte de la organización y deberán comprender los fundamentos, los beneficios y la razón de ser del sistema Kanban, para así garantizar el éxito de la implementación del sistema y desarrollar en los trabajadores la habilidad de ellos mismos resolver gran cantidad de problemas que se presentan.

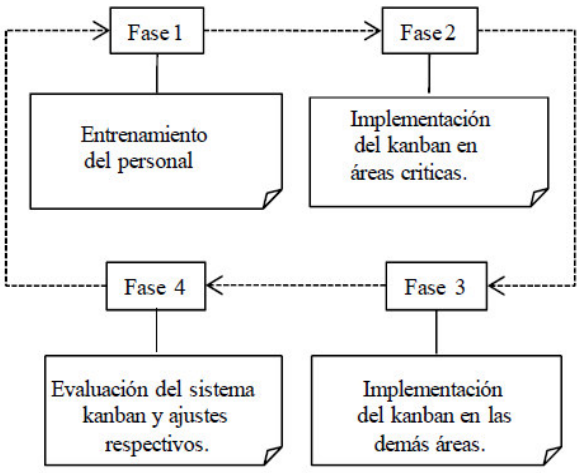
FASE 2: Primero se implementa un proyecto piloto en un área retirada de los flujos de materiales de la planta, donde surgirán una gran cantidad de situaciones que exigen que el personal mejoren

y puedan revisar aspectos relacionados con el diseño, el control de la calidad, la programación, el control de la producción y mejorar el diseño de los productos para lograr así llegar a la estandarización, la reducción de inventario, la eliminación de almacenamientos innecesarios y establecer un buen trabajo con los proveedores.

FASE 3: Superados los obstáculos de la fase dos y con ayuda de los problemas presentados se puede implementar el proyecto a las demás áreas de la empresa pero evitando no caer al modelo de postfordismo[1], en el que no existe ninguna consideración hacia el trabajador.

Las dificultades que se presentan en esta fase se deben principalmente a la mentalidad, formación, hábitos y costumbre de los directivos de las empresas y no en la actitud de los trabajadores, pero para lograr una estrategia adecuada se debe complementar con un cambio cultural y general que demanda un costo alto y un largo tiempo.
Otra estrategia que fortalece la fase tres es la aplicación de círculos de calidad en donde se realicen reuniones periódicas de empleados voluntarios, en donde se discutan sus trabajos y problemas, procurando así encontrar soluciones para los diferentes problemas y compartirlas con la gerencia o los altos directivos.
Los círculos de calidad son liderados por un supervisor o por un trabajador del área de producción e incluyen normalmente a trabajadores de determinada área, según sean los problemas encontrados. También existen equipos multidisciplinarios, que suelen ser dirigidos por un líder de un grupo previamente entrenado o facilitador.

FASE 4: En esta fase se debe tener en cuenta que ningún trabajo puede realizarse por fuera de la secuencia establecida y debe ser informada al supervisor con prontitud.



Fuente: Ballesteros, Diana 2008
Gráfico 5. Fases en la implementación del sistema Kanban.

[1] Sistema de producción vigente en gran parte de los países industrializados. Se diferencia del fordismo, sistema de producción empleado en las plantas de automóviles de Henry Ford, donde los trabajadores se encontraban en una estructura de producción en línea, y realizaban tareas repetitivas especializadas. El Post-Fordismo se caracteriza por los siguientes aspectos: Uso de nuevas tecnologías de información, énfasis en los tipos de consumidor, surgimiento de los servicios y trabajadores de 'cuello blanco', la feminización de la fuerza de trabajo y la globalización de los mercados financieros.

Para que el sistema Kanban funcione en condiciones normales es necesario respetar y cumplir las siguientes normas:

- No es permitido enviar insumos o materiales no conformes a los procesos posteriores.

- A los procesos siguientes sólo debe llegar lo necesario tanto en cantidad como en calidad. Con esta regla se pretende disminuir la acumulación de inventarios de productos en proceso, productos terminados y materiales indirectos. Por otra parte, se evita pérdida de tiempo y de inversión de nuevos proyectos sin saber si se cuenta con la capacidad de producción suficiente.

- Todo flujo de material debe estar debidamente identificado con sus respectivos Kanban. Además los productos que sean requeridos no deben exceder el total de Kanban permitidos.

- Sólo se debe procesar la cantidad exacta necesaria para el proceso siguiente. Aquí es posible reducir significativamente el nivel de inventarios.

- Hacer el balanceo de la línea de producción. Con el sistema Kanban la producción es programada por tasas o porcentajes. Las tasas de producción pueden ser unidades por hora, por turno o por día. Existen modelos mixtos de programación que son elaborados para hacer una repetición consistente en la producción y crear un flujo constante en los materiales utilizados.

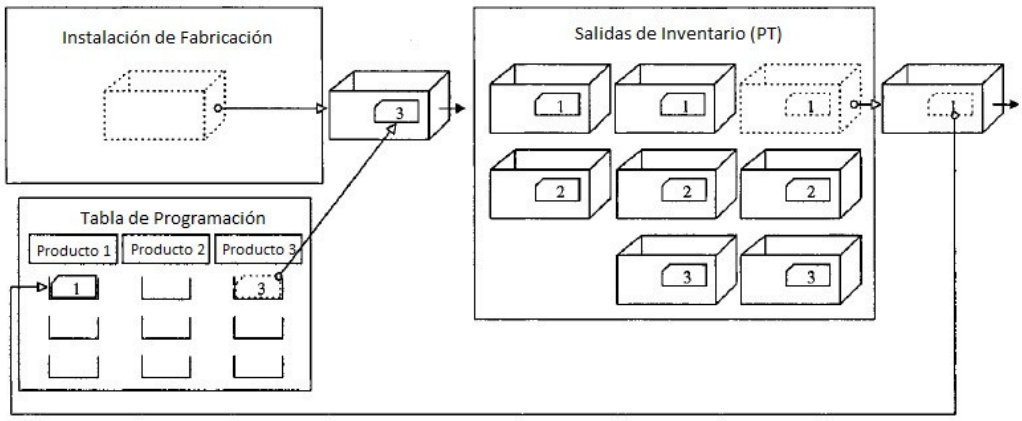
- Considerar que el Kanban es un medio efectivo de información. Cada trabajador debe respetar y cumplir con los datos contenidos en cada Kanban.

- Debe estabilizarse y racionalizarse el proceso. El trabajo debe hacerse bien desde el principio y así a través de cada estación se garantiza un alto nivel de calidad, eliminando la probabilidad de realizar reprocesos innecesarios. (BALLESTEROS, 2008)

3.4 Sistema básico de Kanban

Krieg, Georg N. 2005, muestra la versión básica y sus variaciones del sistema de manufactura controlado con Kanban.

El caso más general es en el que hay un determinado número de productos, los cuales se procesan en la planta de producción de acuerdo a la tabla de programación que lanza las órdenes de producción a medida que las salidas de inventario se van presentando. Gráficamente se aprecia de la siguiente forma:

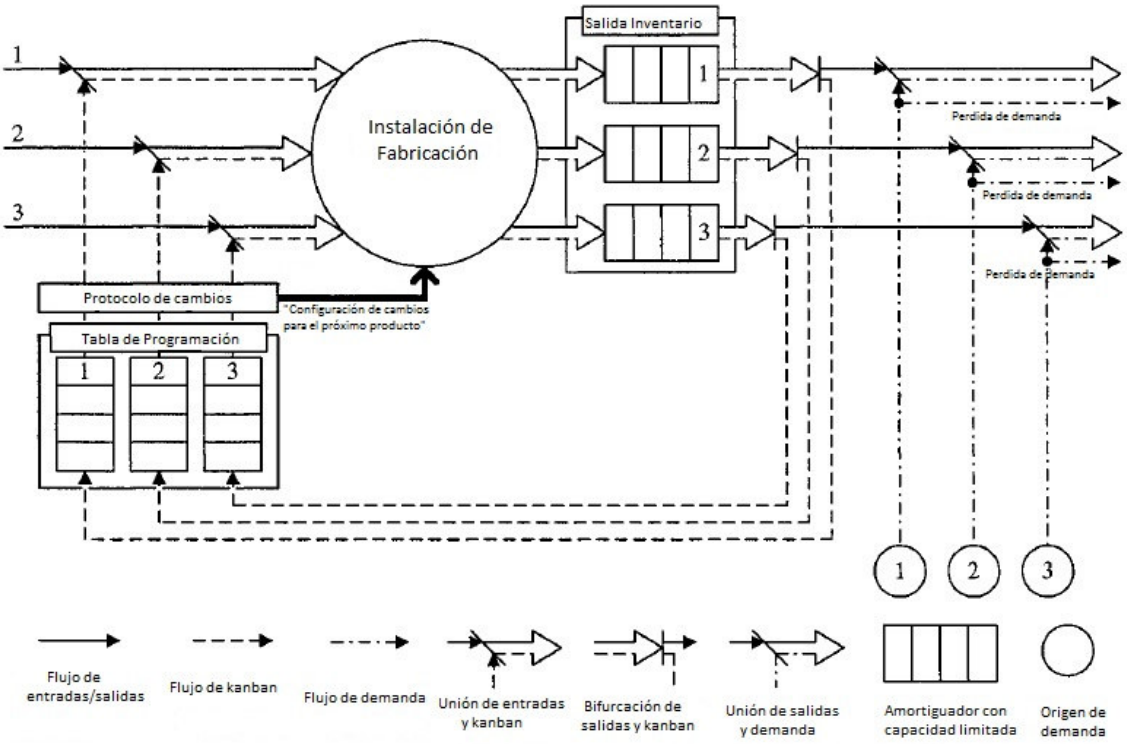


Fuente: Krieg, Georg N. 2005, Kankan-Controlled Manufacturing Systems, P. 4.

Gráfico 6. Sistema básico de Kanban con tres productos diferentes.

En el gráfico 6, se observa que el tamaño del inventario es de 3 unidades por cada producto y del producto #3 falta una unidad en el inventario. En el momento que esta salió, envió información de su faltante a la tabla de programación para que esta emitiera una orden de producción; al emitirse la orden y ejecutarse, esta etiqueta sale de la tabla de programación y se ubica en el producto o en el pequeño lote de producción si es el caso; para ser ubicado en los inventarios por salir y de esta forma estando etiquetado, en una posterior salida se regresar la etiqueta a la tabla de programación. En este gráfico, además, se observa que en el instante está saliendo una unidad del producto #1 y la etiqueta contenida en la unidad es retirada y enviada a la tabla de programación para emitir la orden de producción.

3.5 Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos sin pendientes

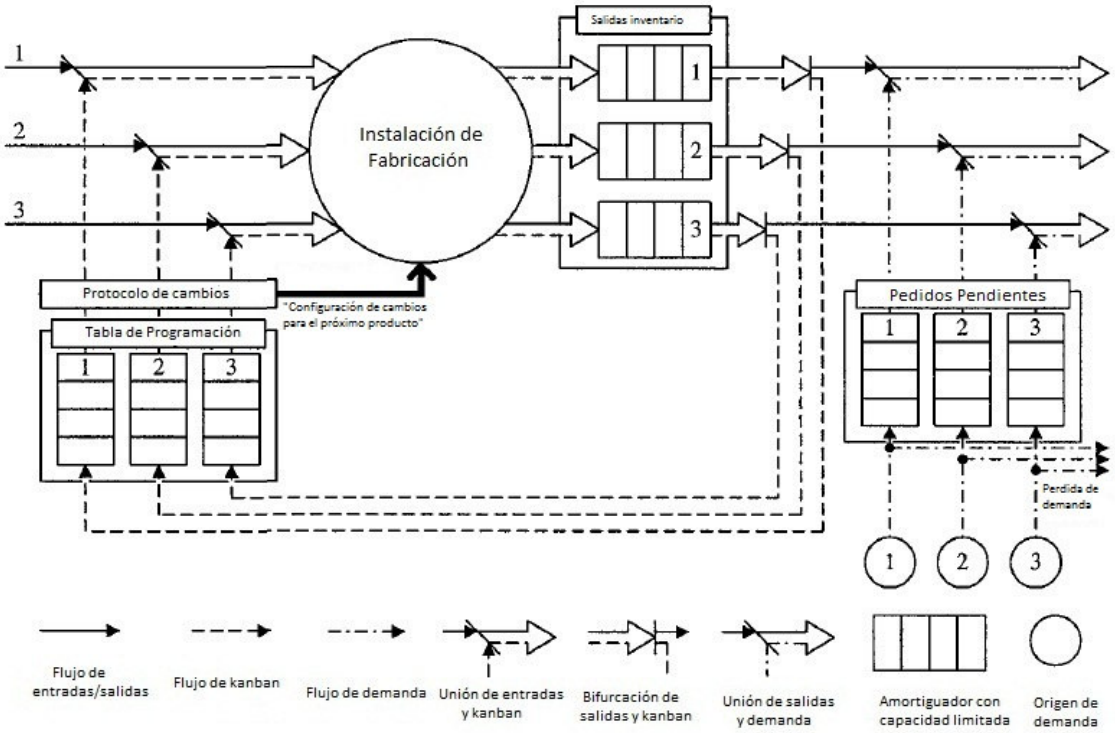


Fuente: Krieg, Georg N. 2005, Kankan-Controlled Manufacturing Systems, P. 4.

Gráfico 7. Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos sin pendientes. (Tomado de Mitra y Mitrani 1990, Fig. 3)

El modelo ilustrado en el gráfico 7, muestra la forma como opera el Kanban en un sistema de producción de una sola etapa o un solo centro de trabajo con múltiples productos y una capacidad limitada de inventario. En éste se aprecian los flujos que se dan con las tarjetas Kanban, al salir un tipo de producto y satisfacer la demanda se reintegra la tarjeta Kanban a la tabla de programación y posteriormente esta tarjeta es unida a las entradas que se generan al programarse de nuevo la elaboración de tal producto. Después de elaborarse el producto, éste pasa al inventario de salida con su respectiva tarjeta y de esta forma se cierra el ciclo. También se observa una pérdida de demanda que podría interpretarse por el hecho de tener una capacidad limitada de inventario o simplemente por la falta de respuesta en tiempos de entrega del producto demandado.

3.6 Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos con un número limitado de pendientes y pérdida de demanda.

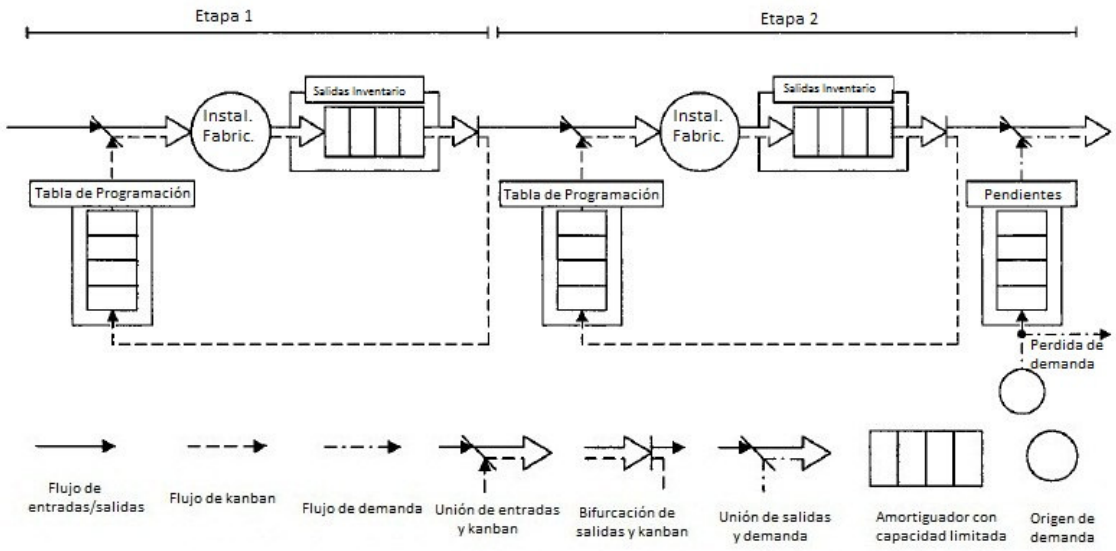


Fuente: Krieg, Georg N. 2005, Kankan-Controlled Manufacturing Systems, P. 7.

Gráfico 8. Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos con un número limitado de pendientes y pérdida de demanda.

A diferencia del anterior modelo (Gráfico 7), en éste modelo (gráfico 8) se aprecia un cupo limitado de pedidos sin procesar, para lo cual la tasa promedio de llegadas de la demanda depende del número de clientes en espera, a menos de que este sea grande. Pero si los clientes mantienen la generación de nuevas solicitudes, independientemente de los pedidos pendientes, el número máximo de pedidos pendientes siempre es igual al número de prohibición de las órdenes en estado natural, y la tasa promedio de llegadas de la demanda es independiente del número de pedidos atrasados en el sistema. Finalmente, se aprecia la pérdida de demanda cuando el número de pedidos pendientes supera el máximo número de pedidos que un cliente está dispuesto a esperar y en consecuencia este buscará un proveedor alterno.

3.7 Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, un único producto con material de transferencia tipo 1, un número limitado de pendientes y pérdida de demanda.



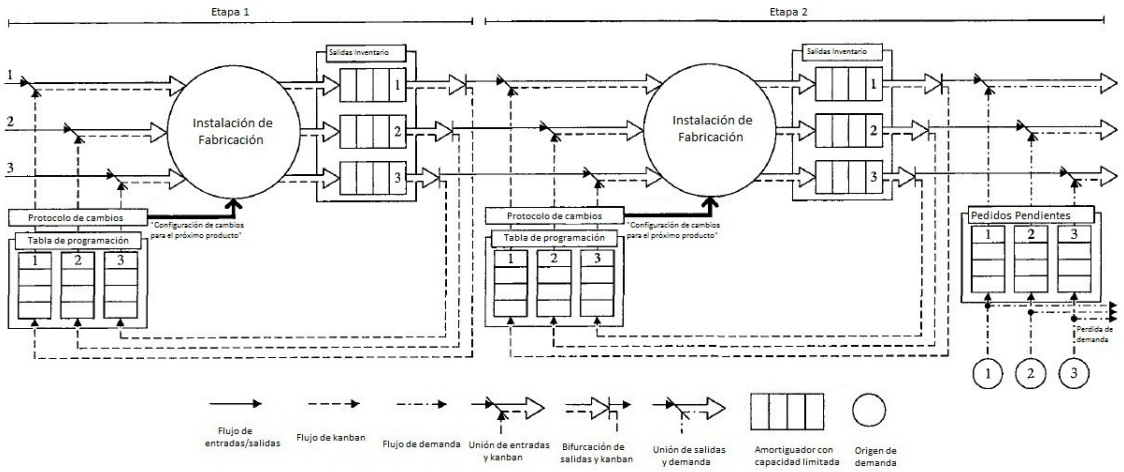
Fuente: Krieg, Georg N. 2005, Kankan-Controlled Manufacturing Systems, P. 8.

Gráfico 9. Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, un único producto con transferencia de material Tipo-1, número limitado de pendientes y pérdida de demanda.

Es preciso aclara que el material de transferencia Tipo-1 es denominado así por **Gstettner y Kuhn (1996)**. Este define así a la transferencia de material que se da desde el almacén de salida de una etapa siendo este también el almacén de entrada de la etapa siguiente, y el material es retirado de la tienda inmediatamente antes de iniciar la producción. Este plan se ha denominado "transferencia de material a finales". Además las salidas de material en la etapa *m* son iguales a las entradas de material en la etapa *m+1*.

En el gráfico 9, se observa cómo se da la transferencia de material entre las dos etapas de producción, al realizarse el traslado de material procesado en la etapa 1 a la etapa 2, se reintegra la tarjeta Kanban a la tabla de programación de la etapa 1, y el material saliente de dicha etapa se etiqueta con la tarjeta Kanban de la etapa 2 que se encontraba en su tabla de programación; finalmente el producto saliente de la etapa 2 satisface el pedido pendiente y su tarjeta regresa a la tabla de programación. Aquí también se observa pérdida de demanda por el fenómeno del número limitado de pendientes.

3.8 Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, múltiples productos con material de transferencia tipo 1, un número limitado de pendientes y pérdida de demanda.



Fuente: Krieg, Georg N. 2005, Kankan-Controlled Manufacturing Systems, P. 9.

Gráfico 10. Modelo de un sistema Kanban con dos fases de producción, múltiples productos con transferencia de material Tipo-1, número limitado de pendientes y pérdida de demanda.

A diferencia del modelo anterior (gráfico 9), en éste modelo (gráfico 10) se tienen diferentes productos que son programados de acuerdo a la tabla de programación de cada una de las etapas y teniendo en cuenta el protocolo de configuración de cambios que se pueda presentar en cada lanzamiento de ordenes de producción. Los flujos de producto y de las tarjetas Kanban se dan de igual forma como se mostró en los anteriores modelos y la programación se ejecuta de acuerdo a la lista de ordenes pendientes. En este modelo, se puede observar que la producción se da de acuerdo a un sistema "Pull", es decir, un sistema en el que el material es halado en una etapa por una etapa posterior y si es el caso de la última etapa, el material o más bien el producto, es halado por las ordenes pendientes que han dejado los clientes. De esta forma podríamos concluir que se están atacando gran variedad de problemas que se dan a diario en las plantas de producción como lo son el exceso de inventario de producto en proceso, tiempos muertos por falta de coordinación entre procesos, entre otros. (KRIEG, 2005)

4 HERRAMIENTAS DE APOYO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL KANBAN

A través del tiempo se han desarrollado una serie de tecnologías con el objeto de avanzar en la confiabilidad y rapidez en el manejo de la información y en el procesamiento de la misma. Vemos como han evolucionado los códigos de barras, siendo estos de gran utilidad para la lectura de datos y el control de inventarios de materias primas y productos en proceso. Con los últimos desarrollos tecnológicos se ha incrementado el uso de sistemas de identificación por radio frecuencia en lo que se ha optimizado mucho más la lectura y control de la información. Recientemente se ha puesto como tecnología de punta el uso del sistema **EPC** (Código Electrónico de Producto) que se muestra como la estandarización de la identificación por Radio Frecuencia (RFID).

4.1 EPC (Electronic Product Code)

4.1.1 ¿Qué es el EPC?

El código electrónico de producto es un número único que se encuentra almacenado en un TAG de radiofrecuencia que permite identificar cada producto de manera única y a su vez, permite conocer donde se encuentra el producto en cualquier momento.

4.1.2 ¿Cuál es el objetivo del EPC?

Volver la cadena de valores cada vez más eficiente e incrementar la visibilidad de los productos/objetos que se mueven en ella; todo esto se puede lograr a través de la red de EPC, la cual está conformada por los Tags, el hardware, software e EPCIS.

4.1.3 ¿Qué es el EPCIS?

(Servicios de información de EPC) es el estándar de EPC que permite intercambiar información con los socios comerciales a cerca del movimiento de los productos, a través de la red de valor, garantizando visibilidad de los mismo y facilitando la toma de decisiones que impacten la eficiencia hacia los clientes y consumidores.

4.1.4 ¿Quién administra esta tecnología?

EPCglobal es una organización internacional sin ánimo de lucro encargada de estandarizar, regular, promover y velar por la implementación y adopción del estándar de identificación por radio frecuencia o RFID mediante el sistema EPC (Electronic product code) a través del GS1 Colombia.

4.1.5 ¿Cómo funciona la red EPCglobal?

(I) Cada producto, unidad de empaque y/o unidad logística lleva un Tag que se compone de una antena y un chip en el cual está grabado el EPC.
(II) En la medida que los productos salen de producción son cargados en el inventario a través de la captura de información por RFID.
(III) Los Tags son leídos a través de los lectores y antenas, identificando el código único de EPC de cada producto.

(IV) Cada evento es enviado a los sistemas de información de la compañía identificando que producto fue leído, cuándo, dónde y por qué.

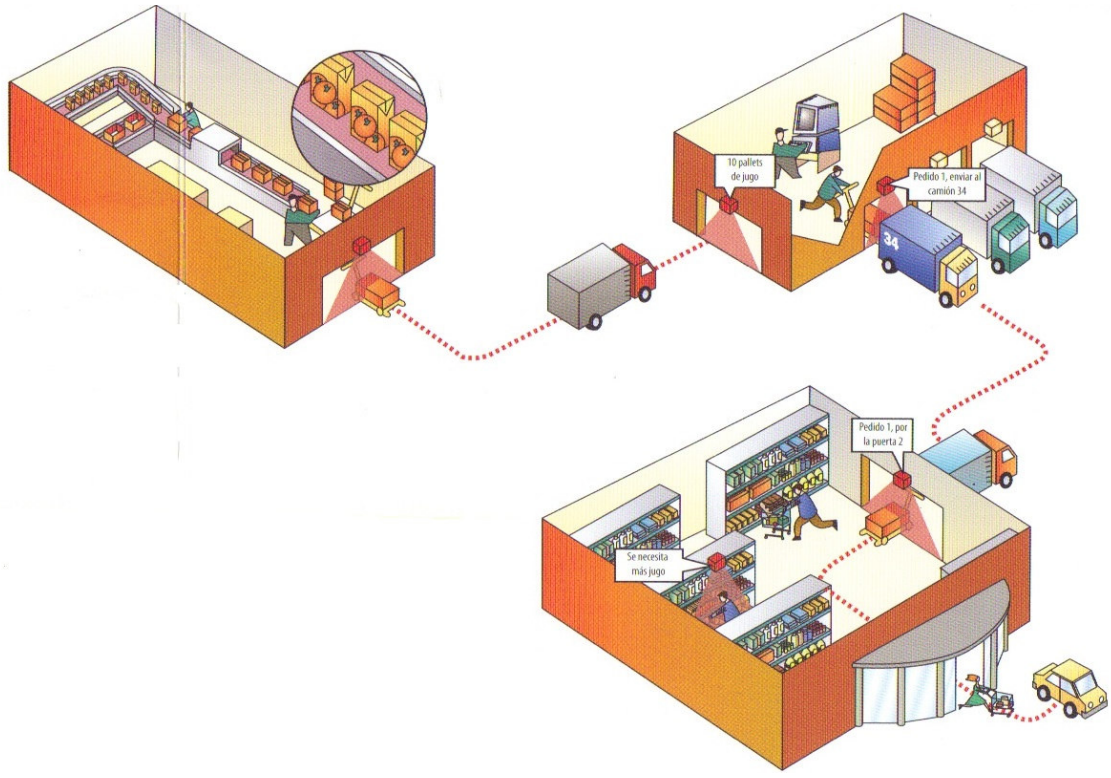
(V) La información puede ser compartida en forma estándar (utilizando los EPCIS y ONS - Object Name Service - conformando la red EPC)

(VI) En el área de descarga, donde hay un lector de RFID, no hay necesidad de abrir las cajas ni los pallets para verificar su contenido, EPCIS proporciona la información de lo que debe recibir.

(VII) El sistema de la compañía revisa la trazabilidad del producto a través del EPCIS y de su propia conexión. Tan pronto como llega al destino – almacén – en el EPCIS se actualiza la información. De esta forma los almacenes pueden localizar totalmente su inventario de forma automática, precisa y a bajo costo.

(VIII) Los lectores ubicados en las "góndolas" inteligentes pueden pedir automáticamente más mercancía desde la trastienda o desde el proveedor, si aplica. Con este sistema la costosa necesidad de mantener stocks de seguridad en almacenes alejados se elimina.

(IX) Cada vez que el consumidor pasa por el punto de pago, la información relacionada con esta compra es enviada en línea al EPCIS, logrando conocer el estado actual del inventario en el punto de venta. Si el nivel de inventario es inferior al establecido dentro de la política, el EPCIS genera alertas permitiendo impactar directamente el nivel de agotados. Ver gráfico 11. (GS1 EPCGLOBAL, 2009)



Fuente: GS1 Colombia-EPCglobal

Gráfico 11. Esquema de funcionamiento de la red EPCglobal.

5. APLICACIÓN

La aplicación de esta tesis se realizará en el sector eléctrico y en específico en el área de fabricación de transformadores de distribución. En la actualidad en Colombia existe un número importante de empresas dedicadas a la fabricación de transformadores de distribución entre las que se destacan dos multinacionales como lo son SIEMENS y ABB. Dentro de las nacionales se destacan MAGNETRON y RYMEL, empresas que han fortalecido y contribuido con el desarrollo del sector al interior y exterior del país.

La tesis se centrará en la empresa Rymel S.A., fundada en 1977 con el nombre de Rymel Ltda, nació como una planta reparadora de transformadores de distribución y más adelante, gracias a la experiencia y a los análisis de resultados recopilados de innumerables reparaciones se inicia la fabricación de transformadores de distribución serie 15 KV. En la actualidad es representante para Colombia de la firma eslovaca APPLIED METERS, KRIZIK y de la firma italiana SAMGAS. Además cuenta con más de 120 empleados al servicio de la gente, participa activamente en los comités de ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas, es socio fundador del CIDET, Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Colombiano, sus productos están certificados ante el Sector Eléctrico al cumplir con requisitos de las especificaciones técnicas exigidas y en las normas nacionales como también cuenta con la certificación ISO 9000 versión 2008. También exporta a varios países de Norte, Centro y Suramérica, razón por la cual se ha comprometido en profundizar y aplicar los estándares nacionales e internacionales. (RYMEL, 2010)

5.1. Transformador de distribución

Es un dispositivo que tiene la capacidad de transformar algunas de las características de la energía eléctrica y sus principales componentes son: dos bobinas con dos o más devanados enrollados en un centro común llamado núcleo. Este está compuesto usualmente por acero al silicio de grano orientado. El núcleo, es el componente encargado que acoplar magnéticamente el bobinado de baja tensión y el bobinado de alta tensión. Su espesor suele oscilar entre 0,23 y 0,50 mm. Los núcleos se pueden construir a través de una serie de capas que enrollan los dos bobinados y es una de las formas más agiles para la construcción de transformadores de distribución.

En la construcción de las bobinas, es usual encontrar una serie de cuñas que permiten la entrada del aceite con el objeto de obtener una buena refrigeración del material conductor con el cual fueron hechas las bobinas. Usualmente este material es de aluminio o cobre.

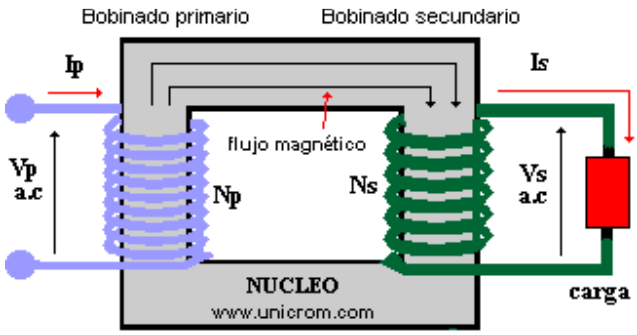
La principal función de un transformador es tener la capacidad de transformar la corriente y el voltaje hacia niveles más altos ó más bajos. (MÉNDEZ, 2003)

5.1.1. Principio de funcionamiento del transformador y sus componentes

Este elemento eléctrico se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética. Se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario debido a la variación de la intensidad y al sentido de la corriente alterna se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro. Este flujo originará por inducción electromagnética la aparición de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. La tensión en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y de la tensión del devanado primario. Ver gráfico 12.

Los componentes principales son los siguientes:

- **Devanado:** Hilo de cobre enrollado sobre un núcleo cerrado de hierro. Existen dos devanados, el primario y el secundario.
- **Devanado primario:** Corresponde a la entrada del transformador.
- **Devanado secundario:** Corresponde a la salida transformada de la corriente.
- **Núcleo:** Es por donde circula el flujo magnético creado por el devanado primario. Está hecho de hierro dulce o hierro de silicio. (ENDESA, 2008)



Fuente: UNICROM, 2002

Gráfico 12. Esquema de funcionamiento de un transformador.

5.1.2. Tipos de transformadores

Los tipos de transformadores tal como los describe la norma técnica colombiana 317 son:

- ✓ **Transformador sumergible:** Transformador construido para que opere satisfactoriamente cuando es sumergido en agua, bajo determinadas condiciones de presión y tiempo.
- ✓ **Transformador Subterráneo:** Transformador de distribución tipo sumergible adecuado para instalar en bóveda subterránea

- ✓ **Transformador tipo bóveda:** Transformador construido para que opere ocasionalmente sumergido en agua, bajo condiciones específicas de tiempo y presión externa. (Vault Type).
- ✓ **Transformador tipo pedestal:** Transformador para instalación exterior, utilizado como parte de un sistema de distribución subterráneo, con compartimiento para alta y baja tensión, cuyos cables de alimentación entran por la parte inferior e instalados sobre una base o un pedestal.
- ✓ **Transformador tipo poste:** Transformador adecuado para instalar en poste o en una estructura similar.
- ✓ **Transformador sumergido en líquido:** Transformador en el cual el núcleo y las bobinas están sumergidas en líquidos aislante.
- ✓ **Transformador tipo seco:** Transformador en el cual el núcleo y las bobinas están en un medio de composición aislante seco.
- ✓ **Transformador tipo seco abierto:** Aquel en el cual los devanados están en contacto directo con el aire. Son clasificados como clase H y soportan una temperatura máxima de 185 °C en el punto más caliente del devanado
- ✓ **Transformador tipo seco encapsulado en resina:** Aquel en el cual los devanados se encuentran completamente recubiertos para su protección con una masa de resina. Son clasificados como clase F y soportan una temperatura máxima de 155 °C en el punto más caliente del devanado.
- ✓ **Bóveda:** Una estructura sólida encerrada, sobre o bajo el nivel del suelo con acceso limitado a personal calificado para instalar, mantener, operar o inspeccionar equipos o cables. La bóveda puede tener aberturas para ventilación, ingreso de personal, entrada de cables y otras aberturas necesarias para operación de los equipos en la bóveda.

5.2. Diagnóstico de operación

En la industria de fabricación de transformadores de distribución se distinguen tres componentes claves para ejercer un adecuado control de producción con el objeto de minimizar el trabajo en proceso y mantener un flujo continuo de producción. Los tres componentes son:

1. La bobina(s)
2. El núcleo(s)
3. El tanque

Estos tres componentes trazan dos puntos o momentos claves dentro de la producción de un transformador de distribución. El primer punto es la coordinación de llegada a la línea de ensamble de la parte activa [Bobina(s) + núcleos], y el segundo punto es la coordinación en la línea de encube [Parte activa conectada y horneada + Tanque pintado]. Es preciso resaltar que la coordinación existente entre el almacén de materias primas con los diferentes procesos de

fabricación es indispensable que sea efectiva, es decir, que sea lo más eficiente posible para no incurrir en excesos de inventario y lo más eficaz que se pueda para no incurrir en faltantes o retardos en el programa de producción. Para este último punto de suministro y abastecimiento de materias primas será de gran utilidad la implementación de la metodología del Justo a tiempo (J.I.T.) la cual involucra tanto a la empresa como a los proveedores pero se ampliará más al respecto en etapas posteriores al diagnostico de operación.

Retomando los tres componentes claves a coordinar y teniendo en cuenta que lo que se busca es minimizar el trabajo en proceso (W.I.P.), mantener el flujo continuo y sustentable de la producción, se aprecia que tal objetivo es precisamente el objeto o la razón de ser del Kanban tal como se ha identificado en las definiciones que se han resaltado en numerales anteriores.

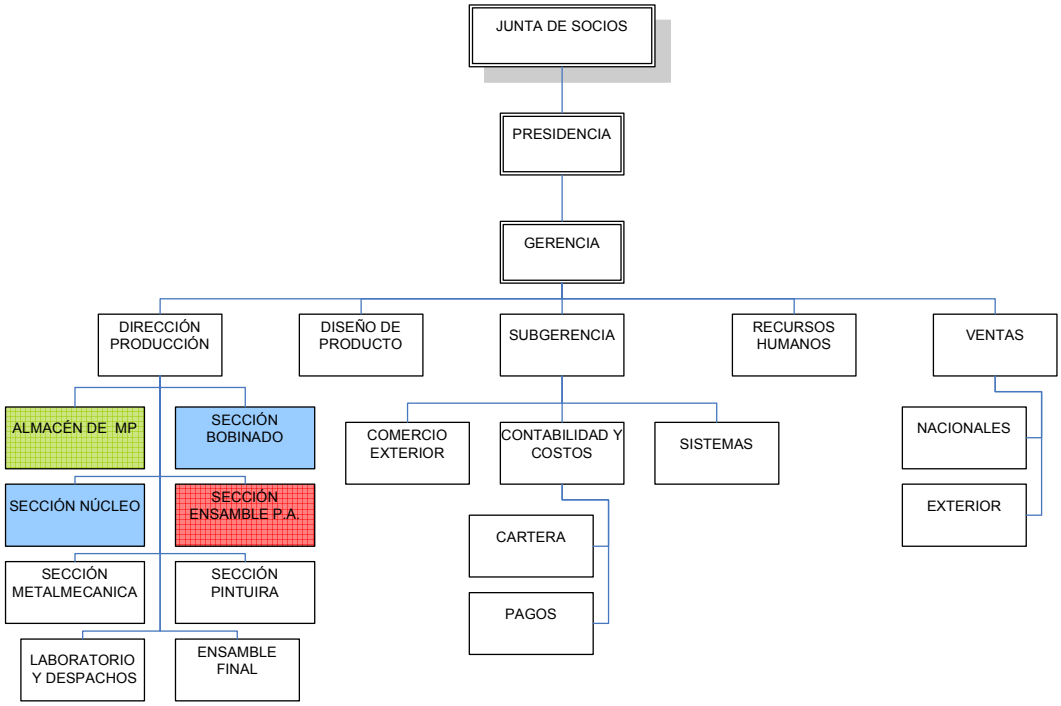
Dado que buscamos desarrollar una metodología simple, adecuada y efectiva para la implementación del Kanban en el control de procesos para la fabricación de transformadores de distribución, se resaltan a continuación algunos aspectos de gran relevancia que será necesario tener en cuenta a la hora de formalizar dicha metodología.

1. Se debe contar con una buena organización en la planta de producción. (5'S).
2. Fomentar el trabajo estandarizado.
3. Equipos y máquinas con adecuadas condiciones de operación. (TPM).
4. El balanceo de líneas es un punto crucial para ejercer una buena programación sobre los 3 componentes claves ya mencionados, ya que estos deberán estar en sus puntos de encuentro en el momento preciso y en la cantidad requerida.

Este último punto es clave ya que al contar con líneas balanceadas y una adecuada programación de los componentes principales se puede aportar al cumplimento del objetivo base de la metodología Kanban a través de controles que garanticen el complimiento en tiempo, cantidad y calidad de lo que se ha programado.

5.2.1. Antecedentes

Es importante comenzar por ilustrar el organigrama de Rymel S.A. (gráfico 13) y definir las secciones que serán objeto del desarrollo de la metodología en esta tesis, pero que de igual forma se puede extender para las demás secciones de la compañía.



Fuente: PROPIA

Gráfico 13. Organigrama de Rymel S.A.

Resaltadas con color azul se encuentran las dos secciones bobinado y núcleo las cuales serán objeto del desarrollo metodológico. Antes de estas dos secciones se encuentra con verde al almacén de materias primas, el cual tiene que ver directamente con los dos procesos mencionados anteriormente al ser éste el que abastece de materiales a las dos secciones. Finalmente se resalta con rojo la sección de armado y conexión de la parte activa del transformador, en la que se busca que las dos secciones anteriores estén estrechamente coordinadas para garantizar el flujo continuo de material y bajos niveles de producto en proceso.

Las secciones de bobinado y núcleo fueron seleccionadas para el estudio ya que son las dos áreas que presentan mayores niveles de producto en procesos, además es un punto clave en el que los dos procesos se deben coordinar para entregar sus subproducto a la línea de ensamble de armado y conexión. Otro antecedente clave para la escogencia de estas dos secciones es debido a que procesan los dos componentes más costosos teniendo en cuenta tota la lista de materiales del transformador, es por ello que al tener altos volúmenes de producto en proceso al finalizar cada línea, se convierte en un tema crítico por los costos que acarrea.

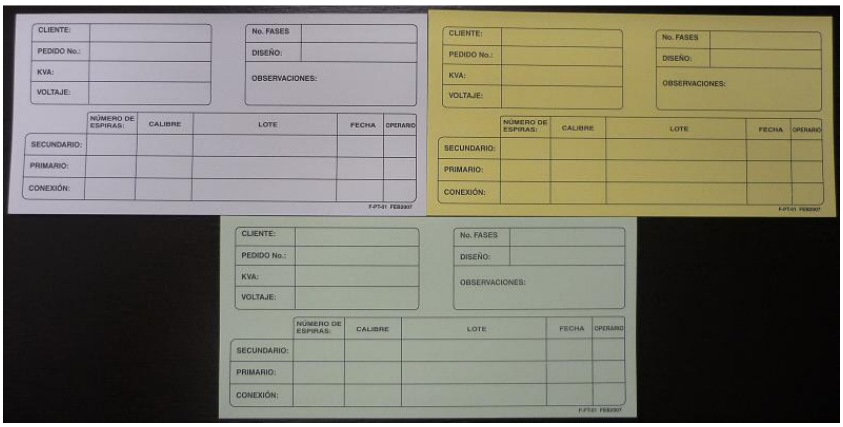
Es importante resaltar las características y aspectos de gran relevancia dentro del proceso de producción de Rymel S.A.

- Se fabrican transformadores con las características y especificaciones que el cliente requiera, además se busca continuamente optimizar los recursos de la empresa garantizando el total cumplimiento de las especificaciones y normativas requeridas. Por

tal motivo existe gran variedad de diseños, lo que en ocasiones hace que algunos pedidos sean únicos.

- Por acuerdos de negociación, se pueden presentar pedidos con fechas de entrega muy cortas a las normalmente estipuladas en la empresa; por tal motivo el programa de producción es y debe ser bastante flexible y organizado para dar cumplimiento a los compromisos contraídos con el cliente.
- Los programas de producción son generados con tamaño de lote variable y en los grandes tamaños de lote carece una política clara de priorización en pequeños baches que compaginen tanto con el programa de bobinas como de núcleo.
- Actualmente los programas de producción se empiezan a ejecutar en la sección de bobinado, pero se debe tener en cuenta que el tiempo de ciclo del proceso de núcleo es mayor que el tiempo de ciclo del proceso de bobinado; en promedio pueden diferir en 24 horas. Lo anterior es un punto crucial a tener en cuenta si se quiere llegar justo a tiempo en el punto de encuentro entre estos dos procesos.
- En el proceso de bobinado hay varios subprocesos: Bobinado de baja tensión el cual cuenta con varias bobinadoras que trabajan en paralelo, bobinado de alta tensión trabaja en serie con el subproceso de baja tensión y cuenta con varias bobinadoras que trabajan en paralelo, prensado que recibe de bobinado de alta tensión y entrega al proceso de curado que es ejecutado por medio de baches para posteriormente ser desprensada la bobina y quedar lista para entrar al proceso de armado en conjunto con el núcleo.
- En el proceso de núcleo cuenta con varias cortadoras de núcleo las cuales trabajan en paralelo y entregan al proceso de recocido el cual se ejecuta por medio de baches.
- Las bobinas cuentan con una tarjeta que las identifica plenamente y da información de: cliente, número de pedido, especificaciones de la bobina, diseño de fabricación, persona que la elaboró, trazabilidad del material empleado, observaciones relevantes, etc. Estas se mostrarán a continuación ya que son un punto de partida para la creación de la tarjeta Kanban que controlará tanto el proceso de bobinado como el de núcleo.
- Los núcleos están identificados por el código del diseño pero carecen de identificación del número de pedido, trazabilidad del material, entre otras. Esto se muestra a continuación para lo cual se plantearan soluciones que apunten a un mayor control e identificación.

Las tarjetas que se utilizan en la sección de bobinado para identificar las bobinas y registrar la trazabilidad del material conductor son las siguientes tal como se observa en la imagen 3.



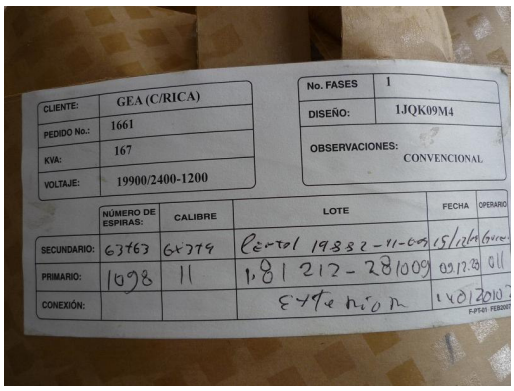
Fuente: PROPIA, 2010.

Imagen 3. Tarjetas de identificación de bobinas en Rymel S.A.

Aquí es importante destacar los tres colores que se evidencian en la imagen #5, el color sirve dentro de la planta para una identificación rápida del tipo de transformador en cuanto a las fases y voltaje secundario; es decir, las tarjetas de color blanco son utilizadas para etiquetar y programar las bobinas de los transformadores monofásicos, las tarjetas amarillas son para etiquetar los transformadores trifásicos cuyo voltaje secundario sea mayor o igual a 220V., y por último las tarjetas verdes son para los transformadores trifásicos con voltaje en baja inferior a 220V., como por ejemplo 214V, 208V.

La tarjeta está compuesta por diferentes campos que dan información de: Cliente, número de pedido, potencia del transformador, voltaje primario y secundario, fases, diseño y observaciones relevantes como el tipo de transformador como por ejemplo convencional, autoprotegido, pedestal malla o radial etc. También se apuntan observaciones como grupo de conexión, requerimientos especiales en cuanto a normas u accesorios, etc. En la parte inferior, apunta información del número de espiras que lleva el secundario y el primario, el calibre del material conductor, el lote del cual se saco el material, la fecha y el código del operario.

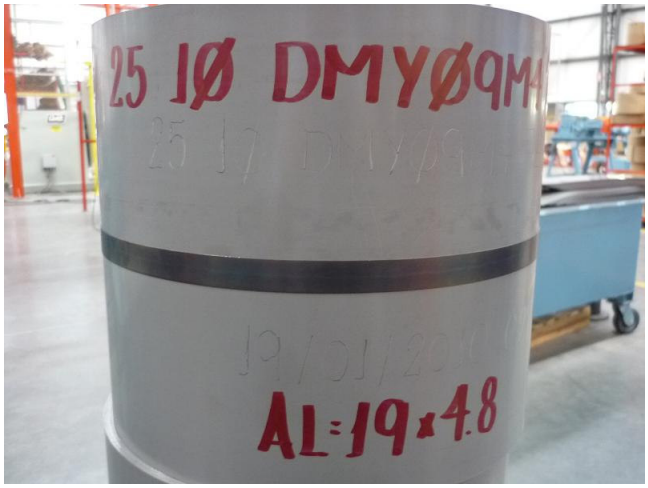
La tarjeta llena después de haberse elaborado la bobina se muestra de la imagen 4.



Fuente: PROPIA, 2010.

Imagen 4. Bobina completamente elaborada y marcada.

En la sección de núcleo debido a que el tratamiento térmico que recibe el mismo antes de ser armado con la bobina es bastante exigente, la marcación se realiza tallando la lámina exterior del núcleo en la que se plasma básicamente el diseño que caracterizará el transformador y la fecha de fabricación tal como se muestra en la imagen 5.



Fuente: PROPIA, 2010.

Imagen 5. Marcación del núcleo.

Es preciso resaltar que el núcleo en su marcación carece del número de pedido, cuyo dato es indispensable para ejercer un adecuado control de piso; sin embargo en la propuesta metodológica se buscará garantizar la plena identificación del producto en proceso.

Para dar por terminado los antecedentes es importante describir la secuencia operacional que se sigue para obtener el transformador de distribución tal como se muestra en el siguiente gráfico 14.

El diagrama de operaciones del transformador de distribución (gráfico 14), nos muestra una visión general de la secuencia operacional que se ejecuta para la fabricación de un transformador.

El proceso inicia en tres centros de trabajo indispensables como lo son la zona de metalmecánica (donde se fabrica el tanque), bobinado y núcleo. Estos dos últimos forman una línea que se puede denominar la línea de la parte activa del transformador.

En el proceso de elaboración del tanque se pueden diferenciar tres momentos: uno es la maquinada de todos los componentes del tanque, seguido esta el proceso de soldadura para finalmente pasar a un proceso de chequeo de hermeticidad y calidad. Finalizado todo el proceso de metalmecánica, el tanque pasa a la zona de pintura donde se le destina un tratamiento químico antes de la aplicación de la pintura en polvo y el curado.

Previamente a la entrega del tanque en la línea de ensamble final, se realiza un control de calidad de la pintura y se disponen todos los emblemas que correspondan al tanque en las ubicaciones adecuadas.

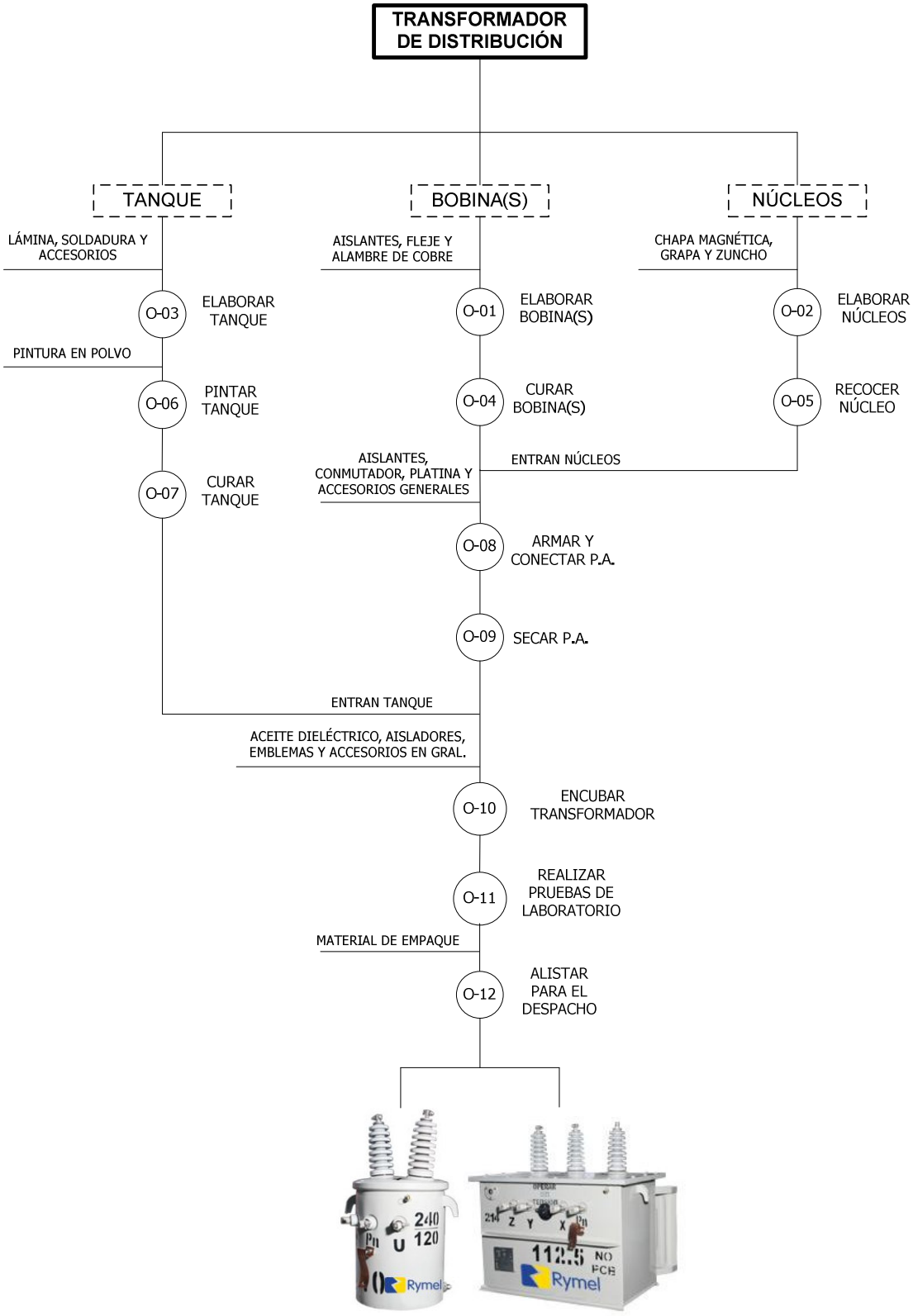
Paralelo al proceso del tanque se encuentra bobinado y núcleo. En bobinado se fabrican las bobinas según el diseño y antes de entrar al proceso de curado estas son prensadas para darle mayor resistencia mecánica a la bobina.

En núcleo se cortan, arman y prensan los núcleos según diseño y posteriormente pasan a un tratamiento térmico con el que se busca reorientar los granos de las láminas de acero al silicio que fueron desorientados con los cortes y dobleces inherentes al proceso. Cuando la bobina y el núcleo están listos, pasan a la línea de armado y conexión donde disponen la parte activa del transformador para poder ser encubada en su respectivo tanque.

La parte activa recibe un secado en horno para garantizar un buen aislamiento y una baja humedad al momento de encubar.

En la línea de ensamble final es donde se encuentra el tanque pintado con la parte activa, allí se encuba la parte activa en su respectivo tanque, se le adiciona el aceite dieléctrico y se ponen todos los accesorios correspondientes. Posterior al encube se le hacen la pruebas de laboratorio para garantizar que el transformador está apto para su vente e instalación.

(Ver gráfico 14 en siguiente página)



Fuente: PROPIA

Gráfico 14. Diagrama de operaciones del transformador de distribución.

5.3. Estructura de la metodología propuesta

Kanban no trabaja en todos los entornos de producción, éste es aplicable a entornos repetitivos de manufactura en donde el material fluye en rutas fijas y tasas constantes. Para estos casos, se ha observado que existe gran variedad de metodologías tal como se vio en el capítulo 3, que funcionan bajo el mismo esquema en el cual es aplicable el Kanban. Para el caso aplicativo de esta tesis, se desarrollará una metodología que comparte la misma filosofía del Kanban pero es ajustada al entorno de producción que se vive en la empresa de estudio: Rymel S.A., empresa dedicada a la fabricación de transformadores de distribución en cuyo entorno de producción se fabrican muchas referencias de transformadores, la materia prima fluye entre los proceso por rutas fijas y debido a las diferentes referencias que se procesan los tiempos de las operaciones son variables.

La zona piloto para iniciar la implementación de la metodología es el punto crítico ó de encuentro entre bobina(s) + Núcleos. Este es uno de los puntos de mayor importancia debido al alto volumen de producto en proceso que usualmente se acumula al finalizar tanto el proceso de bobinas como el de núcleo; es por tal motivo que al ser un punto crítico para el control de producto en proceso, se convierte en principal candidato para poner a prueba la metodología y filosofía del Kanban, esto con el objeto de obtener resultados que puedan ser replicables a los demás puntos de estricto control de producto en procesos dentro de la planta de producción, tal como lo expone BALLESTEROS 2008 en la fase 3 de la metodología descrita en el capítulo 3 de esta tesis.

5.3.1. Objetivos de la metodología propuesta.

La propuesta metodológica se centrará en los dos procesos descritos anteriormente como los son el proceso de bobinado y el proceso de núcleo, en donde espera establecer por medio de la filosofía Kanban una mejor coordinación y control sobre estos dos procesos, con lo que se busca alcanzar los siguientes objetivos.

- ✓ Minimizar el producto en proceso
- ✓ Mejorar la comunicación entre procesos
- ✓ Obtener mejor control sobre los inventarios
- ✓ Prevenir la sobreproducción
- ✓ Incentivar en el personal el mantenimiento de los procedimientos estandarizados
- ✓ Hacer visible el control de flujo de material
- ✓ Establecer prioridades de reabastecimiento
- ✓ Establecer una programación que muestre el estado de la producción
- ✓ Mostrar los puntos de almacenaje temporal y entrega los cuales facilitan la identificación del producto.
- ✓ Mostrar limitaciones que puedan ser direccionadas por kaizen.

5.3.2. Reglas de la metodología propuesta.

Las siguientes son las 6 reglas naturales del Kanban y se deben seguir para el buen funcionamiento de la metodología tal como lo describe DE SETA, 2008 en el capítulo 3, entre otros autores.

(I) No se debe mandar producto defectuoso ni cantidades incorrectas a los procesos subsecuentes.
(II) Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario.
(III) Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente.
(IV) Balancear la producción.
(V) Kanban es un medio para evitar especulaciones.
(VI) Estabilizar y racionalizar el proceso.

5.3.3. Desarrollo metodológico.

El desarrollo metodológico se describirá por medio de etapas que conllevan una secuencia lógica de operación.

Etapa 0: Tanto la persona que elabora el plan maestro, como supervisores y operarios deben estar al tanto de la metodología que se desea implementar, además se deben destacar los aspectos relevantes o requisitos que fueron mencionados en el numeral de diagnostico de operación como el pleno entendimiento de los cambios de procedimiento que se deben ejecutar, de los objetivos que se desean alcanzar y los beneficios que se pueden adquirir no solo para la empresa sino también para el personal. Por tanto esta es una etapa informativa sobre el cambio de estructura operacional que se pretende desarrollar y su objetivo es cautivar, incentivar e involucrar a todas las personas que harán parte del proyecto.

Etapa 1: El objetivo de esta etapa es superar los requisitos básicos que mejoran las garantías del buen desarrollo productivo de los programas de producción. Inicialmente es importante obtener y mantener la buena organización de la planta mediante el desarrollo de un programa de 5's con el que se busca eliminar del área de trabajo todo lo que sea inútil, organizar el área de trabajo de forma eficaz, mejorar el nivel de limpieza, prevenir mediante la estandarización de lo hecho anteriormente la aparición de la suciedad y el desorden, y por último fomentar los esfuerzos en tal sentido que tales acciones se vuelvan una disciplina. Posteriormente se hace necesario fomentar el desarrollo de un trabajo estandarizado, mediante la buena capacitación del personal, el apoyo permanente en los procesos, ubicación de manuales de procedimiento en el área de trabajo y continua evaluación y desempeño de las labores realizadas. También será relevante la

estructuración e implementación de un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) con el objeto de mantener los equipos y máquinas en condiciones adecuadas de operación, fomentando también el desarrollo de operarios autónomos en el manejo de los equipos. Reunidas ya las anteriores medidas, es indispensable realizar un balance en las líneas ya que esto influirá enormemente en la buena planeación y ejecución de los programas de producción. Esta es una etapa de arduo trabajo con la que se busca obtener las condiciones ideales para le ejecución de cualquier programa de producción con el que se busque incrementar el throughput (velocidad con la que el sistema genera dinero a través de la ventas) y disminuir el WIP (trabajo en proceso).

Etapa 2: En esta etapa se describe la secuencia operativa mediante la cual se busca en primera instancia disminuir considerablemente el trabajo en proceso y demás factores que impiden la correcta fluidez de la producción en el punto crítico o de encuentro entre núcleo y bobina(s).

I. El director de producción generará programas a ejecutar de acuerdo con las fechas de entrega y tiempos de operación, garantizando que las referencias programadas cuentan o contarán con la totalidad de su material para la fabricación.
II. Dado que se cuenta con líneas balanceadas, el plan maestro de producción debe ser dividido en programaciones diarias según la capacidad de producción del cuello de botella entre el proceso de núcleo y bobinas. Cada programación diaria debe ser subdividida en pequeños lotes los cuales serán identificados mediante una tarjeta de Kanban triangular que tiene información acerca de las referencias, diseños, cantidades, números de pedido, secuencia o codificación y fecha de ejecución de las referencias que conforman el lote. Dado que la parte activa de un transformador de distribución esta conformada por núcleo mas bobina, las tarjetas de Kanban triangular deben ser generadas tanto para el centro de trabajo núcleos como para el de bobinas; y en consecuencia en el punto de encuentro entre núcleo y bobinas la unión de dos lotes que comparten el mismo código y uno proviene del centro de trabajo (CT) núcleo y el otro del CT bobinado debe ser el insumo que llegará al proceso posterior denominado proceso de ensamble (armado & conexión).
III. Los pequeños lotes en los que será subdividida la programación de un día en el CT, pueden tener un tamaño variable en cuanto a la cantidad de ítems que lo componen pero cada lote no debe superar el 25% de la capacidad de producción día del CT que marca el ritmo de producción; esto es con el objeto de tener mayor control sobre la prioridades y los cargues de los hornos que se realizarán al finalizar el día en ambos CT, tanto en núcleo como en bobinado. Además, el programador de los lotes deberá conformar los mismos teniendo en cuenta que se debe minimizar el número de montajes por cambio de referencias, que no comparten las mismas o algunas de las características como por ejemplo: tamaños de fleje, calibres de alambre, dimensiones de molde, dimensiones y especificaciones del material aislante, entre otras.
IV. Entre el centro de trabajo de núcleo y bobinas se debe ubicar un tablero Kanban en el cual se encuentran descritos todos los días de las semana laboral, cada día debe contar con 3 bolsillos correspondientes a núcleo y tres correspondientes a bobinado. En dichos bolsillos se ubicarán las tarjetas de Kanban triangular de la siguiente forma: el primer

bolsillo se ubican las tarjetas que fueron programadas para ese día en el centro de trabajo correspondiente, el segundo bolsillo debe contener las tarjetas que se están procesando en determinado momento del día y el tercer bolsillo contendrá las tarjetas o lotes que ya fueron procesados.

V. En caso de que no se halla evacuado la totalidad de un lote, la tarjeta debe permanecer en el bolcillo de trabajo en proceso y esta debe ser marcada al finalizar el turno en el campo de observaciones de la tarjeta de Kanban triangular; identificando el último ítem procesado con el objeto de informar al proceso paralelo el estado de los lotes que se encuentran en el bolsillo de trabajo en proceso. En caso de que un ítem supere el 25% de la capacidad de producción día en un CT, este debe ser programado en una sola tarjeta y en el campo de observaciones se debe definir el tiempo que compromete la entrega con el objeto de coordinar el punto de encuentro entre los dos procesos que entregan al proceso siguiente llamado armado y conexión.

VI. Para el proceso de núcleo se deben programar las tarjetas o lotes que se programen en bobinado pero con un día de antelación. (el lapso de un día es la diferencia promedio que se maneja entre el tiempo de ciclo del proceso de bobinas y núcleo, pero tal tiempo podrá ser afinado en el balanceo de líneas y será quien determine el espacio de tiempo con el que distará lo programado en el CT de bobinado con respecto al CT de núcleo.)

VII. Al finalizar un día de trabajo en el CT de núcleo las tarjetas que se encuentren en el bolsillo #3 serán las que determinan la carga para el proceso de recocido de núcleo, además se puede auditar el desempeño del CT analizando las tarjetas que no fueron evacuadas en el día para el cual fueron programadas y también se deberán hacer los ajustes pertinentes en el programa que se ejecutara el día siguiente en el CT de bobinado. Se debe tener muy presente que se busca una estrecha coordinación con los lotes que salen del CT núcleo como el de bobinado.

VIII. En el proceso de bobinado se debe tener un buen balance entre el bobinado de baja tensión y el de alta tensión, en consecuencia se debe garantizar que cuando un operario de BT inicia un pequeño lote, este debe de estar coordinado con el bobinador de AT para garantizar al finalizar el día, no habrán faltantes ni sobrantes.

Etapa 3: Esta consiste, en establecer controles que garanticen el buen funcionamiento del sistema; como también de promover el mismo en las diferentes áreas de la planta en el momento de que la zona piloto haya adquirido la madurez suficiente y presentado los resultados esperados.

5.3.4. Diseño propuesto de la tarjeta Kanban triangular y tablero.

En el medio existe gran cantidad de herramientas que optimizan la función de identificación, control y manejo de la información de las materias primas, producto en proceso, producto terminado entre otros, tal como se resaltó en el capítulo 4 de esta tesis. Pero se debe tener presente que en el proceso de fabricación de transformadores existen varias etapas de horneo

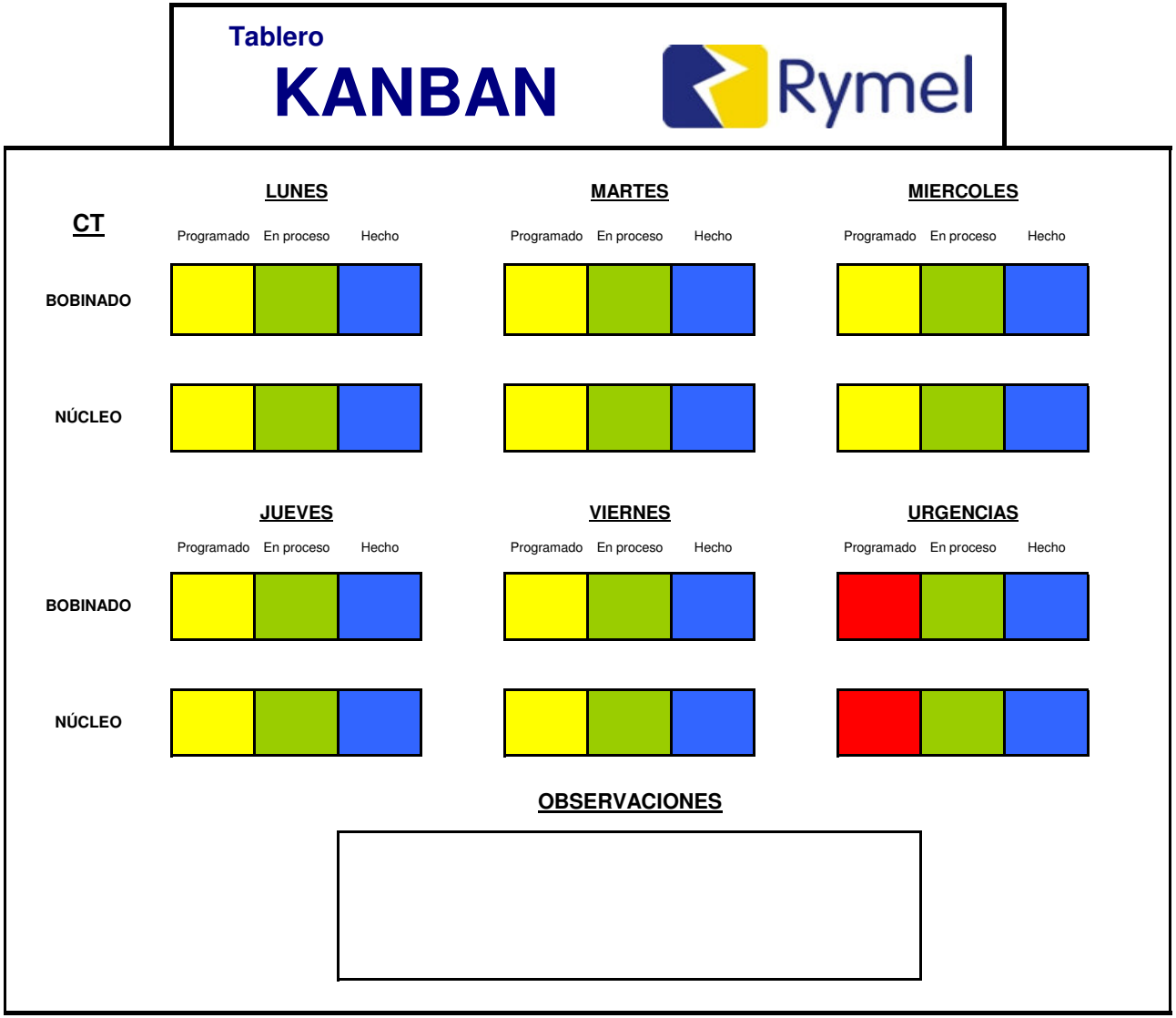
que oscilan regularmente entre los 120 y 800 ºC dependiendo del proceso, por tal motivo gran cantidad de herramientas se quedan cortas para dar solución o por lo contrario se pueden implementar pero encarecen el proceso de forma tal que no se percibe un retorno superior a la inversión de la herramienta. Con esto no se pretende descartar en su totalidad la implementación de una herramienta de apoyo para tal caso, pero si se recomienda el uso de una tarjeta física tal como se muestra en el gráfico 15 con la que se pueden satisfacer las necesidades de lotificar y priorizar los pedidos que se lanzan a producción, flexibilizando la posibilidad de ejercer cambios sobre la misma tarjeta; siendo esta situación muy común en la fase de implementación y adaptación de una metodología de trabajo. Además en el gráfico 16 se presenta el Kanban Board (Tablero Kanban) por medio del cual se transarán las tarjetas Kanban y se indicará el estado del programa de producción en tiempo real para cualquier directivo, supervisor u operario que lo observe.

KANBAN TRIANGULAR Rymel

CENTRO DE TRABAJO:				
CÓDIGO LOTE				
ITEM	# PEDIDO	REFERENCIA	DISEÑO	CANTIDAD
			TOTAL	
OBSERVACIONES:				

Fuente: PROPIA

Gráfico 15. Tarjeta propuesta de Kanban Triangular.



Fuente: PROPIA

Gráfico 16. Tablero Kanban propuesto.

5.4. Fases para la implementación de la metodología propuesta

Fase 1: Entrenar a todo el personal en los principios de Kanban y los beneficios de usarlo.

Fase 2: Implementar Kanban en los componentes con más problemas para facilitar su manufactura y para resaltar los problemas escondidos. El entrenamiento con el personal continúa en la línea de producción.

Fase 3: Implementar Kanban en el resto de los componentes, esto no debe ser problema ya que para ello los operadores ya han visto las ventajas de Kanban, además se deben tomar en cuenta todas las opiniones de los operadores ya que ellos son los que mejor conocen el sistema. Es importante informarles cuando se va a estar trabajando en su área.

Fase 4: Esta fase consiste en la revisión del sistema Kanban, los puntos de reorden y los niveles de reorden; es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para el funcionamiento correcto de este sistema:

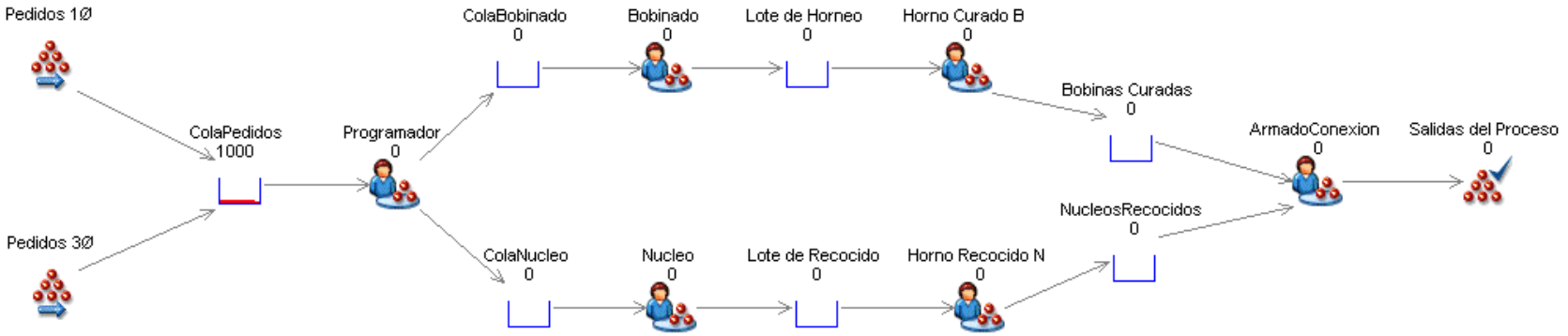
a) Ningún trabajo debe ser hecho fuera de secuencia.
b) Si se encuentra algún problema notificar al supervisor inmediatamente.

5.5. Simulación de la metodología propuesta.

Con el objeto de validar los alcances de la metodología propuesta, se desarrollaron dos modelos de simulación mediante el software SIMUL8; en donde en el modelo #1 se muestra la forma como operan actualmente las líneas de bobinado, núcleo y punto de encuentro entre ambas para entregar posteriormente a la línea de ensamble de armado y conexión. El modelo #2 muestra la misma configuración actual pero con la implementación de la metodología Kanban propuesta para poder posteriormente evaluar las salidas del modelo #1 (Actual) vs modelo #2 (Actual + Kanban) y valorar el desempeño de la metodología. Aquí es preciso aclarar lo siguiente, en el modelo #2 no se modifica ningún parámetro de tasa de producción como tampoco se efectúan cambios sobre las capacidades de producción de los centros de trabajo, es decir, el cambio contenido en el modelo #2 respecto al modelo #1 solo obedece a la metodología de Kanban propuesta, la cual solo incide en la forma como se programa la producción y en las políticas de control de trabajo en proceso; además, las tasas de producción empleadas son supuestas con el ánimo de preservar la privacidad de la compañía caso de estudio.

5.5.1. Modelo de simulación #1

El modelo de simulación #1 representa las condiciones actuales de trabajo tal como se muestra en el gráfico 17.



Fuente: PROPIA 2010. Mediante Simul8.

Gráfico 17. Modelo de simulación #1.

A continuación se describe la forma como se configuró cada uno de los componentes del modelo.

GENERALIDADES

El modelo corre 5 días a la semana, 24 horas por día y la unidad de tiempo de simulación es minutos.

LAS ENTRADAS

Las entradas están compuestas por dos grandes familias de pedidos, los pedidos de transformadores monofásicos (Pedidos 1Ø) y los pedidos de transformadores trifásicos (Pedidos 3Ø).

Se define una distribución de probabilidad triangular para las llegadas de pedidos en donde los monofásicos que representan en promedio el 80% del total de pedidos de la empresa manejan un mínimo de unidades pedidas por mes de 650, un máximo de 850 y una moda de 800 unidades/mes. Para los trifásicos se maneja un mínimo de 100 unidades/mes, un máximo de 250 y una moda de 200 unidades/mes.

A los ítems entrantes en cada una de las dos entradas se les asigna una identidad por medio de dos etiquetas a través del "Label Actions", la primera le asigna información sobre el tipo de transformador a través de la etiqueta Tipo, es decir, en Pedidos 1Ø la etiqueta Tipo le asigna un valor entre 1 y 24 por medio de una distribución de probabilidad uniforme y en Pedidos 3Ø la etiqueta Tipo de asigna un valor entre 25 y 30. De esta forma se tienen 30 tipos de transformadores en proceso siendo el tipo una identidad valiosa para la identificación de juegos en la línea de ensamble. La segunda etiqueta descrita como Prioridad le asigna información acerca de la prioridad del pedido, dándole al ítem un valor entre 8 y 60 días por medio de una distribución de probabilidad uniforme, siendo este valor de prioridad información importante a la hora de programar.

COLA DE PEDIDOS

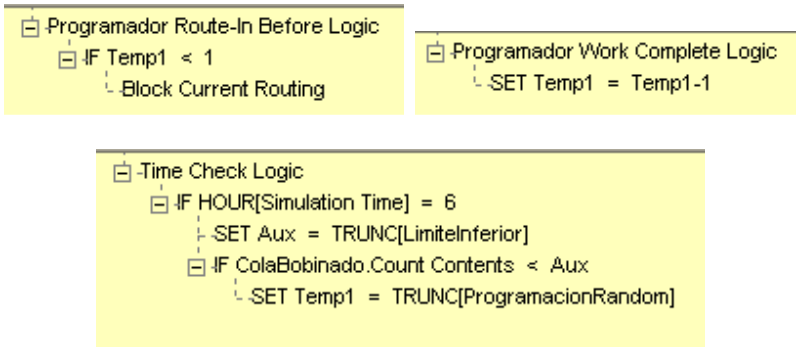
La cola de pedidos prioriza las llegadas de pedidos por medio de la etiqueta prioridad, buscando permanentemente que la cola organice los pedidos de mayor prioridad a menor prioridad.

PROGRAMADOR

El programador programa en cualquier momento teniendo en cuenta dos distribuciones. La primera es Límite inferior configurada como una Rounded Uniform entre 20 y 150 unidades y es utilizada para identificar el momento en el que la cola de trabajo de bobinas está por debajo del valor de la variable AUX, cuya variable toma su valor de la distribución ya mencionada y este es actualizado todo los días. En consecuencia, lo anterior es utilizado para definir el momento en el que se debe programar, y en tal instante se utiliza la segunda distribución llamada programación random, la cual es configurada como una distribución de probabilidad triangular con límite inferior

en 50, superior en 300 y moda en 200 unidades. La cantidad a programar es leída por la variable Temp1 en el momento en que se habilita la programación.

En resumen, el programador programa en cualquier momento en que la cola de órdenes de bobinado se encuentre en un valor entre 20 y 150 unidades, en tal instante se programa un valor entre 50 y 300 unidades con una moda de programación de 200 unidades. El código con el que se define tal comportamiento se muestra en la imagen 6.



Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.
Imagen 6. Código programador Modelo #1.

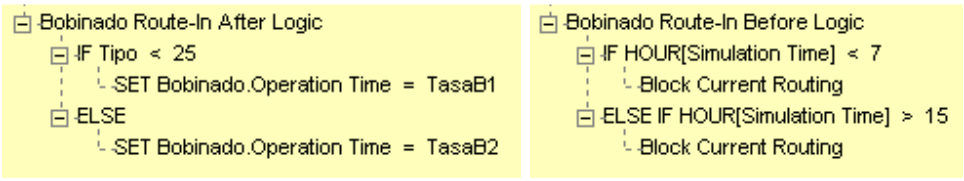
COLA DE BOBINADO

Las llegadas son organizadas por medio de la etiqueta prioridad y su capacidad en cola es infinita.

BOBINADO

Este centro de trabajo labora todos los días de simulación de 7am a 4pm y esta instrucción se ejecuta en el "Before Selecting" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In". Además el tiempo de operación depende de la familia a la cual pertenece el ítem, es decir, a los transformadores monofásicos que corresponden a los tipos 1-24 se les asigna un tiempo de operación en bobinado de acuerdo a la distribución TasaB1, la cual esta configurada como una distribución de probabilidad triangular con un máximo de 70 unidades/día, un mínimo de 45 y una moda de 60 unidades/día. Para los transformadores trifásicos que corresponden a los tipos 25-30 se les asigna un tiempo de operación en bobinado de acuerdo a la distribución TasaB2, la cual está configurada como una distribución de probabilidad triangular con un máximo de 25 unidades/día, un mínimo de 15 y una moda de 22 unidades/día.

Note que estas tasas de producción son globales para el centro de trabajo debido a que en el centro de trabajo de bobinado trabajan varias bobinadoras en paralelo y por tal motivo el tiempo de operación corresponde a una tasa operacional del centro de trabajo por familia de transformadores. Tal instrucción es ejecutada en el "After Loading Work" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In". Los códigos se describen en imagen 7.



Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.

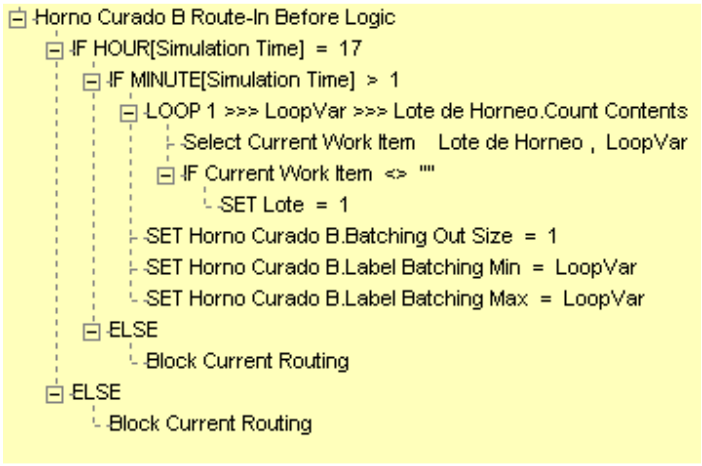
Imagen 7. Código Bobinado Modelo #1.

LOTE DE HORNEO

Esta cola no tienen ninguna característica especial y su capacidad es infinita.

HORNO CURADO BOBINAS

Este horno tiene un tiempo fijo de procesamiento por lote de 420 minutos, la carga la ingresa al finalizar la jornada laboral del centro de trabajo de bobinado y el tamaño del lote es variable y depende de las unidades que se encuentre en cola para el horneo. Esta instrucción se ejecuta en el "Before Selecting" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In" tal como se muestra en imagen 8.



Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.

Imagen 8. Código Horno curado de bobinas Modelo #1.

BOBINAS CURADAS

Esta cola no tienen ninguna característica especial y su capacidad es infinita.

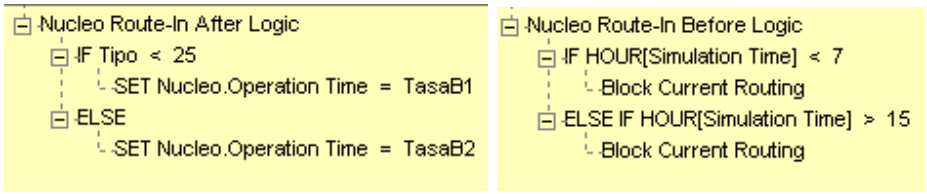
COLA DE NÚCLEO

Las llegadas son organizadas por medio de la etiqueta Tipo con el objeto de minimizar montajes y tiempos de alistamiento, su capacidad en cola es infinita.

NÚCLEO

Este centro de trabajo labora todos los días de simulación de 7am a 4pm y esta instrucción se ejecuta en el "Before Selecting" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In". Además el tiempo de operación depende de la familia a la cual pertenece el ítem, es decir, a los transformadores monofásicos que corresponden a los tipos 1-24 se les asigna un tiempo de operación en núcleo de acuerdo a la distribución TasaB1, la cual esta configurada como una distribución de probabilidad triangular con un máximo de 70 unidades/día, un mínimo de 45 y una moda de 60 unidades/día. Para los transformadores trifásicos que corresponden a los tipos 25-30 se les asigna un tiempo de operación en núcleo de acuerdo a la distribución TasaB2, la cual está configurada como una distribución de probabilidad triangular con un máximo de 25 unidades/día, un mínimo de 15 y una moda de 22 unidades/día.

Note que estas tasas son las mismas que se presentan en el centro de trabajo de bobinado, esto es debido a que entre los dos centros de trabajo el cuello de botella o el que marca la pauta de operación es bobinado, entonces por tal motivo la tasa operacional de núcleo no puede superar la de bobinado así este tenga mayor capacidad, ya que nos estaríamos enfrentando a un problema de balanceo de líneas. Tal instrucción es ejecutada en el "After Loading Work" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In". Los códigos se describen en imagen 9.



Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.

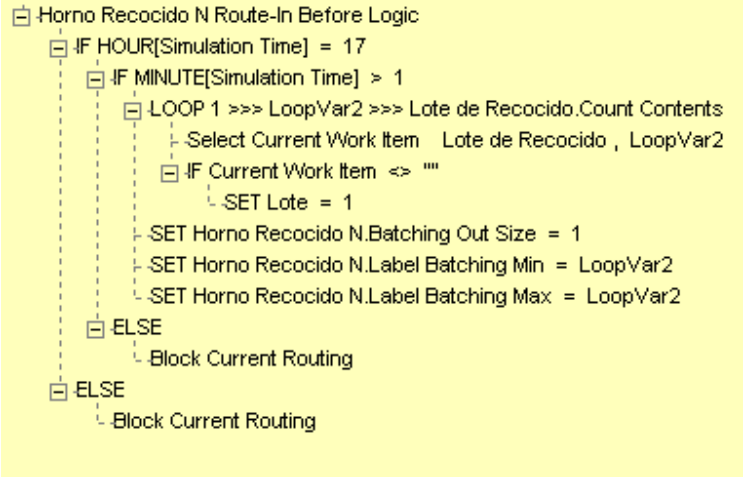
Imagen 9. Código del CT núcleo Modelo #1.

LOTE DE RECOCIDO

Esta cola no tienen ninguna característica especial y su capacidad es infinita.

HORNO RECOCIDO NÚCLEO

Este horno tiene un tiempo fijo de procesamiento por lote de 1380 minutos, la carga la ingresa al finalizar la jornada laboral del centro de trabajo de núcleo y el tamaño del lote es variable y depende de las unidades que se encuentre en cola para el recocido. Esta instrucción se ejecuta en el "Before Selecting" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In" tal como se muestra en imagen 10.



Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.

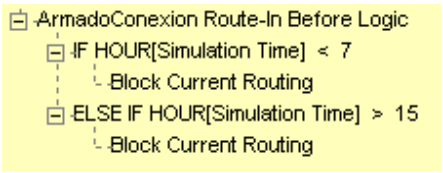
Imagen 10. Código Horno de recocido de núcleos Modelo #1.

NÚCLEOS RECOCIDOS

Esta cola no tienen ninguna característica especial y su capacidad es infinita.

ARMADO Y CONEXIÓN

Este centro de trabajo labora todos los días de simulación de 7am a 4pm y esta instrucción se ejecuta en el "Before Selecting" del "Visual Logic" y hace parte del "Routing In" tal como se muestra en la imagen 11. Además este centro de trabajo tiene un tiempo de procesamiento que se comporta de acuerdo a una distribución de probabilidad triangular, la cual maneja unas tasas de producción de la siguiente forma: el máximo es de 55 unidades/día, el mínimo es de 35 y la moda es de 50 unidades/día. El método de selección del ensamble se describe en el "Routing In". Allí se indica que se debe tomar un juego de la cola de núcleos recocidos y un juego de la cola de bobinas curadas, donde la característica que se bebe respetar para hacer tal selección es la etiqueta tipo, en la cual ambos juegos deben contener el mismo número, es decir, se busca el juego de núcleos que hace pareja con el juego de bobinas.

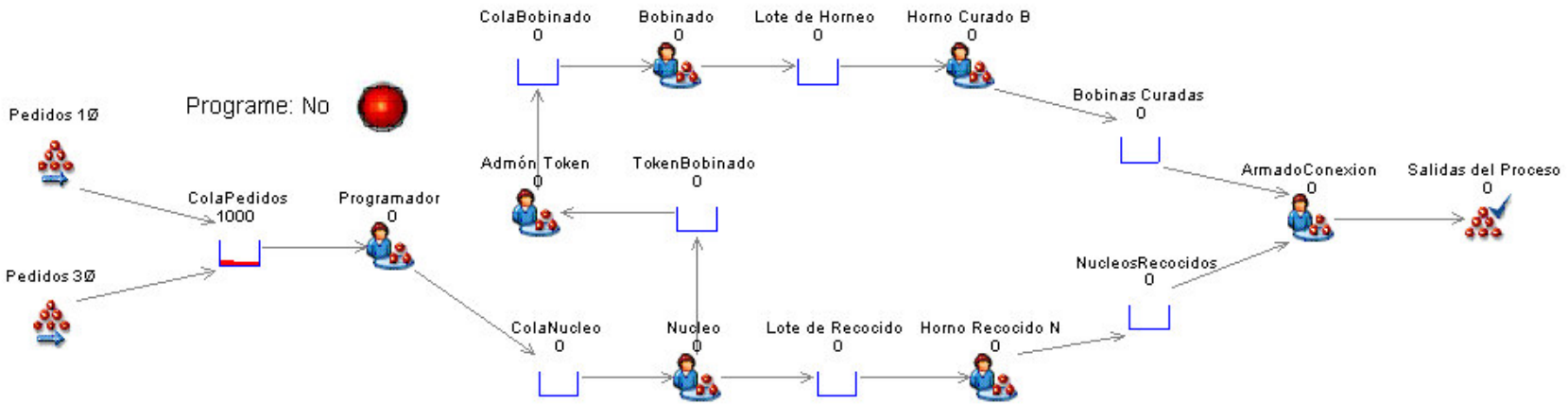


Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.

Imagen 11. Código CT Armado y Conexión Modelo #1.

5.5.2. Modelo de simulación #2

El modelo de simulación #2 representa las condiciones actuales de trabajo con la implementación de la metodología Kanban propuesta tal como se muestra en el gráfico 18.



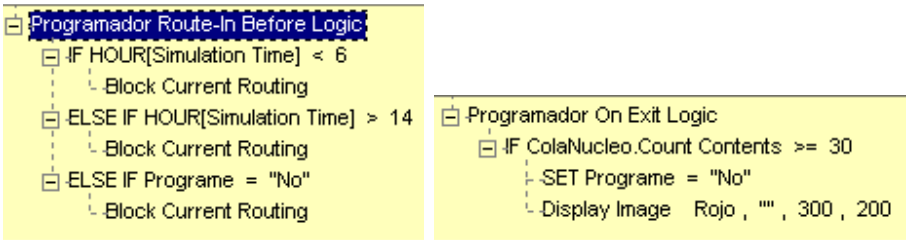
Fuente: PROPIA 2010. Mediante Simul8.

Gráfico 18. Modelo de simulación #2.

A continuación se describen cada uno de los componentes que difieren en su configuración al modelo #1.

PROGRAMADOR

El programador trabajará todos los días de 6am a 3pm y programará con tamaños de lote de 15 unidades con un tiempo fijo de 10 minutos. La programación será ejecutada siempre y cuando la cola de núcleo tenga menos de 30 unidades programadas y la revisión de tal cantidad se realizará cada 30 minutos. A diferencia del modelo #1, el programador en el modelo #2 programa todos los días con tamaño de lote inferior, con el objeto de controlar mucho mejor las prioridades de los ítems a procesar, además, el programador solo lanza el programa a núcleo y el programa de bobinados dependerá de los núcleos que se vayan a cargar en el horno de recocido tal como se describe en la metodología propuesta. El código se describe a continuación en imagen 12.



Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.

Imagen 12. Código Programador Modelo #2.

NÚCLEO

La única modificación que se realiza en el centro de trabajo de núcleo es en el "Routing Out", en el que se establece que por cada unidad que se procesa, realice un "Batching" fijo de 2 unidades, es decir, reproduce la unidad procesada en 2 con las misma información de tipo y prioridad, para entregarle la unidad procesada a la cola del horno de recocido y utilizar la otra unidad como un "Token" o tarjeta que contiene la información de cada una de las unidades que están listas para cargar en el horno de recocido y que deben ser programadas en el día siguiente en el centro de trabajo de bobinado.

TOKEN BOBINADO

Es una cola que no tiene ninguna característica especial y su función es recolectar toda la información de los núcleos que serán cargados en el horno de recocido en el día "X", para que estos mismos tipos de bobinas sean programadas en el día "X+1".

ADMÓN TOKEN

Este es el centro de trabajo encargado de recolectar toda la información de los ítems que se cargaron en el horno de recocido, conservando toda la información del ítem en cuando a tipo y prioridad; con el objeto de programarlos al siguiente día en el centro de trabajo de bobinados. Este centro de trabajo procesa tal lote en un tiempo fijo de 180 minutos y posteriormente lo entrega a la cola de bobinado para que al iniciarse la jornada laboral en el siguiente día, el centro

de trabajo de bobinado ejecute tal programa. El código contenido en este centro de trabajo es el siguiente tal como se muestra en imagen 13.

```
Admón Token Route-In Before Logic
  IF HOUR[Simulation Time] = 17
    IF MINUTE[Simulation Time] > 1
      LOOP 1 >>> LoopVar2 >>> TokenBobinado.Count Contents
        Select Current Work Item  TokenBobinado , LoopVar2
        SET Lote = 1
      SET Admón Token.Batching Out Size = 1
      SET Admón Token.Label Batching Min = LoopVar2+1
      SET Admón Token.Label Batching Max = LoopVar2+1
    ELSE
      Block Current Routing
  ELSE
    Block Current Routing
```

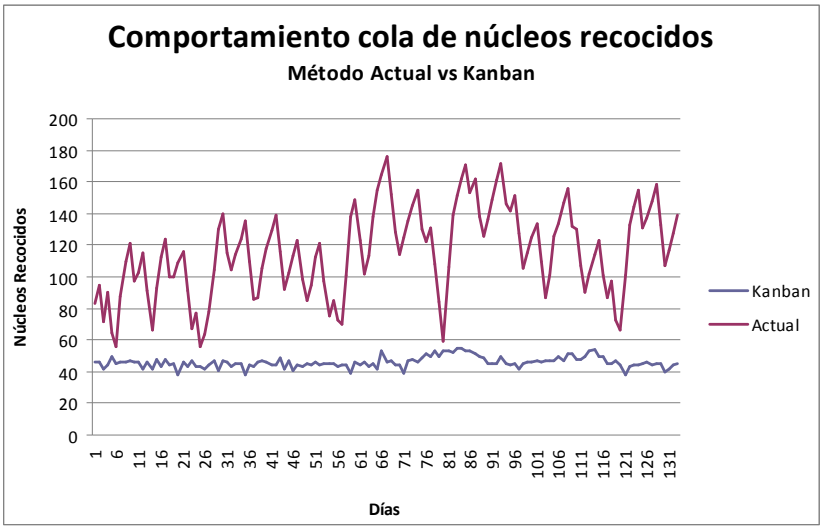
Fuente: PROPIA, 2010. Mediante Simul8.
Imagen 13. Código Admón Token Modelo #2.

Todos los demás componentes permanecen igual y todas las colas organizan mediante la regla FIFO a excepción de la cola de pedidos que organiza teniendo en cuenta la prioridad del pedido.

5.5.3. Análisis de resultados del modelo #1 vs modelo #2.

Se corren ambos modelos por 6 meses laborales, es decir, 22 días/mes y 24 horas/día. (190080 min.), haciendo 5 Triales e iniciando la semilla del número aleatorio en 1. Los resultados se presentan a continuación:

I. Comportamiento de la cola de núcleos recocidos y bobinas curadas. Colas previas a la línea de ensamble (Armado).



Fuente: PROPIA 2010.
Gráfico 19. Comportamiento cola de núcleos recocidos.

En este gráfico 19, se puede observar que la cola de núcleos recocidos con la metodología Kanban propuesta permanece en un nivel de inventario inferior al del método actual, además las variaciones del día a día son inferiores a las del actual. Aquí es preciso aclarar que la toma de datos se realiza al finalizar cada día y es por tal motivo que se debe mantener en cola por lo menos la cantidad necesaria para un día de trabajo en la línea de Armado.

A continuación, se presentan las pruebas de bondad de ajuste realizadas mediante el STATGRAPHICS para ambas series, con lo que se busca indagar sobre la distribución de probabilidad que explica la procedencia de los datos.

Para la cola de núcleos recocidos con el método actual:

Resumen del Análisis

Datos: ColaNucleos_A

133 valores comprendidos desde 56.0 hasta 176.0

Distribución normal ajustada:
media = 115.556
desviación típica = 27.6324
Tests de Bondad de Ajuste para ColaNucleos_A

Contraste Chi-cuadrado

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-cuadrado
menor o igual	81.827	15	14.78	0.00
81.827	94.4255	15	14.78	0.00
94.4255	103.654	16	14.78	0.10
103.654	111.696	12	14.78	0.52
111.696	119.417	14	14.78	0.04
119.417	127.458	14	14.78	0.04
127.458	136.687	15	14.78	0.00
136.687	149.286	16	14.78	0.10
mayor	149.286	16	14.78	0.10

Chi-cuadrado = 0.917397 con 6 g.l. P-Valor = 0.988551

Estadístico DMAS de Kolmogorov = 0.0284563
Estadístico DMENOS de Kolmogorov = 0.0422734
Estadístico DN global de Kolmogorov = 0.0422734
P-Valor aproximado = 0.97137

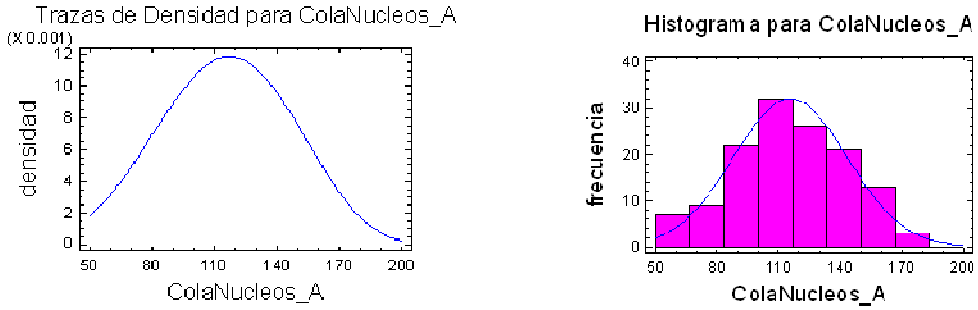
Estadístico EDF	Valor	Forma Modificada	P-Valor
Kolmogorov-Smirnov D	0.0422734	0.490214	>=0.10*
Anderson-Darling A^2	0.246787	0.24821	0.7505*

*Indica que el p-valor se ha comparado con las tablas de valores críticos especialmente construido para el ajuste de la distribución actualmente seleccionada. Otros p-valores están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores.

El tests de bondad de ajuste para ColaNucleos_A, muestra los resultados de los tests ejecutados para determinar si ColaNucleos_A puede ser modelado adecuadamente por distribución normal. El test chi-cuadrado divide el rango de ColaNucleos_A en intervalos no solapados y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado basado en la distribución ajustada. El tests de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de ColaNucleos_A y el CDF de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0.0422734. Los otros estadísticos EDF comparan de diferentes maneras la función de distribución empírica con el CDF ajustado.

Dado que p-valor más pequeño de los tests realizados es superior o igual a 0.10, no podemos rechazar que ColaNucleos_A proceda de una distribución normal con un nivel de confianza de al menos un 90%.

En el siguiente gráfico 20, se puede observar el ajuste de la distribución normal a los datos que se generan en la cola de núcleos recocidos del método actual. Además se puede observar que en promedio permanecen 115 juegos de núcleos en cola, cantidad que es considerable por sus costos de inventario.



Fuente: PROPIA mediante Statgraphics

Gráfico 20. Histograma de frecuencia y distribución ajustada a cola de núcleos actual.

Límites de Tolerancia Libre Distribución para ColaNucleos_A
Resumen de los datos
Recuento = 133
Máximo = 176.0
Mediana = 115.0
Mínimo = 56.0
95.0% intervalo de tolerancia para 96.4827% de la población

Superior: 176.0
Inferior: 56.0
(Basado en una anchura de intervalo = 1)

Sin asumir que el ColaNucleos_A proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia que podemos situar 95.0% confianza que 96.4827% de la distribución se encuentra entre **56.0 y 176.0.**

Para la cola de núcleos recocidos con la metodología Kanban propuesta:

Para los datos de cola de núcleos recocidos con la metodología Kanban, no fue posible ajustar con éxitos una distribución de probabilidad, pero a continuación se presentan los límites de tolerancia con lo que se puede observar que tal cola presenta unos niveles de inventario más bajos que con el método actual.

Límites de Tolerancia Libre Distribución para ColaNucleos_K

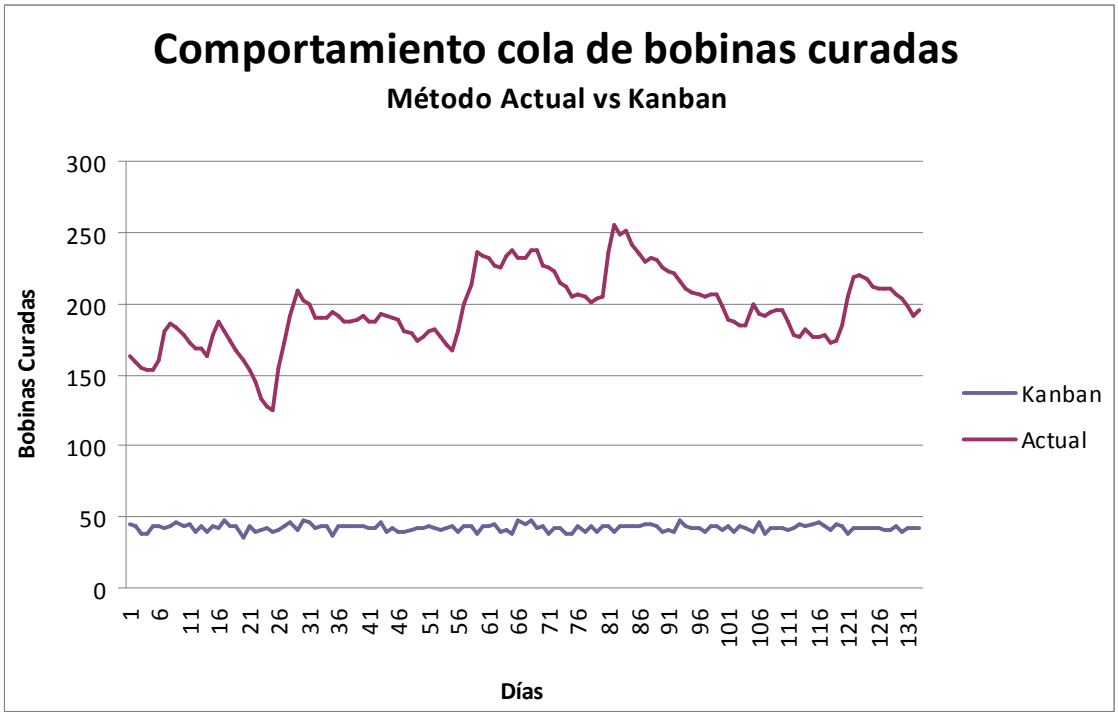
Resumen de los datos
Recuento = 133
Máximo = 55.0
Mediana = 45.0
Mínimo = 38.0

95.0% intervalo de tolerancia para 96.4827% de la población
Superior: 55.0
Inferior: 38.0
(Basado en una anchura de intervalo = 1)

Sin asumir que el ColaNucleos_K proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia que podemos situar 95.0% confianza que 96.4827% de la distribución se encuentra entre **38.0 y 55.0.**

Aquí podemos observar que mientras la cola de núcleos recocidos con el método actual y con un 95% de confianza para el 96% de los datos se encuentra entre 56 y 176 juegos de núcleos; con la metodología Kanban propuesta se encuentra entre 38 y 55 juegos de núcleos recocidos.

Vale la pena resaltar que desde este punto se puede empezar a observar que con la metodología Kanban los niveles de inventario de producto en procesos se encuentran en niveles más bajos.



Fuente: PROPIA 2010.

Gráfico 21. Comportamiento cola de bobinas curadas.

En este gráfico 21, se puede observar que la cola de bobinas curadas con la metodología Kanban propuesta permanece en un nivel de inventario inferior al del método actual, además las variaciones del día a día son inferiores a las del actual y se evidencia la efectividad de las políticas para el manejo de producto en proceso que aporta la metodología propuesta. Aquí es preciso aclarar que la toma de datos se realiza al finalizar cada día y es por tal motivo que se debe mantener en cola por lo menos la cantidad necesaria para un día de trabajo en la línea de Armado.

A continuación se presentan las pruebas de bondad de ajuste realizadas mediante el STATGRAPHICS para ambas series, con lo que se busca indagar sobre la distribución de probabilidad que explica la procedencia de los datos.

Para la cola de bobinas curadas con el método actual:

Resumen del Análisis

Datos: ColaBobinas_A

133 valores comprendidos desde 125.0 hasta 255.0

Distribución normal ajustada:
media = 195.602
desviación típica = 25.8527

Tests de Bondad de Ajuste para ColaBobinas_A

Contraste Chi-cuadrado

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-cuadrado
menor o igual	164.045	14	14.78	0.04
164.045	175.832	11	14.78	0.97
175.832	184.466	19	14.78	1.21
184.466	191.99	20	14.78	1.85
191.99	199.213	14	14.78	0.04
199.213	206.737	12	14.78	0.52
206.737	215.371	13	14.78	0.21
215.371	227.158	12	14.78	0.52
mayor	227.158	18	14.78	0.70

Chi-cuadrado = 6.06028 con 6 g.l. P-Valor = 0.416472

Estadístico DMAS de Kolmogorov = 0.0591587
Estadístico DMENOS de Kolmogorov = 0.0481354
Estadístico DN global de Kolmogorov = 0.0591587
P-Valor aproximado = 0.740542

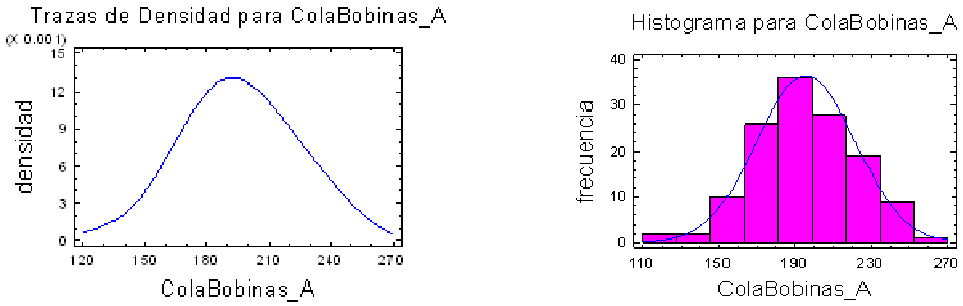
Estadístico EDF	Valor	Forma Modificada	P-Valor
Kolmogorov-Smirnov D	0.0591587	0.686021	>=0.10*
Anderson-Darling A^2	0.46969	0.472398	0.2437*

*Indica que el p-valor se ha comparado con las tablas de valores críticos especialmente construido para el ajuste de la distribución actualmente seleccionada. Otros p-valores están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores.

El tests de bondad de ajuste para ColaBobinas_A muestra los resultados de los tests ejecutados para determinar si ColaBobinas_A puede ser modelado adecuadamente por distribución normal. El test chi-cuadrado divide el rango de ColaBobinas_A en intervalos no solapados y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado basado en la distribución ajustada. El tests de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de ColaBobinas_A y el CDF de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0.0591587. Los otros estadísticos EDF comparan de diferentes maneras la función de distribución empírica con el CDF ajustado.

Dado que p-valor más pequeño de los tests realizados es superior o igual a 0.10, no podemos rechazar que ColaBobinas_A proceda de una distribución normal con un nivel de confianza de al menos un 90%.

En el siguiente gráfico 22, se puede observar el ajuste de la distribución normal a los datos que se generan en la cola de bobinas curadas del método actual. Además se puede observar que en promedio permanecen 195 bobinas en cola, cantidad que es considerable por sus costos de inventario.



Fuente: PROPIA mediante Statgraphics

Gráfico 22. Histograma de frecuencia y distribución ajustada a cola de bobinas actual.

Límites de Tolerancia Libre Distribución para ColaBobinas_A

Resumen de los datos
Recuento = 133
Máximo = 255.0
Mediana = 192.0
Mínimo = 125.0

95.0% intervalo de tolerancia para 96.4827% de la población
Superior: 255.0
Inferior: 125.0
(Basado en una anchura de intervalo = 1)

Sin asumir que el ColaBobinas_A proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia que podemos situar 95.0% confianza que 96.4827% de la distribución se encuentra entre **125 y 255.**

Para la cola de bobinas curadas con la metodología Kanban propuesta:

Para los datos de cola de bobinas curadas con la metodología Kanban, no fue posible ajustar con éxitos una distribución de probabilidad, pero a continuación se presentan los límites de tolerancia con lo que se puede observar que tal cola presenta unos niveles de inventario más bajos que con el método actual.

Límites de Tolerancia Libre Distribución para ColaBobinas_K

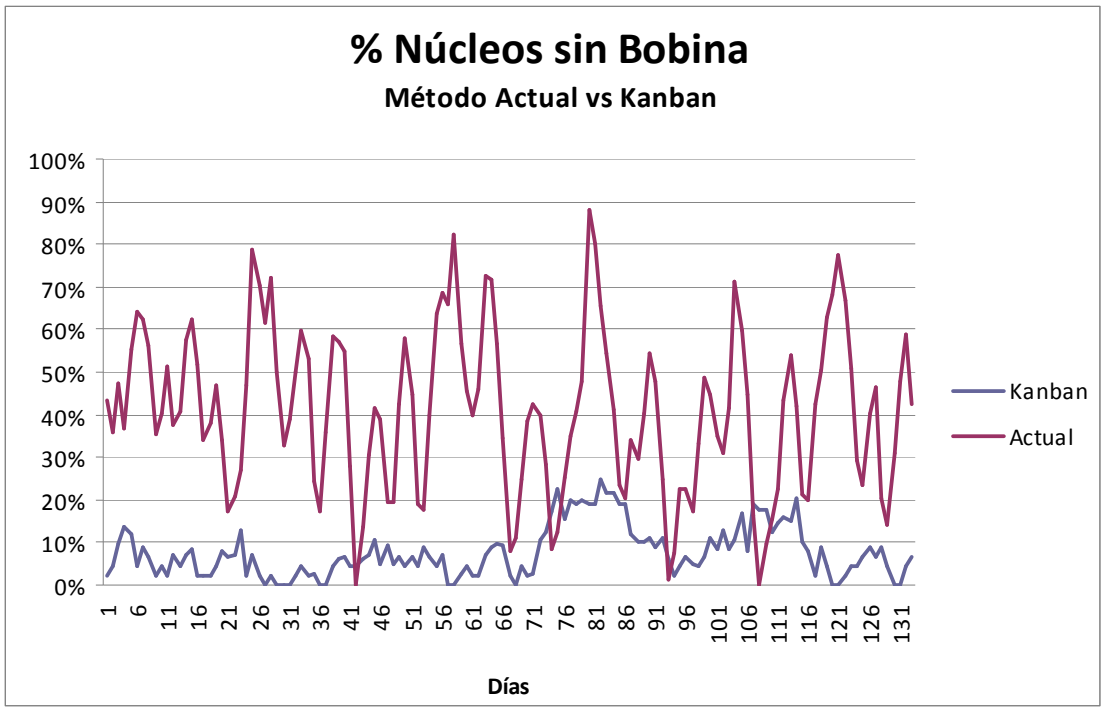
Resumen de los datos
Recuento = 133
Máximo = 48.0
Mediana = 42.0
Mínimo = 35.0

95.0% intervalo de tolerancia para 96.4827% de la población
Superior: 48.0
Inferior: 35.0
(Basado en una anchura de intervalo = 1)

Sin asumir que el ColaBobinas_K proviene de una distribución normal, los límites de tolerancia que podemos situar 95.0% confianza que 96.4827% de la distribución se encuentra entre **35 y 48**.

Aquí podemos observar que mientras la cola de bobinas curadas con el método actual y con un 95% de confianza para el 96% de los datos se encuentra entre 125 y 255 bobinas; con la metodología Kanban propuesta se encuentra entre 35 y 48 bobinas curadas. Vale la pena resaltar que desde este punto se puede empezar a observar que con la metodología Kanban los niveles de inventario de producto en procesos se encuentran en niveles más bajos.

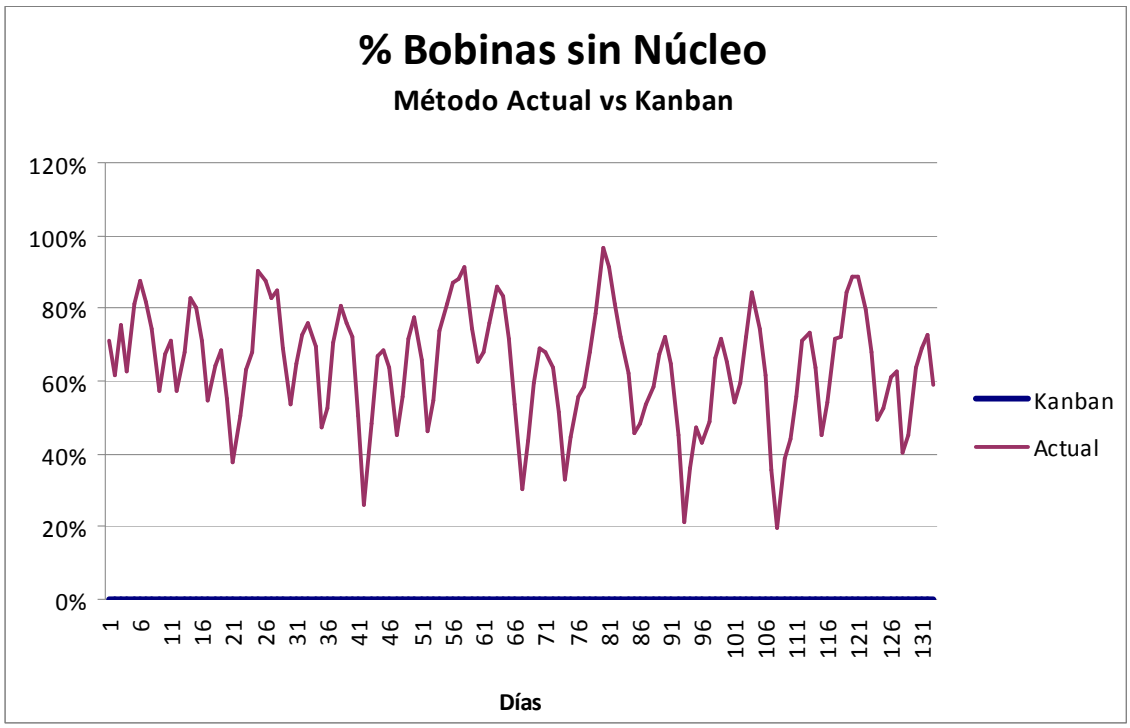
II. Porcentaje de la cola de núcleos que no tienen bobina y porcentaje de la cola de bobinas que no tienen núcleo.



Fuente: PROPIA
Gráfico 23. Porcentaje de núcleos recocidos sin bobina.

En el gráfico 23, se puede observar la falta de coordinación entre procesos en el modelo actual, ya que se presentan altos porcentajes de núcleos sin bobinas y esta situación se agrava a un más al observar en los gráficos anteriores (Pto. I) un nivel elevado de unidades de producto en proceso en cola y teniendo en cuenta que estos porcentajes son tomados día tras día verificando el porcentaje de las unidades existentes en cola que no tiene pareja para ser ensambladas. Por lo anterior y teniendo en cuenta que los porcentajes de núcleos sin bobinas con la metodología Kanban se observan en niveles bajos, se puede indagar que no solo con el método actual se presentan volúmenes elevados de producto en proceso, sino que de esos volúmenes, altos porcentajes no se pueden simplemente ensamblar porque no tienen listas las bobinas que hacen juego y de esta manera el tiempo de permanencia en cola será mayor.

Por todo lo antepuesto, es importante resaltar que la metodología Kanban propuesta está mejorando la rotación de producto en proceso y contribuyendo a tener el mínimo de unidades de este en cola.



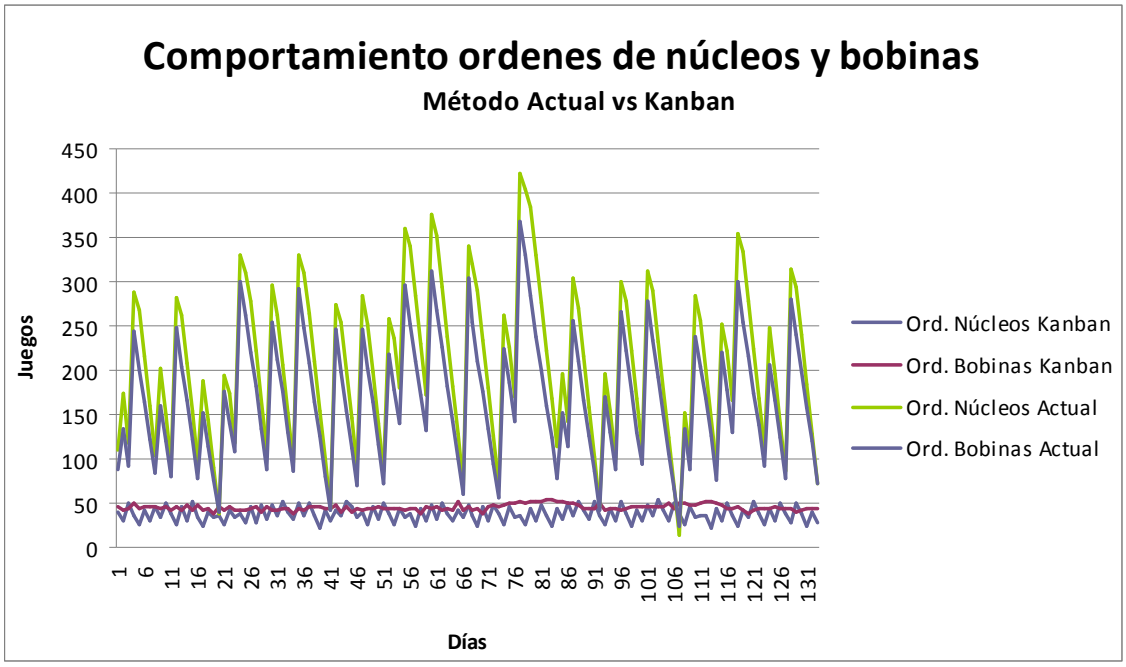
Fuente: PROPIA

Gráfico 24. Porcentaje de bobinas sin núcleo.

De este gráfico 24, se puede observar que con el método actual se mantiene un porcentaje muy alto de bobinas sin núcleos, además no se observan caídas súbitas de este porcentaje como en el gráfico anterior, debido a que la forma de programar el proceso de bobinado y núcleo es indiferente al tiempo de ciclo de ambos procesos; programándolos en el mismo instante de tiempo. Por lo anterior se incurre en un tiempo de espera en la cola de bobinas curadas, ya que su tiempo de ciclo es inferior al de núcleos.

Con la metodología Kanban propuesta el porcentaje de bobinas sin núcleo es muy bajo. Esto se presenta debido a una de las políticas que establece la metodología propuesta, en la que el lote de producción que se programa en el día X para la sección de bobinado, es el lote que se cargo en el horno de recocido en el día X-1; entonces tal política garantiza en gran medida que las bobinas a procesar si tendrán núcleo al finalizar su proceso. Con la política anterior se busca el resultado observado en los gráficos, correspondiente a un justo a tiempo de las partes a ser ensambladas (núcleo + bobina) en la línea de armado y en consecuencia una obtención de bajos niveles de producto en proceso.

III. Comportamiento de las órdenes de producción para núcleo y bobinas.



Fuente: PROPIA 2010.

Gráfico 25. Comportamiento de órdenes de producción de núcleos y bobinas.

En este gráfico 25, se puede observar que en el método actual las ordenes de producción que se envían a los centros de trabajo de núcleo y bobinado son empaquetadas en grandes lotes y enviadas a ambos procesos en el mismo instante de tiempo, lo que contribuye a la poca coordinación entre procesos para la ejecución de las órdenes. Esto se presenta debido a que cada centro de trabajo ejecuta las órdenes en gran parte del tiempo con prioridades diferentes, es decir, en el CT de núcleo se prefiere ejecutar las órdenes por tipo con el objeto de minimizar tiempos de montaje y en bobinado se trabaja basados en la prioridad de los pedidos; sin embargo el principal causante de la descoordinación es el generar ordenes en grandes lotes y programar conjuntamente ambos centros de trabajo. Por otra parte, se observa que con la metodología Kanban propuesta las órdenes de producción que se generan son empaquetadas en pequeños lotes, además se programa inicialmente el proceso de núcleo por tener un tiempo de ciclo

superior al de bobinado, y este último es programado con lo justamente procesado en el centro de trabajo de núcleo para que bobinado no produzca más de lo que se necesitará en el día posterior.

IV. Resultados sobre el porcentaje de ocupación de los centro de trabajo y los tiempos promedios de cola.

A continuación se presentan los resultados de las corridas tanto del modelo #1 como del modelo #2 en los que se podrán observar el porcentaje de ocupación en los centros de trabajo, el tiempo promedio de colas y el número de trabajos completados.

RESUMEN RESULTADOS SIMUL8 (MODELO #1)				
		Límite inferior [95%]	Promedio de corridas	Límite superior [95%]
Armado	Esperando [%]	64,90	65,18	65,45
	Trabajando [%]	34,23	34,50	34,77
	Trabajos Completados [un]	5430,54	5466,80	5503,06
Cola de bobinas curadas	Tiempo promedio en cola [min]	4975,54	5473,85	5972,17
Cola de núcleos recocidos	Tiempo promedio en cola [min]	3417,66	3559,42	3701,18
Bobinado	Esperando [%]	62,07	62,16	62,25
	Trabajando [%]	37,43	37,52	37,61
	Trabajos Completados [un]	5482,60	5527,40	5572,20
Núcleo	Esperando [%]	62,19	62,25	62,31
	Trabajando [%]	37,37	37,43	37,49
	Trabajos Completados [un]	5444,93	5500,20	5555,47

Fuente: PROPIA, 2010.

Tabla 2. Resultados Modelo #1.

Antes de analizar el porcentaje del tiempo en el que un centro de trabajo está ocupado, es importante aclarar que los centros de trabajo de núcleo, bobinado y armado & conexión, tienen un horario de trabajo de 9 horas de las 24 simuladas por cada día. Por lo expuesto anteriormente, se parte de la base que el 100% de ocupación de un centro de trabajo corresponderá al 37.5% equivalente a la fracción de tiempo habilitada para trabajar 9/24.

Argumentado lo anterior, se puede observar en la tabla 2 que armado y conexión presenta un porcentaje de ocupación del 92%, bobinado del 100% y núcleo del 100%. La falta de ocupación evidenciada en la línea de ensamble de armado y conexión es debida en parte a la falta de paridad entre los juegos que llegan para ser armados y por los volúmenes de las colas que generan desorden. Pero uno de los indicadores más relevantes en estos resultados, es el tiempo promedio de permanencia en cola de los núcleos recocidos y las bobinas curadas; que para los núcleos se encuentra en 59.32 horas y las bobinas en 91.23 horas, resultados que no son ajenos a la realidad y representan un gran capital estancado en cola de producto en proceso.

RESUMEN RESULTADOS SIMUL8 (MODELO #2)				
		Límite inferior [95%]	Promedio de corridas	Límite superior [95%]
Armado	Esperando [%]	64,59	64,75	64,91
	Trabajando [%]	34,74	34,90	35,06
	Trabajos Completados [un]	5511,67	5531,00	5550,33
Cola de bobinas curadas	Tiempo promedio en cola [min]	665,36	668,09	670,82
Cola de núcleos recocidos	Tiempo promedio en cola [min]	1225,19	1305,35	1385,50
Bobinado	Esperando [%]	62,29	62,40	62,51
	Trabajando [%]	37,17	37,28	37,39
	Trabajos Completados [un]	5512,26	5531,60	5550,94
Núcleo	Esperando [%]	62,26	62,35	62,45
	Trabajando [%]	37,24	37,33	37,42
	Trabajos Completados [un]	5522,45	5536,80	5551,15

Fuente: PROPIA, 2010.

Tabla 3. Resultados Modelo #2.

De estos resultados observados en la tabla 3, se puede observar que el porcentaje de ocupación de bobinado se encuentra en 99%, núcleo en 99% y armado & conexión en 93%. Este último presenta un mejoramiento con respecto al modelo #1 de 1% por efecto de la buena coordinación entre procesos y bajos índices de trabajo en proceso. Tal porcentaje de mejora, represento un aumento de 64 unidades producidas en seis meses y tal aumento de unidades producidas equivale a un 7% de la producción mensual en el método actual. Además, el indicador de mayor relevancia para la metodología (Tiempo promedio en cola), se encuentra en los siguientes niveles: El tiempo promedio en cola para los núcleos recocidos pasa de 59.32 horas a 21.75 horas (reducción del 63% en tiempos de espera) y el tiempo promedio en cola de las bobinas curadas pasa de 91.23 horas a 11.13 horas (reducción del 88% en tiempos de espera). Todo lo anterior debido a la efectiva coordinación que aporta la metodología en cuanto a la programación de los centros de trabajo y el control del producto en proceso.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En conclusión, la metodología propuesta se puede sintetizar en cuatro pasos:
  Paso 1: El objetivo de este paso es informar a las personas involucradas en el proyecto, sobre el cambio en la estructura operacional que se pretende desarrollar mediante la metodología Kanban. Allí, será de gran importancia inculcar en el personal las reglas del Kanban, además de tener presente la definición del mismo, sus objetivos y pre-requisitos para la implementación.
  Paso 2: El objetivo de este paso es superar los requisitos básicos que mejoran las garantías del buen desarrollo de la metodología Kanban. Con esto se busca obtener las condiciones iníciales para la implementación del Kanban, y para ello será de gran ayuda metodologías como 5's y TPM que contribuyen a la buena organización de las áreas de trabajo y al mantenimiento de las buenas condiciones de los equipos, además de fomentar en el personal el mejoramiento continuo. También es indispensable un balance de líneas.
  Paso 3: En este paso se describe la secuencia operativa de la metodología Kanban, en donde el programador genera ordenes de producción en pequeños lotes no mayores al 25% de la capacidad productiva por día en el centro de trabajo, además lanza las ordenes en el día x al centro de trabajo de núcleo y en el día x+1 al centro de trabajo de bobinado. Esto es debido al desfase en el tiempo de ciclo entre los dos centros. Como apoyo al anterior trabajo se utilizan las tarjetas de Kanban triangular para lanzar tales ordenes y por medio del tablero de hace control de piso y se visualiza el estado actual de la producción.
  Paso 4: El objetivo de este paso es establecer controles que garanticen el buen funcionamiento del sistema, como también promover el mismo en las diferentes áreas de la planta en el momento que la zona piloto haya adquirido la madurez suficiente y presentado los resultados esperados.

- Es importante resaltar que no todas las metodologías de mejoramiento de procesos aplican en su forma general en cualquier ambiente de trabajo, es por ello que después de identificada la metodología que da solución a la necesidad de mejora, se deben identificar las variables relevantes y necesarias para que el modelo a implementar funciones y sea efectivo; en caso de que se encuentren incompatibilidades será necesario desarrollar una metodología que adopte la filosofía del modelo original, pero que su forma de operar se adapte a las condiciones naturales del proceso. Lo expuesto anteriormente, es debido a que muchas metodologías que han funcionado bien en otras industrias, fracasan en su fase de implementación cuando se tratan de adoptar en otros sectores; es por ello que se debe tener total cuidado para mejorar las posibilidades de no fracaso, además vale la pena resaltar que no necesariamente un problema complejo requiere de una solución compleja, por lo contrario en muchos escenarios las soluciones más sencillas resultan ser las más efectivas.

- Se puede concluir, por los resultados obtenidos en el modelo de simulación de la metodología Kanban propuesta en este trabajo de investigación aplicada y por el desarrollo desplegado en los capítulo 2, 3, 4 y 5; esta tesis ha cumplimiento todo y cada uno de los objetivos propuestos y descritos en el capítulo 1. Es claro entonces, que se ha propuesto en esta tesis una metodología que facilita la implementación de la técnica Kanban en el sector de fabricación de transformadores de distribución.

- Una de las mejores formas de auditar el desempeño de la metodología, es midiendo las disminuciones de trabajo en proceso que se acumula en el punto de encuentro entre el proceso de núcleo y bobinado, ya que si este indicador se mejora se estaría optimizando conjuntamente el flujo de la producción, la rotación de inventario, la utilización de los recursos y en general se estará apuntando a mejorar el Throughput (Velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas) de la empresa.

- Dadas las condiciones en el proceso de fabricación de transformadores de distribución, donde se presentan etapas de horneo a altas temperaturas, no es viable aún la implementación de una solución tecnológica como el RFID para el manejo de la información de producto en proceso; sin embargo, el flujo de información con tarjetas impresas se adecúa y satisface los requerimiento para el buen manejo del sistema Kanban.

- Es importante destacar que no todas las empresas de fabricación de transformadores de distribución manejan el mismo esquema de producción de la empresa Rymel S.A., ya que hay empresas de este tipo que si manejan producciones en serie, con ruta fija de producción y tasas constantes de operación; en cuyo caso será más conveniente la adopción del modelo general del Kanban en el que las tarjetas Kanban recirculan y se mantiene un número determinado de estas en el sistemas, caso contrario al modelo propuesto para Rymel en el que las tarjetas Kanban no recirculan como tampoco se dan producciones en serie debido a los múltiples diseños de fabricación que se adaptan a los requerimientos de los clientes y disponibilidad de materias primas.

- La metodología propuesta puede ser compatible con industrias que manejen rutas fijas de producción, múltiples referencias, tasas variables de operación y estaciones de trabajo que operan por medio de baches como es el caso de los hornos.

- Se recomienda en la fase de maduración del modelo, evaluar la implementación de códigos de barras para hacer reportes de WIP (Work in Process) en cada centro de trabajo, en donde el código contendrá la información de las referencias que conforman el lote de la tarjeta Kanban y tales reportes alimentarán directamente el ERP (Enterprise Resource Planning) de la empresa y las tarjetas Kanban ahora identificadas por un código de barras seguirán cumpliendo la función de sincronizadores de la producción, garantizando el

mínimo tiempo de permanencia del producto en proceso en los puntos de encuentro hacia las líneas de ensamble.

- Por medio de la confrontación de los dos modelos de simulación, en los que se exponen las condiciones actuales y las obtenidas con la implementación de la metodología propuesta, se puede observar a través de los resultados la efectividad que presenta la metodología Kanban para controlar el trabajo en proceso, mejorar el flujo de la producción, disminuir los niveles de inventario entre otros beneficios que se perciben por medio de la implementación de tal metodología.

- Es preciso resaltar que la metodología Kanban propuesta modifica el cuándo, dónde y cuánto programar sin ningún cambio tecnológico, de capacidad o de estructura, obteniendo resultados contundentes como la disminución del trabajo en proceso entre otros, tal como se observó en los resultados de la simulación.

- Finalmente, el proceso de simulación es una herramienta de gran utilidad; con la que se busca poner a prueba las políticas que se definen en una propuesta metodológica, con el objeto de analizar su desempeño teórico y realizar las adecuaciones pertinentes antes de entrar en la fase de implementación en campo.

REFERENCIAS

ACEVEDO SUÁREZ, José - GÓMEZ ACOSTA, Martha. Gestión de inventario. La Habana 2001.

ARTOLA GARCÍA, Luis. Desarrollo ágil con Kanban. Publicado en la Web. http://www.programania.net/desarrollo-agil/desarrollo-agil-con-kanban. Julio 2009. Consultada en septiembre de 2009.

BALLESTEROS, Diana. A practical form to apply the System Kanban in the Colombian Mypimes. 2008, Scientia et Technica Año XIV, No 39, Septiembre de 2008.

BOGARD, Macero G. Gemba Kaizen, Reingeniería, Justo a Tiempo, Mejoramiento Continuo, Modelo de las 5 fuerzas. 2004.

DE SETA, Leonardo. Kanban y Scrum. Agosto 2008, Sitio web www.dosideas.com, consultado en octubre de 2009.

DORBESSAN, José. Las 5's, herramientas de cambio. San Nicolás, Argentina, junio de 2000.

ENDESA. Principio de funcionamiento y componentes de un transformador. 2008, en www.endesaeduca.com consultada el 20 de enero de 2010.

GEEK with LAPTOP. El método Toyota aplicado al software. En sitio web, http://bosqueviejo.net/wordpress/2009/06/22/kanban-el-metodo-toyota-aplicado-al-software, Junio 2009. Consultada en septiembre de 2009.

GIDEON, Halevi. Handbook of Production Management Methods. 2001.

GROSS , John M. y MCINNIS, Kenneth R. Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process. 2003- p. 9.

GS1 EPCglobal. www.gs1co.org - EPC Código Electrónico de Producto. 2009, Bogotá, Colombia.

GSTETTNER, S. and H. Kuhn. Analysis of production control systems Kanban and CONWIP, (Tipos de material de transferencia). 1996, International Journal of Production Research 34, 3253-3273.

HAMMER, Michael y CHAMPY, James. Reingeniería (Olvide lo que usted sabe sobre cómo debe funcionar una empresa. ¡Casi todo está errado!). Ed. Grupo Editorial Norma. 5a. reimpresión, noviembre 1994. Colombia.

HUDGIK, Steve. Definición del Kanban. 2009. Publicado en la web. http://www.graphicproducts.com/tutorials/kanban/index.php. Consultada en octubre de 2009.

IMAI, Masaaki. Como implementar el Kaizen en el Sitio de Trabajo (Gemba), Mc Graw Hill, 1998.

INCASGROUP. Sistemas innovadores, eficientes y competitivos. En sitio web. http://www.incasgroup.com, 2008. Consultada el 13 de septiembre de 2009.

KRIEG, Georg N. Kanban-Controlled Manufacturing Systems. Germany, 2005. ISSN 0075-8442. P. 3-25.

LEFCOVICH, Mauricio. Definición de deferentes tipos de Kanban. En sitio Web. www.gestiopolis.com/recursos3/docs/ger/jitlefconew.htm. 2006, Consulta de artículo en web el 9 de octubre de 2009.

MANAGEMENT DEVELOPING CENTER, S.A. de C.V. Herramientas de Mejora de Procesos Kaizen, Smed, Kanban, Poka Yoke. 2006 - P 44.

MÉNDEZ, Hugo. El transformado, escribe en www.frino.com.ar/transformador. 2009, consultada el 20 de enero de 2010.

MITRA, D. and I. MITRANI. Analysis of a kanban discipline for cell coordination in production lines. I, Modelo de un sistema Kanban con un centro de trabajo y múltiples productos sin pendientes. 1990, Management Science 36, 1548-1566.

PEREZ VERZINI, Raúl. Instructor TPM #23. JIPM (Japan Institute of Plan Maintenance) escribe en ACTION GROUP Education & Consulting, www.actiongroup.com.ar. Consultada el 10 de noviembre de 2009.

QUESADA ALLUE, Xavier. Kanban Boards, escribe en www.xqa.com.ar. 2009, consultada el 14 de enero de 2010.

RYMEL INGENIERÍA ELECTRICA S.A., En sitio web www.rymel.com.co. Consultada en enero de 2010.

SANDRE ZAHUANTITLA, Matías. Mejora del abastecimiento de los materiales a las líneas de ensamble, con el método Water Spider del Sistema Kanban. 2004.

SHIMBUN, Nikkan Kogyo. Poka-Yoke: Improving Product Quality By Preventing Defects, Productivity Press, 1988.

SHINGO, Shigeo. Una revolución en la producción: el sistema SMED. 2003, Preparaciones rápidas de máquinas: el sistema SMED. TGP Hoshin, 2001.

SIMUL8. Control Rules Examples. En http://www.simul8.com/support/learning/cgi-bin/learning.cgi?selectedpage=logic&formtext=logic.htm. Consultada entre enero y febrero de 2010.

SOUTH WEST MAS, Publicó artículo del cual se extrajo la definición de Kanban. In Cambridge, England. Fuente: http://www.leanqad.com/education/what_kanban.html Consultada en Septiembre de 2009.

UNICROM. Esquema del funcionamiento de un transformador. 2002, publicado en www.unicrom.com consultada el 20 de enero de 2010.

VAYÁ DUARTE, Rocío. ICAM. Implementación del sistema de producción Kanban en la empresa Harry Winston. 2007.