

**GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO PARA
LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO**



**GUSTAVO ANDRÉS RAMÍREZ TORRES
IVÁN DARÍO ROJAS ALVARADO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2009**

**GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO PARA
LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingenieros en Automática Industrial**

**GUSTAVO ANDRÉS RAMÍREZ TORRES
IVÁN DARÍO ROJAS ALVARADO**

**Director.
ING. MARIELA MUÑOZ AÑASCO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2009**

Nota de aceptación: _____

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Julio de 2009

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional y la confianza que depositaron en nosotros, a los gestores del presente trabajo: Ing. Oscar Amaury Rojas e Ing. Steven Muñoz quienes nos introdujeron en el respectivo tema, a la Ing. Mariela Muñoz Añasco por su dedicación y acompañamiento continuo, a las empresas OMNICON S.A Y COLSEIN LTDA por el interés, los medios y el apoyo ofrecido para la consecución del proyecto, a la empresa PEDRO DOMEQ COLOMBIA VINOS Y LICORES LTDA por brindarnos el interés, el apoyo y la confianza para validar los resultados del proyecto, y a nuestros compañeros del grupo de investigación y desarrollo en Automática Industrial por su amistad y apoyo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE OEE E ISA 95	4
1.1 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO	5
1.1.1 Definición.....	5
1.1.2 Características de los Indicadores Clave de Desempeño.	6
1.1.3 Composición de los Indicadores Clave de Desempeño.	7
1.2 MES – SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA.....	8
1.2.1 Funcionalidades de un Sistema de Ejecución de Manufactura.	9
1.2.2 Beneficios de MES.	13
1.3 LEAN MANUFACTURING Ó MANUFACTURA ESBELTA	13
1.3.1 Herramientas Lean.	14
1.3.2 Beneficios de Lean Manufacturing.	16
1.3.3 Lean Manufacturing y MES.....	18
1.4 GENERALIDADES DE LA NORMA ISA S95	19
1.4.1 Estructura del estándar ISA 95.....	19
2. CAPÍTULO 2. EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO (OEE)	21
2.1 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).....	21
2.2 SEIS GRANDES PÉRDIDAS.....	22
2.2.1 Pérdida de tiempo.	23

2.2.2 Pérdida de velocidad.	23
2.2.3 Pérdida de Calidad.	24
2.3 EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO (OEE).....	25
2.3.1 Definiciones para el cálculo de OEE.	27
2.3.2 Definición de Indicadores Claves De Desempeño para la Efectividad Global de Equipo.	29
3. CAPÍTULO 3. LOS INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO Y LA NORMA ISA S95.....	34
3.1 GENERALIDADES DE LA NORMA ISA S95 PARTE 3	34
3.2 ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE MANUFACTURA	35
3.2.1 Modelo de actividades.	36
3.2.2 Modelo genérico de actividad de administración de operaciones de manufactura.	37
3.3 ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN	38
4. CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO AL CASO DE ESTUDIO.....	46
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO	46
4.1.1 Descripción del Proceso.	47
4.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO A UN CASO DE ESTUDIO.....	50
4.2.1 Diagnóstico de la Empresa: Aplicación de los conceptos de Indicadores Clave de Desempeño para la Efectividad Global de Equipo desde el Enfoque ISA 95 al Caso de Estudio.....	50
4.2.2 Determinar los Indicadores Clave de Desempeño a medir.	63
4.2.3 Recolección de Información.....	73

4.2.4	Calcular y visualizar los Indicadores Clave de Desempeño.	73
4.2.5	Reportar los Resultados de los Indicadores Clave de Desempeño.....	74
5.	CAPÍTULO 5. GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO	75
6.	CAPÍTULO 6. VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO	80
6.1	VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO EN LA HERRAMIENTA WONDERWARE PERFORMANCE SOFTWARE 3.5.....	80
6.1.1	Etapas de la validación.....	81
	CONCLUSIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	93

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Los indicadores Clave de Desempeño y la Organización.....	6
Figura 2. Funcionalidades de un Sistema de Ejecución de Manufactura	12
Figura 3. Pasos para la Implementación de Lean Manufacturing.....	14
Figura 4. Las Seis Grandes Pérdidas	22
Figura 5. Fórmula para el cálculo de la Disponibilidad.....	29
Figura 6. Fórmula para el cálculo del Rendimiento	30
Figura 7. Fórmula para el cálculo de la Calidad.....	30
Figura 8. Fórmula para el cálculo de la Efectividad Global de Equipo.....	31
Figura 9. Modelo para la Efectividad Global de Equipo	32
Figura 10. Modelo de administración de operaciones de manufactura	35
Figura 11. Relaciones de Actividades	36
Figura 12. Modelo genérico de actividad de administración de operaciones de manufactura	37
Figura 13. Modelo de actividad de administración de operaciones de producción	38
Figura 14. Lista de despacho de un proceso hibrido	40
Figura 15. Organigrama de la Planta en la Ciudad de Cali.	46
Figura 16. Diagrama de la línea de envasado.....	49
Figura 17. Modelo para la definición de KPI's	65
Figura 18. Primera Parte del Código	69
Figura 19. Definición Clases Indicadores	69
Figura 20. Definición de las Propiedades de Las Clases.....	71
Figura 21. Definición Indicadores	71
Figura 22. Definición Prueba de Calificación	72
Figura 23. Resultado Prueba Calificación	72
Figura 24. Definición de Grupos de usuarios, usuarios y privilegios.	82
Figura 25. Definición de Entidades y Acceso a las mismas.....	83

Figura 26. Configuración Unidad de Medida.	83
Figura 27. Definición de ítems o productos.	84
Figura 28. Configuración de Procesos y Operaciones.	84
Figura 29. Configuración de Grados, Estados y Razones.	85
Figura 30. Configuración de horarios de trabajo.	86
Figura 31. Configuración Criterios de Utilización.	86
Figura 32. Interface de Operador.	87
Figura 33. Sistema Centralizado de Información.....	88
Figura 34. Sistema de Supervisión Línea de envasado.....	89
Figura 35. Reporte de Efectividad Global de Equipo.	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Beneficios de Lean Manufacturing	17
Tabla 2. Clasificación de procesos de manufactura según OEE	26
Tabla 3. Indicadores de Eficiencia	33
Tabla 4. Intercambio de información de la administración de definición del producto para KPI's para OEE	42
Tabla 5. Intercambio de información de la administración de recursos de producción para KPI's para OEE	42
Tabla 6. Intercambio de información de la Programación detallada de producción para KPI's para OEE	43
Tabla 7. Intercambio de información del Despacho de producción para KPI's para OEE	43
Tabla 8. Intercambio de información de la Administración de ejecución de producción para KPI's para OEE	44
Tabla 9. Intercambio de información de la Recolección de Datos de Producción para KPI's para OEE	44
Tabla 10. Intercambio de información del Seguimiento de producción para KPI's para OEE	45
Tabla 11. Intercambio de información del Análisis de desempeño de producción para KPI's para OEE	45
Tabla 12. Intercambio de información de la administración de definición del producto para KPI's para OEE del caso de estudio.....	52
Tabla 13. Intercambio de información de la administración de recursos de producción para KPI's para OEE del caso de estudio.....	53
Tabla 14. Intercambio de información de la Programación detallada de producción para KPI's para OEE del caso de estudio.....	54

Tabla 15. Intercambio de información del Despacho de producción para KPI's para OEE del caso de estudio	55
Tabla 16. Intercambio de información de la Administración de ejecución de producción para KPI's para OEE del caso de estudio.....	57
Tabla 17. Intercambio de información de Recolección de Datos de producción para KPI's para OEE del caso de estudio.....	58
Tabla 18. Intercambio de información de Seguimiento de producción para KPI's para OEE del caso de estudio.....	60
Tabla 19. Intercambio de información de Análisis de Desempeño de producción para KPI's para OEE del caso de estudio.....	62
Tabla 20. Atributos del objeto Clase Indicador	66
Tabla 21. Atributos del Objeto Propiedades Clase Indicador	66
Tabla 22. Atributos del Objeto Prueba de Calificación	67
Tabla 23. Propiedades de los indicadores clave de desempeño	70
Tabla 24. Recolección de Información	73

INTRODUCCIÓN

A través de la historia, la industria ha experimentado cambios importantes en sus sistemas de manufactura, pasando por procesos de producción manuales ó artesanales a pequeños procesos con implementación de tecnología (Plantas Semi-Automatizadas), llegando en este momento a emporios completamente automatizados en los cuales predomina el desarrollo tecnológico, la investigación, la calidad tanto de productos como de procesos, la eficiencia y en conjunto la alta productividad.

Esta serie de cambios impredecibles ha conllevado a que las industrias deban desenvolverse en ambientes y condiciones económicas difíciles, abriéndose de una situación de protección regulada a entornos globalizados en los que la competitividad es predominante, generando a través de otras experiencias el desarrollo necesario para acelerar el proceso de aprendizaje propio [1][2].

La naturaleza de la competencia a nivel industrial, en cuanto a productividad, se ha caracterizado por la incorporación de alta tecnología y maquinaria que desplazó la mano del hombre de los sistemas de manufactura, soportando la carrera tecnológica en el capital para inversión de la misma. Actualmente la aplicación de tecnología no es suficiente para ser competitivo, pues las industrias no pueden obtener ventajas competitivas sostenibles sólo mediante la aplicación de nuevas tecnologías a los sistemas de manufactura o llevando a cabo una excelente gestión de los activos y pasivos financieros, sino que deben enfocarse en determinar, con base en la información relevante de cada uno de los procesos, los puntos críticos y de mejoramiento que permitan el aumento de la productividad, efectividad, calidad y por lo tanto la competitividad [1].

De acuerdo con lo anterior, los procesos de negocio dependen en gran medida de las tecnologías de la información para operar de manera eficiente, por lo cual, los niveles tanto de negocio como de manufactura de la jerarquía funcional del estándar ISA S95, necesitan obtener periódicamente información funcional, fácil de usar, con bajos tiempos de entrega, a un bajo costo; acerca del desempeño, la disponibilidad, la calidad y otros factores que comprometan a la empresa; con el propósito de tomar decisiones oportunas en cuanto a posibles riesgos e inversiones que puedan presentarse.

Con la intención de cumplir con el requerimiento planteado, se han desarrollado una serie de herramientas gerenciales que a través de las tecnologías de información puedan generar soporte a las decisiones empresariales, surgiendo de esta manera los indicadores claves de desempeño. Dada la relevancia encontrada con estos indicadores, las empresas los adoptan como verdaderos signos vitales organizacionales que gracias a su continuo monitoreo y supervisión proporcionan pautas de trabajo y mejoramiento en pro de alcanzar niveles de manufactura clase mundial.

En el ámbito nacional las complejas situaciones actuales imponen la necesidad de que las organizaciones se preparen de mejor manera para afrontar los desafíos que a diario se generan, como la globalización, ya que solamente el mejoramiento garantiza la competitividad y la rentabilidad de las mismas. En este aspecto, la aplicación de tecnologías, herramientas administrativas y herramientas de la información deben confluir en potentes sistemas de gestión, control y tratamiento de la información que en trabajo colaborativo con las áreas gerenciales de la empresa hagan de la misma una organización creciente, innovadora y productiva.

El presente trabajo aborda la problemática de los indicadores claves de desempeño para la efectividad global de equipo con el fin de proporcionar una guía para la aplicación de los mismos en la industria nacional, con la visionaria pretensión que la industria conozca las nuevas tecnologías de la información y las adopte para competir a nivel mundial.

En el capítulo 1, se introduce al concepto de efectividad global de equipo a través de los indicadores clave de desempeño, los sistemas y filosofías que utilizan de los mismos para el mejoramiento empresarial. En el capítulo 2 se realiza una descripción conceptual exhaustiva de la efectividad global de equipo. En el capítulo 3 se efectúa el análisis de la norma ISA S95 parte 3 para el trabajo y tratamiento de indicadores clave de desempeño, especialmente para la efectividad global de equipo. En el capítulo 4 se presenta el caso de estudio y la aplicación de los resultados obtenidos en el capítulo 3, en el mismo. En el capítulo 5 se describe el procedimiento realizado en la aplicación del concepto de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo en la herramienta utilizada. Para culminar con el trabajo se presentan las conclusiones, encontradas a través de la investigación.

Cabe aclarar que el caso de estudio definido en el anteproyecto no es el mismo presentado en el desarrollo del trabajo de grado, ya que la empresa caso de estudio anterior había sido absorbida y se encontraba en un periodo de transición, por lo cual fue difícil el acceso a la misma. Además, la guía producto del trabajo está basada en un proceso batch por lo cual se presentaran algunas consideraciones para el manejo con otros tipos de proceso.

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE OEE E ISA 95

A medida que los procesos de producción se vuelven más complejos y flexibles en busca de colocarse en posiciones ventajosas para enfrentar los retos y oportunidades que presenta el nuevo siglo, se hace necesario el aumento de factores de producción que generen información y permitan el intercambio de la misma con los procesos de negocio, para de esta manera, aportar los medios necesarios para la toma de decisiones en el ambiente industrial [3].

Dentro de cualquier planta de producción, hay cientos sino miles de factores relevantes que pueden ser medidos. La pregunta radica entonces, en cuál de todos estos factores es más crítico y proporciona mejor información en aras del mejoramiento [4], pues cada compañía tiene diferentes necesidades dependiendo de las metas, objetivos y estrategias organizacionales que direccionan su funcionamiento.

Actualmente, los indicadores clave de desempeño son la herramienta predilecta para realizar seguimiento al sistema productivo, generando esa valiosa información de proceso que colabora en la toma de decisiones. El problema básico de los procesos industriales es que si no se mide lo que se hace, no se puede controlar y si no se puede controlar, no se puede dirigir y si no se puede dirigir no se puede mejorar. Por lo tanto, los esfuerzos para el mejoramiento de los procesos deben enfocarse inicialmente en esta parte, sin dejar de lado que la medición no implica de manera directa el mejoramiento sino que provee elementos de juicio para llegar al mismo [5].

1.1 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO

1.1.1 Definición. Desde el punto de vista de la administración, los indicadores son elementos que proporcionan información significativa sobre aspectos críticos de una organización mediante la relación de 2 o más datos de la misma [6]. Es de gran importancia tener presente que el indicador es una herramienta que permite conocer el estado y/o evolución de una organización, objeto, situación, entre otros; en un momento determinado, proveyendo la información necesaria para la toma de decisiones [7].

Por consiguiente los indicadores clave de desempeño (KPI's), desde el enfoque de los procesos de manufactura, pueden definirse como elementos cuantificables, específicos, medibles y alcanzables; que una organización genera con el fin de medir, recopilar, monitorear y supervisar la información relevante del proceso (En este caso de producción), en miras a obtener bases sólidas para la toma de decisiones y el posterior mejoramiento del sistema productivo.

Cabe aclarar que desde el punto de vista empresarial, los indicadores clave de desempeño son una herramienta vital que supervisa y monitorea a las organizaciones soportando su tarea en la misión, visión, objetivos y estrategias que se desean obtener. Este hecho puede observarse en la Figura 1.

Figura 1. Los indicadores Clave de Desempeño y la Organización



Fuente: Elaboración propia. Junio 29 de 2009.

1.1.2 Características de los Indicadores Clave de Desempeño. Todos los indicadores clave de desempeño deben tener por lo menos 10 buenas características que se mencionan a continuación:

- ✓ Los KPI's deben reflejar el estado de la organización en las áreas que más impactan el desarrollo de las mismas.
- ✓ Los KPI's son definidos por los entes gerenciales de la organización con base en las políticas, objetivos, estrategias, misión y visión que la organización se proponga.
- ✓ Los KPI's proporcionan información relevante a todos los entes de la organización a través de la integración de la información.
- ✓ Los KPI's se basan en datos válidos de la organización, no estimados de la misma.
- ✓ Los KPI's deben ser comprensibles para todos los entes de la organización en pro de que se conozca: ¿Qué se está midiendo?, ¿Cómo se hace?, y lo mejor de todo, ¿Qué se puede hacer para afectarlo positivamente?

- ✓ Los KPI's deben ser específicos ya que hay muchas áreas involucradas en las organizaciones y el objetivo de los mismos es determinar cómo se encuentran esas áreas.
- ✓ Los KPI's deben ser medibles y calculables por medio de fórmulas definidas por la organización.
- ✓ Los KPI's proporcionan un contexto que refleja el desempeño de la organización situándola en un ranking, con el cual es posible determinar la mejora o la decadencia de una situación específica.
- ✓ Los KPI's deben otorgar bases sólidas para la toma de decisiones permitiendo reforzar o reestructurar determinados procesos de la organización.
- ✓ Los KPI's promueven el mejoramiento continuo de los procesos y las áreas en las organizaciones.

1.1.3 Composición de los Indicadores Clave de Desempeño. Los indicadores claves de desempeño gracias a las características nombradas en el ítem anterior deben tener en cuenta una serie de atributos que se mencionan a continuación:

ID ó identificación: la identificación de un indicador clave de desempeño es una colección de números y letras que especifican de manera clara y concisa al indicador dependiendo de las directrices de la organización. Un ejemplo de identificador puede ser: ADJ123.

Nombre: el nombre del indicador debe ser claro para todos los entes de la organización y no debe poseer ambigüedades.

Descripción: descripción funcional del indicador clave de desempeño.

Forma de Cálculo: es la fórmula, ecuación o definición del indicador clave de desempeño.

Valor: es el valor actual en el cual se encuentra la medida del mismo.

Unidad de Medida: es la unidad en que se va a expresar el indicador clave de desempeño. Por ejemplo: %.

Recursos comprometidos: son los recursos de la organización que se encuentran comprometidos para la medición del indicador clave de desempeño.

Lugar: lugar específico en el cual se realiza la medición del indicador. Puede ser que el identificador contenga un código de área que permita el rastreo del indicador en el caso de múltiples mediciones.

Meta: es el objetivo que tiene la medición en pro de determinar si mejora o empeora la situación.

1.2 MES – SISTEMA DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA

En el ambiente empresarial actual es necesario saber manejar la información relevante de los procesos, ya que ésta brinda la posibilidad de tomar decisiones trascendentales en pro del mejoramiento del sistema productivo; es aquí en donde las estrategias de producción juegan un papel importante para las empresas, pues permiten adquirir una ventaja competitiva en el ambiente inestable que deben desenvolverse.

Una de las estrategias de producción más usadas de la década han sido los sistemas de ejecución de manufactura. MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) Internacional define MES de la siguiente manera:

“Un Sistema de Ejecución de Manufactura es un sistema dinámico de información que conduce de forma efectiva la ejecución de las operaciones de fabricación. A través de una información actual y precisa, el MES guía, pone en marcha e informa las actividades en planta a medida que ocurren los acontecimientos. El conjunto de

funcionalidades MES gestiona operaciones de producción desde el momento del lanzamiento de la orden de fabricación hasta el punto de la entrega del producto acabado. El MES permite una atenta gestión y comunicación bidireccional de la información crítica sobre todas las actividades productivas, a través de la organización y de la cadena de suministro [8].”

1.2.1 Funcionalidades de un Sistema de Ejecución de Manufactura. Según MESA, existen 11 funcionalidades definidas para los sistemas de ejecución de manufactura que se detallan a continuación:

- I. *Asignación y Categoría de los Recursos:* administrar los recursos, incluyendo máquinas, herramientas especiales, materiales, equipos, y otras clases de entidades tales como documentos que deben estar en orden al momento de iniciar operaciones. Un MES debe proveer un histórico detallado de los recursos y asegurar que el equipo esté adecuadamente preparado y que verdaderamente se ajuste a las condiciones de tiempo real. El manejo de estos recursos incluye la reserva y la disposición de los mismos, para cumplir con los objetivos operacionales programados.

- II. *Operaciones/Programación detallada:* proveer secuencias de trabajo según prioridades, atributos, características y/o recetas asociadas con unidades de producción específicas, por ejemplo, la forma de una secuencia de color u otras características, las cuales, cuando son programadas en la secuencia apropiada, minimizan el esfuerzo de ensamblaje. Dichas secuencias deben ser finitas y tener en cuenta operaciones alternativas, superpuestas o paralelas, con el fin de calcular en detalle el tiempo exacto, cantidad de equipo requerido y ajustes necesarios para cambio de patrones.

- III. *Disposición de unidades de Producción:* administrar el flujo de unidades de producción en forma de tareas, órdenes, cantidades, lotes y pedidos. Aquí la información se presenta como la secuencia en la cual el trabajo debe ser realizado y está sujeta a cambios en tiempo real de acuerdo a los eventos

ocurridos en la planta. El MES debe tener la habilidad para cambiar la programación dispuesta para la planta, así como para la reutilización y el reciclaje de procesos. Igualmente, estar preparado para controlar el incremento de trabajo en proceso en cualquier punto mediante gestión de *buffers*.

- IV. *Control de Documentos:* controlar registros y formularios que deben ser conservados a la par con la unidad de producción, incluyendo instrucciones de trabajo, recetas, diseños, procedimientos estándar de operación, registro de lotes, cambios en el diseño y comunicaciones "turno a turno". Tener la habilidad de editar información de acuerdo con lo planeado y con lo ejecutado. Enviar instrucciones al área operativa, incluyendo provisión de datos a los operarios o de recetas a los dispositivos de control. Podría incluirse también la gestión de control y conservación del medio ambiente, regulaciones sanitarias y de seguridad e información ISO, como Procedimientos de Acción Correctiva y almacenamiento de datos históricos.

- V. *Recolección/Adquisición de Datos:* ésta función provee una interfaz de enlace para obtener los datos de producción y los parámetros, que completarán las formas y registros adjuntos a la unidad de producción. Los datos deben ser recolectados en la planta, ya sea en forma manual o automática desde los equipos y en un marco de tiempo de "última hora".

- VI. *Gestión de Tareas:* suministrar el estado del Personal en un marco de tiempo de última hora. Esto incluye reportes de puntualidad, asistencia y certificaciones. Igualmente incluye la capacidad de monitorear actividades indirectas tales como preparación de material o trabajo en el cuarto de máquinas. Puede interactuar con *Asignación de Recursos* para determinar misiones óptimas.

- VII. *Gestión de Calidad:* proporcionar análisis en tiempo real de medidas recolectadas en la producción, para asegurar un control apropiado de la calidad del producto e identificar problemas que requieren atención. Puede recomendar acciones para corregir el problema, incluso correlacionando los síntomas,

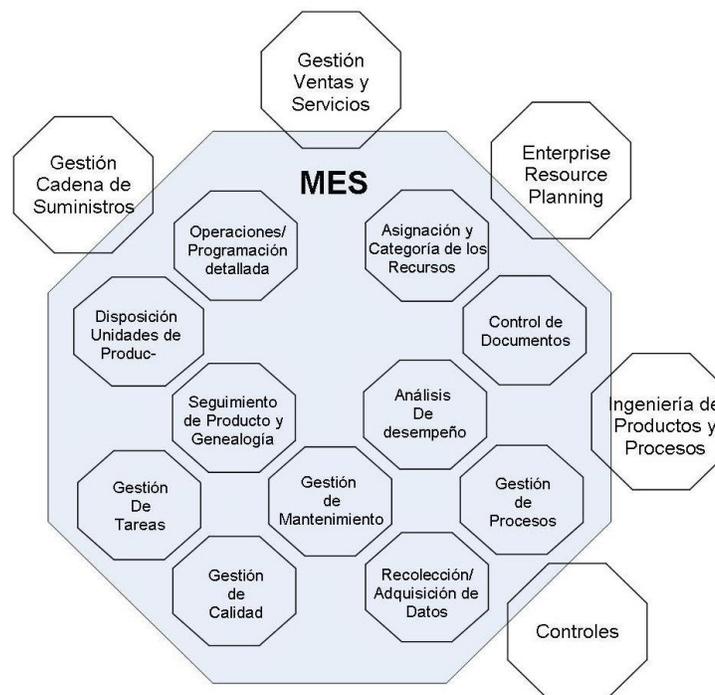
acciones y resultados para determinar la causa; igualmente, incluir seguimiento *SPC (Statistical Process Control)/SQC (Statistical Quality Control)*, gestión de inspección off-line de operaciones y análisis en Sistemas de Gestión de Información de Laboratorio (*LIMS*).

- VIII. *Gestión de Procesos*: monitorear la producción y tomar una de dos acciones posibles: corregirla automáticamente o suministrar soporte para que los operarios tomen decisiones acerca de las correcciones y la optimización de las actividades en proceso. Estas actividades pueden ser intra-operacionales y enfocarse específicamente en maquinaria y equipos que son monitoreados y controlados, o pueden ser inter-operacionales, es decir, monitorear el proceso desde una operación hasta la siguiente. Puede incluir gestión de alarmas para asegurar que el personal de la fábrica esté consciente de cambios en los procesos que hacen que éstos se encuentren fuera de los límites de tolerancia aceptables. Proveer interfaces entre el equipo inteligente y el sistema *MES*, a través de la funcionalidad de Recolección y Adquisición de Datos.
- IX. *Gestión de Mantenimiento*: monitorear y dirigir las actividades para mantenimiento de equipo y herramientas, para asegurar su disponibilidad al momento de la operación y establecer una programación de mantenimiento periódico o preventivo. Mantener un histórico de datos acerca de problemas pasados para apoyar el diagnóstico de problemas actuales.
- X. *Seguimiento de Producto y Genealogía*: facilitar una visión global sobre la disposición y realización del trabajo. Esta información debe incluir datos como: quién está ejecutando una tarea, materiales, componentes clasificados por proveedor, número de lote, serial, condiciones actuales de producción y alarmas u otros datos excepcionales referentes al producto. La función de monitoreo *on-line* crea un record histórico que permite el seguimiento de los distintos componentes y el destino de cada producto terminado.

- XI. *Análisis de desempeño*: suministrar reportes de última hora con los resultados reales de las operaciones de manufactura y compararlos simultáneamente con datos históricos y resultados económicos esperados. Dicha información incluye tanto mediciones como utilización, disponibilidad de recursos y ciclo de tiempo por unidad de producción, de acuerdo con la programación y la aplicación de estándares; puede incluir seguimiento *SPC /SQC*. Igualmente, hace uso de la información recolectada en las restantes funciones para medir los parámetros de operación, donde los resultados obtenidos pueden ser plasmados en un reporte o presentados *on-line* como una evaluación actual del desempeño [9].

En Figura 2 se puede observar el modelo de un Sistema MES con sus 11 funcionalidades y la forma en que éstas se enlazan a otros sistemas.

Figura 2. Funcionalidades de un Sistema de Ejecución de Manufactura



Fuente: Mesa International, *MES Explained: High Level Vision*, Pittsburgh, USA, 1997. Junio 29 de 2009.

1.2.2 Beneficios de MES. MESA Internacional ha realizado diversos estudios en empresas que utilizan sistemas de ejecución de manufactura encontrando los siguientes beneficios manifestados por los usuarios del sistema:

- ✓ Reduce el tiempo de ciclo de fabricación.
- ✓ Reduce o elimina el tiempo de entrada de datos.
- ✓ Reduce los trabajos en proceso de inventario.
- ✓ Reducción de papeleo entre los turnos.
- ✓ Mejora la calidad del producto.
- ✓ Elimina el papeleo perdido / planos.
- ✓ Mejora el servicio al cliente.
- ✓ Responde a los acontecimientos imprevistos [10].

1.3 LEAN MANUFACTURING Ó MANUFACTURA ESBELTA

Las empresas dedicadas a los procesos de manufactura se encuentran en riesgo permanente gracias al continuo cambio de las economías y a los mercados globalizados que demandan procesos flexibles, complejos y efectivos. Con el fin de enfrentar este flagelo, en el año de 1950 Toyota desarrolló un sistema de producción denominado Toyota Production System (TPS); con el objetivo de ayudar a eliminar todas las operaciones y procesos que no generan valor agregado al producto para reducir de esta manera los desperdicios [11].

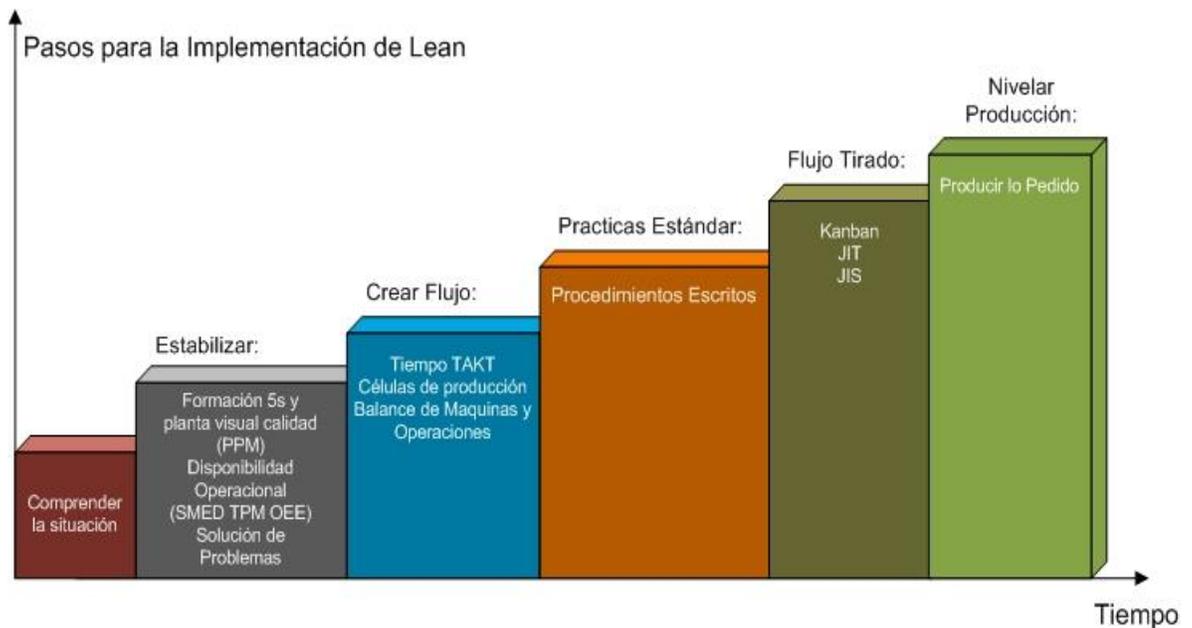
Básicamente, *Lean Manufacturing* es una metodología de mejoramiento de procesos de manufactura y servicios, que se basa en la eliminación de desperdicios y actividades que no agregan valor al proceso para obtener beneficios extraordinarios en la productividad, competitividad y rentabilidad del negocio. La filosofía concibe a la empresa o proceso como un ente libre de ineficiencias o desperdicios que funciona o se realiza con el mínimo de recursos que posee.

En este sentido, el proceso de mejoramiento no contempla la inversión en equipos costosos o contratación de personal adicional, sino que maximiza la utilización y el aprovechamiento de los recursos con los cuales se cuenta.

1.3.1 Herramientas Lean. Lean Manufacturing es una filosofía que se vale de un conjunto de más de 20 herramientas que soportan y hacen posible el mejoramiento continuo y la eliminación de desperdicios.

Por la diversidad de herramientas con las que cuenta Lean Manufacturing se hace necesario que su implementación se efectúe mediante un proceso sistemático en el que se instalen indicadores que permitan evaluar y tomar decisiones fundamentadas en el desempeño total del sistema. En la figura 3 pueden observarse los pasos del proceso sistemático para la implementación de Lean Manufacturing con algunos de los indicadores más importantes de cada etapa.

Figura 3. Pasos para la Implementación de Lean Manufacturing



Fuente: Elaboración propia. Junio 29 de 2009.

A continuación, se presenta una descripción de las principales herramientas utilizadas en Lean:

- **5S:** es una metodología que mejora la organización y el orden en las áreas de trabajo. Las 5S se refieren a las siguientes palabras en japonés.
 - ✓ Seiri (Clasificación): mantener únicamente lo necesario para realizar la operación.
 - ✓ Seiton (Orden): ordenar los elementos necesarios.
 - ✓ Seiso (Limpieza): limpiar exhaustivamente el lugar de trabajo.
 - ✓ Seiketsu (Estandarización): crear un estándar para mantener las primeras.
 - ✓ Shitsuke (Disciplina): mejoramiento continuo del sistema.

- **Kanban:** sistema de programación de la producción que, mediante tarjetas, permite producir únicamente cuando es necesario o requerido por el cliente (interno o externo). Su objetivo principal es reducir y mantener bajos niveles de inventario.

- **SMED (Single Minute Exchange of Dies):** esta metodología se refiere al alistamiento rápido de máquinas. Se enfoca en la reducción del tiempo de montaje o cambio de referencia del equipo. Los beneficios principales son el aumento en la flexibilidad y la capacidad de producción del proceso.

- **Poka-Yoke:** los sistemas poka-yoke son una herramienta de control que asegura que una actividad no pueda ser realizada de manera incorrecta, lo que previene la ocurrencia de defectos y hace que los productos se fabriquen bien en el primer intento. Esta herramienta ayuda a reducir los costos por defectos, re-procesos y material de desecho.

- **Manufactura Celular:** permite la creación de flujo en la fabricación mediante la creación de células de trabajo, éstas son una acomodación de los equipos en una secuencia que permite el flujo de materiales y componentes a través del

proceso con un mínimo transporte y demora. Es una de las herramientas principales ya que permite la eliminación definitiva de la mayoría de desperdicios.

- **TPM (Mantenimiento Productivo Total):** es una metodología que tiene como objetivo la maximización de la eficiencia global de los equipos e implica el mantenimiento autónomo del equipo, así como el mantenimiento preventivo y predictivo. Ésta provee una medición continua del desempeño del sistema productivo mediante el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) – que incluye la eficiencia, disponibilidad de los equipos y la calidad –, propiciando el aumento de la productividad y la reducción o eliminación de desperdicios.
- **Trabajo Estándar:** metodología que define las instrucciones para realizar una operación de la manera más eficiente, garantizando la repetitividad en los procesos. La implementación del trabajo estándar aumenta la productividad de los operarios, mejora la calidad del producto y crea un ambiente de trabajo más seguro.
- **Gerencia Visual:** consiste en hacer visible, el desempeño en la producción, las herramientas Lean y todos los problemas que ocurren, con el fin de que se pueda ejercer un mayor control sobre los mismos [12].

1.3.2 Beneficios de Lean Manufacturing. Los beneficios de la implementación de sistemas de medición para el mejoramiento continuo son muchos, entre los más relevantes se presentan los relacionados en la Tabla 1 [12].

Tabla 1. Beneficios de Lean Manufacturing

Beneficios de Lean Manufacturing		
Organización	Empleados	Clientes
<ul style="list-style-type: none"> ● Productividad: Aumento del 30% al 120%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza de trabajo más productiva, capacitada, competente y eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en los tiempos de respuesta a órdenes y requerimientos.
<ul style="list-style-type: none"> ● Lead Time (Tiempo desde que se recibe una orden hasta que se entrega el producto): Reducción del 40% al 80%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación más efectiva y coordinada a lo largo de toda la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la flexibilidad en los pedidos (Tamaños de lote, referencias, etc.).
<ul style="list-style-type: none"> ● Manufactura/Costo del producto: Disminución del 20% a 60%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación más efectiva y coordinada a lo largo de toda la organización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de producto terminado a tiempo.
<ul style="list-style-type: none"> ● Inventario: Disminución del 40% al 80%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de trabajo más efectivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en la confianza del cliente.
<ul style="list-style-type: none"> ● Espacio libre: Aumento del 30% al 50%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la necesidad de supervisar los empleados. 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollo de Nuevos Productos: Reducción del tiempo del 30% al 50%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente laboral mejorado y enriquecido. • Aumento en la motivación. 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Costos de calidad: Disminuyen entre el 50% y el 60%. 	<ul style="list-style-type: none"> • El trabajo se desarrolla en condiciones más seguras y saludables. 	

Fuente: F. Ortega, "Lean Manufacturing," *Revista el mueble y la madera*, vol. 61, pp. 87 – 92, Octubre 2008. Julio 02 de 2009.

1.3.3 Lean Manufacturing y MES. Ante el panorama de una economía globalizada, inestable e incontrolable; las empresas de manufactura suelen buscar soporte en sistemas que proporcionen apoyo a los procesos de mejora que se implantan diariamente, dividiéndose de manera básica en el establecimiento de sistemas Lean Manufacturing ó MES.

Como pudo detallarse en ítems anteriores Lean Manufacturing se basa en prácticas de optimización de los recursos y procesos en una organización, mientras que MES ó los sistemas de ejecución de manufactura en tiempo real proponen el uso de aplicaciones informáticas en las que se especifican funciones determinadas en pro de optimizar la producción.

Desde los 2 enfoques planteados se puede decir que parecen filosofías muy diferentes, pero es importante destacar que cada una de ellas busca el mejoramiento del sistema productivo de una organización. Por lo tanto, es importante resaltar que la mayoría de las empresas productivas necesitan ambos planteamientos, en diferentes aspectos, para la optimización de los procesos que posee.

Para la implementación de cualquiera de las filosofías planteadas es importante realizar un diagnóstico al proceso que se desea mejorar, efectuando un análisis previo de la situación actual con el fin de determinar cuáles y dónde se encuentran las ineficiencias del sistema. Para esto, ambas filosofías utilizan a la efectividad global de equipo OEE con el fin de cualificar el proceso que desea mejorarse.

La utilidad de la combinación de los sistemas Lean Manufacturing y MES se encuentra en la obtención rápida y veraz de la información relevante del proceso adoptando una cultura de mejoramiento continuo, en donde la información se procesa en aras de mejorar cada uno de los subprocesos, llegando a la mejora del sistema productivo.

1.4 GENERALIDADES DE LA NORMA ISA S95

En el mundo, actualmente, se encuentran miles de organizaciones que no necesariamente poseen una misma estructura en términos de departamentos, actividades, funciones, flujos de información, entre otros; y mucho menos manejan un lenguaje unificado entre la parte técnica y los entes gerenciales. Partiendo del hecho anterior ISA (International Society of Automation – Sociedad Internacional de Automatización) desarrolló un estándar (ISA-95 Enterprise Control Systems Integration) que propone una solución al problema de la integración entre el nivel de negocios y el nivel de manufactura, definiendo una terminología estándar y brindando una metodología para el desarrollo de proyectos de integración a través de los diferentes modelos que propone.

1.4.1 Estructura del estándar ISA 95. El estándar ISA S95 está conformado por seis partes que se describen a continuación:

- ✓ **Parte 1. Modelos y terminología:** en esta primera parte se define la terminología estándar y los modelos de objeto utilizados para precisar los límites exactos entre los sistemas de la empresa y los sistemas de control.

- ✓ **Parte 2. Modelos de objeto y atributos:** define la estructura de la información que se intercambia a través de la frontera Empresa-Control y los atributos de los modelos de objeto puestos a disposición en la parte 1 del estándar.

- ✓ **Parte 3. Modelo de la administración de operaciones de manufactura:** define y describe las actividades de producción y los flujos de información de las operaciones de administración de manufactura, proporcionando modelos de referencia para las actividades de producción, mantenimiento, calidad e inventario. Además, define la terminología de administración de manufactura que permite una integración sistémica entre el nivel de empresa y el nivel de control.

- ✓ **Parte 4. Modelos de objeto y atributos de la administración de operaciones de manufactura:** define los modelos de objeto y los atributos de los mismos que se encuentran involucrados en el intercambio de información entre cada una de las actividades y categorías definidas en la parte 3 del estándar.

- ✓ **Parte 5. Transacciones entre sistemas de negocios y de manufactura:** define transacciones en términos de intercambios de información entre las aplicaciones del desarrollo del negocio y las actividades de manufactura asociadas con los niveles 3 y 4. Estos intercambios están destinados a habilitar la recolección, recuperación, transferencia y almacenamiento de la información en apoyo a los sistemas de integración empresa - control.

- ✓ **Parte 6. Transacciones en la administración de operaciones de manufactura:** establece la manera como deben ser realizadas las transacciones dentro de la administración de operaciones de manufactura.

2. CAPÍTULO 2. EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO (OEE)

2.1 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

En el ambiente productivo, una máquina debería trabajar idealmente en forma continua (100% del tiempo), a plena capacidad (100% de la velocidad nominal) y fabricar productos de perfecta calidad (100% productos buenos), sin embargo, la realidad es muy diferente, pues se presentan imprevistos y fallas que hacen que la situación ideal de producción difiera de la situación real; a estos imprevistos y fallas se le llaman pérdidas. A diario, los operarios de producción y de mantenimiento se enfrentan a dichas pérdidas, por esta razón, en 1971 el JIPM - Instituto Japonés para el Mantenimiento de Plantas - introdujo un sistema conocido como Mantenimiento Productivo Total (TPM - Total Productive Maintenance).

El Mantenimiento Productivo Total es un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo de la industria, que permite con la participación de todo el personal tener equipos de producción siempre listos, produciendo productos de excelente calidad y sin perder tiempo. Su metodología, soportada por técnicas de gestión, establece las estrategias adecuadas para mejorar la productividad empresarial, con miras a lograr afrontar con éxito y competitividad, el proceso de globalización y apertura de la economía [13].

La implementación de TPM significa aplicar un método de mejora continua con el propósito de reducir las pérdidas de una forma estructurada. Debido a que los procesos actuales en los que se añade valor al producto implican la presencia de máquinas y equipos, las actividades de TPM se focalizan inicialmente en las pérdidas asociadas a las máquinas. Básicamente la estrategia de TPM persigue identificar y eliminar las seis grandes pérdidas que se describen más adelante.

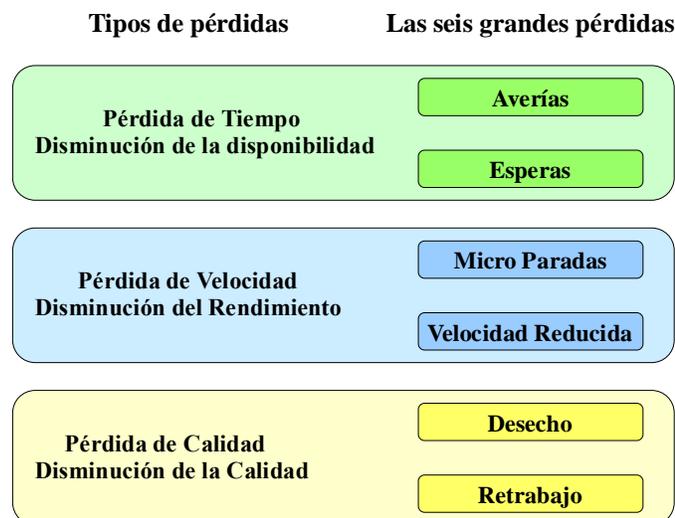
La mayoría de los sectores industriales utilizan métodos de medición para su maquinaria destinada a la producción. Cantidades como el tiempo disponible, las unidades producidas, y algunas veces la velocidad de producción suelen ser el objeto de estas mediciones. Estos métodos son herramientas útiles para aquellos que desean conocer qué produce la máquina, cuándo lo hace y cómo lo hace.

El TPM trabaja de modo diferente: el TPM no persigue sólo conocer qué ha producido la máquina, sino también que podría haber producido. Este es el motivo por el cual se buscan las pérdidas ocultas.

2.2 SEIS GRANDES PÉRDIDAS

En la operación de una máquina, se pueden distinguir seis tipos de desperdicios. Estos se denominan pérdidas, porque conducen a disminuir la efectividad de la máquina o equipo, y pueden apreciarse en la Figura 4:

Figura 4. Las Seis Grandes Pérdidas



Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

2.2.1 Pérdida de tiempo. La pérdida de tiempo se define como el tiempo durante el cual la máquina debería haber estado produciendo pero no lo ha estado haciendo, ningún producto sale de la máquina. Pueden ser de 2 tipos:

Averías: un repentino e inesperado fallo o daño que genera una pérdida en el tiempo de producción. La causa de esta disfunción puede ser técnica u organizativa, por ejemplo: error al operar la máquina ó el mantenimiento pobre del equipo. El OEE considera este tipo de pérdida a partir del momento en el cual la avería aparece.

Esperas: el equipo no realiza ninguna actividad y aguarda por la llegada de material para producir. El equipo puede quedarse en estado de espera por varios motivos, por ejemplo: debido a un cambio por mantenimiento ó por los descansos en los turnos de trabajo. En el caso de un cambio, la máquina normalmente tiene que apagarse durante algún tiempo y cambiar herramientas u otras partes. Para el OEE, el tiempo de cambio es el tiempo en el cual la máquina no fabrica ningún producto.

2.2.2 Pérdida de velocidad. Una pérdida de velocidad implica que la máquina está funcionando pero no a su velocidad nominal, es decir, no produce lo que debería producir en un tiempo determinado. Existen dos tipos:

Micro paradas: se da cuando una máquina tiene interrupciones cortas y no trabaja a velocidad constante. Éstas micro paradas y las consecuentes pérdidas de velocidad son generalmente causadas por pequeños problemas tales como bloqueos producidos por sensores de presencia o agarrotamientos en las cintas transportadoras.

Estos pequeños problemas pueden disminuir de forma drástica la efectividad de la máquina, se debe tener en cuenta que las micro paradas son un tipo de pérdida de tiempo. Sin embargo, al ser tan pequeñas (normalmente menores de 5 minutos) no se registran como una pérdida de tiempo.

Velocidad reducida: la velocidad reducida es la diferencia entre la velocidad fijada en la actualidad y la velocidad teórica o de diseño, es decir, la velocidad con que debería producirse un producto y la velocidad real a la que se produce.

En muchos casos, la velocidad de producción se ha rebajado para evitar otras pérdidas tales como defectos de calidad y averías. Las pérdidas debidas a velocidades reducidas son por tanto en la mayoría de los casos ignoradas o infravaloradas.

2.2.3 Pérdida de Calidad. La pérdida de calidad ocurre cuando la máquina fabrica productos que no son buenos a la primera. Se pueden diferenciar dos tipos:

Desecho: son aquellos productos que no cumplen los requisitos establecidos por calidad, incluso aquellos que no habiendo cumplido dichas especificaciones inicialmente puedan ser vendidos como productos de calidad menor. El objetivo es “cero defectos”, fabricar siempre productos buenos a la primera. Un tipo específico de pérdida de calidad son las pérdidas en los arranques. Estas pérdidas ocurren cuando:

- Durante el arranque de la máquina, la producción no es estable inicialmente y los primeros productos no cumplen las especificaciones de calidad.
- Los productos del final de la producción de un lote se vuelven inestables y no cumplen las especificaciones.
- Aquellos productos que no se consideran como buenos para la orden de fabricación y, consecuentemente, se consideran una pérdida.

Retrabajo: los productos re trabajados son productos que no cumplen los requisitos de calidad a la primera, pero que pueden ser reprocesados y convertidos en productos de buena calidad. A primera vista, los productos re trabajados no parecen ser muy malos, incluso para el operario pueden parecer buenos. Sin embargo, el producto no cumple las especificaciones de calidad a la primera y supone, por tanto, un trabajo adicional y un tipo de pérdida de calidad para OEE.

2.3 EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO (OEE)

La efectividad global de equipo, es un método estándar de medición de la efectividad productiva de la maquinaria industrial, el cual muestra el porcentaje de efectividad de una máquina con respecto a su máquina ideal equivalente. La diferencia la constituyen las pérdidas de tiempo, las pérdidas de velocidad y las pérdidas de calidad.

El concepto de efectividad global de equipo (Overall Equipment Effectiveness), nace como un indicador clave de desempeño asociado a un programa estándar de mejora de la producción llamado mantenimiento productivo total, debido a que el comportamiento de este indicador permite monitorear el impacto de las acciones del TPM en la mejora de los resultados de la empresa.

El éxito de la Fabricación World Class se basa en medir de manera precisa y consistente el rendimiento de los equipos y procesos productivos. Por tanto, OEE es una herramienta muy potente para encontrar, monitorear y supervisar en donde se encuentran las pérdidas. El proceso de mejora continua por medio del mantenimiento productivo total empieza con la medición del OEE, con el propósito de realizar un diagnóstico a los indicadores y determinar puntos de mejora del sistema productivo.

El concepto de OEE inicialmente fue conceptualizado para el manejo de equipos, pero, gracias a la aparición de nuevas y potentes herramientas como MES y la norma ISA S95, se ha extendido a células de trabajo, líneas, áreas y plantas de producción. Actualmente el valor del OEE permite clasificar a una ó más líneas ó en su efecto a toda una planta con respecto a las mejores de su clase y que se encuentran en niveles de excelencia ó World Class [14]. World Class se utiliza como sinónimo de excelencia, capacidad de cambio, buenas prácticas, resultados sobresalientes, productos y servicios de gran calidad. En numerosas empresas el término World Class engloba las estrategias utilizadas para optimizar la calidad de los productos, mejorar los tiempos de respuesta y eliminar todo tipo de pérdidas.

El concepto World Class Manufacturing fue propuesto por el experto Schomberger para recoger las estrategias competitivas como Control Total de Calidad (TQC), Sistemas de Producción Justo a Tiempo (JIT), Mantenimiento Productivo Total (TPM), Ingeniería Concurrente y otras estrategias de gestión de tecnología y servicios. En la Tabla 2 podemos observar la clasificación de los procesos de manufactura según la efectividad global de equipo:

Tabla 2. Clasificación de procesos de manufactura según OEE

Valor de OEE	Calificación de proceso de fabricación según la OEE
OEE < 65%	Inaceptable: Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.
65% >= OEE < 75%	Regular: Aceptable solo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.
75% >= OEE < 85%	Aceptable: Continuar la mejora para superar el 85% y avanzar hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas, competitividad ligeramente baja.
85% >= OEE < 95%	Buena: Entra en valores World Class. Buena competitividad.
OEE > 95%	Excelencia: Valores World Class. Excelente competitividad.

Fuente: M. López, " Integración ERP - MES: un caso real - 2ª parte," Presentado en Ciclo de Conferencias sobre Automatización e Ingeniería 2006-2007, Vigo, España, 2007. Julio 02 de 2009.

La efectividad global de equipo monitorea, en un único indicador, todos los parámetros fundamentales de la producción industrial: la disponibilidad, el rendimiento y la calidad.

- Disponibilidad: cuánto tiempo ha estado funcionando la máquina o equipo respecto del tiempo que se quería que estuviera funcionando (quitando el tiempo no planificado).
- Rendimiento: durante el tiempo que ha estado funcionando, cuánto ha fabricado (bueno y malo) respecto de lo que tenía que haber fabricado a tiempo de ideal de ciclo.
- Calidad: cuánto se ha fabricado bueno a la primera respecto del total de la producción realizada (Bueno + Malo).

2.3.1 Definiciones para el cálculo de OEE. A continuación se detallan algunas definiciones relevantes para una mejor comprensión del cálculo de la efectividad global de equipo dentro de un entorno industrial, estas definiciones serán adoptadas para la aplicación al caso de estudio [15]:

- **Tiempo Calendario.** tiempo calendario representa el tiempo total disponible para usar el equipo. Es el tiempo durante el cual el equipo está físicamente disponible, independiente de si está programado su uso o no, por ejemplo el tiempo calendario en una semana serán 24 horas por día durante 7 días = 720 horas.
- **Tiempo Disponible.** tiempo disponible es el tiempo total en el cual el equipo está disponible, menos el tiempo que se haya decidido no destinarlo a producir, por ejemplo los tiempos debido a vacaciones, falta de carga de trabajo y falta de personal disponible.
- **Tiempo Operativo.** el tiempo operativo es el tiempo durante el cual el equipo está fabricando productos, es el tiempo disponible menos las pérdidas de tiempo por inactividad, estas pérdidas se dan por averías, esperas y cambios de configuración, entre otras, dependiendo del equipo.
- **Tiempo Neto De Operación.** es el tiempo teórico que sería necesario para fabricar una cantidad finita de productos basándose en el tiempo ideal de ciclo del equipo.
- **Tiempo De Producción Buena.** es el tiempo en el que el equipo fabricó productos o piezas que cumplen con las especificaciones de calidad. Es decir, el tiempo en que se fabricaron todos los productos o piezas menos el tiempo en el que se produjeron productos o piezas defectuosas.

- **Tiempo No Disponible Programado.** es el tiempo en que se ha decidido que el equipo no sea destinado para producir, por ejemplo cuando hay paros en el sistema de producción con fines relacionados con mantenimiento, reuniones del personal de producción, pausas entre comidas, entre otras.
- **Tiempo De Inactividad.** es el tiempo acumulado debido a interrupciones que ocurren en el equipo, como por ejemplo averías, cambios de materias primas, configuraciones al equipo, entre otras.
- **Pérdidas De Velocidad.** representan el tiempo perdido por variaciones en la velocidad ideal de trabajo del equipo, dentro de estas pérdidas se pueden dar las interrupciones cortas, las disminuciones de velocidad debidas al desgaste del equipo, fallos en configuraciones del operario, entre otras.
- **Pérdidas De Calidad.** representan el tiempo perdido por parte del equipo en la fabricación de producto de baja calidad o producto final que se encuentra fuera de especificaciones, por ejemplo rechazos de producto y productos re trabajados.
- **Capacidad Perdida.** sumatoria del tiempo causado por las pérdidas debidas a inactividad, pérdidas de velocidad y pérdidas de calidad, representa el tiempo en el que se desaprovechó la capacidad del equipo para producir productos o piezas dentro de las especificaciones.
- **Tiempo Ideal De Ciclo.** es el tiempo teórico mínimo en el que el equipo produce un producto o pieza de calidad aceptable, cuando el proceso transcurre en circunstancias óptimas. Es el inverso de la capacidad nominal y se especifica en unidades de tiempo.

- **Capacidad Nominal.** es el número máximo de productos de calidad aceptable que produce la máquina por unidad de tiempo, cuando el proceso transcurre en circunstancias óptimas. Se especifica en número de unidades sobre tiempo.
- **Total Producido.** es el número total de productos o piezas que se producen en un período finito de tiempo, involucra tanto los productos buenos como también los que están fuera de especificaciones.
- **Rechazos.** es el número de productos o piezas que se encuentran fuera de especificaciones en un período finito de tiempo.

2.3.2 Definición de Indicadores Claves De Desempeño para la Efectividad Global de Equipo. Este ítem define formalmente los indicadores clave de desempeño necesarios para el cálculo de la efectividad global de equipo, la descripción detallada de los mismos se presenta a continuación:

- **Disponibilidad.** Refleja el tiempo durante el cual el equipo está fabricando productos, comparado con el tiempo que podría haber estado fabricando productos. Un valor de disponibilidad menor a un 100% indica que se tienen pérdidas de tiempo: averías, esperas y restricciones de línea. Se calcula como la división del tiempo operativo entre el tiempo disponible del equipo.

En la Figura 5 se muestra la fórmula para calcular el porcentaje de disponibilidad en un equipo.

Figura 5. Fórmula para el cálculo de la Disponibilidad

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

- **Rendimiento.** Refleja qué ha producido el equipo, comparado con lo que teóricamente podría haber producido, es decir, la producción que se debería obtener si el equipo funcionase a la velocidad máxima teórica (capacidad nominal) durante el tiempo de funcionamiento actual.

Un valor de rendimiento menor a un 100% indica que se tienen pérdidas de velocidad: micro paradas y velocidad reducida. Se calcula como la división del producto del total de piezas producidas por el tiempo ideal de ciclo sobre el tiempo operativo.

En la Figura 6 se muestra la fórmula para calcular el porcentaje de rendimiento en un equipo.

Figura 6. Fórmula para el cálculo del Rendimiento

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Total Producido} \times \text{Tiempo Ideal de Ciclo}}{\text{Tiempo Operativo}}$$

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

- **Calidad.** Refleja los productos buenos que se han obtenido, comparado con el total de productos que se han fabricado. Un valor de calidad menor de un 100% indica que se tienen pérdidas de calidad: deshecho y retrabajos, así como pérdidas en el arranque de máquina. Se calcula como la división el total de productos buenos (total producido menos rechazos) sobre el total producido.

En la Figura 7 se muestra la fórmula para calcular la calidad de los productos realizados en un equipo.

Figura 7. Fórmula para el cálculo de la Calidad

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{Total Producido} - \text{Rechazos}}{\text{Total Producido}}$$

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

- **Efectividad Global De Equipo.** Refleja la capacidad real aprovechada comparada con la capacidad ideal del equipo. Un valor de efectividad global de equipo menor de un 100% indica que se está subutilizando el equipo debido a que la capacidad del equipo no está siendo utilizada para fabricar productos de óptima calidad, y, de manera no intencionada está siendo utilizada para otras actividades, por ejemplo, si un equipo tiene un OEE de 60% quiere decir que de cada 100 unidades de producto de calidad que tendría que producir, actualmente está produciendo 60 unidades de producto de calidad.

Se calcula como el producto de los valores de los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad. En la Figura 8 se muestra la fórmula para calcular OEE.

Figura 8. Fórmula para el cálculo de la Efectividad Global de Equipo

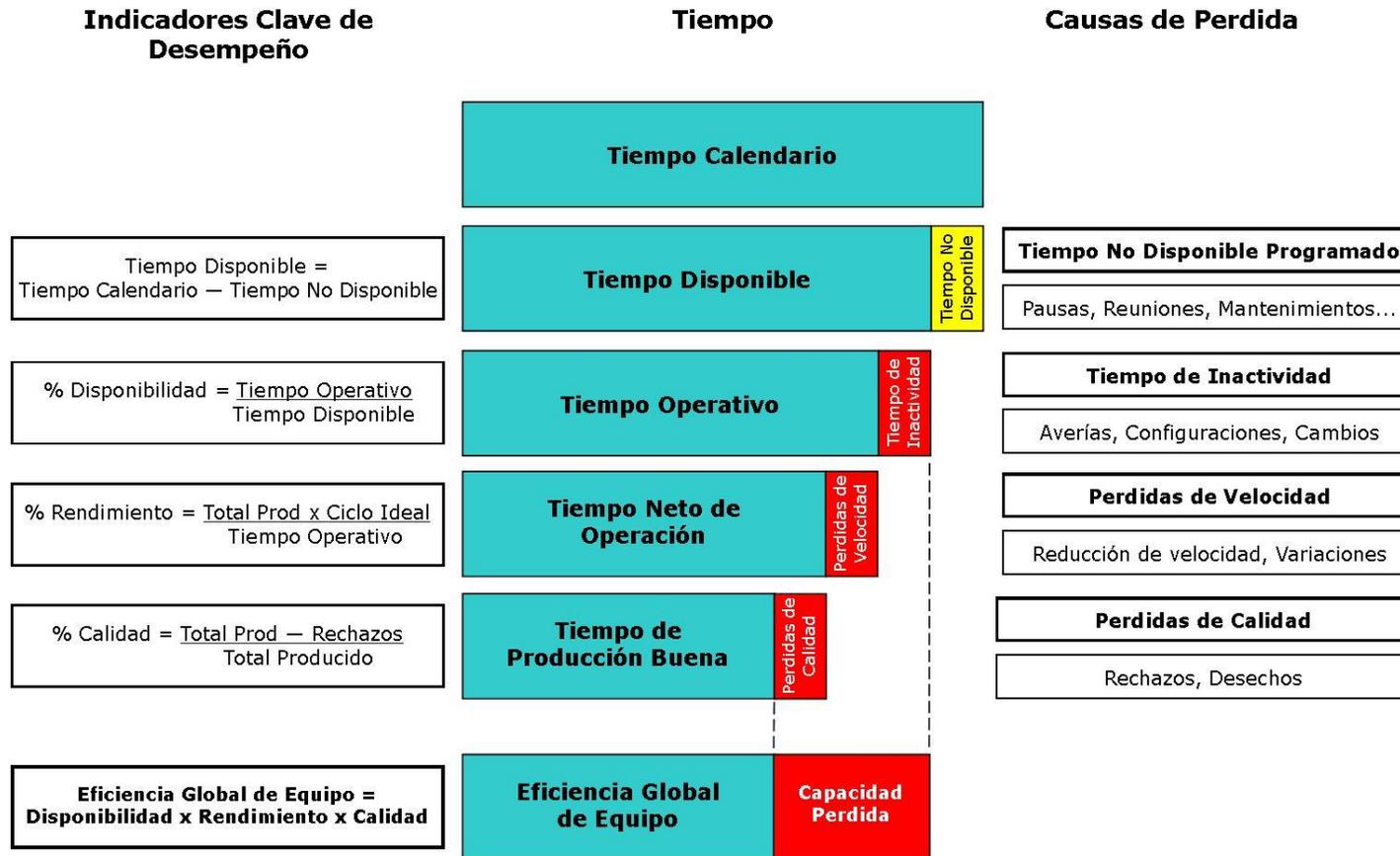
$$\text{Eficiencia Global de Equipo} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Se hace necesario considerar que además de la efectividad global de equipo existen otro tipo de indicadores relacionados con la medición de eficiencia en los sistemas productivos, algunos de estos indicadores se presentan en la Tabla 3.

En la Figura 9 se presentan en resumen los conceptos expuestos anteriormente:

Figura 9. Modelo para la Efectividad Global de Equipo



Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 3. Indicadores de Eficiencia

Nombre	Descripción	Formula	Fuente	Valor esperado
Total Effective Equipment Productivity	Es un porcentaje que representa la producción buena con respecto al tiempo total disponible	$TEEP = \frac{\text{Total Producción Buena}}{\text{Capacidad Nominal} \times \text{Tiempo Calendario}}$	Producción	El valor que se espera depende de las políticas de la empresa. Pero normalmente se espera que este encima del 90%
Synthetic Performance Ratio	Es un porcentaje que representa la producción buena con respecto al tiempo operativo de la línea	$SPR = \frac{\text{Total Producción Buena}}{\text{Capacidad Nominal} \times \text{Tiempo Disponible}}$	Producción	El valor que se espera depende de las políticas de la empresa. Pero normalmente se espera que este encima del 95%
Mean Time Between Failures	Es el tiempo promedio que un equipo, maquina, línea o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional	$MTBF = \frac{\text{Tiempo de Producción Buena}}{\text{Conteo de Paradas}}$	Producción	El valor que se espera depende de las políticas de la empresa. Idealmente se espera que sea un tiempo grande
Mean Time To Repair	Es el tiempo promedio para restaurar la función de un equipo, maquina, línea o planta, después de una falla funcional	$MTTR = \frac{\text{Tiempo de Perdida de capacidad}}{\text{Conteo de Paradas}}$	Producción	El valor que se espera depende de las políticas de la empresa. Idealmente se espera que sea un tiempo pequeño

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

3. CAPÍTULO 3. LOS INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO Y LA NORMA ISA S95

En busca de la competitividad, las empresas dedicadas a la manufactura de productos, se ven obligadas a optimizar e integrar la información, con el objetivo de hacer más transparentes los procesos y de esta manera sacar el mayor provecho a la información que éstos generan. La norma ISA S95 se propone como medio para plasmar el objetivo planteado y de esta manera tener organizada e integrada la información, generando valor a la misma.

Como pudo observarse en el capítulo 1, la norma se encuentra compuesta por 6 partes, de las cuales se analizará la tercera parte del estándar – Parte 3: Modelos de actividad de administración de operaciones de manufactura - para el desarrollo del presente trabajo.

3.1 GENERALIDADES DE LA NORMA ISA S95 PARTE 3

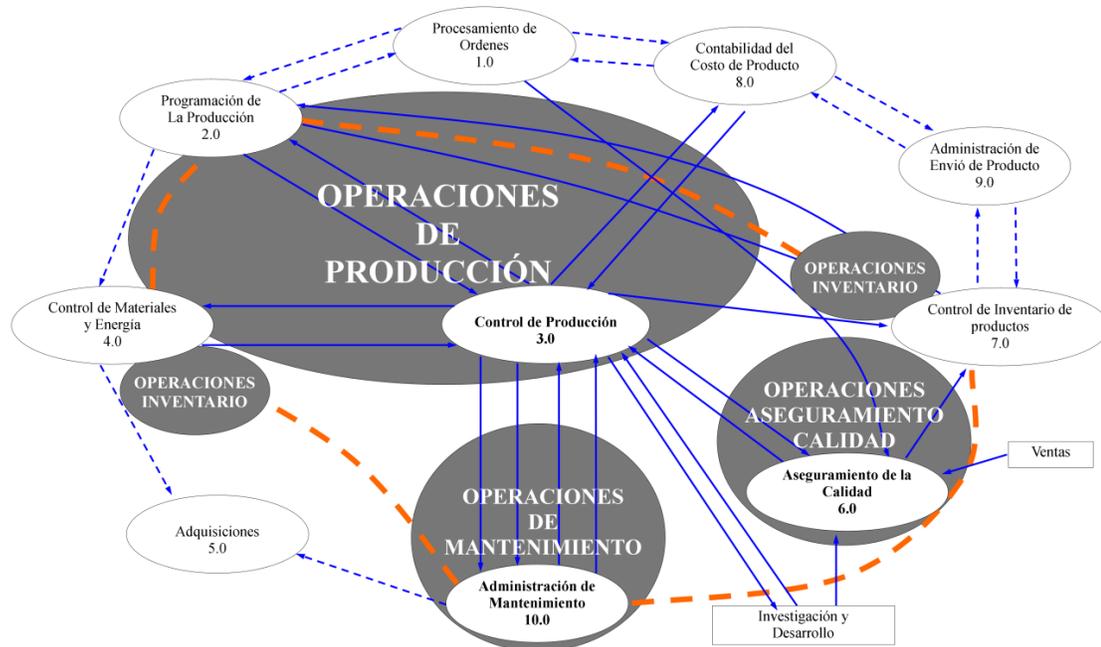
La parte 3 del estándar ISA 95, define los modelos de actividad, los flujos de información y la terminología para el nivel de administración de operaciones de manufactura que permiten la integración de los sistemas empresa - control. Los modelos de actividad operan entre las funciones de planeación y logística (Nivel 4) y las funciones de control manual y automático de procesos (Nivel 2). Entre los aportes más representativos de esta parte del estándar se tienen: la definición de las categorías de información, la ampliación del modelo físico y la descripción detallada de la terminología y los modelos que sirven de base para el intercambio de información entre los niveles mencionados.

3.2 ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE MANUFACTURA

Las actividades de administración de operaciones de manufactura son aquellas actividades de una instalación de manufactura que coordinan el personal, equipo, material, y energía en la conversión de materias primas en productos [16].

El estándar propone cuatro categorías de información: Administración de operaciones de Producción, Administración de operaciones de mantenimiento, Administración de operaciones de inventario y Administración de operaciones de calidad que definen los 4 modelos formales de las mismas. Estas categorías pueden observarse en el modelo de administración de operaciones de manufactura, Figura 10.

Figura 10. Modelo de administración de operaciones de manufactura



Fuente: International Society of Automation. ISA, Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. North Carolina, U.S.A., 2005. Junio 29 de 2009.

El modelo de Administración de las Operaciones de Producción incluye las actividades de control de producción y programación de la producción que operan como funciones de nivel 3. **El modelo de Administración de las Operaciones de**

Mantenimiento incluye las actividades de administración de mantenimiento que opera como función de nivel 3. **El modelo de Administración de las Operaciones de Calidad** incluye las actividades de aseguramiento de la calidad que opera como función de nivel 3. **El modelo de Administración de Operaciones de Inventario** incluye las actividades de administración de inventario y material incluyendo control de inventario de productos y actividades de control de material y energía que operan como funciones de nivel 3.

3.2.1 Modelo de actividades. En la Figura 11 se ilustra el modelo de actividad de la parte 3 del estándar con relación a las definiciones establecidas en sus partes 1 y 2. Las actividades en esta parte 3 intercambian información con las actividades del nivel 4 y del nivel 2. Los círculos grises indican las actividades detalladas en esta parte 3. Los flujos de información entre las actividades de la parte 3, indicadas como líneas punteadas gruesas, son descritos en general en esta parte del estándar. Adicionalmente, están definidos los flujos de información entre las actividades de la parte 3 y las actividades correspondientes al nivel 2.

Figura 11. Relaciones de Actividades

Fuente: International Society of Automation. ISA, Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. North Carolina, U.S.A., 2005. Junio 29 de 2009.

3.2.2 Modelo genérico de actividad de administración de operaciones de manufactura. El modelo genérico para la administración de operaciones de manufactura es usado como una plantilla para definir los modelos de administración de operaciones de producción, administración de operaciones de mantenimiento, administración de operaciones de calidad, y administración de operaciones de inventario. Éste modelo es mostrado en la Figura 12, el cual puede ser extendido para cada una de las categorías mencionadas [16].

Figura 12. Modelo genérico de actividad de administración de operaciones de manufactura



Fuente: International Society of Automation. ISA, Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. North Carolina, U.S.A., 2005. Junio 29 de 2009.

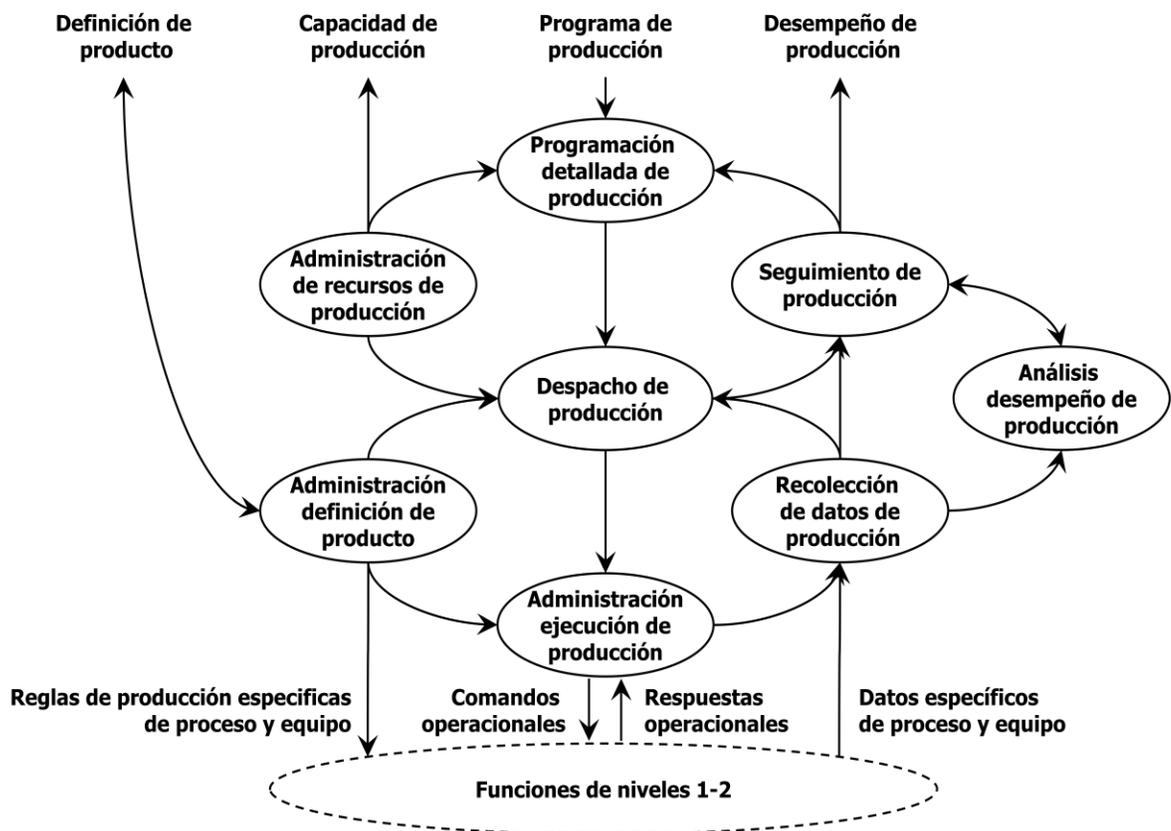
Para la realización del presente trabajo, se hace necesaria su aplicación en la categoría de administración de operaciones de producción, ya que la efectividad global de equipo se enmarca como uno de los pilares de mejora del sistema productivo clasificándose como un indicador de producción. Por tanto, el análisis de la norma se enfatizará en las actividades y flujos de información propios del literal de administración de operaciones de producción.

3.3 ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN

La administración de operaciones de producción se define como el conjunto de actividades que coordinan, dirigen, administran y siguen a las funciones que usan materias primas, energía, equipo, personal e información para la producción de productos, con cualidades, cantidades, seguridad y tiempos de línea definidos [16].

La Figura 13 presenta el modelo de actividad para la administración de operaciones de producción, detallando la información intercambiada con las funciones de los niveles 1 y 2.

Figura 13. Modelo de actividad de administración de operaciones de producción



Fuente: International Society of Automation. ISA, Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. North Carolina, U.S.A., 2005. Junio 29 de 2009.

Basándose en los resultados del trabajo de grado: **“APLICACIÓN DE LA CATEGORÍA “ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN” DE LA NORMA ISA 95 A UN CASO DE ESTUDIO.”** se presenta el Anexo I (Descripción de la Categoría Administración de Operaciones de Producción), en el cual, se realiza una descripción de cada una de las actividades de la categoría y se detallan en tablas de información los flujos que se dan entre las mismas. Las tablas de información mencionadas fueron el punto de partida para el análisis de la parte 3 del estándar y la realización del Modelo de administración de operaciones de producción con interfaces de información que sentó las bases para la elaboración de la guía.

3.3.1 Actividades y tareas de la administración de operaciones de producción para KPI's para OEE. En esta parte se describen las tareas referentes a las actividades de la administración de operaciones de producción, para el trabajo con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.

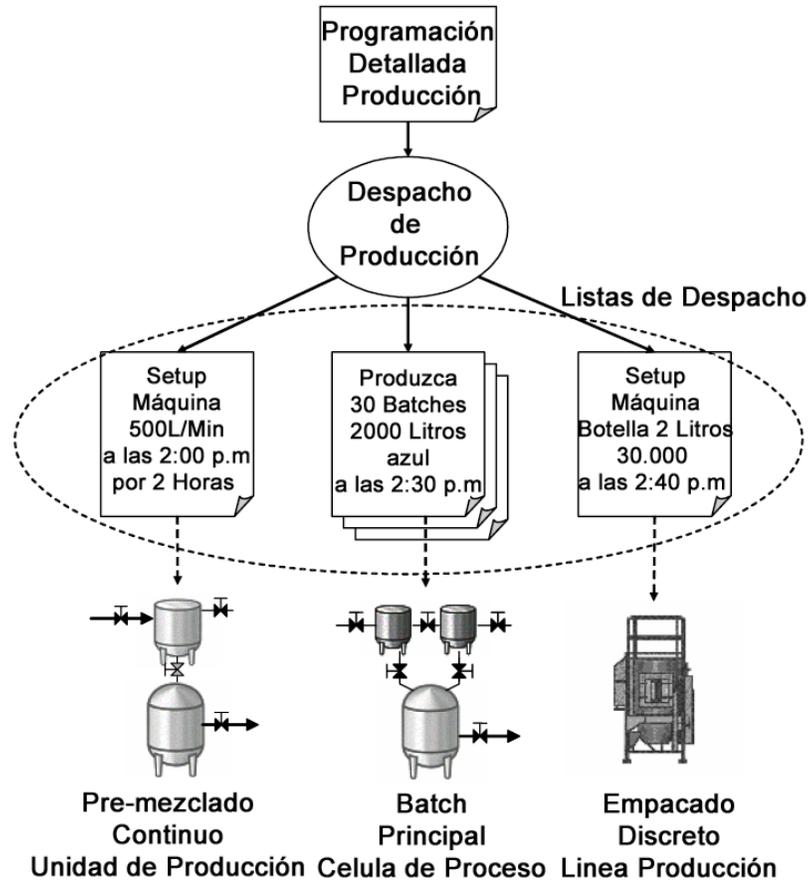
Administración de definición de producto. La administración de definición de producto se encarga de administrar las definiciones de los indicadores clave de desempeño asociados a los productos y la producción de los mismos.

Administración de recursos de producción. La administración de recursos de producción debe almacenar información del estado actual de los recursos de personal, equipo, material, y la capacidad de los mismos. Ésta información puede ser recolectada con base a los eventos, la demanda y/o un programa definido, y puede ser recolectada del equipo, las aplicaciones o las personas que interactúan con el recurso.

Programación detallada de la producción. Ésta actividad además de la generación del programa detallado de producción para un periodo de largo plazo se encarga de realizar simulaciones del tipo (Que pasa - Si), en las cuales puede analizar los tiempos tanto de inicio como de finalización de una producción específica, para cada solicitud de producción proporcionada por el nivel de logística y negocios (Nivel 4).

Despacho de producción. Ésta actividad se encarga de enviar o poner a disposición, la lista de despacho de producción que especifica las actividades de producción a ser realizadas. Un ejemplo de la lista de despacho de un proceso híbrido puede observarse en la Figura 14.

Figura 14. Lista de despacho de un proceso híbrido



Fuente: International Society of Automation. ISA, Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. North Carolina, U.S.A., 2005. Junio 29 de 2009.

Como puede notarse en la Figura 14 la lista de despacho contiene las especificaciones de los productos asociados de manera directa a las máquinas con los respectivos tiempos de funcionamiento. Esta información es sumamente importante ya que este tiempo sería el tiempo teórico de funcionamiento de las máquinas en la medición de OEE.

Recolección de datos de producción. Ésta actividad recupera, almacena y archiva la información relacionada con la ejecución de la producción, el uso del equipo y la información adicional entregada por el personal de producción. Además, suministra la información de calidad del producto para la comparación con especificaciones y realiza la manutención de toda la información para el seguimiento de los productos.

Seguimiento de producción. El seguimiento de la producción recolecta información de las actividades de recolección de datos y análisis de producción con el fin de generar reportes relacionados con el proceso y la producción al nivel de logística y negocios para el análisis de los mismos y la mejora posterior del proceso productivo.

Análisis del desempeño de la producción. Se define como el conjunto de actividades que analiza y reporta la información del desempeño a los sistemas de negocio. Además, se encarga de la generación de los indicadores clave de desempeño con el fin de obtener las condiciones óptimas de funcionamiento del proceso, proporcionando cambios y mejoras al sistema productivo.

Algunas de las tareas asignadas a la actividad específicamente relacionadas con indicadores clave de desempeño son:

- Realizar Reporte de los KPI's.
- Realizar análisis de los KPI's.
- Supervisión para facilitar la claridad de los KPI's.
- Capacidad de utilizar los KPI's en modelos de análisis de información.
- Predicción de valores futuros de los KPI's.
- Capacidad para decretar acciones a realizar basado en los valores de los KPI's.

3.3.2 Flujos e intercambio de información entre actividades de administración de operaciones de producción para KPI's para OEE. De las tablas de información presentadas en el Anexo I (Descripción de la Categoría Administración de Operaciones de Producción), se seleccionan los flujos de información referentes de manera específica a los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo. Esta información se relaciona en las tablas 4 a 11 y será utilizada más adelante en la aplicación al caso de estudio.

Tabla 4. Intercambio de información de la administración de definición del producto para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Administración de Definición del Producto	←	Investigación, desarrollo e ingeniería	- Definiciones de los indicadores clave de producción (KPI's).	N I V E L 4
	→	Análisis de desempeño de producción	Definiciones de KPI's.	N I V E L 3
	←		- Cambios identificados para proceso, procedimientos y producción.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 5. Intercambio de información de la administración de recursos de producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Administración de recursos de producción	←	Administración de operaciones de mantenimiento	- Necesidades actuales y futuras de mantenimiento. - Información del recurso equipo necesaria para producción.	N I V E L 3
	→	Análisis de desempeño de producción	Disponibilidad de recursos de producción.	
	←	Seguimiento de producción	Trabajo de producción completado en tiempo real.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 6. Intercambio de información de la Programación detallada de producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Programación detallada de producción	←	Nivel 4	Programa de producción para un periodo de largo plazo.	N I V E L 4
	→	Administración de recursos de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano a corto plazo (recursos a comprometer).	
	→	Despacho de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano o corto plazo.	
	←	Seguimiento de producción	Reportes sobre WIP (trabajo en proceso) y trabajo completado.	3

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 7. Intercambio de información del Despacho de producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Despacho de producción	←	Programación detallada de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano o corto plazo.	N I V E L
	→	Administración de ejecución de producción	Lista de despacho de producción.	
	→	Seguimiento de producción	Lista de despacho de producción relacionando trabajo para el recurso.	
	←	Recolección de datos de producción	Estado real de producción y equipo.	3

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 8. Intercambio de información de la Administración de ejecución de producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Administración de ejecución de producción	←	Despacho de producción	Lista de despacho de producción.	N I V E L 3
	→	Recolección de datos de producción	- Información de producción - Eventos de producción.	
	→	Niveles 1 y 2	Comandos operacionales. Puede incluir: - Elemento de la orden de trabajo - Recursos por utilizar - Tiempo de inicialización y finalización. - Parámetros de producción	N I V E L 1-2
	←		Respuestas operacionales. Puede incluir: - Estado de la orden de trabajo - Recursos y parámetros de producción - Tiempo de inicialización y finalización - Desechos y Productividad	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 9. Intercambio de información de la Recolección de Datos de Producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Recolección de Datos de Producción	←	Administración de ejecución de producción	- Información de producción - Eventos de producción.	N I V E L 3
	→	Análisis de desempeño de producción	Datos históricos de recursos: - Estado de equipos - Uso de recursos.	
	→	Despacho de producción	Estado real de producción y equipo.	
	→	Seguimiento de producción	Datos históricos de recursos de producción.	N I V E L 1-2
	←	Administración de operaciones de Calidad	Datos de calidad.	
	←	Niveles 1 y 2	Datos de recurso, datos de operación, estado de los equipos, configuración de los equipos, alarmas, acciones de operador, comentarios de operador.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 10. Intercambio de información del Seguimiento de producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Seguimiento de producción	➔	Nivel 4	Desempeño de la producción para un periodo de largo plazo.	NIVEL 4
	↩	Recolección de datos de producción	Datos históricos de recursos.	
	➔	Análisis de desempeño de producción	Datos de desempeño y calidad.	NIVEL 3
	↩		Datos de desempeño y calidad.	
	➔	Programación detallada de producción	Reportes sobre WIP (trabajo en proceso) y trabajo completado.	
	↩	Despacho de producción	Lista de despacho de producción relacionando trabajo para recursos.	
	➔	Administración de recursos de producción	Trabajo de producción completado en tiempo real.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Tabla 11. Intercambio de información del Análisis de desempeño de producción para KPI's para OEE

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS		
Análisis de desempeño de producción	➔	Nivel 4	- Indicadores de producción.	NIVEL 4
	↩		Administración de políticas y modelos.	
	➔	Administración de definición del producto	Cambios identificados para proceso, procedimientos y producción.	NIVEL 3
	↩		Definiciones de KPI's de producción.	
	↩	Recolección de datos de producción	Datos históricos de recursos: - Datos de operación - Estado de equipos	
	➔	Seguimiento de producción	Datos de desempeño y calidad.	
	↩		Datos de desempeño y calidad.	

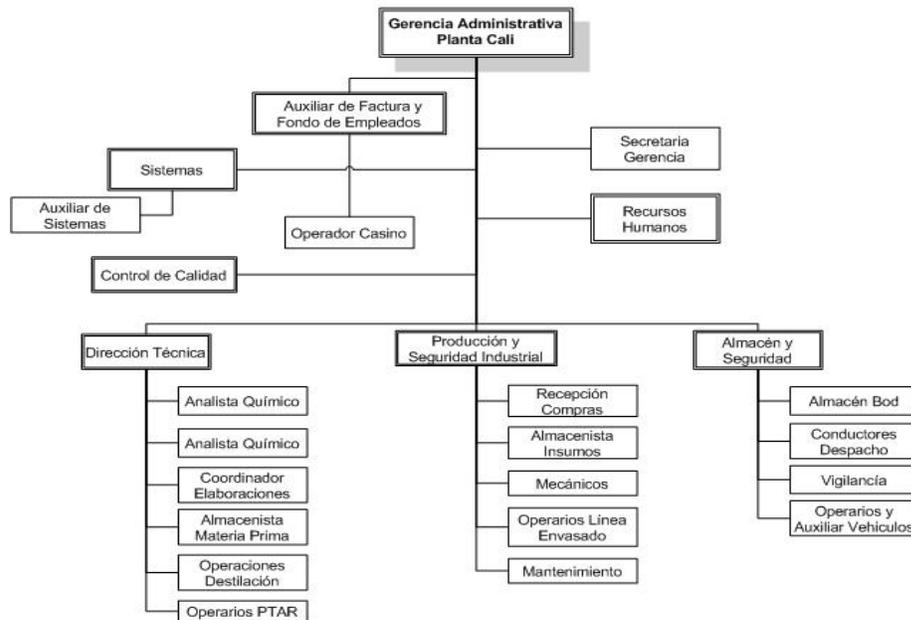
Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

4. CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO AL CASO DE ESTUDIO.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO

La empresa caso de estudio se encarga de la producción, distribución y comercialización de vinos y licores, actualmente, cuenta con 17 presentaciones entre importaciones y productos nacionales que ostentan una reconocida trayectoria de más de 50 años en el mercado colombiano. La empresa está dividida en 2 sedes principales, la primera de estas se encuentra en la ciudad de Bogotá y consta de todas las áreas administrativas y comerciales de la misma. En la segunda sede ubicada en la ciudad de Cali se encuentra la planta de producción con sus respectivas áreas, estas pueden observarse en el organigrama de la Figura 15.

Figura 15. Organigrama de la Planta en la Ciudad de Cali.



Fuente: Elaboración con base en la documentación Administrativa de la empresa caso de Estudio. Junio 29 de 2009.

4.1.1 Descripción del Proceso. El proceso inicia cuando se proporcionan los palets de envase para la alimentación del mismo por acción de un montacargas. La Empresa caso de estudio cuenta con tres tipos de palets de envase para las diferentes presentaciones que ofrece: de media con 3600 envases por palet, de botella con 1920 envases palet y el de vino con 1798 envases por palet.

La línea de envasado que se va a tomar como estudio para la realización de este proyecto trabaja con envases de media, esta presentación tiene las siguientes características: 360 envases por tendido, 10 tendidos para un total de 3600 envases por palet.

A continuación se van a describir cada una de las unidades que hacen parte del proceso y al final se expondrá en la Figura 16 el diagrama de la línea de envasado.

Unidad Despaletizadora: una vez apilados y organizados los palets, cada uno de los mismos es colocado en una plataforma electrohidráulica de elevación con capacidad de 2 toneladas, en la cual, gracias a la acción de pedales, es empujado cada uno de los tendidos de envase hacia la mesa acumuladora. En esta parte del proceso no se realiza un control a la calidad de las materias primas, ya que los palets de envase poseen un empaque que evita la degradación de los mismos; por tanto, la empresa decide dejar el control de materias primas (En cuanto al envase) para la entrada del proceso en la mesa acumuladora y la unidad enfiladora de envase.

Mesa Acumuladora: todos los tendidos de envase provenientes de la unidad despaletizadora se acumulan y organizan de manera homogénea para la entrada al proceso productivo. En esta parte se aprovecha para realizar una inspección a los envases que van a ingresar al proceso de envasado de licor, de tal manera que son rechazados los que no cumplan con las especificaciones establecidas por el departamento de control de calidad.

El departamento de control de Calidad lleva un registro de cada una de las materias primas y proveedores de la línea de envasado con el fin de realizar los reclamos y correcciones respectivos. En la Figura 13 del Anexo 4 se especifican los defectos que se buscan durante el proceso.

Enfiladora De Envase: la enfiladora consta de cuatro bandas transportadoras que trabajan a diferentes velocidades, de tal manera que dan vuelta a los envases acomodándolos apropiadamente para la entrada a la unidad de Uniblok.

Unidad Uniblok: esta unidad se encarga de enjuagar, llenar y tapar el envase de la presentación seleccionada (En este caso la presentación de media). Éste proceso inicia cuando se detectan envases a la entrada de la máquina, en este momento la máquina es capaz de enjuagar 28 envases (gracias a sus 28 pinzas de enjuagado), llenar 35 envases (por acción de las 35 boquillas de llenado que posee) y tapar 6 envases (por medio de sus 6 cabezales de tapado); de forma sincronizada a una velocidad de 10000 envases por hora. Para el inicio de este multiproceso se deben cumplir unas condiciones iniciales que se describen a continuación:

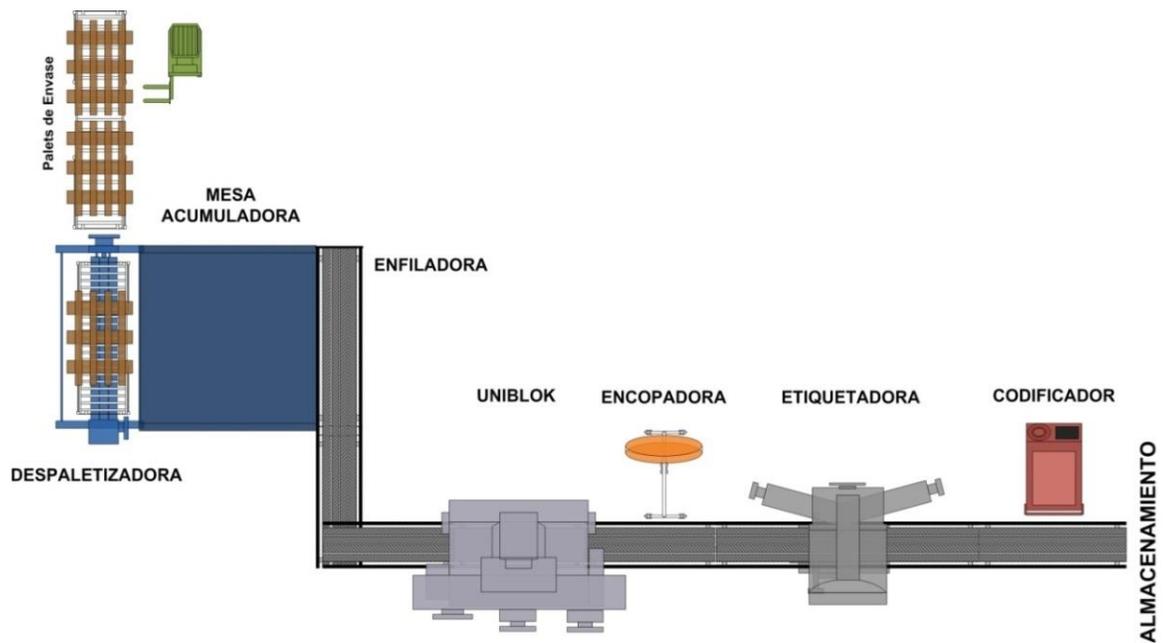
- ✓ La enjuagadora debe tener abierta la válvula de entrada de agua.
- ✓ La llenadora debe tener abierta la válvula de entrada del producto a envasar y el nivel del mismo debe ser de por lo menos el mínimo requerido.
- ✓ La tapadora debe tener un nivel mínimo de tapas.

Encopadora: la unidad encopadora consta de una tolva de alimentación en donde se coloca la materia prima (Copas), una tubería de soplado que sube las copas hasta el ciclón codificador que se encarga de entregar de manera apropiada las copas para su unión con la tapa, un carril guía las copas desde la altura del ciclón codificador hasta la salida del mismo en donde se instaura la copa sobre el envase a encopar, acto seguido el soporte de botella encopa la tapa por medio de un pistón que la presiona al envase.

Etiquetadora: el proceso de etiquetado se da después de encopar el envase, en este momento la etiquetadora debe estar provista de las etiquetas de la presentación respectiva y los rodillos de pegante. Cuando se detecta la llegada de un envase, se aplica a la etiqueta el pegante y por medio de rodillos se adhiere al envase; para posteriormente por acción de un pistón fijarla por completo al mismo.

Codificador: el codificador es una impresora a chorro de tinta que imprime automáticamente en la etiqueta el lote, el consecutivo de la botella y en la copa imprime el escudo del producto, la garantía y el número consecutivo que contiene la etiqueta, con miras a evitar la falsificación del producto. El codificador cuenta con un contador de consecutivos que muestra cuantas botellas salen para el empaque de producto terminado. Una vez los envases salen llenos de producto, tapados, etiquetados, encopados y codificados se realiza una inspección en la que se rechazan todos aquellos que posean algunos de los defectos ilustrados en la Figura 13 del anexo 4, por lo cual solo pasarán al área de embalaje y almacenamiento los productos que han cumplido las condiciones establecidas por el control de calidad.

Figura 16. Diagrama de la línea de envasado.



Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

4.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO A UN CASO DE ESTUDIO

4.2.1 Diagnóstico de la Empresa: Aplicación de los conceptos de Indicadores Clave de Desempeño para la Efectividad Global de Equipo desde el Enfoque ISA 95 al Caso de Estudio. Para la ejecución del diagnóstico de la empresa caso de estudio por medio de la aplicación de los conceptos de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo, se hace necesario realizar una serie de pasos que contribuyan a modelar y entender cómo se perciben las áreas y funcionalidades de la empresa desde el enfoque de actividades, tareas y flujos de información de ISA 95 parte 3.

Los pasos para la aplicación de los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo desde el enfoque ISA 95 parte 3 a un caso de estudio, se presentan a continuación:

- 1. Realizar un análisis de la empresa caso de estudio,** en donde se especifique cuales áreas de la empresa realizan las funciones de las actividades definidas en la parte 3 del estándar ISA 95, con el fin de seguir el flujo de información necesario para la definición, recolección de información y generación de reportes de los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.
- 2. Organizar la información de los procesos y procedimientos** relacionados con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo en cada una de las áreas de la empresa.
- 3. Relacionar la información recolectada de las áreas de la empresa** con las actividades determinadas para los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo, tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 y las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.

- 4. Identificar las dinámicas de comunicación entre áreas de la empresa** en pro de determinar flujos de información, tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 y las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.

- 5. Modelar la información encontrada en tablas de información** en donde se perciban las áreas de la empresa como actividades de la norma y las comunicaciones entre las mismas como flujos de información, tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 y las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.

En las tablas 12 a 19 se presenta la información que modela las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo y su aplicación al caso de estudio.

Administración de definición del producto. Esta actividad es realizada en la empresa caso de estudio por la **Gerencia de la planta Cali** en consenso con la **Presidencia Ejecutiva** de Bogotá. Estas son las áreas encargadas de determinar qué tipo de indicadores desean observar en pro del entendimiento y monitoreo de la producción. Para el cumplimiento de este objetivo estas áreas se encargan de la definición y análisis de los indicadores del proceso productivo que sirven de guía para el seguimiento y la optimización del mismo. A continuación se realiza una propuesta basada en ISA 95 para la definición de indicadores.

En la Tabla 12 pueden observarse los flujos de información de la actividad Administración de definición del producto específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 12. Intercambio de información de la administración de definición del producto para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO		
Administración de Definición del Producto	←	Investigación, desarrollo e ingeniería	- Definiciones de los indicadores clave de producción (KPI's).	No se evidencia en la empresa caso de estudio un ente encargado de la mejora del proceso por medio de indicadores. La gerencia es quién define qué tipo de indicadores le incumben de manera directa para el análisis de la producción.	N I V E L 4
	→	Análisis de desempeño de producción	Definiciones de KPI's.	La gerencia proporciona las definiciones respectivas de cada uno de los indicadores de producción que conciernan de manera directa al entendimiento de lo sucedido en la línea de envasado. Entre los indicadores más utilizados se encuentran Eficiencia, producción total diaria, mermas y eficiencias, tiempos de paro.	
	←		- Cambios identificados para proceso, procedimientos y producción.	Dependiendo del valor de los indicadores y las causas del valor de los mismos la gerencia de la planta en Cali determina cuales son los posibles cambios en los procesos y procedimientos a realizar en la producción. Para esto se realiza una reunión con cada uno de los entes de la planta en pro de generar una propuesta de mejoramiento al presidente de la compañía en Bogotá que es quién toma la decisión final de la realización de la misma. El departamento de mercadeo y Ventas de Bogotá incide directamente en este aspecto al momento de realizar cambios en el formato del producto, por lo cual se sigue el mismo procedimiento planteado anteriormente.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Administración de Recursos de producción. El área de **Producción y Seguridad Industrial** es la encargada directamente de realizar las peticiones de información referente a los recursos comprometidos para la realización de un lote de producción. Entre las funciones que realiza esta área se tienen: la programación de mantenimiento a equipos, recepción de reportes de maquinaria y equipos de la línea, y la generación de los reportes respectivos de la fabricación de la producción. En la Tabla 13 se presentan los flujos de información de la actividad Administración de recursos de producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 13. Intercambio de información de la administración de recursos de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO	N I V E L 3
Administración de recursos de producción	← Administración de operaciones de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidades actuales y futuras de mantenimiento. - Información del recurso equipo necesaria para producción. 	Mensualmente el jefe de producción realiza una programación del mantenimiento a las máquinas. Ocasionalmente, debido a la falta de carga laboral se realiza a diario mantenimiento de tal manera que estén listas para producir cuando se requiera. Además, el jefe de producción está encargado de pedir información a los operarios y personal de mantenimiento del estado del equipo en pro de adelantarse a problemas debidos a mantenimiento del mismo.	
	→ Análisis de desempeño de producción	Disponibilidad de recursos de producción.	El operario de cada una de las máquinas es el encargado de proporcionar la información de la misma al jefe de producción para que pueda tenerse en cuenta al momento de la generación de listas de despacho.	
	← Seguimiento de producción	Trabajo de producción completado en tiempo real.	Los operarios de la línea de envasado deben proporcionar reportes del trabajo realizado en la línea, tales como: Tiempos de operación, unidades producidas, paros, emergencias, entre otros. Estos reportes son entregados al jefe de producción para que genere el reporte de trabajo completado a la gerencia de la planta.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Programación Detallada de la Producción. Las áreas de **Ventas y la Gerencia de la Planta** se encargan de algunas funciones de esta actividad en la empresa caso de estudio. Entre las funciones más representativas de estas áreas de la empresa respectivamente se tienen: la generación del programa de producción semanal o programa detallado de producción (Realizado con base en el programa de producción ó programa de producción de largo plazo anual especificado mes a mes y el pronóstico de ventas) y la recepción de los reportes que contienen el trabajo completado de una producción en específico.

En la Tabla 14 se presentan los flujos de información de la actividad Programación detallada de producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 14. Intercambio de información de la Programación detallada de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO		
Programación detallada de producción	←	Nivel 4	Programa de producción para un periodo de largo plazo.	La gerencia Administrativa de la planta (Cali) realiza anualmente un programa de producción mes a mes en el cual se especifica la cantidad de productos y presentaciones a realizar. Es de tener en cuenta que la producción a realizar se planea por medio de un sistema MRP en el cual dependiendo del pronóstico de ventas, el stock de producto terminado y la capacidad de la planta para el momento se decide la cantidad real a realizar.	N I V E L 4
	→	Administración de recursos de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano a corto plazo (recursos a comprometer).	EL Departamento de ventas realiza un programa de producción para un periodo semanal, pero en éste no especifica los recursos a comprometer para su realización. Este trabajo es realizado por el jefe de producción una vez recibe el programa detallado de producción.	N I V E L
	→	Despacho de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano o corto plazo.	El Departamento de Ventas es el encargado de realizar un programa detallado de producción para un periodo semanal. En este se especifican los productos que se desean producir en las cantidades	3

Continuación Tabla 14.

	➔	Despacho de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano o corto plazo.	necesarias, basándose en el programa de producción anual, el pronóstico de ventas y el producto terminado de la presentación con que se cuenta.
	➔	Seguimiento de producción	Reportes sobre WIP (trabajo en proceso) y trabajo completado.	El operario es el encargado de seguir de manera directa la producción de un lote de producto. En el reporte que se debe entregar al jefe de producción se especifica la hora de inicio de producción, fin de producción y cada uno de los paros y averías que puedan presentarse mientras se está produciendo. Cuando surgen estos fallos inesperados o anomalías se genera un reporte directo al jefe de producción para que se tomen los correctivos necesarios con el fin de llevar a cabo el trabajo planteado.

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Despacho de Producción. Esta actividad es realizada por el área de **Producción y Seguridad Industrial**. La lista de despacho es generada por el Jefe de Producción por medio del programa detallado de producción generado por **Ventas**. La lista de despacho contiene el lote que debe realizarse con las especificaciones del producto, cantidad del mismo y la hora de inicio de la producción en la línea de envasado indicada. En la Tabla 15 se presentan los flujos de información de la actividad Despacho de producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 15. Intercambio de información del Despacho de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO
➔	Despacho de producción	Programación detallada de producción	Programa detallado de producción para un periodo de mediano o corto plazo.
			El Departamento de Ventas es el encargado de realizar un programa detallado de producción para un periodo semanal. En este se especifican los productos que se desean producir en las cantidades necesarias, basándose en el programa de producción anual, el pronóstico de ventas y el producto terminado de la presentación con que se cuenta en el momento.

Continuación Tabla 15.

Despacho de producción	➡	Administración de ejecución de producción	Lista de despacho de producción.	<p>Una vez el departamento de ventas envía el programa detallado de producción al jefe de producción, éste determina cuáles son los recursos que deben tenerse en cuenta para la consecución del programa. En caso de falta o niveles bajos de los mismos en el área de almacenamiento genera las órdenes de compra necesarias para el cumplimiento del programa.</p> <p>Una vez todos los recursos se encuentran listos, el jefe de producción genera la lista de despacho en la cual especifica la cantidad de producto a producir, los equipos a utilizar (En el caso de estudio la línea de producción a comprometer), la hora de inicio y la hora de finalización de los mismos teniendo en cuenta los descansos y tiempos de almuerzo de los operarios.</p>	N I V E L 3
	➡	Seguimiento de producción	Lista de despacho de producción relacionando trabajo para el recurso.	<p>La lista de despacho generada por el jefe de producción, relaciona la producción de un lote de una presentación en específico a una línea de producción dada, por lo cual especifica de manera directa que se va a producir y con qué equipos.</p>	
	←	Recolección de datos de producción	Estado real de producción y equipo.	<p>No se evidencia en la empresa caso de estudio el almacenamiento de la información del estado de la producción y equipos, se cuenta con paneles de visualización pero la información presentada en los mismos no es guardada en el sistema de almacenamiento.</p>	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Administración de Ejecución de la Producción. Esta actividad es realizada por el área de **Producción y Seguridad Industrial** en la empresa caso de estudio. Específicamente el Jefe de Producción y su grupo de trabajo son los encargados de proporcionar y recibir las órdenes de trabajo verificando e informando el estado de la realización de las mismas a los entes gerenciales.

En la Tabla 16 se presentan los flujos de información de la actividad Administración de ejecución de producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 16. Intercambio de información de la Administración de ejecución de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO	N I V E L 3
Administración de ejecución de producción	← Despacho de producción	Lista de despacho de producción.	Una vez el departamento de ventas envía el programa detallado de producción al jefe de producción, éste determina cuáles son los recursos que deben tenerse en cuenta para la consecución del programa. En caso de falta o niveles bajos de los mismos en el área de almacenamiento genera las órdenes de compra necesarias para el cumplimiento del programa. Una vez todos los recursos se encuentran listos, el jefe de producción genera la lista de despacho en la cual especifica la cantidad de producto a producir, los equipos a utilizar, la hora de inicio y la hora de finalización de los mismos teniendo en cuenta los descansos y tiempos de almuerzo de los operarios.	
	→ Recolección de datos de producción	- Información de producción - Eventos de Producción.	Los operarios de la línea de envasado generan reportes de la información de producción con: nº de lote, unidades producidas, tiempo de la producción, tiempo de paros, causas de paros, entre otros. Estos reportes son recibidos por el jefe de producción para generar un reporte general del trabajo realizado con los eventos tiempos e indicadores relacionados con la producción respectiva. Al final de cada producción se envía el reporte general hacia el departamento de sistemas en donde se guardan los datos del reporte, una copia de los mismos se envía a la gerencia administrativa de la planta en pro de corroborar la veracidad de la información contenida en el reporte.	

Continuación Tabla 16.

Administración de ejecución de producción	➔	Niveles 1 y 2	Comandos operacionales.	Los comandos operacionales utilizados para una producción se especifican en la lista de despacho de producción generada por el jefe de producción.	N I V E L 1 - 2
	➔		Respuestas operacionales.	Los reportes de producción de los operarios indican: la línea con que se trabajó, el tiempo que duró la producción, recursos utilizados (Cantidades de insumos, materia prima y recurso humano comprometido con la producción), y los desechos generados en el proceso con el fin de la generación de indicadores de productividad y efectividad de la línea de producción.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Recolección de Datos de Producción. Esta actividad es realizada por el área de **Sistemas** en la empresa caso de estudio. Específicamente el Auxiliar de sistemas y su grupo de trabajo son los encargados de proporcionar y recibir las órdenes de información a cada uno de los entes de la empresa, verificando e informando el envío y recepción de cada uno de los reportes de las áreas de la empresa. Por otro lado, algunas funciones de recolección de datos se realizan directamente por cada una de las áreas de la empresa, pero éstas generan informes generales con esa información y estos datos son los que se guardan en el sistema de almacenamiento de la empresa. En la Tabla 17 se presentan los flujos de información de la actividad Recolección de Datos de Producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 17. Intercambio de información de Recolección de Datos de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO	N I V E L 3
Recolección de Datos de Producción	➔	Administración de ejecución de producción	<ul style="list-style-type: none"> - Información de producción - Eventos de producción. 	

Continuación Tabla 17.

Recolección de Datos de Producción	←	Administración de ejecución de producción	<ul style="list-style-type: none"> - Información de producción - Eventos de producción. 	se envían todos los reportes al jefe de producción quién genera un reporte general, el cual es enviado a la gerencia de planta y al área de sistemas para el almacenamiento en la base de datos de la empresa.	N I V E L 3
	→	Análisis de desempeño de producción	<p>Datos históricos de recursos; puede incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datos de operación - Estado de equipos - Uso de recursos. 	Los datos históricos de la empresa se encuentran en el sistema de almacenamiento de datos de la misma. El área de sistemas se encarga de proporcionar los datos históricos de la producción en la línea de envasado a quién lo necesite, para la generación de reportes históricos de la producción.	
	→	Despacho de producción	Estado real de producción y equipo.	El área de sistemas no posee la información del estado de los equipos, solamente de la producción de cada uno de los lotes fabricados en la línea de envasado. Es trabajo del Jefe de Producción conocer el estado real de la producción y los equipos para poder lanzar la orden de producción ó la lista de despacho.	
	→	Seguimiento de producción	Datos históricos de recursos de producción.	Los datos históricos de los recursos son almacenados por el Jefe de producción. Estos datos contienen la información de cada una de las máquinas de la línea con su respectivo mantenimiento, falla reparada u operación realizada y daño encontrado en la misma.	
	←	Administración de operaciones de Calidad	Datos de calidad.	Los datos provenientes del área de Control de Calidad son proporcionados al sistema de información por medio de reportes diarios, en los cuales se especifica cada uno de los proveedores y los defectos encontrados en la línea de envasado de los mismos. Además, proporciona la información de todos los productos que salieron defectuosos llevando un control de los mismos.	

Continuación Tabla 17.

Recolección de Datos de Producción	←	Niveles 1 y 2	Datos de recurso, datos de operación, estado de los equipos, alarmas, acciones de operador, comentarios de operador.	Los reportes generados por los operarios son enviados al Jefe de Producción quien realiza su informe general de Recursos, Equipos y Producción; los cuales son guardados en el sistema de almacenamiento de datos de la empresa.	N I V E L 1 - 2

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Seguimiento de la Producción. Esta actividad no es realizada directamente por un área específica de la empresa. Las funciones y flujos de información de esta actividad se dividen entre áreas como Gerencia, Producción y Seguridad Industrial, y Control de Calidad. En la Tabla 18 se presentan los flujos de información de la actividad Recolección de Datos de Producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 18. Intercambio de información de Seguimiento de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO		
Seguimiento de producción	→	Nivel 4	Desempeño de la producción para un periodo de largo plazo.	Con base en la información de la producción guardada en el sistema de almacenamiento de datos de la empresa, se realiza un informe anual en el cual se especifica cuánto se ha realizado, cómo ha funcionado la línea de envasado, además del desempeño y productividad de la misma.	N I V E L 4
	←	Recolección de datos de producción	Datos históricos de recursos.	Los datos históricos de los recursos son almacenados por el Jefe de producción. Estos datos contienen la información de cada una de las máquinas de la línea con su respectivo mantenimiento, falla reparada u operación realizada y daño encontrado en la misma.	
	→	Análisis de desempeño de producción	Datos de desempeño y calidad.	Este Flujo de información no se evidencia en la empresa caso de estudio.	3

Continuación Tabla 18.

Seguimiento de producción	←	Análisis de desempeño de producción	Datos de desempeño y calidad.	El área de control de calidad proporciona los datos relacionados a desechos y productos de mala calidad generados en la línea de envasado. Estos datos son enviados al jefe de producción para la elaboración del informe respectivo.	N I V E L 4
	→	Programación detallada de producción	Reportes sobre WIP (trabajo en proceso) y trabajo completado.	El operario es el encargado de seguir de manera directa la producción de un lote de producto. En el reporte que se debe entregar al jefe de producción se especifica la hora de inicio de producción, fin de producción y cada uno de los paros y averías que puedan presentarse mientras se está produciendo. Cuando surgen estos fallos inesperados o anomalías se genera un reporte directo al jefe de producción para que se tomen los correctivos necesarios.	N I V E L 3
	←	Despacho de producción	Lista de despacho de producción relacionando trabajo para recursos.	La lista de despacho generada por el jefe de producción, relaciona la producción de un lote de una presentación en específico a una línea de producción dada, por lo cual especifica de manera directa qué se va a producir y con qué equipos.	
	→	Administración de recursos de producción	Trabajo de producción completado en tiempo real.	Este Flujo de información no se evidencia en la empresa caso de estudio.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Análisis de Desempeño de Producción. Esta actividad es compartida por la **Gerencia y el área de Producción y Seguridad Industrial**. El encargado de realizar de manera directa los informes de producción con los indicadores respectivos es el Jefe de Producción y el análisis de estos indicadores lo realizan los entes gerenciales de la empresa tanto en Bogotá como en Cali.

En la Tabla 19 se presentan los flujos de información de la actividad Análisis de Desempeño de Producción específicos para KPI's para OEE en el caso de estudio.

Tabla 19. Intercambio de información de Análisis de Desempeño de producción para KPI's para OEE del caso de estudio

INTERFAZ		CONTENIDO DE DATOS	CASO DE ESTUDIO	
Análisis de desempeño de producción	➔	Nivel 4	- Indicadores de producción.	N I V E L 4
	➜		Administración de políticas y modelos.	
	➔	Administración de definición del producto	Cambios identificados para proceso, procedimientos y producción.	N I V E L 3
	➜		Definiciones de KPI's de producción.	

Continuación Tabla 19.

Análisis de desempeño de producción	←	Recolección de datos de producción	<p>Datos históricos de recursos. Puede incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datos de operación - Estado de equipos - Uso de recursos. 	Los datos históricos de la empresa se encuentran en el sistema de almacenamiento de datos de la misma. El área de sistemas se encarga de proporcionar los datos históricos de la producción en la línea de envasado a quien lo necesite para la generación de reportes históricos de la producción.	N I V E L 3
	→	Seguimiento de producción	Datos de desempeño y calidad.	El área de control de calidad proporciona los datos relacionados a desechos y productos de mala calidad generados en la línea de envasado. Estos datos son enviados al jefe de producción para la elaboración del informe respectivo.	
	←		Datos de desempeño y calidad.	Este Flujo de información no se evidencia en la empresa caso de estudio.	

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Una vez se cuenta con toda la información relacionada en tablas, se hace necesario detallar cuáles de los flujos de información de la parte 3 de la norma ISA 95 no se dieron en la empresa caso de estudio y son explícitamente necesarios para la implementación del sistema de indicadores; con el propósito de especificar cambios en la empresa y asignaciones de funciones a las áreas de la misma. Particularmente para la empresa caso de estudio, la parte 3 de la norma se adaptó muy bien al sistema productivo, razón por la cual, esta parte del diagnóstico se dejó de lado.

4.2.2 Determinar los Indicadores Clave de Desempeño a medir. Después de realizar el diagnóstico de la empresa caso de estudio se hace necesario examinar las necesidades y expectativas de información (que dependen directamente de los objetivos, políticas y modelos de la empresa), que se esperan de la aplicación de un sistema de medición de indicadores y sientan las bases para la definición tanto de los indicadores mismos como de los reportes respectivos. En esta parte la gerencia define formalmente los indicadores clave de desempeño necesarios para el seguimiento y la optimización del sistema productivo.

Para la definición de indicadores se propone el modelo de objetos de la Figura 18 que se describe en el siguiente ítem.

Modelo para la Definición de Indicadores Clave de Desempeño. Este ítem define un modelo propuesto para la definición de indicadores clave de desempeño en empresas de manufactura. El modelo opera entre Planeación y Logística (Nivel 4) y las categorías de información de Administración de operaciones de Manufactura (Nivel 3); se fundamenta en los modelos de objeto y los atributos de los mismos definidos en las partes I y II del estándar ISA 95 respectivamente.

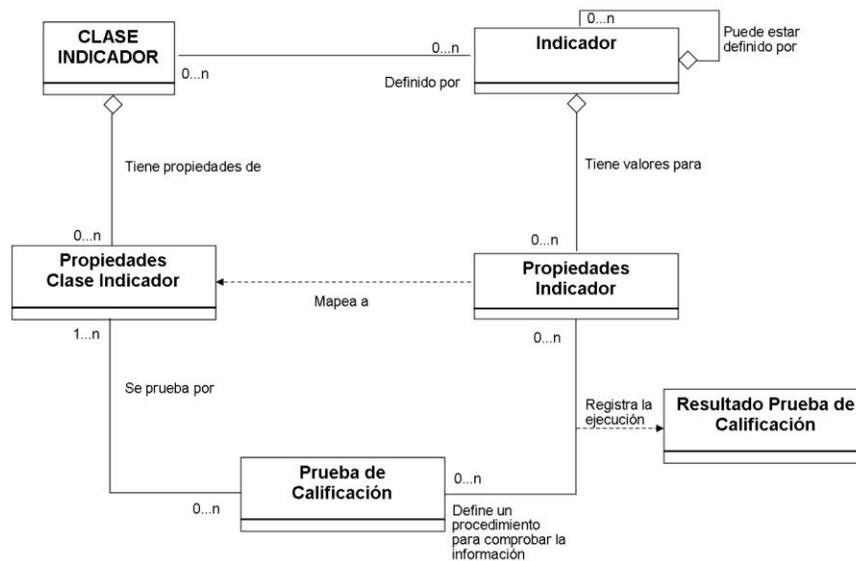
El objetivo de la definición de este modelo es proveer una herramienta a los entes gerenciales de las empresas de manufactura (Nivel 4) para realizar la definición de los indicadores de manera organizada y formal, en cada una de las áreas de la misma ó consecuentemente con ISA en cada una de las categorías de información relacionadas en la parte 3 del estándar ISA 95 (Producción, Inventario, Mantenimiento y Calidad).

Implícitamente, el modelo puede ser usado para reducir el esfuerzo asociado con la implementación de soluciones relacionadas con indicadores clave de desempeño, tanto para la empresa en general como para cada una de las áreas de la misma; colaborando con procesos de mejoramiento continuo, monitoreo operacional y buenas prácticas en procesos de manufactura como TPM.

Es necesario resaltar que análogamente al estándar ISA 95, el modelo propuesto es transparente a cualquier tipo de proceso de manufactura (Discreto, Continuo, Batch), pero en contraste al estándar, el alcance del mismo puede ampliarse a su utilización tanto para empresas de manufactura como para empresas dedicadas a la prestación de servicios.

En la Figura 17 se presenta el modelo propuesto para la definición de indicadores clave de desempeño tomando como referencia el estándar ISA 95.

Figura 17. Modelo para la definición de KPI's



Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

En el Anexo 2 (Diagrama de Clases del Modelo de Definición para Indicadores) puede observarse el diagrama de clases del modelo propuesto, en el cual se especifica cada clase con sus atributos respectivos.

A continuación se describen cada uno de los objetos relacionados en el modelo de objetos de la Figura 18 enfatizando en la utilización en empresas de manufactura.

Clase Indicador. La clase indicador define cada una de las agrupaciones de indicadores clave de desempeño dentro de una empresa de manufactura. Dependiendo de las necesidades de cada empresa se podría asociar a cada departamento de la misma una clase, ó tomando como referencia el estándar ISA 95, definir clases para cada una de las categorías de información.

Una clase indicador puede a su vez estar contenida en otra clase, por lo cual una clase puede tener múltiples subclases. Un ejemplo de esto se da en empresas con múltiples plantas de producción que se rigen por una administración centralizada.

En la Tabla 20 se especifican los atributos del objeto clase indicador.

Tabla 20. Atributos del objeto Clase Indicador

NOMBRE DEL ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
ID	Es la especificación única de cada una de las clases de indicadores que pueden existir. Puede tener asociado el código de la locación, área ó categoría de información de la empresa.	IPL1
Nombre	Es el nombre de la Clase.	Indicadores_Produccion linea_ensvasado_1
Descripción	Es la información adicional que permite comprender qué tipo de indicadores pueden asociarse a la clase.	Indicadores de Producción asociados a la línea de ensvasado 1

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Propiedades Clase Indicador. El objeto propiedades clase indicador define las características de las agrupaciones relacionadas en el objeto clase indicador. Éstas características pueden variar dependiendo del lugar, sitio ó área en la cual se vaya a realizar la medición. En la Tabla 21 se especifican los atributos del objeto propiedades clase indicador.

Tabla 21. Atributos del Objeto Propiedades Clase Indicador

Nombre del Atributo	Descripción	Ejemplo
ID	Es la Identificación de la propiedad que se va a asociar al indicador.	001
Nombre	Nombre de la propiedad que se va a asociar al indicador.	Meta
Descripción	Descripción funcional de la propiedad asociada al indicador clave de desempeño	Es el valor deseado para el indicador.
Valor	Es el valor actual en el cual se encuentra la medida del mismo.	83

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Indicador. Un indicador representa una medición en particular. Un indicador puede contener la relación de uno ó más indicadores y a su vez puede estar compuesto por uno ó más indicadores.

Propiedades Indicador. Cada indicador tiene una serie de propiedades ó características asociadas a cada instancia en específico. Este objeto detalla las propiedades actuales del indicador, mapeadas a las propiedades definidas en el objeto clase indicador.

Prueba De Calificación. El objeto prueba de calificación del modelo, define un procedimiento para corroborar que la información presentada para el cálculo del indicador es consistente y no presenta ambigüedades ó inconsistencias. Es de gran importancia resaltar que si la información es incorrecta, el cálculo del indicador se hace infructuoso y por tanto el indicador no puede ser tenido en cuenta en procesos de análisis y mejora de una actividad en particular.

En la Tabla 22 se especifican los atributos del objeto prueba de calificación.

Tabla 22. Atributos del Objeto Prueba de Calificación

NOMBRE DEL ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Código	Es la especificación única de cada una de las clases de indicadores que pueden existir. Puede tener asociado el código de la locación, área ó categoría de información de la empresa.	PC_1
Nombre	Es el nombre de la Clase.	Prueba de calificación
Responsable	Nombre o identificación del ente o persona responsable de la realización de la prueba.	J89765
Descripción	Es la información adicional que permite comprender que hay que tener en cuenta para la aprobación o No aprobación de la prueba.	Esta prueba de calificación especifica el procedimiento para la aprobación o n aprobación de la definición de una lista de indicadores.

Continuación Tabla 22.

Hora	Es la hora de realización de la prueba.	16:20
Fecha	Es la fecha de realización de la prueba.	08/04/2009

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

Resultado Prueba De Calificación. El objeto resultado prueba de calificación aprueba o no un informe de definición de indicadores clave de desempeño dado, por medio del análisis y la consistencia de la información presentada.

El resultado de la prueba de calificación puede tener asociado el código de la prueba de calificación respectiva, un responsable y el resultado de la misma (Aprobado – No aprobado).

Aplicación del Modelo Propuesto para la Definición de Indicadores Clave de Desempeño en el Caso de Estudio. La definición de indicadores clave de desempeño en la empresa caso de estudio es realizada en consenso por la Gerencia de planta y la presidencia ejecutiva de la empresa. Esta definición se realiza por medio de informes escritos en los cuales se especifican cada uno de los datos involucrados en la medición y la forma de cálculo de los mismos.

Para la aplicación del modelo propuesto para la definición de indicadores clave de desempeño, se generó el código en XML del modelo con la herramienta XMLSPY y a partir de la misma se instanciaron algunos de los indicadores de la empresa caso de estudio con el fin de mostrar el funcionamiento del modelo.

Basándose en el modelo propuesto para la definición de indicadores clave de desempeño, el código XML realizado se dividió de la siguiente manera:

- I. La primera parte del código describe el informe de definición de indicadores con un identificador, la descripción y la fecha de realización del mismo. Esta parte del código puede observarse en la Figura 18.

Figura 18. Primera Parte del Código

XML	
Comment	edited with XMLSpy v2009 sp1 (http://www.altova.com) by Gustavo Ramirez (Universidad del Cauca)
DEFINICIÓN-KPIS	
DefinicionID	DEF001
Comment	Identificador del Informe de definición para KPI's
Descripcion	Informe de definición número 1 de indicadores clave de desempeño de la empresa caso de estudio
Comment	Descripción del informe de definición para KPI's
Fecha_Publicacion	08/05/2009
Comment	Fecha de realización del linforme de defición de indicadores

Fuente: Elaboración Propia en la herramienta XMLSPY.

- II. En segunda instancia se presenta la definición de cada una de las clases de indicadores clave de desempeño que pueden encontrarse en la empresa caso de estudio. Para ser consecuente con la parte 3 de la norma ISA 95, se definen en este ejemplo 4 clases asociadas a las 4 categorías de información. Este hecho puede verse en la Figura 19. Cabe aclarar que la definición de clases de indicadores puede realizarse como la empresa lo desee, por tanto, el ejemplo es simplemente una propuesta para corroborar el funcionamiento del modelo.

Figura 19. Definición Clases Indicadores

DEFINICIÓN DE LAS CLASES DE INDICADORES					
ClaseID	Comment	ClaseNombre	Comment	ClaseDescripción	Comment
1 Class01	Es la especificación única de cada una de las clases de indicadores que pueden existir. Puede tener asociado el código de la locación, área ó categoría de información de la empresa.	INDICADORES_PRODUCION	Es el nombre de la Clase.	INDICADORES QUE ESTAN DIRECTAMENTE INVOLUCRADOS CON LA PRODUCCIÓN DE UN LOTE DE PRODUCTO.	Es la información adicional que permite comprender qué tipo de indicadores pueden asociarse a la clase.
2 Class02		INDICADORES_MANTENIMIENTO		INDICADORES QUE ESTAN DIRECTAMENTE INVOLUCRADOS CON EL MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS.	
3 Class03		INDICADORES_INVENTARIO		INDICADORES QUE ESTAN DIRECTAMENTE INVOLUCRADOS CON EL INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS.	
4 Class04		INDICADORES_CALIDAD		INDICADORES QUE ESTAN DIRECTAMENTE INVOLUCRADOS CON EL CONTROL DE CALIDAD.	

Fuente: Elaboración Propia en la herramienta XMLSPY.

III. Luego se presenta la definición de cada una de las propiedades de las clases. Estas propiedades se basan en las características y la composición de indicadores precisada en el capítulo 1 de esta monografía. Para realizar una definición general que aplique a cada una de las clases de indicadores, se enseña la Tabla 23 de propiedades ó características de los mismos.

Tabla 23. Propiedades de los indicadores clave de desempeño

Propiedades Indicadores	Descripción	Ejemplo
ID	La identificación de un indicador clave de desempeño es una colección de números y letras que especifican de manera clara y concisa al indicador dependiendo de las directrices de la organización.	IPL1_DM1
Nombre	Nombre del indicador debe ser claro para todos los entes de la organización y no debe poseer ambigüedades.	Disponibilidad_Maquina_1
Descripción	Descripción funcional del indicador clave de desempeño.	El indicador mide la disponibilidad de la máquina 1 de la línea de envasado 1
Forma de Calculo	Es la fórmula, ecuación o definición del indicador clave de desempeño.	$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Disponible}}$
Valor	Es el valor actual en el cual se encuentra la medida del mismo.	83
Unidad de Medida	Es la unidad en que se va a expresar el indicador clave de desempeño.	%
Intervalo de medición	Rango de tiempo determinado para la realización de la medición del indicador. Puede especificarse en cualquier unidad de tiempo: Horas, días, Meses, entre otros.	8 horas
Meta	Es el objetivo que tiene la medición en pro de determinar si mejora o empeora la situación.	95
Fecha	Es la fecha en la cual se realiza la medición del indicador.	02/08/2010
Hora	Es la hora en la cual se inicia con la medición del indicador.	18:25

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

El código generado en XML se fundamenta en estas propiedades ó características y proporciona una comprensión completa del indicador respectivo. Esta definición de propiedades se presenta en la Figura 20.

Figura 20. Definición de las Propiedades de Las Clases

ClaseIndicador				
Comment				
Comment DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE CADA UNA DE LAS CLASES DE INDICADORES				
Comment				
PropiedadesClaseIndicador (10)				
PropiedadID	PropiedadNombre	Descripción	ValorPropiedad	
1 001	ID_Indicador	Identificador del Indicador.		
2 002	Nombre_Indicador	Nombre del indicador		
3 003	Descripción_Indicador	Descripción Funcional del Indicador Clave de desempeño		
4 004	Forma_Calculo	Formula, ecuación o definición utilizada para Calcular el indicador.		
5 005	Valor_Actual	Valor actual en el cual se encuentra la medida del mismo.		
6 006	Unidad_de_Medida	Unidad en que va a expresarse el indicador.		
7 007	Meta	Objetivo que se plantea para el indicador.		
8 010	Intervalo_Medición	Rango de Tiempo en el que se dio la medición	ValorPropiedad Valor Unidad	
9 008	Fecha	Fecha de cálculo del indicador		
10 009	Hora	Hora de cálculo del indicador.		

Fuente: Elaboración Propia en la herramienta XMLSPY.

IV. A continuación se especifica la definición de cada indicador, asociándole el identificador de la clase a la cual pertenece y las características o propiedades que ostenta. Esta definición puede observarse en la Figura 21 e ilustra algunos de los indicadores utilizados para el cálculo de OEE.

Figura 21. Definición Indicadores

Comment									
Comment DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES									
Comment									
Indicador (3)									
ClaseID	ID_Indicador	Nombre_Indicador	Forma_Calculo	Valor_Actual	Unidad_de_Medida	Meta	Intervalo_Medición	Fecha	Hora
1	Class01	IP_TO	Tiempo Operativo El tiempo operativo = Tiempo disponible - Tiempo por inactividad (averías, esperas y cambios de configuración)	32	Horas/Semanales	-----	-----	08/05/2009	10:00
2	Class01	IP_TD	Tiempo Disponible Tiempo disponible = Tiempo total en el cual el equipo está disponible - Tiempo que se haya decidido no destinarlo a producir (vacaciones, falta de carga de trabajo y falta de personal disponible.)	16	Horas/Semanales	-----	-----	08/05/2009	11:10
3	Class04	IC_PD	Piezas Defectuosas Son todas aquellas piezas que no cumplen con las especificaciones relacionadas en el control de calidad.	10	Piezas/Hora	0	8 Horas/Dia	08/05/2009	12:45

Fuente: Elaboración Propia en la herramienta XMLSPY.

En esta parte se definen cada uno de los KPI's necesarios para el cálculo de OEE, estos indicadores se describieron en el capítulo 2. Entre los indicadores definidos se encuentran:

- ✓ Tiempo operativo: en esta parte se hace necesario definir cada una de las causas de parada en los equipos como averías, cambios de formato y configuraciones. La empresa caso de estudio cuenta con 6 causas de paro, estas pueden observarse en la Figura 14 del Anexo 4.
- ✓ Tiempo disponible.
- ✓ Total Producido.
- ✓ Tiempo ideal de Ciclo.
- ✓ Rechazos.

V. Luego se especifica la definición de la prueba de calificación de la respectiva definición de indicadores. Véase Figura 22.

Figura 22. Definición Prueba de Calificación

Comment	*****	
Comment	DEFINICIÓN DE LA PRUEBA DE CALIFICACIÓN DE LA DEFINICIÓN DE INDICADORES	
Comment	*****	
PruebaCalificación		
CodigoPrueba		PR001
NombrePrueba		Consistencia de Datos
ResponsablePrueba		Javier Hurtado
DescripciónPrueba		Determina si lo datos requeridos para el cálculo de indicadores son consistentes.
HoraPrueba		18:00
FechaPrueba		05/07/2009

Fuente: Elaboración Propia en la herramienta XMLSPY.

VI. Finalmente, se presenta el resultado de la prueba de calificación, este hecho puede observarse en la Figura 23.

Figura 23. Resultado Prueba Calificación

Comment	*****	
Comment	RESULTADO DE LA PRUEBA DE CALIFICACIÓN DE LA DEFINICIÓN DE INDICADORES	
Comment	*****	
ResultadoPruebaCalificación		
CodigoPrueba		PR001
Responsable		Javier Hurtado
ResultadoPrueba		Aprobado

Fuente: Elaboración Propia en la herramienta XMLSPY.

Como constancia del desarrollo de la presentación formal del modelo propuesto para la definición de indicadores clave de desempeño, se deja a disposición el código XML desarrollado en el archivo **DefinicionIndicadores.xml**.

4.2.3 Recolección de Información. Una vez se han definido cada uno de los indicadores clave de desempeño se procede a determinar cómo se va a recolectar la información para el cálculo de los mismos.

En la empresa caso de estudio la recolección de información se realiza de forma manual por medio de informes escritos, los datos relacionados en estos informes se almacenan en una base de datos por el encargado del área de sistemas. Un informe de recolección de datos se ilustra en la Figura 14 del Anexo 4.

Para el cálculo de la efectividad global de equipo se recolectará la información de manera semi – automática de la siguiente manera:

Tabla 24. Recolección de Información

FUENTE	MANUAL	AUTOMÁTICA
Operario	Causas de Parado de la línea de envasado	
Inspector	Total de Rechazos	
Jefe de Producción	Tiempo Operativo	
Codificador		Total Producido
PLC Siemens S5		Tiempo ideal de Ciclo
PLC Siemens S5		Tiempo Operativo

Fuente: Elaboración Propia. Junio 29 de 2009.

4.2.4 Calcular y visualizar los Indicadores Clave de Desempeño. Basándose en la definición de cada uno de los indicadores y la información recolectada directamente del proceso, se procede a realizar el cálculo de los indicadores con el fin de proporcionar los valores actuales del indicador y poder compararlos con los valores meta establecidos para cada una de las mediciones. Adicionalmente es importante mostrar el valor actual del indicador con fines de supervisión.

En la empresa caso de estudio el cálculo de cada uno de los indicadores clave de desempeño es realizado por cada uno de los jefes de área o de departamento, como ejemplo el Jefe de producción es el encargado de realizar el cálculo del porcentaje de la eficiencia de la línea de envasado.

4.2.5 Reportar los Resultados de los Indicadores Clave de Desempeño. El reporte de los resultados muestra el valor actual del indicador clave de desempeño. En términos generales los reportes pueden ser de 2 tipos: Impresos ó escritos y WEB.

La empresa caso de estudio realiza un reporte impreso ó escrito denominado reporte de mermas y eficiencias en el cual se condensa la información de la producción directamente por el Jefe de Producción. Este reporte se ilustra en la Figura 15 del Anexo 4.

5. CAPÍTULO 5. GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO

Este capítulo presenta los pasos que se deben seguir para la implementación de un sistema de medición del desempeño por medio de indicadores clave de desempeño. La aplicación de esta guía puede ser ampliable a cualquier tipo de proceso industrial ya que su desarrollo se fundamentó en el análisis de la norma ISA 95 parte 3. Además, la guía no tiene restricción alguna con la forma como las actividades deben ser realizadas en una empresa específica, ni con el nivel de automatización de la misma.

- I. Recolección de información relacionada con los procesos y procedimientos de la empresa.** Se realiza una observación del sistema productivo de la empresa tanto en la parte administrativa como operativa de la misma. Este proceso puede ser realizado por medio de visitas a la planta en la cuales se hace necesario además de hacer la observación del proceso, efectuar entrevistas al personal de producción y calidad analizando cada uno de los formatos que son diligenciados por el personal perteneciente a estas áreas.

- II. Diagnóstico de la empresa.** Para la ejecución del diagnóstico se hace necesario realizar una serie de pasos que contribuyan a modelar y entender cómo se perciben las áreas y funcionalidades de la empresa desde el enfoque de actividades, tareas y flujos de información de ISA 95 parte 3 para la administración de operaciones de producción.
 - a) *Realizar un análisis de la empresa*, en donde se especifique cuales áreas de la empresa realizan las funciones de las actividades definidas en la parte 3 del estándar ISA 95, con el fin de seguir el flujo de información necesario para la definición, recolección de información y generación de reportes de los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.

- b) *Organizar la información de los procesos y procedimientos* relacionados con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo en cada una de las áreas de la empresa.
- c) *Relacionar la información recolectada de las áreas de la empresa* con las actividades determinadas para los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo, tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 y las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.
- d) *Identificar las dinámicas de comunicación entre áreas de la empresa* en pro de determinar flujos de información, tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 y las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.
- e) *Modelar la información encontrada en tablas de información* en donde se perciban las áreas de la empresa como actividades de la norma y las comunicaciones entre las mismas como flujos de información, tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 y las actividades y flujos de información que tienen relación directa con los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo.
- f) *Analizar las tablas de información en cuanto a flujos ó actividades que no se hayan evidenciado*, con el fin de sugerir cambios y adaptaciones que proporcionen bases solidas para el resto del proceso de implementación de indicadores¹.

III. Determinar los Indicadores Clave de Desempeño a medir. Después de realizar el diagnóstico de la empresa se hace necesario examinar los requerimientos de información (que dependen directamente de los objetivos,

¹ Se recomienda realizar un modelado de la información basado en ISA 95 para aprovechar las potencialidades que presenta la norma en el manejo y posterior integración de la información en cualquier sistema productivo.

políticas y modelos de la empresa), que se esperan de la aplicación de un sistema de medición de indicadores y sientan las bases para la definición tanto de los indicadores mismos como de los reportes respectivos.

- a) *Reunirse con el personal encargado de la toma de decisiones para determinar el tipo de información que cada perfil requiere (Indicadores).*

- b) *Definición de los indicadores clave de desempeño.* Para cada uno de los indicadores especificados en el punto anterior, se debe realizar una definición formal del indicador en la cual se especifiquen los atributos o características del mismo. Para el desarrollo de esta parte se realizó un modelo para la definición de indicadores (Véase Capítulo 4 de la monografía). Cabe aclarar que el modelo propuesto puede ser o no utilizado, debido a que en las empresas existen modelos predefinidos para esta labor.

Para el caso concreto de la efectividad global de equipo se hace explícitamente necesario tener en cuenta los siguientes indicadores clave de desempeño: Tiempo disponible, Tiempo operativo, Tiempo ideal de Ciclo, Total Producido, Rechazos².

- c) *Definir el formato en el cual se requiere la información.* Esta información puede ser mostrada en gráficos de líneas, pastel, histogramas, diagramas de pareto, entre otros.

- d) *Definir los criterios de filtrado de la presentación de la información.* Los reportes pueden ser requeridos por fecha, orden de trabajo, operador, producto, entre otros.

² Las definiciones de los indicadores asociados a la efectividad global de equipo pueden ser diferentes dependiendo del tipo de proceso. Particularizando en los procesos continuos, se dejaría de lado el tiempo ideal de ciclo y se tomaría como referencia el indicador capacidad nominal por la naturaleza del proceso. Además es necesario destacar que el manejo de la calidad se realiza de manera independiente para cada proceso productivo según las especificaciones del producto.

IV. Recolección de Información específica para el cálculo de los Indicadores. Una vez se han definido cada uno de los indicadores clave de desempeño se procede a determinar cómo se va a recolectar la información para el cálculo de los mismos, para este efecto se van a definir 3 formas de realizarlo:

- ✓ Manual: La recolección de información es realizada por cada uno de los operarios en reportes escritos en los cuales debe relacionar la información necesaria para el cálculo de OEE. En éste tipo de recolección se presenta la toma de tiempos por parte del operador, lo cual conlleva a una baja fiabilidad de los datos ya que además de esta labor debe realizar las labores asignadas a su cargo.
- ✓ Semi – Automática: Se recolectan datos desde dispositivos ó software pero a la vez es necesaria una interacción entre el operador y los dispositivos para el ingreso y recepción de información.
- ✓ Automática: La recolección de de información es realizada de manera directa por medio de dispositivos o herramientas software como: controladores lógicos programables, contadores, temporizadores, bases de datos, entre otros.

V. Calcular y visualizar los Indicadores Clave de Desempeño. Basándose en la definición de cada uno de los indicadores y la información recolectada directamente del proceso, se procede a realizar el cálculo de los indicadores con el fin de proporcionar los valores actuales del indicador y poder compararlos con los valores meta establecidos para cada una de las mediciones. Adicionalmente es importante mostrar el valor actual del indicador con fines de supervisión.

- ✓ Manual: El cálculo del indicador es realizado por una persona que basándose en la definición del indicador y la información recolectada aplica la fórmula respectiva.

- ✓ Automático: El cálculo es realizado por una herramienta software que contiene las especificaciones de las definiciones y el direccionamiento de la información necesaria para el cálculo.

VI. Reportar los Resultados de los Indicadores Clave de Desempeño. El reporte de los resultados muestra el valor actual del indicador clave de desempeño. En términos generales los reportes pueden ser de 2 tipos: Impresos ó escritos y WEB. Los reportes impresos ó escritos muestran a los entes gerenciales la información, de propia mano de los Jefes ó encargados de cada una de las áreas de la empresa mientras que los reportes WEB aprovechan la plataforma WEB para realizar peticiones y recepción de información a otras aplicaciones, con el propósito de la visualización de la misma.

6. CAPÍTULO 6. VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO

Actualmente se encuentran disponibles diversas herramientas software que permiten aplicar los conceptos de indicadores claves de desempeño para la efectividad global de equipo, entre las que se encuentran herramientas como:

- ✓ FactoryTalk Metrics (Rockwell Automation).
- ✓ Simatic IT OEE-DTM (Siemens).
- ✓ Proficy Plant Application Efficiency (GE Fanuc).
- ✓ Wonderware Performance Software (Wonderware); entre otros.

Para el proceso de validación se escogió la herramienta Wonderware Performance Software debido a que por su naturaleza puede conectarse directamente a cualquier tipo de hardware o dispositivo del mercado, además, en Colombia no se cuenta con una implementación formal de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo con esta herramienta.

6.1 VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE EQUIPO EN LA HERRAMIENTA WONDERWARE PERFORMANCE SOFTWARE 3.5

La herramienta Wonderware Performance Software 3.5 permite realizar las siguientes funciones:

- Ejecuciones de órdenes de trabajo.
- Monitoreo y supervisión del tiempo de utilización e inactividad.
- Cálculo de la efectividad global de equipo.

La herramienta se divide en 4 ambientes o clientes tanto para la configuración como para la operación del sistema. Estos clientes (Configurador, Supervisor, Operador, Manager) se describen en detalle a continuación:

- Configurador: usado para personalizar y mantener todos los valores del sistema, además de añadir información de planta y de personal.
- Supervisor: es útil para configurar y supervisar la actividad diaria del sistema, puede definir y mantener listas de materiales, rutas y órdenes de trabajo.
- Operador: típicamente usado en el piso de planta. Es la interface del empleado de producción con el sistema, es utilizado para ejecutar el proceso.
- Manager: aplicación web que permite mostrar las tablas de estado para la ejecución de reportes sobre datos generados por el software.

Para el entendimiento del procedimiento realizado en la validación de la aplicación de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo se tendrán en cuenta las siguientes definiciones proporcionadas por los creadores de la herramienta:

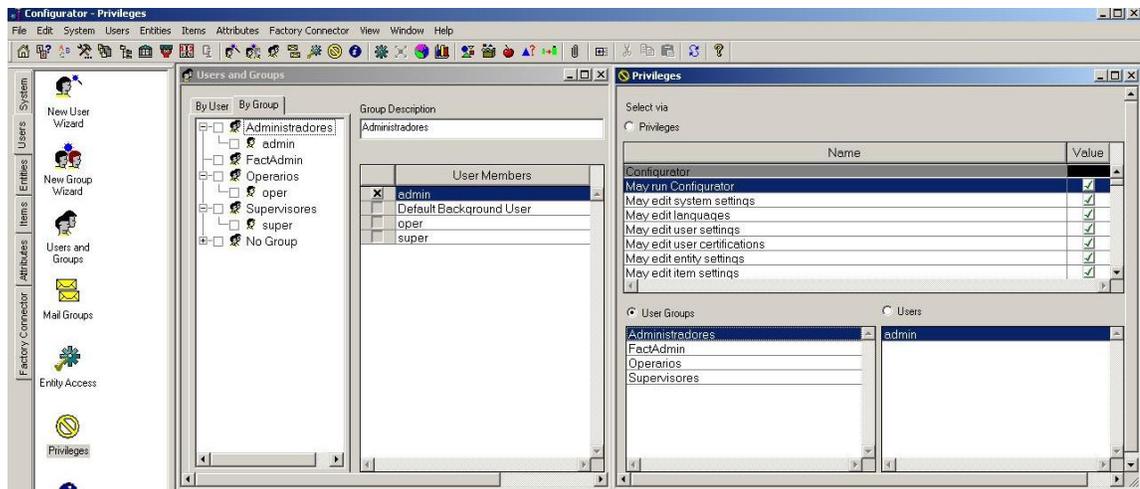
- Entidad: es un activo físico cuya información será objeto de seguimiento y reportes. Una identidad puede ser una instalación, un lugar dentro de la instalación, una línea de producción, una sola máquina o una ubicación de almacenamiento. También conocido como área, equipo o máquina.
- Ítem: es cada uno de los productos consumidos y producidos por el proceso de producción. También conocido como material.
- Proceso: el método de producción de un ítem, que une el ítem a ser producido con las operaciones, lista de materiales, entre otros. También conocido como ruta.
- Operación: una operación representa una fase de un proceso. También conocido como segmento de proceso, fase.

6.1.1 Etapas de la validación. Partiendo del diagnóstico realizado en la empresa por medio de las tablas de información basadas en la norma ISA 95 parte 3 del capítulo 4 y habiéndose definido cada uno de los indicadores a medir por medio del modelo propuesto para la definición de indicadores, se procede a realizar las configuraciones iniciales del sistema.

Configuraciones Iniciales. La primera etapa de configuración consiste en determinar cuáles van a ser los usuarios de cada uno de los clientes del sistema (Configurator, Operator, Supervisor y Manager). En ésta etapa se configuran los grupos de usuario, los usuarios respectivos y los privilegios que tiene cada grupo ó usuario en la operatividad del sistema; Para esta aplicación se crearon 3 grupos de usuario, la configuración realizada en el software puede observarse en la Figura 24:

- Operadores: inician las órdenes de trabajo y alimentan el sistema con los valores arrojados de la producción.
- Supervisores: Se encargan de configurar los productos, procesos y operaciones.
- Administradores: Son los encargados de definir las configuraciones del sistema, tales como usuarios, entidades, privilegios, entre otros.

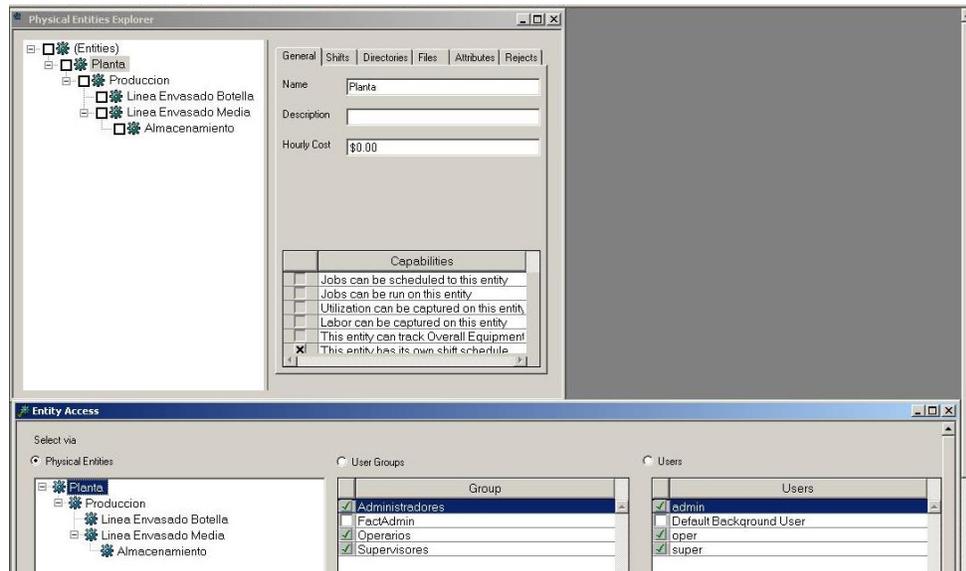
Figura 24. Definición de Grupos de usuarios, usuarios y privilegios.



Fuente: Interface de Configurator – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Una vez se han definido los grupos de usuario, los usuarios y los privilegios para el acceso al sistema, se definen las entidades que pueden percibirse en la empresa y son necesarias para la definición de la efectividad global de equipo. Es de tener en cuenta que una vez se ha realizado la definición de entidades se hace necesario proporcionar acceso a los usuarios a las diferentes entidades. Este hecho se ilustra en la Figura 25.

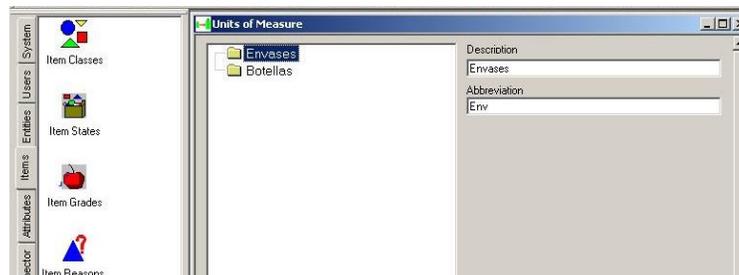
Figura 25. Definición de Entidades y Acceso a las mismas.



Fuente: Interface de Configurator – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Configuraciones iniciales del Proceso y los Productos. El siguiente paso en las configuraciones hace referencia a definir los procesos, productos y las unidades en que se van a especificar los productos. La unidad de medida a utilizar en el proceso depende del mismo, por ejemplo: botellas, envases, unidades, galones, entre otras. La unidad de medida a utilizar en el proceso de la empresa caso de estudio es la botella y la configuración de la misma se presenta en la Figura 26.

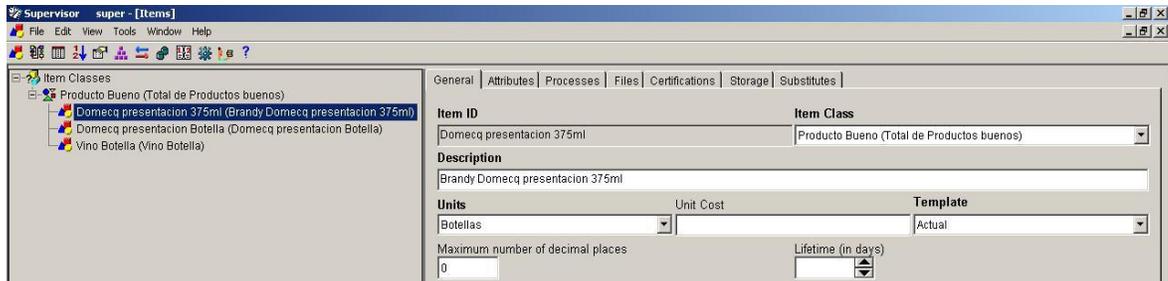
Figura 26. Configuración Unidad de Medida.



Fuente: Interface de Configurator – Wonderware Performance Software 3.5 Junio 29 de 2009.

Una vez configurada la unidad de medida para el proceso, se procede a la creación del ítem ó producto a obtener del mismo. Para el caso de estudio se configuraron 3 productos: Brandy presentación 375 ml, Brandy Presentación 750 ml y Vino Presentación 750 ml. La configuración de estos productos se presenta en la Figura 27.

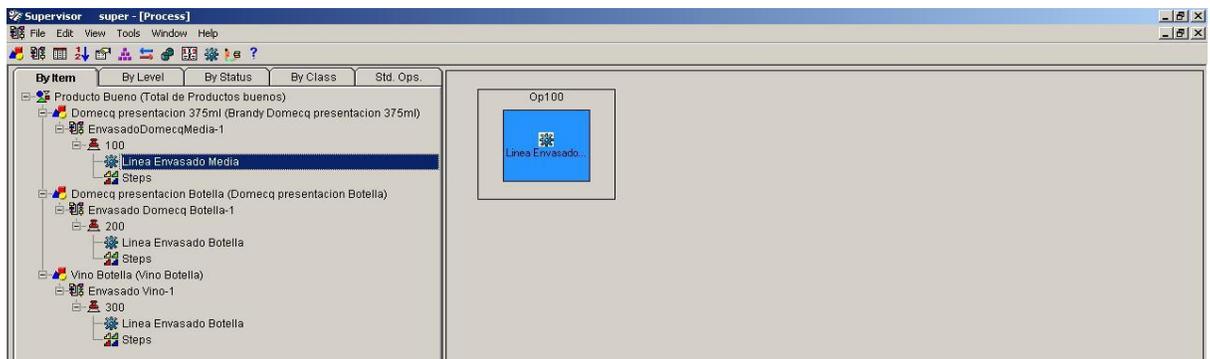
Figura 27. Definición de ítems o productos.



Fuente: Interface de Supervisor – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Después, se efectúa la configuración del proceso que realiza el producto definido en el paso anterior, para el caso de estudio se tiene que el proceso EnvasadoDomecqMedia-1 va a realizar la producción de Brandy presentación 375 ml asociándole la línea de producción Media. Es necesario resaltar que en esta parte se define el tiempo ideal de ciclo utilizado para el cálculo de la efectividad global de equipo. La configuración mencionada puede observarse en la Figura 28.

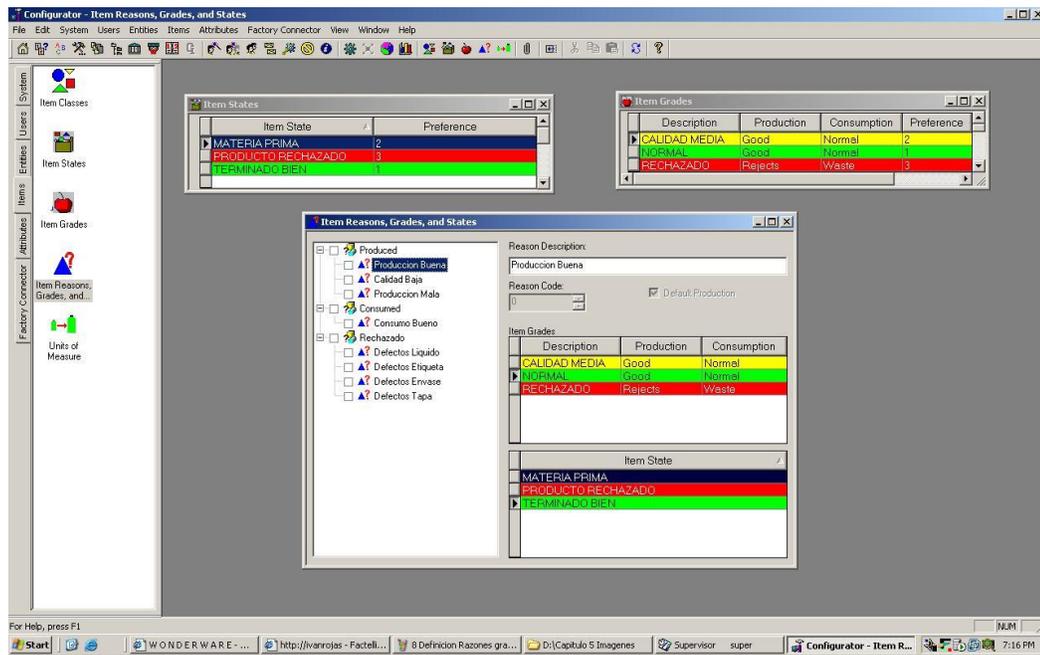
Figura 28. Configuración de Procesos y Operaciones.



Fuente: Interface de Supervisor – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Recolección de Datos para el Cálculo de la Efectividad Global de Equipo. Para el cálculo de la efectividad global de equipo se debe recolectar y configurar la información específica que permita computar todos los tiempos y parámetros de calidad de la empresa. En primera instancia se requiere configurar los estados, grados y razones de los ítems ó productos; esta configuración relaciona y define cada uno de los parámetros de calidad de la empresa, dicha configuración se ilustra en la Figura 29 basándose en los parámetros de calidad presentados en la Figura 16.

Figura 29. Configuración de Grados, Estados y Razones.



Fuente: Interface de Configurator – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Con esta configuración lista, el operador del sistema solo tiene que ingresar la cantidad de productos rechazados y escoger de una lista de defectos o causas las razones por las que se realiza el rechazo. Esta información de producto rechazado es necesaria para el cálculo de la efectividad global de equipo y para el caso de estudio el operario ingresará esta cantidad al final de la ejecución de la orden de trabajo.

Una vez los parámetros de calidad han sido configurados es necesario configurar cada uno de los tiempo necesarios para determinar la disponibilidad y el rendimiento de la línea de envasado. En primera instancia se configura el horario de trabajo que posee la empresa en la cual se va a realizar la aplicación, esta parte asocia a una entidad en particular el turno de trabajo para cada día adicionando los descansos respectivos. Una vez definidos los turnos de trabajo de la empresa el software computa el tiempo disponible (sin pérdidas de tiempo) utilizado para el cálculo de la efectividad global de equipo. La configuración de los turnos de trabajo se presenta en la Figura 30.

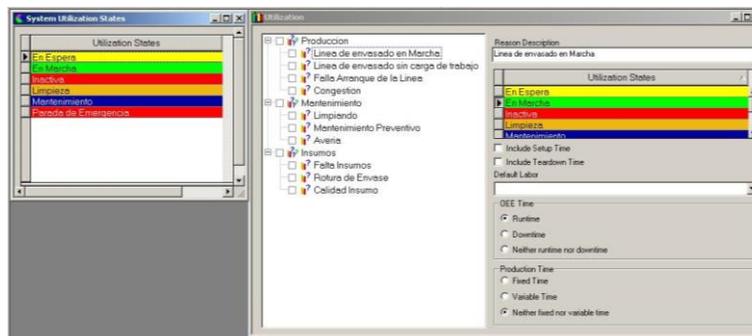
Figura 30. Configuración de horarios de trabajo.



Fuente: Interface de Configurator – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Acto seguido es necesario configurar cada uno de los tiempos en donde la maquina ó en este caso la línea de envasado no es productiva, a estos se les denomina criterios de utilización. La Figura 31 ilustra la configuración de los criterios de utilización.

Figura 31. Configuración Criterios de Utilización.



Fuente: Interface de Configurator – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Con los criterios de utilización definidos, el sistema es capaz de computar automáticamente el tiempo disponible de la línea de envasado restando al tiempo disponible que había computado en la definición de los turnos de trabajo con los tiempos de paro ó inactividad proporcionados por los criterios de utilización. Además del tiempo disponible, los criterios de utilización proveen el tiempo operativo de la línea, con lo cual, se han definido todos los parámetros necesarios para el cálculo de la efectividad global de equipo.

Calcular y Visualizar los Indicadores Clave de Desempeño. Con las configuraciones realizadas el Wonderware Performance Software computa cada uno de los tiempos utilizados para calcular la disponibilidad y el rendimiento de manera automática; La calidad se calcula una vez el operador proporciona los datos finales de la producción. Este hecho puede observarse en la interfaz de operador, en la cual se reciben e inician cada una de las listas de despacho que asocian trabajo a las líneas de envasado.

Figura 32. Interface de Operador.



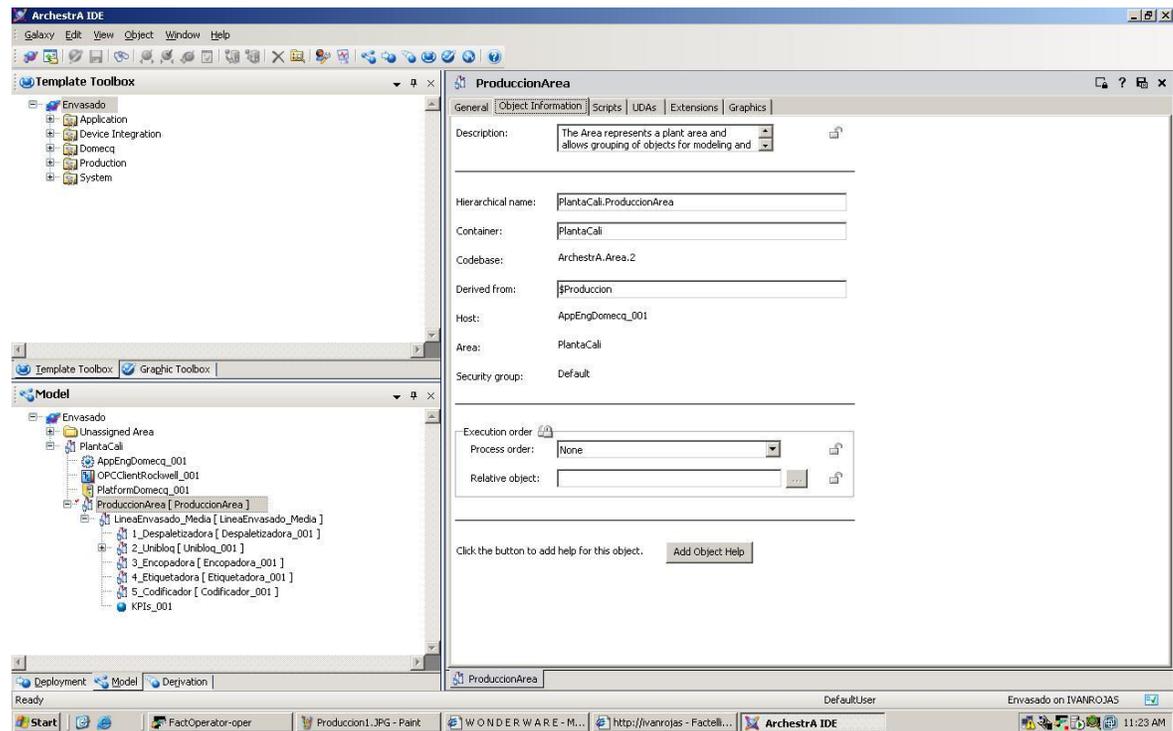
Fuente: Interface de Operator – Wonderware Performance Software 3.5. Junio 29 de 2009.

Para esta orden de trabajo pueden observarse cada uno de los estados de la línea de envasado, los tiempos asociados a los mismos, los valores actuales de la producción (Producto bueno y Producto rechazado) y el valor actual y meta de OEE.

Para hacer más eficiente el sistema de medición se hizo necesario el desarrollo de aplicaciones complementarias como:

- ✓ Un sistema centralizado de datos en el cual se encuentre toda la información configurada anteriormente.

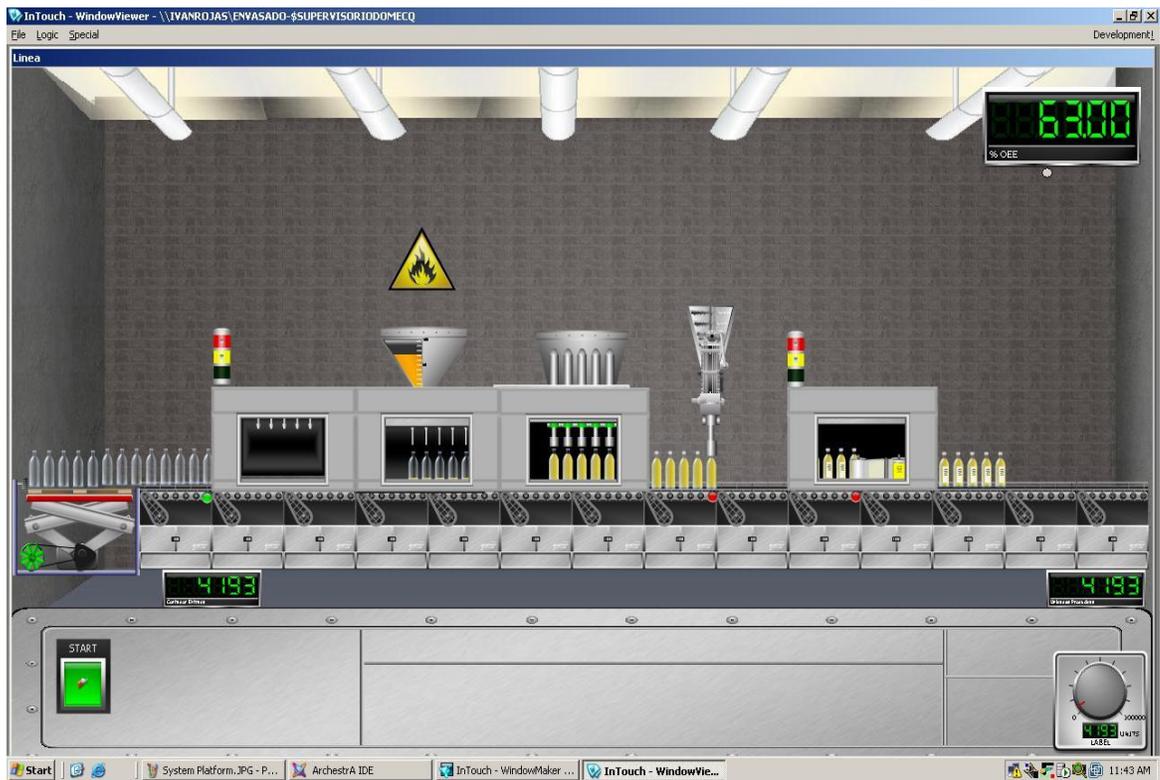
Figura 33. Sistema Centralizado de Información.



Fuente: Interface de Wonderware System Platform. Junio 29 de 2009.

- ✓ Un sistema de supervisión de la línea de envasado realizado en Wonderware Intouch en el cual pueda observarse el comportamiento de la línea, embebiendo la configuración realizada para los indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo hecha en el Wonderware Performance Software.

Figura 34. Sistema de Supervisión Línea de envasado.



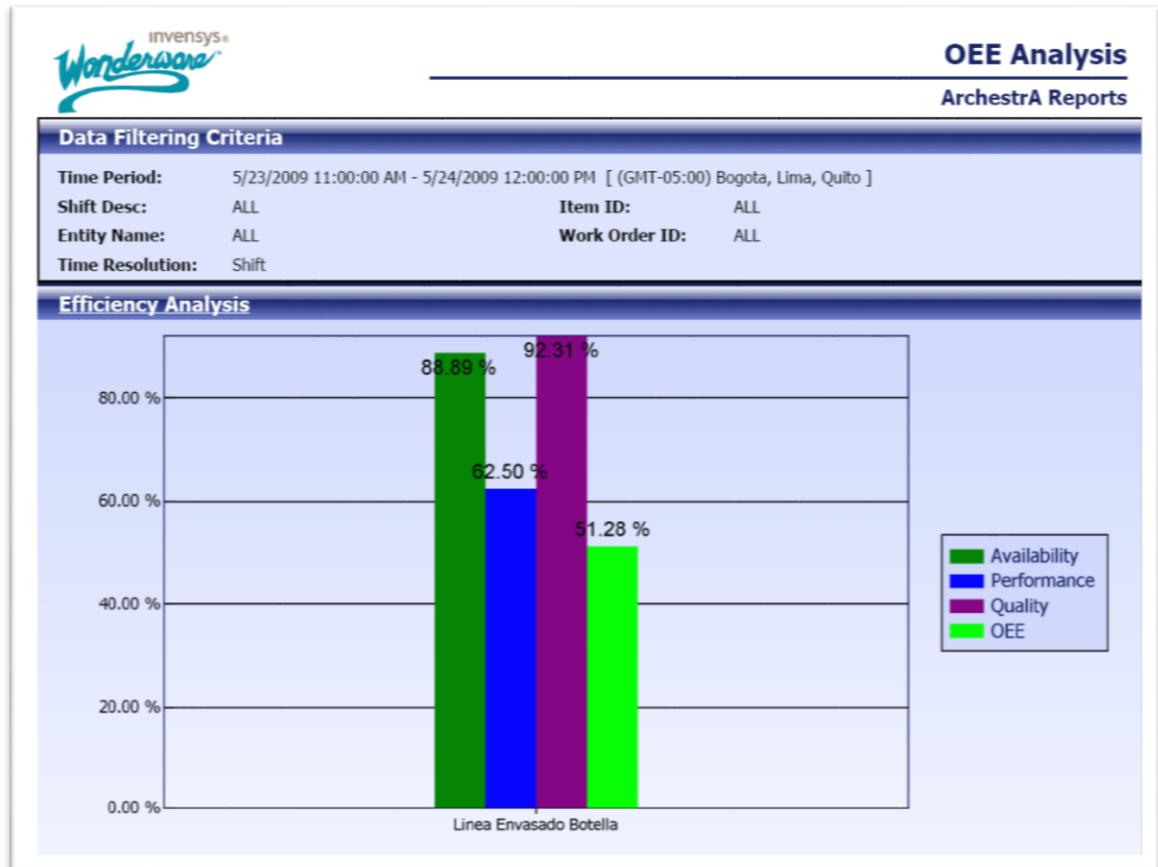
Fuente: Interface de Wonderware Intouch Window Viewer. Junio 29 de 2009.

Cabe anotar que todas las configuraciones y datos generados se almacenan en una estructura base de datos de la cual cada uno de los clientes puede acceder según sea necesario, es por esto que es posible asegurar la generación de reportes históricos de la producción.

Reportar los Resultados de los Indicadores Clave de Desempeño. La plataforma ArchestrA de Wonderware cuenta con un sistema de reportes vía WEB en los cuales se puede relacionar toda la información referente con la producción tales como: Producciones, análisis de tiempos inactivos, alarmas, genealogía, desempeño, efectividad Global de equipo, entre otras.

En la Figura 35 se presenta un reporte de análisis de la efectividad global de equipo de una orden de producción.

Figura 35. Reporte de Efectividad Global de Equipo.



Fuente: Interface de Wonderware Information Server. Junio 29 de 2009.

Entre los reportes generados por el Information Server se tienen: OEE por producto, OEE por Orden de Trabajo, Tendencias de OEE. Además del Information Server el Wonderware Performace Software permite la visualización de reportes por medio del Manager. Entre los reportes más representativos de esta parte se tienen: OEE por entidad, ítem, período, turno, orden de trabajo, disponibilidad, entre otros.

CONCLUSIONES

- ✓ Los resultados del proyecto permitieron obtener una base de conocimiento en la temática de indicadores clave de desempeño orientada a la efectividad global de equipo, partiendo de filosofías como TPM y Lean Manufacturing, que proveen el conocimiento básico para iniciar sistemas de mejoramiento continuo relacionados con desempeño.

- ✓ El análisis de la categoría Administración de operaciones de producción de la norma ISA 95 parte 3, proporcionó las bases para el desarrollo de la guía para la aplicación de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo. Por lo tanto la guía desarrollada, de manera similar al estándar, permite la utilización transparente en cualquier tipo de proceso de manufactura (Continuo, Discreto, Batch) sin importar el grado de automatización del mismo.

- ✓ El desarrollo del modelo para la definición de indicadores clave de desempeño fundamentado en los modelos de objeto y los atributos de los mismos definidos en la partes I y II del estándar ISA 95, sienta las bases para la integración de los sistemas de la empresa con los sistemas de control en cuanto a indicadores clave de desempeño, específicamente, para la categoría de administración de operaciones de manufactura en la parte de producción.

- ✓ Creación de una guía para la aplicación de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo tomando como referencia el estándar ISA 95 parte 3 encontrando las diferentes funciones, responsabilidades y flujos específicos o genéricos de cada una de las actividades, especificando herramientas para la definición de los indicadores y pautas para la recolección de datos, cálculo, visualización y reporte de los mismos.

- ✓ La guía para la aplicación de indicadores clave de desempeño para la efectividad global de equipo no tiene restricción alguna con la forma como son realizados los procedimientos tanto administrativos como operativos en la empresa, ni con el nivel de automatización de la misma. Además, puede resaltarse que la guía desarrollada puede ser utilizada para la aplicación de cualquier tipo de indicador de producción.

- ✓ El proceso de validación realizado a la guía para la aplicación de indicadores clave de desempeño con la utilización de una herramienta software para la gestión del desempeño, eliminó la redundancia de información garantizando la integridad de los datos y la facilidad de intercambio de los mismos; Evidenciando las ventajas de la aplicación de un software, en el cual se suministran herramientas de apoyo a los niveles gerenciales para la toma de decisiones, presentado la información en formatos familiares a estos entes que permiten el análisis y un mejor entendimiento del proceso.

- ✓ Los sistemas de ejecución de manufactura por si solos no pueden garantizar la mejora de los procesos productivos debido a que su labor se liga a la obtención, visualización y administración de la información; dejando de lado el análisis para el mejoramiento realizado en estrategias como TPM y Lean Manufacturing. Por esta razón es conveniente, por lo menos para el análisis de desempeño, la utilización de la sistematización planteada por los sistemas MES con cualquiera de las filosofías de mejoramiento continuo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Lesama Osain, "Indicadores De Gestión," *monografias.com*, Nov, 2008. [Online]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos55/indicadores-de-estion/indicadores-de-gestion3.shtml>. [Accessed Nov. 10, 2008].
- [2] R. Lucas, "La Revolución Industrial: Pasado y Futuro," versión escrita de la conferencia pronunciada en el centro de estudios públicos de Chile, Santiago, Chile, 1996.
- [3] MAVERICK Technologies, LLC, "Key Performance Indicator (KPI): Visualization Tools for Lean Manufacturing Facilities," *MAVERICK Technologies, LLC*, 08-VSP003_KPI_whitepaper, Feb. 2008. [Online]. Available: <http://www.mavtechglobal.com>. [Accessed: Nov. 29, 2008].
- [4] MESA International, "MESA Metrics that Matter Guidebook and Framework," *MESA International Research*, pp. 32, Octubre 2006.
- [5] MESA International, and Industry directions Inc, "Metrics that Matter: Uncovering KPIs that Justify Operational Improvements," *MESA International Research*, pp. 5, Octubre 2006.
- [6] Leonel Cuellar Díaz y Heliodoro Toro Guayara, "Los Indicadores De Gestión Como Herramienta De Dirección En La Pequeña Y Mediana Empresa," *eticayempresa.com*, para. 9, Jul. 1, 2008. [Online]. Available: <http://www.eticayempresa.com/archives2/manualindicadores.mht>. [Accessed Nov. 28, 2008].

[7] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, "Manual de Indicadores de Gestión y Resultados," *Manual Indicadores: Grupo de Organización y Sistemas*, pp. 11, Octubre 2002.

[8] F. Sevillano, "Definición de Solución MES," *redindustria.blogspot.com*, para. 2, Feb. 27, 2008. [Online]. Available: <http://redindustria.blogspot.com/2008/02/definicion-de-solucion-mes.html>. [Accessed Dec. 12, 2008].

[9] MESA International, *MES Explained: A High Level Vision*, white paper number 6, MESA International, 1997.

[10] M. McClellan, *Introduction to Manufacturing Execution Systems: MES Conference & Exposition*, June 12-14, 2000, Phoenix, Arizona, 2002.

[11] F. Sevillano, "Lean Manufacturing y MES (II)," *redindustria.blogspot.com*, para. 7, Nov. 03, 2008. [Online]. Available: <http://redindustria.blogspot.com/2008/10/lean-manufacturing-y-mes-ii.html>. [Accessed Dec. 14, 2008].

[12] F. Ortega, "Lean Manufacturing," *Revista el mueble y la madera*, vol. 61, pp. 87 – 92, Octubre 2008. [Online]. Available: http://www.revista-mm.com/rev61/adminis_manufactura.pdf. [Accessed Dec. 16, 2008].

[13] O. García y H. Gonzáles, "Optimización estadística del mantenimiento industrial," *aciem.org*, para. 8, 2003. [Online]. Available: <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/O/Optimizacionestadisticadelmantenimientoindustria/Optimizacionestadisticadelmantenimientoindustria.asp> [Accessed Ene. 28, 2008].

[14] M. López, " Integración ERP - MES: un caso real - 2ª parte," Presentado en Ciclo de Conferencias sobre Automatización e Ingeniería 2006-2007, Vigo, España, 2007.

[15] A Koch, "OEE Industry Standard," U.S.A. version 2.0, 2003.

[16] International Society of Automation. ISA, *Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models Manufacturing Operations Management*. North Carolina, U.S.A., 2005.