

# Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en Planta de Beneficio



José Carlos Montero Vega, César Augusto Díaz Rangel,  
Favián Enrique Guevara Trujillo, Augusto Herbet Cepeda Rugeles,  
Juan Camilo Barrera Herrera



Boletín Técnico No. 33

Modelo para Medición de Eficiencia Real de  
Producción y Administración Integrada  
de Información en Planta de Beneficio

**Autores**

José Carlos Montero Vega  
César Augusto Díaz Rangel  
Favián Enrique Guevara Trujillo  
Augusto Herbet Cepeda Rugeles  
Juan Camilo Barrera Herrera

Área de Ingeniería  
Programa de Procesamiento  
Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma  
Bogotá, julio de 2013

# Boletín Técnico No. 33

## Modelo para Medición de Eficiencia Real de Producción y Administración Integrada de Información en Planta de Beneficio

Publicación del Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma, cofinanciada por Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero. Convenio Sena-Cenipalma N° 0337/11.

### **Autores**

José Carlos Montero Vega  
César Augusto Díaz Rangel  
Favián Enrique Guevara Trujillo  
Augusto Herbet Cepeda Rugeles  
Juan Camilo Barrera Herrera

### **Coordinación editorial**

Yolanda Moreno M.

### **Diagramación**

Fredy Johan Espitia Ballesteros

### **Impresión**

Javegraf

### **Cenipalma**

Calle 20 A No. 43 A-50, piso 4  
PBX: (57-1) 2086300 Fax: (57-1) 3681152  
[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)  
Bogotá, D. C., Colombia

Julio de 2013

ISBN: 978-958-8360-43-0

## Presentación

El diagnóstico de las plantas de beneficio en Colombia, desarrollado en el año 2008, mostró altos costos de producción por tonelada de aceite de palma crudo, frente a los dos mayores oferentes a nivel internacional (Malasia e Indonesia), principalmente debido a factores de ineficiencia y baja productividad en las áreas de producción y mantenimiento.

Uno de los indicadores industriales utilizados por sectores de clase mundial para medir su competitividad es la Eficiencia Real de Producción (ERP cuyas siglas en inglés son OEE, Overall Equipment Effectiveness), que define la relación del producto generado frente a las etapas críticas del proceso y a la calidad del mismo, para satisfacer las necesidades y expectativas del cliente, midiendo en un único indicador los tres parámetros fundamentales que definen la producción: la disponibilidad de la planta, rendimiento de equipos y calidad de proceso en forma porcentual. A nivel internacional se ha definido un estándar de ERP del 85% como valor base para considerar que el sector medido desde su producción puede considerarse de clase mundial.

La interpretación de la Eficiencia Real de Producción debe tener en cuenta diferentes factores que influyen en el estado actual de la empresa, desde el punto de vista productivo, mantenimiento, confiabilidad y calidad, para identificar las debilidades a tiempo y generar acciones necesarias que eviten impactos negativos en el producto final.

El Área de Ingeniería del Programa de Procesamiento de Cenipalma, propone el Modelo para Medición de Eficiencia Real de Producción y administración Integrada de Información en Planta de Beneficio, como una herramienta de gestión y control, que ayuda a implementar las mejores prácticas y los procedimientos más eficientes, gracias al apoyo del SENA y del Fondo de Fomento Palmero, así como a la cooperación de las plantas de beneficio, en el marco del convenio 337/11, cuyo objeto fue desarrollar tecnologías para el incremento de la competitividad de las plantas de beneficio de aceite de palma mediante la gestión integral de mantenimiento.

Este boletín recopila el trabajo del equipo del Programa de Procesamiento de Cenipalma; compuesto por el ingeniero Cesar Díaz, y los ingenieros dedicados a la implementación y seguimiento de la metodología a nivel nacional, Favián Guevara, Augusto Cepeda y Juan Camilo Barrera. La metodología y herramientas contenidas en este documento se han sostenido desde el año 2012 hasta la actualidad, gracias al

compromiso por parte de las plantas de beneficio, soportado con la gestión de seguimiento por parte de los investigadores anteriormente mencionados.

Durante el desarrollo del proyecto, el modelo fue implementado en 28 plantas de beneficio en tres zonas palmeras (seis en la Zona Norte, seis en la Zona Central y 16 en la Zona Oriental), con la correspondiente capacitación de 315 personas, entre estudiantes e instructores del SENA y personal técnico de las plantas.

Esperamos que el modelo propuesto en el presente boletín convierta la medición integral de la producción de las plantas de beneficio en Colombia, en una práctica frecuente y unificada, que permita optimizar los procesos de extracción y sus efectos se reflejen en mejores costos de procesamiento, permitiendo posicionar a la agroindustria de la palma en un sector competitivo de clase mundial.

# Contenido

	Pág.
Introducción .....	7
Medición de la gestión del desempeño en la industria .....	9
Importancia de la medición del desempeño.....	11
Concepto de indicador para medición del desempeño .....	11
Características de un indicador.....	13
Diez reglas fundamentales para un buen sistema de indicadores.....	13
Clasificación de los indicadores.....	15
Tipos de indicadores según objetivo .....	16
Formulación de indicadores.....	17
Indicadores en la industria de clase mundial .....	21
Indicadores de gestión y su relación con la excelencia .....	23
Eficiencia Real de Producción.....	26
Cálculo del porcentaje ERP a partir de indicadores básicos de producción .....	31
Estándares de medición para Eficiencia Real de Producción .....	32
Medición actual de la gestión del desempeño en el gremio palmero .....	34
Modelo para medición de Eficiencia Real de Producción en planta de beneficio	37
Definición metodológica del modelo.....	39
Distribución modular de la planta de beneficio .....	40
Medición de Eficiencia Real de Producción.....	44
Estructura de cálculo para indicadores .....	46
Eficiencia Real de Producción (porcentaje ERP) .....	46
<i>Benchmarking</i> de Eficiencia Real de Producción con sectores de clase mundial .....	49

Administración integrada de información .....	53
Manejo integrado y automatizado de la información .....	55
Sistemas Integrados de Información en la industria .....	55
CMMS (SII Computarizado para Gestión del Mantenimiento) .....	55
EAM (SII para Gestión de Activos Empresariales).....	56
ERP (SII para Planeación de Recursos Empresariales).....	58
Alternativa de administración de la información a la medida .....	60
Sistema Integrado de Información Computarizada para Plantas de Beneficio: CeniSiiC.....	60
Estructura Modular de CeniSiiC .....	60
Descripción de módulos interconectados .....	62
Agradecimientos .....	67
Bibliografía .....	69

## Introducción

De acuerdo con el Programa de Transformación Productiva (PTP)<sup>1</sup>, la cadena productiva de la palma de aceite, grasas vegetales y biocombustibles en Colombia cuenta con potencial de crecimiento sostenido, similar al del mercado global desde el punto de vista del número de empleos formales generados en 2011, las políticas sectoriales y los actores participantes en la cadena productiva. Para alcanzar los estándares de sector de clase mundial, el PTP ha planteado diversos frentes de trabajo en los cuales el gremio palmero debe fortalecerse, entre ellos la necesidad de medir y gestionar la eficiencia en cada eslabón de la cadena productiva, en línea con la visión estratégica del sector, (Programa de Transformación Productiva Sectores de Clase Mundial)

Según la entidad consultora internacional LMC International Ltd., el costo variable de extracción por tonelada de APC<sup>2</sup> en Colombia durante el 2008 fue de 94 USD, frente a Malasia con 52 USD (diferencia negativa de 42 USD) e Indonesia con 41 USD (diferencia negativa de 53 USD) (Fedepalma, 2011). La anterior diferenciación en costos incurridos por las plantas de beneficio en Colombia frente a los dos mayores oferentes a nivel internacional ha mantenido, hasta el día de hoy, un comportamiento similar en cuanto a las proporciones y diferencias en costos respecto a los dos oferentes anteriores. Estas diferencias se han generado principalmente debido a factores de ineficiencia y baja productividad en las áreas de producción, mantenimiento, confiabilidad y gestión eficiente de recursos. Desde el punto de vista de mantenimiento y confiabilidad, área que genera 30% de los costos de extracción (MinAgricultura, 2009, pág. 148), se han logrado diagnosticar como deficiencias clave: la ausencia de estructuras sólidas de mantenimiento, el desconocimiento o uso inadecuado de los índices e indicadores de gestión, y la ausencia de análisis crítico para la información histórica existente; generando finalmente sobrecostos en materiales, repuestos, mano de obra, equipos, servicios, pérdida de capacidad de procesamiento, entre otros, reflejando a nivel global un comportamiento inaceptable y deficiente medido bajo un indicador de clase mundial para industrias, denominado *Eficiencia Real de Producción*, el cual se ha usado ampliamente en otras industrias (aviación, *gas&oil*, farmacéutica, entre otros), (Alonzo G., 2009).

---

1 El Programa de Transformación Productiva (PTP) fue creado en el año 2008 por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo en Colombia, para incrementar la productividad y competitividad de sectores con elevado potencial exportador con el fin de convertirlos en sectores de clase mundial en mercados internacionales.

2 APC: abreviatura en español de aceite de palma crudo. CPO: crude palm oil, en inglés.

La medición del desempeño de las plantas de beneficio en Colombia es una necesidad urgente cuya solución, a mediano y largo plazo, permitirá posicionar a esta industria en un nivel estable dentro del camino hacia la excelencia en competitividad de clase mundial. Al dirigir los esfuerzos hacia este nivel de competitividad, los beneficios globales se diseminan más allá de la industria palmera, con cobertura a los proveedores de fruto desde campo y también a los clientes directos e indirectos (refinación y usos secundarios); para mejorar la productividad, confiabilidad y calidad en general de toda la cadena productiva, usando como herramientas sólidas para toma de decisiones, diversos indicadores catalogados como clase mundial cuyos rangos de control son objetivo de cumplimiento para la organización.

# Primera parte



Foto: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

## Medición de la gestión del desempeño en la industria



# Medición de la gestión del desempeño en la industria

## Importancia de la medición del desempeño

La medición del desempeño de las áreas internas que conforman un proceso productivo permite conocer en tiempo real el estado, la evolución y las problemáticas asociadas, de manera que es posible pronosticar fallas con el fin de generar acciones oportunamente. Medir permite planificar con mayor certeza y confiabilidad los eventos, procesos y procedimientos en toda área interna productiva de la industria, siempre teniendo presente el lazo proveedor-cliente y aliados dentro de la misma (áreas que suministran material o trasladan servicios para realizar determinado proceso y entregar a la siguiente área cliente el producto o servicio requerido). La medición del desempeño permite identificar con mayor precisión las oportunidades de mejora de un proceso dado, incluyendo el análisis y justificación del origen de los eventos. Una de las razones más importantes radica en la necesidad de conocer a fondo los procesos administrativos, técnicos, de producción y apoyo que se den en la industria para gestionar su mejoramiento.

## Concepto de indicador para medición del desempeño

Un indicador es una magnitud que expresa el comportamiento o desempeño de un proceso referenciado en variables cuantitativas o cualitativas, que al compararse con algún nivel de referencia permite detectar desviaciones positivas o negativas. También es la conexión de dos medidas relacionadas entre sí, que muestra la relación en ellas (Mejía Nieto, 2012). Trabajar con indicadores exige disponer de todo un sistema que abarque desde la adquisición de los datos que caractericen la ocurrencia del evento hasta la retroalimentación de las decisiones que permiten mejorar los procesos. Los indicadores pueden ser valores, unidades, índices, series estadísticas, etc.; es decir, factores que permiten establecer el logro y el cumplimiento de la misión, objetivos y metas de una organización.

Uno de los objetivos principales de los indicadores de gestión consiste en establecer instrumentos que permitan administrar la organización y/o proceso productivo de forma rápida y proactiva. Esto permite que la gerencia pueda realizar un seguimiento continuo a las metas junto con *benchmarking*<sup>1</sup> permanente, de forma que los objetivos de la empresa puedan ser reformulados en función del comportamiento de su entorno

---

<sup>1</sup> *Benchmarking*: métodos y prácticas para identificación, exportación y adaptación interna de buenas prácticas, métodos y elementos que pertenecen a otra organización, con fines de mejora.

y que ante cualquier eventualidad se ejecuten acciones concretas que generen soluciones reales y de aplicación e impacto a corto plazo.

Antes de realizar la implementación de los indicadores en un estudio de seguimiento y medición de desempeño en una compañía, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Lo que no se puede medir, no se puede controlar.
- Lo que no se puede medir, no existe.
- Los indicadores son un medio y no un fin.
- Actualidad: valor fluctuante basado en la medición acerca de lo que se hace en el presente con los recursos y restricciones existentes.
- Capacidad: es un valor fijo, significa lo máximo que podría hacerse con los recursos existentes y bajo las restricciones presentes. Es importante hacer explícitos los recursos y restricciones que se relacionan con la capacidad máxima.
- Potencialidad: es lo máximo que se puede obtener si se desarrollan los recursos y se remueven los “cuellos de botella” para mejorar la capacidad. (Mora, 2011, págs. 27-140)

En cada una de las alternativas de medición existen algunos paradigmas de orden aleatorio que de cierta forma intervienen en el estudio de los indicadores de gestión. El hecho de que la medición preceda al castigo infiere que el tiempo de medición es casi nulo, situación que dificulta el proceso mismo de la medición, adicionando el hecho de las dificultades que se presentan para censar algunas variables especiales o simplemente el costo que implica el registro de su comportamiento.

Un procedimiento básico para administrar indicadores se describe a continuación:

- Contar con objetivos y planes: es fundamental definir objetivos claros, precisos y cuantificables. Adicionalmente, es necesario establecer estrategias para el cumplimiento de los objetivos. Ellos dan el punto de llegada y las características del resultado que se espera.
- Identificar factores críticos de éxito: se entiende por estos aquellos aspectos que se deben mantener bajo control, para lograr el éxito de la gestión, el proceso o la labor que se pretende adelantar.
- Establecer indicadores para cada factor crítico: después de identificar los factores críticos de éxito asociados a la eficiencia, eficacia, productividad, etc., es necesario establecer un indicador que permita realizar el monitoreo antes, durante

y después de la ejecución del proyecto. Se debe tener establecida la capacidad de gestión y los recursos disponibles para el desarrollo de la actividad.

- Medir el cumplimiento de los mismos usando como herramienta los indicadores de gestión (Silva Matiz, 2012).

## Características de un indicador

Los indicadores de gestión deben cumplir con unos requisitos de forma que permitan apoyar la gestión para el alcance de los objetivos, que pueden ser: (Silva Matiz, 2012).

### *Simplicidad*

Se entiende como la capacidad para definir el evento que se pretende medir de manera poco costosa en tiempo y recursos.

### *Validez en el tiempo*

Puede definirse como la propiedad de ser permanente en un periodo deseado.

### *Adecuación*

Corresponde a la facilidad de la medida para describir por completo el fenómeno o efecto. Debe reflejar la magnitud del hecho analizado y mostrar la desviación real del nivel deseado.

### *Utilidad*

Es la posibilidad del indicador para estar siempre orientado a buscar las causas que han llevado a que alcance un valor particular y mejorarlas.

### *Participación de los usuarios*

Es la habilidad para estar involucrados desde el diseño hasta la ejecución. Es preciso capacitar el personal involucrado en la labor de forma que se garantice la calidad de la ejecución de las estrategias a implementar.

### *Oportunidad*

Es la capacidad para que los datos sean recolectados a tiempo, igualmente se requiere que la información sea analizada oportunamente para poder actuar.

## Diez reglas fundamentales para un buen sistema de indicadores

1. Los resultados deben medir lo que realmente la industria espera tener durante su proceso productivo, no se debe olvidar que producción hace parte de un

conjunto interconectado con otras áreas (mantenimiento, almacén, contabilidad, gerencia, etc.); por lo tanto, las mediciones que se tomen deben representar expectativas industriales en el área de producción.

2. Los indicadores deben ser representativos y fáciles de medir.
3. Los indicadores de resultado deben tener en cuenta a los clientes internos (departamentos o áreas a las cuales se les transfiere material procesado, unidades manufacturadas, etc.). Estas áreas generalmente son distribución, logística, comercialización, entre otras.
4. Todos los datos que se capturen durante el seguimiento de variables de producción (rendimiento, disponibilidad y calidad) deberán estar almacenados y organizados en un administrador o sistema integrado de información. La información digital debe estar disponible en cualquier instante y su manejo debe ser práctico y flexible.
5. Siempre se deben tener como referentes de *benchmarking* (comparación), los indicadores de la competencia, tanto dentro del mismo sector industrial como externo a éste.
6. Es imprescindible sensibilizar y concienciar a todo el personal sobre la importancia de los indicadores para gestión, desde los operadores y técnicos hasta los ingenieros, directores, gerentes, etc.
7. Usar solamente los indicadores que son de interés. Es fundamental emplear un número limitado de indicadores. Se recomiendan como máximo 10 u 11 por área. Esta cantidad es suficiente para obtener una visión clara de la situación actual del departamento. No se puede tratar de mejorar algo que no se puede medir.
8. Al momento de definir el indicador, todo el equipo de trabajo deberá involucrarse de forma que el comportamiento de los indicadores se traduzcan en incentivos adicionales en pro del apersonamiento de las acciones encaminadas al cumplimiento de los objetivos.
9. Analizar la eficacia de cada indicador, lo fundamental para comprender este paso es tener claro que un indicador es un medio, nunca un fin. Por ello, entonces, debe interpretarse como una herramienta para alcanzar la mejora continua. Siempre se deben usar los indicadores que hayan sido diseñados para medir determinadas variables exclusivamente y no para medir variables que no son coherentes con el indicador.<sup>2</sup>

---

2 Por ejemplo, no se debe medir la temperatura de un sistema con un caudalímetro, la herramienta adecuada es un termómetro en sus distintas formas y presentaciones industriales.

10. Actualizar y redefinir las fronteras para objetivos trazados inicialmente, los resultados que generan los indicadores no deben ser perpetuos, deben diseñarse como elementos móviles y flexibles, para ajustarse continuamente a los objetivos de la industria. Siempre se deben buscar más razones para continuar mejorando resultados a pesar de que se encuentre en la zona de confianza o normalidad. La normalidad siempre es susceptible a problemas y alteraciones.

## Clasificación de los indicadores

Se han clasificado de acuerdo con el objetivo y el resultado alcanzado:

- **Indicadores de cumplimiento:** teniendo en cuenta que cumplir tiene que ver con la conclusión de una tarea, estos indicadores están relacionados con los ratios que indican el grado de consecución de tareas y/o trabajos. Ejemplo: cumplimiento del programa de pedidos, cumplimiento del “cuello de botella”, etc.
- **Indicadores de evaluación:** dado que evaluación tiene que ver con el rendimiento que obtenemos de una tarea, trabajo o proceso, los indicadores de evaluación están relacionados con los ratios y/o los métodos que ayudan a identificar nuestras fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora. Ejemplo: evaluación del proceso de gestión de pedidos.
- **Indicadores de eficiencia:** teniendo en cuenta que eficiencia se refiere a la capacidad para ejecutar un trabajo o una tarea con el mínimo gasto de tiempo, los indicadores de eficiencia están relacionados con los ratios que indican el tiempo invertido en la consecución de tareas y/o trabajos. Ejemplo: tiempo de fabricación de un producto, periodo de maduración de un producto, ratio de piezas/hora, rotación del material, etc.
- **Indicadores de eficacia:** teniendo en cuenta que eficaz significa hacer efectivo un intento o propósito, los indicadores de eficacia están relacionados con los ratios que indican capacidad o acierto en la consecución de tareas y/o trabajos. Ejemplo: grado de satisfacción de los clientes con relación a los pedidos.
- **Indicadores de gestión:** teniendo en cuenta que gestión tiene que ver con administrar y/o establecer acciones concretas para hacer realidad las tareas o trabajos programados y planificados, los indicadores de gestión están relacionados con los ratios que permiten administrar realmente un proceso. Ejemplo: administración y/o gestión de los “buffer” de fabricación y de los “cuellos de botella”.

## Tipos de indicadores según objetivo

Los indicadores se encuentran enmarcados dentro de tres formas de cumplimiento, donde no existe superioridad entre sí, se trata de alternativas disponibles a elegir de acuerdo con el objetivo inicial y la expectativa de los resultados:

- **Eficacia:** grado en que se logran los objetivos y metas de un plan, es decir, cuando los resultados esperados se alcanzan. La eficacia consiste en concentrar los esfuerzos de una entidad en las actividades y procesos que realmente deben llevarse a cabo para el cumplimiento de los objetivos formulados (Mejía C., 2007). Los indicadores de este tipo únicamente brindan información de cumplimiento o incumplimiento del objetivo, por lo tanto, se deben usar en conjunto con indicadores de eficiencia y/o efectividad.
- **Eficiencia:** es el logro de un objetivo al menor costo unitario posible. En este caso se busca un uso óptimo de los recursos disponibles para lograr los objetivos deseados (Mejía C., 2007). Los indicadores de este tipo brindan información amplia y detallada; sin embargo, la extensión en información generada se puede tornar densa y compleja para el análisis, por lo tanto, se deben usar en conjunto con indicadores de eficacia y efectividad.
- **Efectividad:** este concepto involucra la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles. Supone hacer lo correcto con gran exactitud y sin ningún desperdicio de tiempo o dinero (Mejía C., 2007). Este tipo de indicadores son los más completos debido a que revelan el estado de avance detallado respecto a los objetivos trazados inicialmente, no obstante, según el tipo de análisis posterior a realizar, se usan frecuentemente junto con indicadores de eficacia y eficiencia. Lo anterior con el fin de evaluar diversos comportamientos reflejados por los indicadores y posteriormente generar respuestas de gestión.

En la Tabla 1 se muestra una regla de comparación útil para evaluar el nivel de eficacia, eficiencia y efectividad para un indicador.

**Tabla 1.** Reglas para evaluación de indicadores de eficacia, eficiencia y efectividad.

EFICACIA		EFICIENCIA		EFFECTIVIDAD
$\frac{RA}{RE}$		$\frac{(RA/(CA \times TA))}{(RE/(CE \times TE))}$		$\frac{(Puntaje\ Eficiencia + Puntaje\ Eficacia)}{(2 \times \text{Máximo Puntaje})}$
RANGOS	PUNTOS	RANGOS	PUNTOS	La efectividad se expresa en porcentaje (%)
0 – 20 %	0	Muy Eficiente > 1	5	
21 – 40 %	1			
41 – 60 %	2	Eficiente = 1	3	
61 – 80 %	3			
81 – 90 %	4	Ineficiente < 1	1	
< 91 %	5			

R: resultado E: esperado C: costo A: alcanzado T: tiempo

Fuente: Planning Consultores Gerenciales. Publicación periódica coleccionable. Autor: Mejía C. Carlos A. 2007.

## Formulación de indicadores

La Tabla 2 muestra algunos de los indicadores de uso común en las organizaciones actuales:

**Tabla 2.** Formulación de indicadores típicos usados en las organizaciones.

Indicadores área	Variable	Fórmula
Indicadores para el área de suministros	Movilidad de los inventarios	$\frac{\text{Inventarios}}{\text{Capital contable}}$
	Rotación de inventarios	$\frac{\text{Materia prima empleada en el mes}}{\text{Inventario materia prima}}$
	Rotación de créditos pasivos	$\frac{\text{Compras anuales}}{\text{Saldo promedio proveedores 360 días}}$

Continúa

Indicadores área	Variable	Fórmula
Indicadores para RRHH	Productividad de mano de obra	$\frac{\text{Producción}}{\text{Horas Hombre Trabajadas}}$
	Ausentismo	$\frac{\text{Horas Hombre Ausentes}}{\text{Horas Hombre Trabajadas}}$
	Importancia de salarios	$\frac{\text{Total Salarios Pagados}}{\text{Costos de Producción}}$
	Indicador de rotación de trabajadores	$\frac{\text{Total de Trabajadores Retirados}}{\text{Número Promedio de Trabajadores}}$
	Indicador ventas trabajador	$\frac{\text{Ventas Totales}}{\text{Número promedio de trabajadores}}$
Indicadores de estructura financiera	Indicador capital de trabajo	$\frac{\text{Capital de Trabajo}}{\text{Activo Circulante}}$
	Indicador punto de equilibrio	$\frac{\text{Punto de Equilibrio}}{\text{Ventas Totales}}$
	Punto de equilibrio	$\frac{\text{Gastos Fijos}}{\text{Margen en Porcentaje}}$
	Independencia financiera	$\frac{\text{Capital Contable}}{\text{Activo Total}}$
Indicadores de productos y servicios	Rentabilidad por producto	$\frac{\text{Margen}}{\text{Total de Ventas}}$
	Índice de comercialidad	$\frac{\text{Venta Producto}}{\text{Ventas Totales}}$
	Punto de equilibrio	$\frac{\text{Gastos Fijos}}{\text{Margen en Porcentaje}}$
	Nivel de calidad	$\frac{\text{Total Productos sin Defectos}}{\text{Total Productos Elaborados}}$
Indicadores para los medios de producción	Productividad maquinaria	$\text{Producción Maquinaria}$
	Indicador mantenimiento/ producción	$\frac{\text{Costo de Mantenimiento}}{\text{Costo de Producción}}$

Continúa

Indicadores área	Variable
Indicadores Área Comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de ventas</li> <li>• Cartera</li> <li>• Faltantes por despacho</li> <li>• Satisfacción del cliente (indicador de reclamos y devoluciones)</li> <li>• Calificaciones de proveedores</li> </ul>
Indicadores del Área de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento programa de auditorías</li> <li>• Cumplimiento y seguimiento de acciones correctivas y preventivas</li> <li>• Cumplimiento programa de calibración de instrumentos y elementos de control</li> <li>• Capacitaciones</li> </ul>
Indicadores del Área de Planificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de la producción programada</li> <li>• Utilización capacidad instalada</li> <li>• Eficiencia general</li> <li>• Eficiencia operativa</li> <li>• Cantidad de materia prima procesada</li> <li>• Valor producción en fábrica</li> </ul>
Indicadores del Área de Producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productividad en unidades reales</li> <li>• Productividad por empleado</li> <li>• No conformes</li> <li>• Costos de producto no conforme</li> <li>• %Costo no conforme vs. productividad en fábrica</li> <li>• Tiempos de montaje</li> </ul>
Indicadores del Área de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de solicitudes</li> <li>• Disponibilidad de maquinaria</li> <li>• Mantenibilidad de la planta</li> <li>• Confiabilidad de la maquinaria</li> </ul>

Fuente: Estrategias Gerenciales para el Emprendimiento. Institución Universitaria de Envigado. 2008.



# Segunda parte



Foto: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

## Indicadores en la industria de clase mundial



# Indicadores en la industria de clase mundial

## Indicadores de gestión y su relación con la excelencia

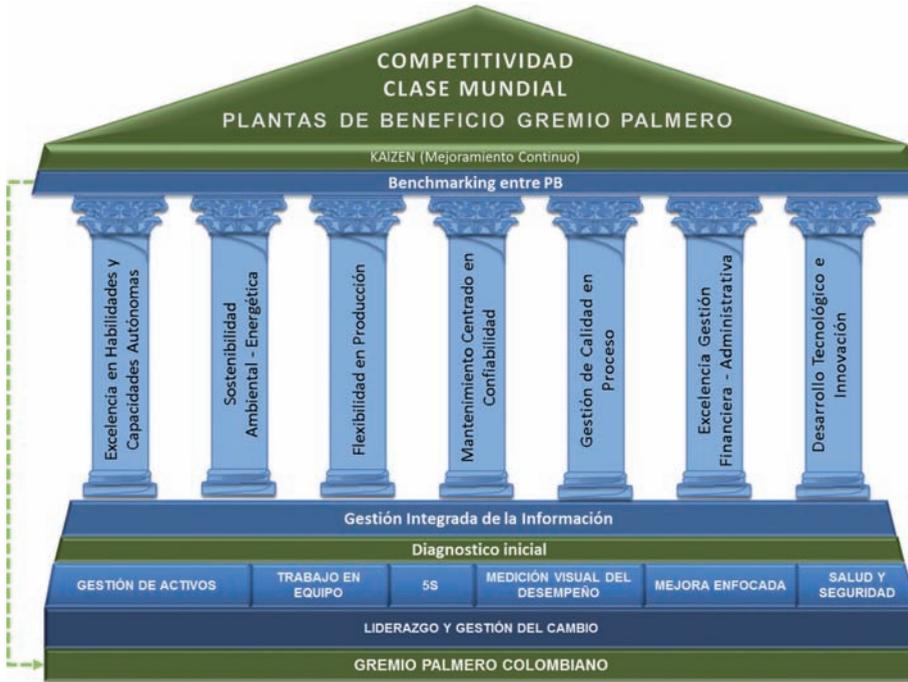
Los indicadores de clase mundial han sido formados a través de la historia por la industria, haciendo uso de conceptos y fundamentos contenidos dentro de las diversas ingenierías, ciencias administrativas, ciencias naturales, entre otras disciplinas. Sin embargo, la industria también ha logrado aprovechar sus propios errores, desperfectos, accidentes e inconvenientes en general dentro del proceso productivo, el cual ha incluido también características e información de mantenimiento, confiabilidad y la gestión de los recursos dentro de la organización. Para medir el desempeño de una organización en cuanto a calidad y productividad, se debe disponer de indicadores que permitan interpretar en un momento dado las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas; por lo tanto, es importante aclarar y precisar las condiciones necesarias para construir aquellos realmente útiles para el mejoramiento de las organizaciones. Una vez se haya construido una base sólida para medición con indicadores, se deberá hacer seguimiento sobre resultados y eventos asociados a cada indicador.

Actualmente, se han creado prácticas, estructuras, rutinas y modelos de ejecución cuyo desempeño y resultados se miden mediante determinados indicadores de gestión, haciendo énfasis en la rigurosidad del cumplimiento, precisión en las acciones y confiabilidad en los resultados. De forma simbólica, se han formulado diversas figuras que logran ilustrar el camino hacia la competitividad de clase mundial; sin embargo, la figura que ha logrado transmitir a primera vista el significado del esfuerzo hacia la excelencia, es el partenón<sup>1</sup>. Mediante este tipo de edificación se muestran como peldaños aquellos elementos o prácticas de soporte para el desarrollo de las diversas actividades dirigidas hacia el mejoramiento continuo, los pilares representan cada metodología y modelos robustos a implementar, soportando el techo y cúspide del partenón el cual simboliza la excelencia de clase mundial.

A partir de las mejores prácticas de clase mundial, incluyendo indicadores, resultados y la excelencia en la gestión; mediante la Figura 1 se representa un partenón genérico o base para cualquier organización que se encuentre en la vía hacia la competitividad de clase mundial.

---

1 Partenón: forma de construcción creada en la antigüedad por la civilización griega para honrar a la diosa griega Atenea.



**Figura 1.** Partenón genérico con prácticas y estándares de clase mundial (World Class).  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

A continuación se muestran algunos indicadores usados para la supervisión y control del desempeño en áreas críticas, como el mantenimiento y costos en general.

### Confiabilidad

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un equipo no falle en servicio durante un periodo de tiempo dado. El tiempo promedio entre fallas (MTBF, Mean Time Between Failures) es un indicativo que se relaciona de forma proporcional con la confiabilidad. También se puede entender como la confianza sobre un componente, equipo o sistema para que desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

La confiabilidad se puede determinar mediante el tiempo promedio entre fallas (TPEF), dado que la medida de confiabilidad se da en términos de tiempo,

$$TPEF = \frac{\sum \text{Todos los tiempos de operacion}}{\text{Número de fallas}} \quad (\text{Ec. 1})$$

También puede ser expresada a través de la siguiente ecuación

$$R(t) = e^{-\mu t} \quad (\text{Ec. 2})$$

*Donde:*

$R(t)$  = confiabilidad de un equipo en un tiempo  $t$  dado.

$\mu$  = tasa de fallas (número total de fallas por periodo de operación).

$t$  = tiempo de operación previsto.

Cuando la tasa de fallos es constante, la distribución del tiempo entre fallos es exponencial, entonces es posible predecir la confiabilidad con base en la función exponencial. Cuando esto sucede se debe aplicar la función de Weibull<sup>2</sup> y otros métodos.

### *Mantenibilidad*

Es la característica de un equipo o instalación que indica un mayor o menor grado de facilidad en la ejecución de los servicios de mantenimiento. También es la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un tiempo ( $t$ ). (Deny, 2012). En términos del Tiempo Medio entre Reparaciones (MTTR, Mean Time To Repair), la mantenibilidad se expresa según la ecuación 3:

$$M(t) = e^{(-t/MTTR)} = e^{(-\mu t)}$$

$$\mu = 1/MTTR \text{ (Ec. 3)}$$

*Donde:*

$M(t)$  = mantenibilidad por un tiempo determinado.

$\mu$  = tasa de reparaciones o número de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

$t$  = tiempo de operación previsto.

### *Eficiencia Global de Lubricación (OLE)*

*OLE (Overall Lubrication Effectiveness)*: proporciona una visión global e instantánea de gestión de la lubricación que se lleva a cabo en la empresa analizada, este es un parámetro poco conocido pero su importancia es vital para lograr alcanzar los niveles de mantenimiento de clase mundial (*WCM World Class Maintenance*), debido a la trascendencia de la lubricación para la vida útil de los equipos, similar al fluido sanguíneo en los seres humanos.

$$OLE = \%PM \text{ Lubricacion} \times \%Control \text{ de Contaminación} \times \%Salud \text{ del Lubricante} \text{ (Ec. 4)}$$

*Donde:*

<sup>2</sup> Función de Weibull: se trata de un modelo continuo asociado a variables del tipo tiempo de vida, tiempo hasta que un mecanismo falla, etc. [15]

*% PM Lubricación:* porcentaje del cumplimiento de tareas de lubricación (efectuarlas correctamente)

*% Control de Contaminación:* porcentaje de máquinas dentro de las metas de control de contaminación (mantener el lubricante limpio, seco y frío).

*% Salud del Lubricante:* porcentaje de máquinas dentro de las metas de salud del lubricante (conservar el lubricante en condiciones óptimas).

## Eficiencia Real de Producción

En la industria actual es imprescindible contar con una herramienta para determinar en relación al producto generado o servicio ofrecido, el rendimiento obtenido de los equipos durante el proceso productivo, la afectación positiva o negativa a la disponibilidad de los equipos, entidades o elementos que intervienen en el proceso y finalmente evaluar el nivel de satisfacción del cliente mediante la calidad del proceso. Para gestionar estas tres necesidades de forma simultánea, se ha diseñado un indicador denominado Eficiencia Real de Producción *ERP* u *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*), constituido mediante la multiplicación porcentual de los elementos fundamentales en la producción industrial (disponibilidad de planta, rendimiento de equipos y calidad de proceso). Por ejemplo, tener un porcentaje ERP de 30%, significa que de cada 100 piezas buenas que los equipos podrían haber producido, sólo han producido 30. Este indicador trasciende las fronteras entre sectores productivos, permitiendo realizar *benchmarking* entre diversos tipos de industrias con el fin de identificar hallazgos positivos y oportunidades de mejora en todo el aparato productivo de una región a partir de la comparación.

A modo general, el ERP coexiste con otros tipos de indicadores de productividad, mantenimiento, confiabilidad y calidad; la sinergia y la interpretación inteligente de estos indicadores permiten guiar a la industria hacia un contexto de clase mundial, anhelado por muchos pero logrado por unos pocos. La excelencia de clase mundial implica abordar varios elementos clave cuya supervisión y control se realiza mediante indicadores formulados teniendo en cuenta todo el entorno de la organización y la calidad de información que logren reflejar.

El ERP mide la efectividad de las máquinas y líneas a través de un porcentaje, que es calculado mediante el producto de tres elementos asociados a cualquier proceso de producción, tal como se puede apreciar en la ecuación 5:

$$\%ERP = \%Disponibilidad \times \%Rendimiento \times \%Calidad \quad (\text{Ec. 5})$$

1. *Disponibilidad de Planta*: porcentaje de tiempo real de las máquinas produciendo respecto al tiempo previsto para la producción.
2. *Rendimiento de Equipos*: porcentaje de producción real de los equipos, respecto a la producción nominal durante un periodo de tiempo.
3. *Calidad de Proceso*: porcentaje de producto conforme respecto a la totalidad de la producción generada.

Esta ecuación equilibra y estandariza el valor de cada indicador, aumentando el nivel de sensibilidad en el resultado final debido a que el ERP depende en igual proporción de cada uno de sus componentes. Este equilibrio también indica la necesidad de generar esfuerzos dirigidos al mejoramiento de cada uno de los componentes críticos de la producción y del mantenimiento, donde el descuido de uno alterará significativamente el resultado final del ERP.

Al mismo tiempo, el ERP analiza y califica los diferentes tipos de pérdidas que pueden producirse en un proceso productivo. Esta clasificación proviene de la misma manera del TPM<sup>3</sup>, en el que se definen “Seis Grandes Pérdidas”. Estas pérdidas son causales de la baja disponibilidad de equipos, rendimiento y calidad del proceso dentro del entorno de producción.

#### 1. Disminución de disponibilidad

*Pérdidas de tiempo*: se define como el tiempo durante el cual la máquina debería haber estado produciendo pero no lo ha hecho: ningún producto sale de la máquina. Las pérdidas son:

- Averías (primera pérdida):

Un repentino e inesperado fallo o avería 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, mantenimiento pobre del equipo). El %ERP considera este tipo de pérdida a partir del momento en el cual la avería aparece.

- Esperas (segunda pérdida):

El tiempo de producción se reduce también cuando la máquina está en espera. La máquina puede quedarse en este estado por varios motivos, por ejemplo: debido a un cambio, por mantenimiento o por un paro para ir a merendar o almorzar. En el caso

---

3 TPM (Mantenimiento Productivo Total): es una filosofía originaria de Japón, que se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costos en los procesos de producción industrial.

de un cambio, la máquina normalmente tiene que apagarse durante algún tiempo, cambiar herramientas, útiles u otras partes. La técnica de SMED (en inglés *Single Minute Exchange of Die*; en español, técnica de paradas empleada en la Fórmula Uno para realizar un abastecimiento/cambios necesarios) define el tiempo de cambio como el tiempo comprendido entre el último producto bueno del lote anterior y el primer producto bueno del nuevo lote. Para el ERP, el tiempo de cambio es el tiempo en el cual la máquina no fabrica ningún producto.

## 2. Disminución de rendimiento

Pérdidas de velocidad: implica que la máquina está funcionando pero no a su velocidad máxima. Existen dos tipos de pérdidas de velocidad:

- Microparadas (tercera pérdida):

Cuando una máquina tiene interrupciones cortas y no trabaja a velocidad constante, estas microparadas y las consecuentes pérdidas de velocidad son generalmente causadas por pequeños problemas, por ejemplo: la acumulación de lodos a la salida de las centrifugas generan paradas con tiempo máximo de 3 minutos, y suelen suceder alrededor de 4 a 5 veces durante una jornada. Estos pequeños problemas pueden disminuir de forma drástica la efectividad del equipo. En teoría, las microparadas son un tipo de pérdida de tiempo. Sin embargo, al ser tan pequeñas (normalmente menores de 5 minutos) no se registran como tal.

- Velocidad reducida (cuarta pérdida):

La velocidad reducida es la diferencia entre la velocidad fijada en la actualidad y la velocidad teórica o de diseño. En ocasiones hay una considerable diferencia entre lo que los tecnólogos consideran que es la velocidad máxima y la velocidad máxima teórica. 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 subvaloradas.

## 3. Pérdidas de calidad en proceso (disminución de calidad en proceso):

La pérdida de calidad ocurre cuando la máquina fabrica productos que no se ajustan a los estándares solicitados por el cliente<sup>4</sup>. Se pueden diferenciar dos tipos de pérdidas de calidad:

---

<sup>4</sup> El término cliente se usa tanto para representar al comprador final del producto o servicio, como aquella área o equipo siguiente dentro del proceso productivo. En los dos casos, el cliente espera recibir un producto terminado o procesado de acuerdo con un estándar de calidad predefinido.

- Desechos (*Scrap*<sup>5</sup>) (quinta pérdida):

Desechos son aquellos productos que no cumplen con los parámetros de calidad, incluso los que no habiendo cumplido dichas especificaciones inicialmente puedan ser vendidos como productos de calidad menor. El objetivo es “cero defectos” en los sistemas de producción en serie (manufactureras, ensambladoras, etc.), para los sistemas de producción por lotes (extracción de aceite de palma y subproductos), el objetivo es alcanzar 100% en calidad del proceso, lo cual indica que se obtendría el mínimo porcentaje en pérdidas de extracción en cada módulo de producción, generando finalmente una serie de bonificaciones y ganancias para toda la cadena productiva de aceite de palma.

Un tipo específico de pérdida de calidad son las pérdidas en los arranques, que ocurren:

- Durante el arranque de la máquina: la producción no es estable inicialmente y los primeros productos no cumplen las especificaciones de calidad, que corresponden a calidad de aceite en subproductos generados en cada uno de los módulos productivos.
- Los productos al final de la producción de un lote: las condiciones de operación no son estables, generando desviaciones en los productos y subproductos cuyas especificaciones de calidad no son las requeridas por los clientes siguientes al proceso de extracción.
- Procesamiento durante la jornada de trabajo, usando prácticas operativas inadecuadas, equipos en mal estado y/o configurados de forma errónea, rutinas innecesarias que no agregan valor al proceso, etc. Todos estos elementos generan finalmente pérdidas en calidad de proceso, afectando la calidad tanto en productos como en subproductos procesados.

Normalmente este tipo de pérdidas se consideran inevitables. Sin embargo, el volumen puede alcanzar valores representativos de la producción total.

- Retrabajos o reprocesos (sexta pérdida):

Los productos retrabajados se consideran que no cumplen los requisitos de calidad desde la primer maquila, a pesar de que su apariencia refleje lo contrario, incluso para los operadores con mayor experticia; sin embargo, este material tiene la ventaja que puede ser reprocesado de forma que alcance los parámetros de calidad para su comercialización.

---

<sup>5</sup> *Scrap*: traducción al idioma inglés de la palabra desecho o basura.

La mayoría de los sectores industriales, emplean métodos para el seguimiento del desempeño de sus activos directamente relacionados con la producción. Variables como el tiempo disponible, las unidades producidas y las velocidades de producción suelen ser medidas con el fin de evaluar la eficiencia de los equipos que intervienen en el proceso productivo.

En la Figura 2 se ilustran los diversos tipos de pérdidas y su aparición de acuerdo con el tiempo durante el proceso productivo, involucrando obligatoriamente a todas las áreas de la organización, manifestando la necesidad de participación y mejoramiento desde todo punto de vista para reducir y evitar los desperdicios.



**Figura 2.** Esquema de composición de tiempos de acuerdo con las pérdidas.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

Finalmente, el indicador ERP permite identificar el desempeño real de los equipos ligados a la producción en función de las condiciones de operación y rendimiento de los mismos, debido a que su cálculo de basa en la producción real contra la que potencialmente se hubiese logrado bajo condiciones óptimas de operación en cuanto a velocidad y tiempo efectivo obteniendo productos finales con los estándares de calidad de proceso establecidos por las demandas del mercado, de forma que al final sea posible caracterizar el grado de competitividad de un proceso productivo, evaluado con la frecuencia que desee la dirección.

## Cálculo del porcentaje ERP a partir de indicadores básicos de producción

### *Disponibilidad de planta*

Se define en términos matemáticos como la probabilidad de que un equipo o sistema sea operable satisfactoriamente en un periodo de tiempo establecido. La disponibilidad depende de la confiabilidad y la mantenibilidad. Tener como objetivo una alta disponibilidad significa minimizar el número de paradas para obtener una operación continua, económica y rentable.

Desde el punto de vista de producción, la disponibilidad se define en la ecuación 6 como:

$$\% \text{ Disponibilidad de Planta} = \frac{\text{Tiem}po \text{ de Trabajo Programado} - \text{Paradas (Programadas y No Programadas)}}{\text{Tiem}po \text{ de Trabajo Programado}} \times 100 \text{ (Ec. 6)}$$

Algunos factores que pueden hacer que el equipo se encuentre indisponible es el enfriamiento, reposo y acondicionamiento del ambiente; la detección de la falla y establecimiento de diagnóstico, reparación, tiempo de espera en repuestos, materiales y equipos, trámites administrativos, calentamiento y prueba y otros imprevistos.

### *Rendimiento de Equipos*

El rendimiento refleja la producción de la máquina, comparado con lo que teóricamente podría haber producido (es decir, la producción que se debería obtener si la máquina funcionará a la velocidad máxima teórica durante el tiempo de funcionamiento actual). Un rendimiento menor que 100% indica que se tienen pérdidas de velocidad: micro-paradas y velocidad reducida por “cuellos de botella” en proceso, como se aprecia en la ecuación 7:

$$\% \text{ Rendimiento de Equipos} = \frac{\text{Rendimiento Nominal}}{\text{Rendimiento Real}} \times 100 \text{ (Ec. 7)}$$

### *Calidad de Proceso*

El indicador de calidad refleja los productos buenos que se han obtenido, comparado con el total de productos que se han fabricado. Un indicador de calidad menor de 100% indica que existen pérdidas de calidad de proceso: desechos (*scrap*) y retrabajos, así como pérdidas en el arranque de los equipos.

$$\% \text{ Calidad de Proceso} = \frac{\text{Cantidad de Unds Conformes}}{\text{Cantidad de Unds. Totales Producidas o Extraídas}} \times 100\% \text{ (Ec. 8)}$$

## Estándares de medición para eficiencia real de producción

El indicador %ERP se ha determinado en diversos tipos de industrias a nivel mundial, con el fin de establecer un punto de comparación basado en una herramienta que trasciende más allá de la particularidad de cada sector en su proceso productivo, facilitando el *benchmarking* cuya finalidad principal es importar y compartir las mejores características que generan éxito de acuerdo con los objetivos medidos. En la Tabla 3 se muestran las diferentes categorías existentes de acuerdo con el %ERP determinado en la industria.

**Tabla 3.** Escala valorativa del porcentaje ERP alineado al cumplimiento de clase mundial.

% ERP	Calificación	Avance hacia clase mundial	Competitividad
ERP < 65 %	Inaceptable	Se producen importantes pérdidas económicas	Muy baja competitividad
65 % < ERP < 75 %	Regular	Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas	Baja competitividad
75 % < ERP < 85 %	Aceptable	Continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia la clase mundial. Ligeras pérdidas económicas	Competitividad ligeramente baja
85 % < ERP < 95 %	Buena	Entra en valores clase mundial	Buena competitividad
ERP > 95 %	Excelencia	Valores clase mundial	Excelente competitividad

Fuente: Una Herramienta de Mejora, el OEE (Efectividad Global del Equipo). Alonzo G. Hugo L. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. 2009.

El valor del ERP permite clasificar los equipos o líneas de producción para compararlos con otros similares dentro de la misma empresa u otros sectores industriales. Este indicador es una herramienta útil para identificar oportunidades de mejora, “cuellos de botella”, prevenir e identificar posibles fallas y evaluar el desempeño de la producción. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el ERP y la Productividad no siempre van de la mano. En ocasiones pueden enfocarse los esfuerzos en reducir la mano de obra en una línea de producción a costa de riesgos por el incremento de las paradas no programadas, afectando negativamente al porcentaje ERP. También puede existir el caso de un ERP excelente en una línea de producción a costa de un incremento de los recursos (personal, materiales y servicios externos) que atienden las paradas no programadas o las variaciones del Tiempo de Ciclo (Rendimiento de los equipos según la capacidad nominal y capacidad real). Lo anterior implica afectar negativamente la productividad de la empresa.

La interpretación del ERP debe ser muy cuidadosa debido a sus múltiples implicaciones en cuanto al estado actual de la empresa, desde el punto de vista productivo, mantenimiento, confiabilidad y calidad; es importante siempre identificar las debilidades a tiempo para generar acciones de mejora continua y evitar impactos negativos en cliente.

Debido a la formulación productoria que conforma el indicador %ERP, la sensibilidad en su respuesta refleja la forma ideal de proceder para contribuir al mejoramiento; las mejoras se deben aplicar a nivel global en cada una de las áreas. En la Tabla 4 se muestran algunos resultados en determinados sectores industriales a nivel mundial, los cuales han logrado posicionarse como ejemplos de clase mundial hasta la actualidad.

**Tabla 4.** Ejemplos de %ERP en diversos sectores industriales a nivel mundial.

Sector industrial	%ERP	Calificación	Competitividad
Industria aeronáutica	99,999999%	Excelente	Excelente (clase mundial)
Generadoras y/o distribuidoras de energía eléctrica	99,999%		
Industria Gas&Oil	98,987%		
Producción continua de sustancias químicas y farmacéuticas en general	97,96%		
Industria productora de papel	95,94%	Buena	Buena (Camino a clase mundial)
Procesadoras de alimentos en general para consumo humano	93,93%		
Acerías, extrusoras de aluminio y otros metales de uso convencional	90,92%		
Fabricación y ensamble productos de línea blanca	88,95%		
Industria de bebidas gaseosas, maltas y cervezas en general	87,94%		
Centros de maquinado y forja de piezas metalmecánicas	85,92%		
Industria manufacturera en general	85,97%		

Fuente: Una Herramienta de Mejora, el OEE (Efectividad Global del Equipo). Alonzo G. Hugo L. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. 2009.

Según el nivel de criticidad del proceso productivo y el impacto directo tanto en los clientes como en el entorno general, el porcentaje ERP debe ser más alto tendiendo a 100%; lo anterior también obedece a la rigurosidad y excelencia exigida tanto por la industria como por sus clientes. En el caso de las empresas generadoras y/o distribuidoras de energía eléctrica requieren como mínimo 99% del ERP debido a la criticidad de su labor, cuya deficiencia afectaría inmediatamente a todo un país y clientes exter-

nos en otros. En este tipo de industrias, el porcentaje ERP está ligado fuertemente al porcentaje de disponibilidad de sus equipos, debido a que la generación insuficiente o detención en transmisión de energía eléctrica a través de toda la infraestructura nacional, depende tanto de la excelencia en proceso productivo como en mantenimiento y confiabilidad de equipos.

## Medición actual de la gestión del desempeño en el gremio palmero

En Malasia existen 434 plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite (Baluch, Abdullah, & Mohtar, 2010). Las metodologías implementadas dentro de ellas son conocidas en el gremio en ese país, desde el procesamiento de los RFF, esterilización, desfrutado, digestión y prensado, clarificación, separación de fibra, separación de nuez - almendra, hasta la extracción de aceite de almendra (palmiste). En 2008, la industria malasia de palma de aceite registró un sobresaliente comportamiento en cuanto a utilidades generadas alrededor de los 62.5 billones de RM (20.59 billones de dólares). La producción de aceite de palma en ese país contribuye con alrededor de 5% y 6% del PIB y genera fuentes de empleo para aproximadamente 1.4 millones de trabajadores (570.000 empleos directos); adicionalmente, también facilita la creación de otro tipo de actividades colaterales, generando ingresos para el país por desarrollo y estabilidad económica por 11.5 billones de dólares anuales.<sup>6</sup>

En la Tabla 5 se ha consolidado información sobre cinco plantas de beneficio en Malasia, con funcionamiento continuo durante los 365 días del año, con jornadas de trabajo diarias de 24 horas.

**Tabla 5.** Indicadores consolidados año 2011 para cinco plantas de beneficio en Malasia.

Planta extractora	%Disponibilidad	%Rendimiento	%Calidad	%ERP
Kedah	90 %	92 %	91 %	75 %
Melaka	89 %	90 %	89 %	71 %
Sabah	88 %	92 %	88 %	70 %
Pahang	87 %	88 %	88 %	68 %
Johor	86 %	81 %	88 %	62 %

Fuente: Baluch N. Measuring OEE in Malaysian Palm Oil Mills. Interdisciplinary journal of contemporary research in business, Vol 4, 2012.

<sup>6</sup> Información adaptada de Basiron, Y. 2005. *Palm Oil*. Bailey's Industrial Oil and Fat Products.

Los países líderes en producción y procesamiento del aceite de palma a nivel mundial coinciden en un aspecto en particular en cuanto al camino hacia la excelencia en productividad global de las plantas de beneficio, para llegar a consolidar la industria de la palma de aceite como un sector de clase mundial, es urgente y necesario importar, adaptar, comprender, mejorar, innovar e implementar recursos característicos desarrollados a través del tiempo, gracias a la experiencia obtenida de múltiples escenarios en donde el nivel de excelencia varía positiva o negativamente.

Existen diversas organizaciones modelo, entre ellas se encuentran Toyota (vehículos con garantía vitalicia en algunos modelos); 3M (líder en innovación mundial e histórico en diversas tecnologías); Siemens (pioneros en tecnologías para ingeniería en general); Airbus (mayor fabricante de tecnología aeroespacial en el mundo); SABMiller (líder a nivel mundial en las franjas de maltas, cervezas y otros productos), entre otras organizaciones. Los recursos y elementos clave que se pueden identificar e interiorizar en el sector industrial palmero son:

- Buenas prácticas importadas desde otros sectores industriales.
- Metodologías de eficacia, eficiencia y efectividad (producción, mantenimiento, laboratorio y calidad).
- Tecnología y buenas prácticas para el uso racional de recursos bajo el marco de sostenibilidad ambiental.
- Procedimientos innovadores para refinación y generación de productos con más y mejores ventajas alimenticias frente a otros productos (aceite de soya, aceite de girasol, entre otros competidores).

Los anteriores recursos se han detectado debido a la necesidad del gremio palmero colombiano, de la adopción y sensibilización generalizada de todo aquello que conduce hacia la productividad de clase mundial. Sin embargo, la excelencia de forma global para las industrias, ha demostrado a través de la historia que requiere disciplina, compromiso y apoyo en todo sentido (financiero, logístico, fuerza laboral, etc.) por parte de todas las unidades y organizaciones que intervienen en el proceso productivo; para el caso del proceso de extracción de aceite de palma, todas las fases productivas desde etapa de cultivo, planta de beneficio, uso secundario (refinación y fraccionamiento) y uso terciario (transformación industrial), sin dejar de lado los entes externos participantes en el proceso, quienes deben aportar el mayor grado de excelencia desde su perspectiva, con el fin de consolidar esfuerzos y lograr posicionar al sector en mejores condiciones de productividad y calidad.



# Tercera parte



Foto: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

**Modelo para medición de  
eficiencia real de producción  
en planta de beneficio**



## Modelo para medición de eficiencia real de producción en planta de beneficio

Para unificar y consolidar criterios para la medición de la gestión de producción en las plantas de beneficio, se plantea el indicador ERP como una herramienta de cuantificación de eficiencia a nivel global, teniendo en cuenta las características de cada tipo de planta, lo anterior con el fin de incorporar las mejores prácticas y procedimientos eficientes para medición del desempeño en el proceso productivo, mediante modelos bajo estándares de clase mundial desarrollados a partir de información histórica recuperada y/o generada hasta la fecha.

### Definición metodológica del modelo

El indicador de Eficiencia Real de Producción soporta la formulación del modelo debido a los diversos comportamientos sobre la gestión de producción que podrán ser evidenciados en tiempo real durante el desarrollo cotidiano de las labores dentro de la planta de beneficio, generando información clave para caracterizar el proceso junto con todos los elementos que impactan, ya sea positiva o negativamente, en la disponibilidad de planta, rendimiento de los equipos y la calidad de extracción del producto durante todo el proceso, la implementación del modelo busca desarrollar la cultura de mejoramiento continuo en las plantas de beneficio, generando efectos a corto y largo plazo:

- Mejoramiento en el desempeño respecto a los competidores al asegurar productos que cumplen con los parámetros de calidad de extracción, a tiempo y en el volumen requerido.
- Concentrar esfuerzos que favorezcan el incremento de la rentabilidad.
- Fortalecer la formación del personal involucrado en el proceso productivo de forma que mantengan motivación permanente durante el desarrollo de sus actividades en pro de favorecer el aporte de ideas que contribuyan a la mejora continua de las operaciones en la planta de beneficio (relación planta de beneficio - empleados).
- Proveer un servicio de alto nivel a los clientes (tanto internos como externos) al concentrarse en los factores clave del éxito de la planta de beneficio.

## Distribución modular de la planta de beneficio

Para la fase de estandarización de procesos, procedimientos y tareas vinculadas a la extracción de aceite de palma, se ha diseñado el siguiente estándar el cual permite representar el flujo de recursos, productos y dependencias. Con el fin de estandarizar y ser coherentes con la designación de indicadores a nivel general, en la Tabla 6 se organizan los términos correspondientes a los principales módulos productivos y de servicios para soporte de proceso, en el ámbito de las plantas de beneficio. Esta designación se desarrolla en línea con el proceso productivo y el flujo de productos e insumos entre los diversos equipos, cuya característica común es la función que cumplen a través de toda la cadena de producción.

**Tabla 6.** Designación de módulos principales en las plantas de beneficio.

Tipo de Módulo	Sigla inglés	Significado inglés	Sigla español	Significado español
Producción	CPO	Crude Palm Oil	APC	Aceite de Palma Crudo
	CPOR	Crude Palm Oil Recovery	RAPC	Recuperacion Aceite de Palma Crudo
	PKR	Palm Kernel Recovery	RAP	Recuperacion Almendra de Palma
	PKO	Palm Kernel Oil	APL	Aceite de Palmiste
Servicios Industriales	PG	Power Generation	GEE	Generacion Energia Electrica
	SG	Steam Generation	GVA	Generacion de Vapor
	WTP	Water Treatment Plant	PTA	Planta Tratamiento de Agua
	ETP	Effluent Treatment Plant	PTAR	Planta Tratamiento Agua Residuales

Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

El proceso productivo en las plantas de beneficio es representado en la Figura 4, teniendo en cuenta el flujo de productos y materiales, división modular, subdivisión por áreas y organización de equipos.

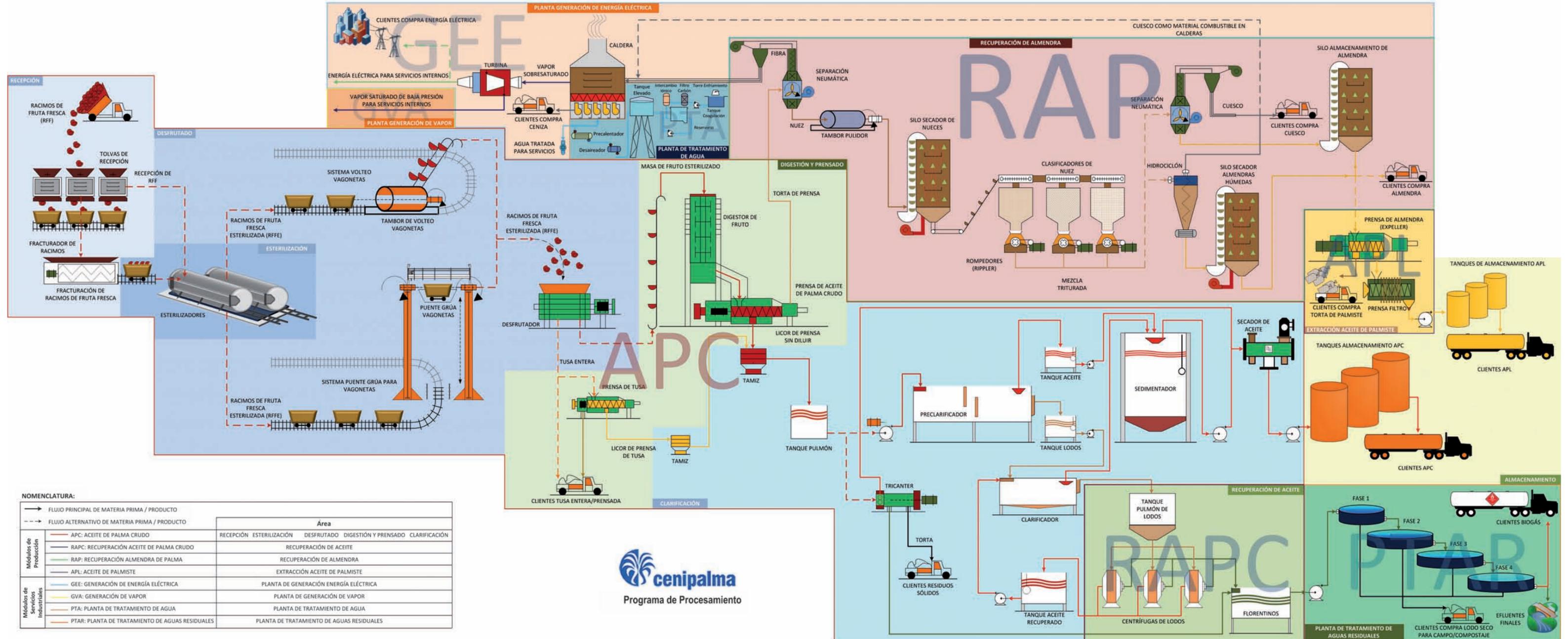


Figura 4. Diagrama esquemático de procesos en planta de beneficio.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

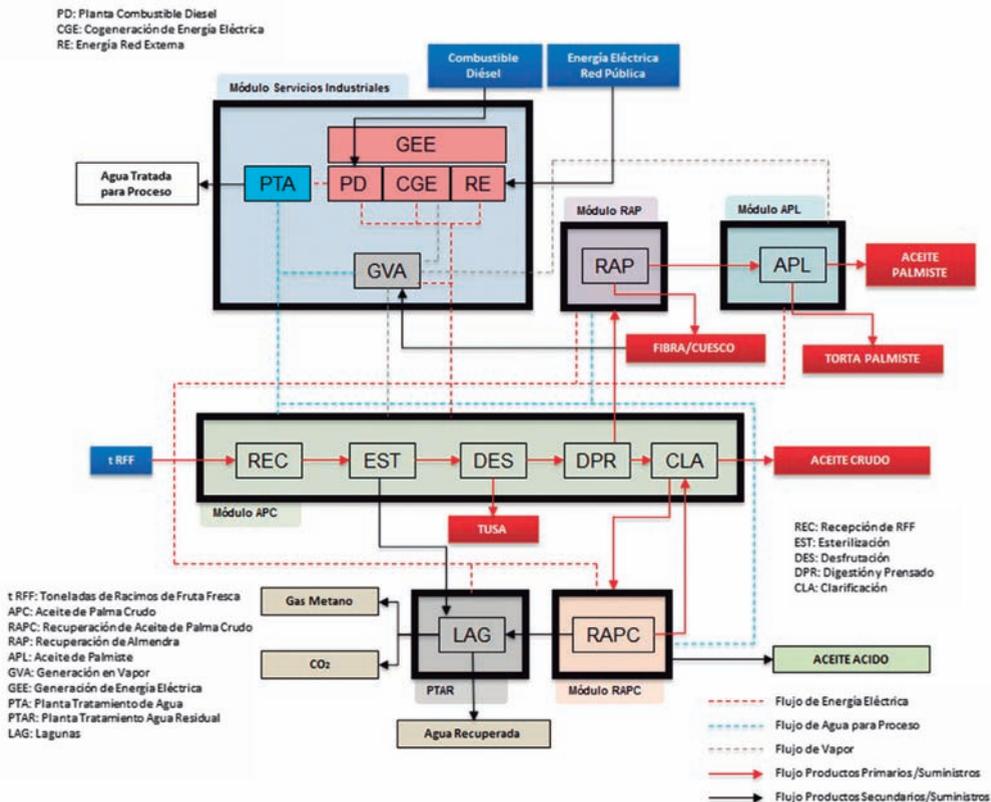
Debido a la criticidad de determinados equipos para el proceso de extracción de aceite y sus subproductos, se han identificado en cada uno de los módulos productivos aquellos equipos cuyas paradas, fallas y problemas afectan directamente el proceso de extracción. La medición del indicador ERP está centrada principalmente sobre los equipos cuya criticidad es crucial para el proceso, de modo tal que la cuantificación del indicador podrá reflejar el comportamiento del módulo productivo visto de forma global desde la planta de beneficio. En la Tabla 7 se detallan los módulos existentes dentro de la planta, haciendo énfasis en los módulos y equipos críticos, objetivos iniciales para medición de desempeño:

**Tabla 7.** Designación de módulos principales en las plantas de beneficio.

Sigla	Definición	Inicio según proceso	Final según proceso	Equipos críticos para extracción de aceite
APC	Módulo de producción que comprende la extracción de aceite crudo.	Inicia en el área de Recepción (REC) desde la tolva.	Hasta la clarificación del licor de prensa, la llegada de la torta a la columna de separación y la entrada de tusa al prensado de la misma.	Prensas de aceite crudo
RAPC	Módulo de producción que comprende la recuperación de aceite crudo de palma a partir de los lodos usando diversos tipos de equipos, decanter, tricanter, centrifugas o prensado de tusas.	Este módulo inicia en el área de clarificación (CLA) desde el tanque pulmón de lodos, para el caso del prensado de tusa desde la tolva de la prensa.	Hasta la entrada del aceite recuperado al clarificador y lodos a las lagunas. Para el caso del prensado de tusa hasta la entrada del aceite recuperado al clarificador y la tusa prensada al acopio.	Centrifugas de lodos Sistemas decanter Sistemas tricanter
RAP	Módulo de producción que comprende la recuperación de almendra restante en la torta.	Inicia en el área de recuperación de almendra (RAL) desde la columna de separación de fibra.	Hasta la llegada de la almendra a los tanques de almendra limpia y seca, y la llegada de la fibra a la caldera o acopio.	Ripplers
APL	Módulo de producción que comprende la extracción de aceite de palmiste de la almendra procesada.	Inicia en el área de extracción de aceite de palmiste (APL) desde la entrada de la almendra a la tolva de los expeller.	Hasta la clarificación del aceite de palmiste y la llegada de la torta de palmiste al acopio.	Expellers o prensas de almendra
GEE				
GVA				
PTA				
PTAR				
Comprende las áreas de generación de energía eléctrica, generación de vapor, planta para tratamiento de agua y planta para tratamiento de aguas residuales				Aún no se consideran equipos o sistemas de servicios industriales como críticos para proceso, debido a su función de soporte.

Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

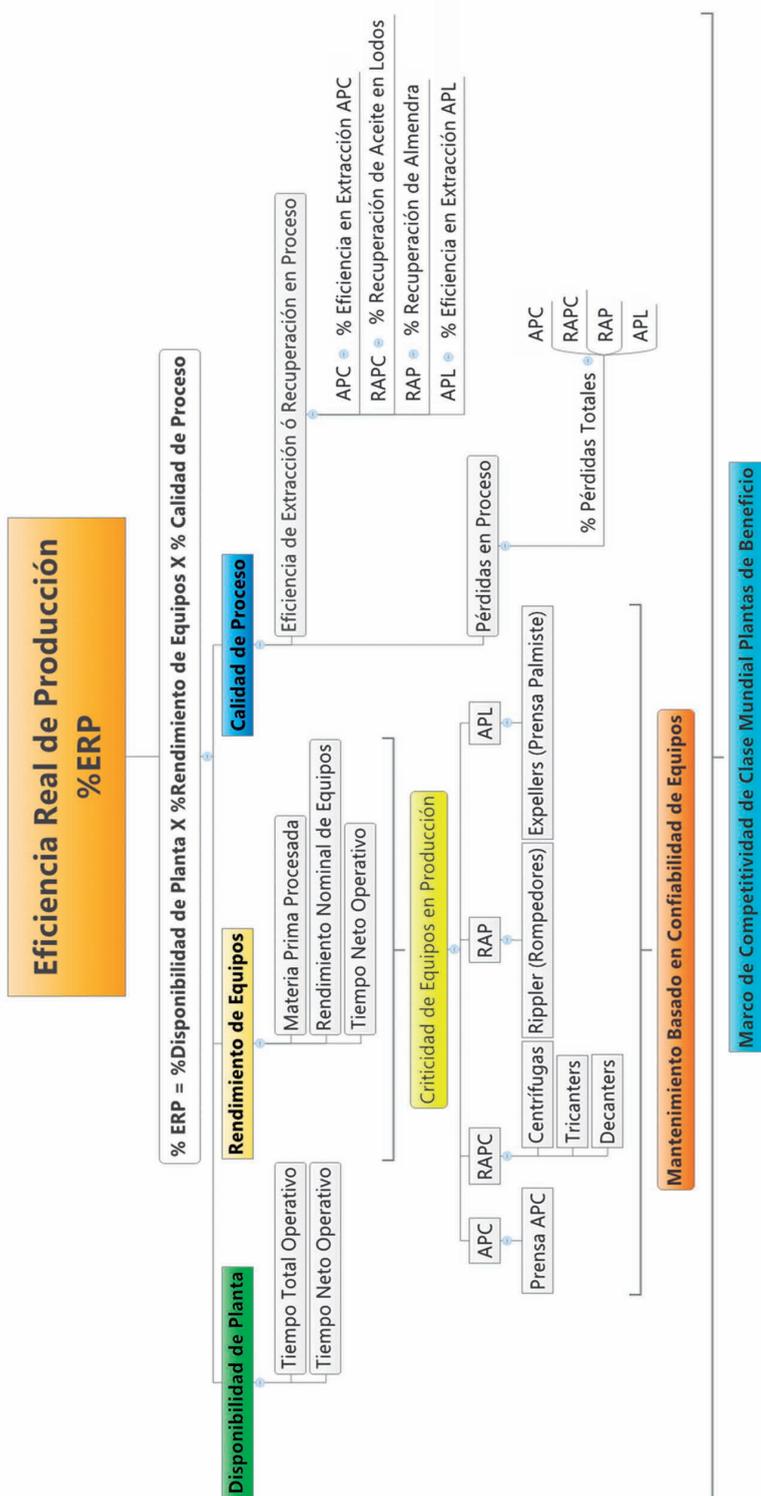
En la Figura 5 se observa un esquema generalizado de la planta de beneficio estandarizada en función de la designación por módulos. En este esquema se identifica la dirección del flujo de las principales corrientes, discriminando por materias primas, servicios industriales, productos y subproductos. Esta división obedece a la disposición general de las plantas de beneficio, suministrando un esquema genérico que logra reunir las características y detalles generales, necesarios para desarrollar cualquier análisis.



**Figura 5.** División modular de la planta de beneficio.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

## Medición de eficiencia real de producción

A continuación, mediante la Figura 6 se muestra la formulación conceptual del indicador %ERP, de acuerdo con la finalidad de cada componente en el contexto productivo de las plantas de beneficio.



**Figura 6.** Estructura ERP planteada para planta de beneficio.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

Los datos clave para el cálculo de indicadores se deben recolectar y manejar usando herramientas digitales denominadas Sistemas Integrados de Información (SII), los cuales deben permitir ingresar los datos que se generan en producción y, a su vez, generar resultados mediante indicadores y sus tendencias diarias, semanales, mensuales y anuales.

## Estructura de cálculo para indicadores

Usando como punto de partida la formulación base para cada uno de los indicadores que conforman el ERP y realizando la adaptación de cada indicador al contexto de las plantas de beneficio, se han generado los siguientes indicadores alineados con la estructura del proceso productivo y el flujo de información respectivo:

### Eficiencia Real de Producción (porcentaje ERP)

Este indicador ha sido adoptado desde otros segmentos industriales y modificado según el contexto de las plantas de beneficio; sin embargo, su sensibilidad depende igualmente de cada uno de los factores internos. Para analizar con más detalle el comportamiento de la planta de beneficio, se requiere medir la Eficiencia Real de Producción en cada uno de los módulos productivos, con el fin de determinar los puntos buenos y los puntos de mejora a atender. Adicionalmente con la medición modular del ERP es posible comparar el desempeño de cada módulo como si fuesen empresas que comparten recursos y a través de las cuales fluyen productos, suministros y desechos a reutilizar; de esta forma, las diversas herramientas para competitividad de clase mundial podrán ser implementadas con mayor precisión al evaluar “unidades de negocio” dentro de la misma planta de beneficio en su proceso productivo, igualmente es posible evaluar los comportamientos y relaciones entre cada uno de los módulos organizados como entidades individuales, cuyas acciones afectan directamente el indicador ERP a nivel global.

Las ecuaciones 9,10,11 y 12 permiten determinar el indicador ERP en cada uno de los módulos o “unidades de negocio” dentro de la planta de beneficio:

$$\%ERP_{APC} = \%Disponibilidad_{APC} \times \%Rendimiento_{APC} \times \%Calidad_{APC} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\%ERP_{RAPC} = \%Disponibilidad_{RAPC} \times \%Rendimiento_{RAPC} \times \%Calidad_{RAPC} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\%ERP_{RAP} = \%Disponibilidad_{RAP} \times \%Rendimiento_{RAP} \times \%Calidad_{RAP} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$\%ERP_{APL} = \%Disponibilidad_{APL} \times \%Rendimiento_{APL} \times \%Calidad_{APL} \quad (\text{Ec. 12})$$

En la Tabla 8 se muestra la designación de materia prima procesada según la naturaleza de cada módulo productivo. Esta nomenclatura servirá para comprender la formulación de los factores que integran el %ERP.

**Tabla 8.** Designación de materia prima procesada según el módulo de producción.

Módulo de producción	Materia prima procesada (MPP)	Sigla
APC	Toneladas de RFF	$t_{RFF/h}$
RAPC	Metros cúbicos de lodo	$m^3_{lodos/h}$
RAP	Toneladas de nuez	$t_{nuez/h}$
APL	Toneladas de almendra	$t_{almendra/h}$

Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

### *Disponibilidad de planta:*

Este indicador es el cociente entre el Tiempo Neto Operativo (horas) y el Tiempo Total de Operación (horas). Sin embargo, cada indicador depende a su vez de otros indicadores internos tal como se puede apreciar en las siguientes fórmulas:

$$\%Disponibilidad_{APC,RAPC,RAP,APL} = \frac{\text{Tiempo Neto Operativo } [h]_{APC,RAPC,RAP,APL}}{\text{Tiempo Total de Operación } [h]_{APC,RAPC,RAP,APL}} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$\text{Tiempo Neto Operativo } [h] = \text{Sobretiempo por Rendimiento } [h] + \text{Tiempo Operativo Requerido } [h] \quad (\text{Ec. 14})$$

$$\text{Sobretiempo por Rendimiento } [h] = MPP [und medida/h] \times \left[ \frac{1}{\text{Rendimiento Real } [MPP und medida/h]} + \frac{1}{\text{Rendimiento Nominal } [MPP und medida/h]} \right] \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\text{Tiempo Operativo Requerido } [h] = \left[ \frac{MPP [und medida]}{\text{Rendimiento Nominal } [MPP und medida/h]} \right] \quad (\text{Ec. 16})$$

Según se expresa en los subíndices de las ecuaciones, para determinar los valores de acuerdo con cada módulo productivo, es necesario reemplazar el factor de Materia Prima Procesada, por el producto procesado en cada módulo. El indicador de porcentaje de Disponibilidad refleja el balance entre la capacidad de los equipos y el tiempo usado en labores de producción, este indicador se ve afectado positivamente tras su incremento; sin embargo, su disminución afecta notoriamente al porcentaje de ERP al igual que los otros indicadores.

### Rendimiento de Equipos:

Para este contexto, el porcentaje de Rendimiento refleja la gestión de producción en cuanto al aprovechamiento de las condiciones inherentes de los equipos, debe permitir ver la forma de procesamiento comparada con la capacidad nominal de los equipos críticos, tal como se genera en la ecuación 17.

$$\%Rendimiento = \frac{MPP [und medida]}{Tiempo Neto Operativo [h] \times Rendimiento Nominal [MPP und medida/h]} \quad (Ec. 17)$$

### Calidad de Proceso:

Teniendo en cuenta el concepto de calidad como indicador, se ha adaptado para las plantas de beneficio la siguiente formulación, de acuerdo con la medición de eficiencia de extracción y la cuantificación de pérdidas asociadas en cada módulo productivo, generando finalmente el indicador de calidad en proceso para cada uno de los módulos, de esta forma se construye el último factor necesario para determinar el porcentaje de ERP en cada módulo:

- Calidad de proceso en el módulo de extracción aceite de palma crudo (APC):

$$\%Calidad Proceso_{APC} = \frac{TEA[\%]}{TEA[\%] + Total Pérdidas_{APC} [\%]} \quad (Ec. 18)$$

$$TEA [\%] = \frac{Aceite Extraído [t]}{RFF_{Procesado} [t]} \quad (Ec. 19)$$

$$Total Pérdidas_{APC} [\%] = \frac{Aceite_{Tusas}}{t RFF_{Procesado}} [\%] + \frac{Aceite_{Fruto Adherido}}{t RFF_{Procesado}} [\%] + \frac{Aceite_{Fibras}}{t RFF_{Procesado}} [\%] + \frac{Aceite_{Efluentes}}{t RFF_{Procesado}} [\%] + \frac{Aceite_{Nuez}}{t RFF_{Procesado}} \quad (Ec. 20)$$

- Calidad de proceso en el módulo de recuperación de aceite crudo de palma (RAPC):

$$\%Calidad Proceso_{RAPC} = \frac{Aceite_{/t RFF} [\%]}{Aceite_{/t RFF} [\%] + Total Pérdidas [\%]} \quad (Ec. 21)$$

$$Aceite_{/t RFF} [\%] = [Aceite_{/t RFF}]_{Condensados Esterilización} [\%] + [Aceite_{/t RFF}]_{Lodos Centrifugas} [\%] + [Aceite_{/t RFF}]_{Lodos Decanter} [\%] \quad (Ec. 22)$$

- Calidad de proceso en el módulo de recuperación de almendra:

$$\%Calidad\ Proceso_{RAP} = \frac{Extracción\ de\ Almendra[\%]}{Extracción\ de\ Almendra\ [\%] + Total\ Pérdidas_{RAP}\ [\%]} \quad (Ec. 23)$$

$$Extracción\ de\ Almendra\ [\%] = \frac{Almendra\ Recuperada\ [t]}{t\ RFF[t]} \times 100 \quad (Ec. 24)$$

$$Total\ Pérdidas_{RAP}\ [\%] = [Almendra/tRFF]_{Fibra}\ [\%] + [Almendra/tRFF]_{Cáscara}\ [\%] + [Almendra/tRFF]_{Cáscara\ hidrociclón}\ [\%] \quad (Ec. 25)$$

- Calidad de proceso en el módulo de extracción aceite de palmiste:

$$\%Calidad\ Proceso_{APL} = \frac{Extracción\ Aceite\ Palmiste\ [\%]}{Extracción\ Aceite\ Palmiste\ [\%] + Total\ Pérdidas_{APL}\ [\%]} \quad (Ec. 26)$$

$$Extracción\ Aceite\ Palmiste\ [\%] = \frac{Aceite\ Palmiste\ Producido[t]}{t\ RFF[t]} \quad (Ec. 27)$$

$$Total\ Pérdidas_{APL}\ [\%] = [Pérdida\ Aceite\ en\ Torta/Almendra\ limpia\ y\ seca\ procesada]\ [\%] = \frac{Aceite\ en\ Torta\ de\ palmiste\ [\%] \times Torta\ Palmiste\ Producida\ [t]}{Almendra\ limpia\ y\ seca\ procesada\ [t]} \quad (Ec. 28)$$

## Benchmarking de eficiencia real de producción con sectores de clase mundial

Teniendo en cuenta la referencia mundial del indicador ERP en otros sectores industriales, junto con la información disponible sobre este indicador en cinco plantas de beneficio en Malasia, en la Tabla 9 se compara el gremio palmero colombiano contra los sectores anteriormente expresados.

**Tabla 9.** Tabla comparativa indicador ERP sectores industriales vs gremio palmero colombiano.

Sector industrial		%ERP	Calificación	Competitividad
Industria aeronáutica		99,999999%	Excelente	"Excelente (Clase Mundial)"
Generadoras y/o distribuidoras de energía eléctrica		99,999%		
Industria Gas & Oil		98,987%		
Producción continua de sustancias químicas y farmacéuticas en general		97,96%		
Industria productora de papel		95,94%	Buena	"Buena (Camino a Clase Mundial)"
Procesadoras de alimentos en general para consumo humano		93,93%		
Acerías, extrusoras de aluminio y otros metales de uso convencional		90,92%		
Fabricación y ensamble productos de línea blanca		88,95%		
Industria de bebidas gaseosas, maltas y cervezas en general		87,94%		
Centros de maquinado y forja de piezas metalmecánicas		85,92%		
Industria manufacturera en general		85,97%		
Plantas de beneficio (Extractoras aceite de palma) en Malasia (5 PB según información existente sólo módulo APC)		69,20%	Regular	Baja (Aceptable sólo si está en proceso de mejora)
Plantas de beneficio (Extractoras aceite de palma) en Colombia (25 PB de 52 en total). Promedio Nacional año 2012 sólo módulo APC		67,57%	Regular	Baja (Aceptable sólo si está en proceso de mejora)
Zona Norte	92,34%			
Zona Central	60,16%			
Zona Oriental	58,11%			

Fuente: adaptado de Baluch N. Measuring OEE in Malaysian Palm Oil Mills. Interdisciplinary journal of contemporary research in business, Vol 4, 2012. Una Herramienta de Mejora, el OEE (efectividad Global del Equipo). Alonzo G. Hugo L. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. 2009.

De acuerdo con los resultados anteriores, se identifica al gremio palmero colombiano por debajo de los estándares mínimos hacia la competitividad de clase mundial. Existen grandes oportunidades de mejora dentro de las plantas de beneficio en Colombia reflejadas finalmente por el resultado consolidado nacional del ERP solamente para el módulo de APC. Los resultados anteriores soportan la necesidad de implementar metodologías encaminadas al mejoramiento de la producción, gene-

rando un sinfín de beneficios en todo aspecto, tanto para las plantas de beneficio y los diversos grupos humanos que intervienen y/o dependen de éstas, como para otros sectores vinculados directa o indirectamente. Según exige la competitividad de clase mundial, la adopción de una metodología para mejoramiento depende estrictamente de la disciplina y compromiso por parte de los principales actores que pueden cambiar el rumbo de la industria. En el contexto de las plantas de beneficio, requiere un grupo de acciones individuales encaminadas a solucionar errores puntuales en cada planta. Este indicador tiene como estándar internacional, para organizaciones de clase mundial, al menos un 85% en la eficiencia global de planta; porcentaje óptimo para iniciar la implementación a metodologías sólidas de mantenimiento, tal como TPM<sup>1</sup> asistido por CBM<sup>2</sup> y RCM<sup>3</sup>, posteriormente.

- 
- 1 TPM: Mantenimiento Productivo Total, es una metodología de mantenimiento que se centra en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costos en los procesos de producción industrial.
  - 2 CBM: Mantenimiento Basado en Condición, centrado en la monitorización de las condiciones o estado de los diferentes elementos de una máquina o equipo para decidir el momento más adecuado para realizar las tareas de mantenimiento.
  - 3 RCM: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se basa en el aseguramiento de la confiabilidad, mantenibilidad y estado óptimo de los equipos, reduciendo frecuencias de falla, recursos requeridos y costos asociados al mantenimiento.



# Cuarta parte



**CeniSiiC<sup>PB</sup>**  
Sistema Integrado de Información Computarizada  
Plantas de Beneficio

**cenipalma**

**CeniSiiC:**  
una solución en la palma de su mano

Gerencia

Dirección e Ingeniería

Producción y Operaciones

Gestión de Producción

Mantenimiento Y Confiabilidad

Calidad Y Laboratorio

Servicios Industriales

Gestión de Costos

Almacén e Inventarios

Gestión Ambiental

Energy

Foto: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

## Administración integrada de información

# CeniSiiC<sub>PA</sub>

Sistema Integrado de Información Computarizada  
Plantas de Beneficio



## CeniSiiC: una solución en la palma de su mano

Gerencia

Dirección e Ingeniería

Producción y Operaciones



Gestión de  
Producción

Mantenimiento  
Y  
Confiability

Calidad  
Y  
Laboratorio

Servicios  
Industriales

Gestión  
de Costos

Almacén  
e  
Inventarios

Gestión  
Ambienta



---

## Administración integrada de información

### Manejo integrado y automatizado de la información

La administración, organización y manejo de la información diaria vital para las organizaciones es gestionada actualmente por sistemas digitales que integran información, conocidos como Sistemas Integrados de Información (SII). Los SII son un conjunto de aplicaciones que gestionan información de diversas áreas y procesos dentro de la organización, permitiendo interconectar los datos adquiridos para generar resultados detallados de acuerdo con las necesidades de los usuarios en cuanto a la información que desean generar. Estos sistemas están desarrollados en diversas plataformas para diseño, programación y prueba de algoritmos y códigos computacionales, los cuales han permitido generar diversos SII comerciales a nivel mundial en múltiples variedades, alcances y costos según las necesidades que tengan las organizaciones.

### Sistemas Integrados de Información en la industria

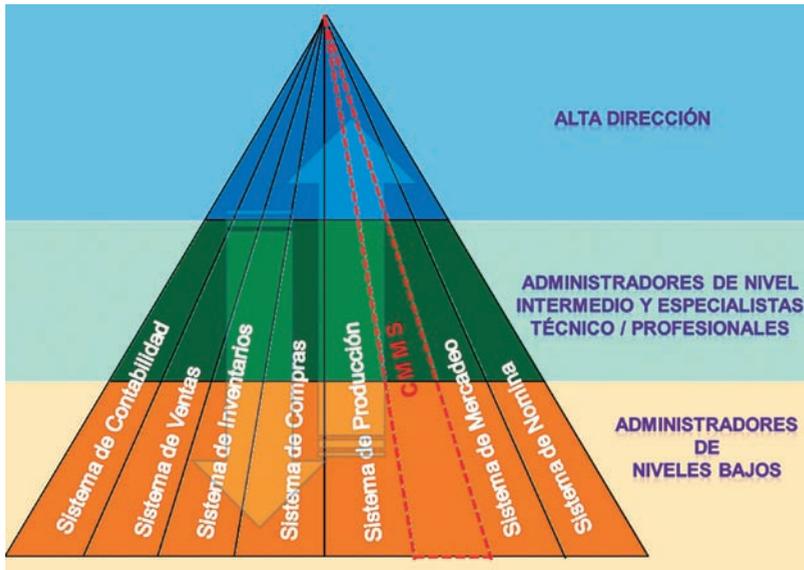
A nivel mundial los sistemas de información para producción, mantenimiento y confiabilidad están expandiendo su funcionalidad alineados a las nascentes necesidades diarias de los sectores que los requieren, para consolidarse en franjas de mercado diferentes entre sí. Para el caso de las plantas de beneficio estos sistemas de información han sido introducidos con estructuras adaptadas de otras franjas productivas (ej. alimentos y bebidas, caña de azúcar, entre otros), generando baja aceptación entre los usuarios que las manejan, llegando al punto de desecharlos para retroceder al uso de mecanismos más rudimentarios y con baja trazabilidad, tales como hojas de cálculo para llevar la información.

Un sistema de información comprende todos los procesos, procedimientos y recursos involucrados en mantener una organización en funcionamiento, con realimentación a través de su propia producción de información y de la generación de información externa a ella, ejerciendo control de los parámetros vitales de la misma.

### CMMS (SII Computarizado para Gestión del Mantenimiento)

El departamento de mantenimiento de las compañías hoy en día observan seriamente sus presupuestos y costos de sus equipos, partes y mano de obra en un esfuerzo por encontrar nuevas vías de ahorro.

Los nuevos sistemas computarizados para gestión del mantenimiento (CMMS, por sus siglas en inglés: Computerized Maintenance Management System) convierten las operaciones de mantenimiento en una unidad de negocio rentable, para ser más eficientes en sus actividades, maximizar la productividad y reducir costos. La siguiente Figura 6 muestra la ubicación del CMMS en el contexto corporativo, relacionando los distintos niveles jerárquicos que existen en las compañías:



**Figura 6.** CMMS en la organización.

Fuente: Pinilla. Pablo. Sistemas de información. Bucaramanga, 2008. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander.

Un CMMS permite sistematizar las órdenes de trabajo, organizar las labores de mantenimiento y asignar las tareas al personal respectivo de forma que el mantenimiento evolucione al concepto de la prevención. Los nuevos sistemas mejoran la gestión de los activos y mano de obra de forma que los administradores puedan apoyar sus decisiones sobre reparaciones, compras y las contrataciones del personal con base en la información que estos puedan generar.

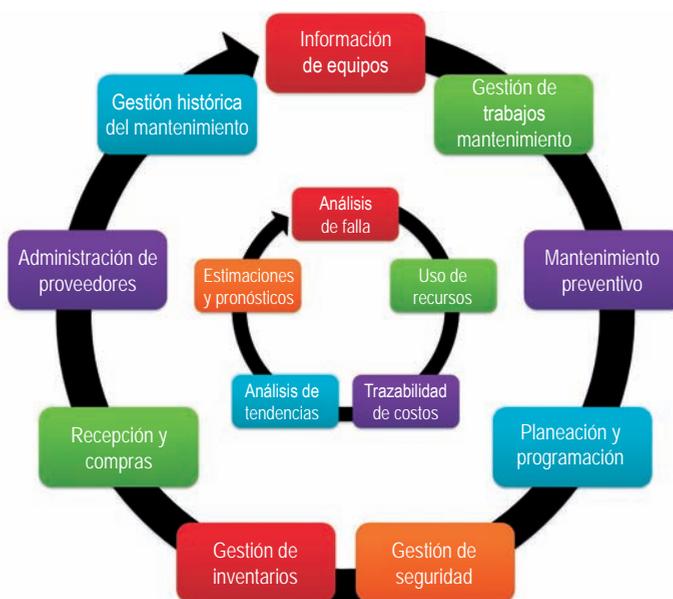
### EAM (SII para Gestión de Activos Empresariales)

Los sistemas conocidos como EAM (Enterprise Asset Management – Gestión de Activos Empresariales) han derivado de los primeros sistemas de Mantenimiento Industrial Preventivo y Correctivo y, posteriormente, de los sistemas TPM. Hoy en día cubren todas las necesidades de gestión de activos de una empresa moderna con una inversión significativa en instalaciones, maquinarias y/o equipos. No importa la

naturaleza de la empresa, si tiene activos valiosos que deben cuidarse y mantenerse, una solución EAM resulta indispensable; también permite a los fabricantes, distribuidores y organizaciones de servicios:

- Ahorrar tiempo y dinero al optimizar los recursos de mantenimiento.
- Mejorar la productividad del equipo y del personal.
- Incrementar la eficiencia del inventario.
- Reforzar su capacidad para cobrar reclamaciones.
- Tomar mejores decisiones a futuro para ayudar a mejorar la rentabilidad y gestionar el rendimiento de los activos.

La Figura 7 representa la estructura funcional de todo Sistema de Información tipo EAM, independiente de su aplicación y contexto de funcionamiento.



**Figura 7.** Mapa EAM.

Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

La solución de EAM para la gestión del rendimiento de activos empresariales permite que las compañías emprendedoras creen una visión más integral al capturar y consolidar métricas desde una variedad de sistemas financieros y operativos. El resultado es una visibilidad mejorada no sólo en el rendimiento actual sino en el rendimiento futuro. Las soluciones atienden lo siguiente:

- **Mantenimiento:** implementar programas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo para lograr la máxima efectividad de los equipos e instalaciones.
- **Inventario/Garantía:** optimizar el inventario y las compras de refacciones para ahorrar dinero.
- **Tiempo de Producción (*Uptime*):** predecir los posibles puntos de falla y sus causas para mejorar el tiempo total de producción.
- **Confiabilidad/Gestión de riesgos (*Reliability/Risk Management*):** prevenir y emprender acciones en respuesta a los problemas de confiabilidad para evitar imprevistos.

A diferencia de muchos otros factores que pueden limitar la rentabilidad de una compañía, la gestión del rendimiento de activos normalmente no es algo que las directivas tengan en mente. Esto es porque la respuesta a la presión ejercida sobre los márgenes se ha enfocado en oportunidades de crecimiento de alto nivel como pueden ser el aumento de las ventas. Las compañías emprendedoras reconocen que mejorar el rendimiento de sus activos no sólo reducirá los costos sino que también mejorará su capacidad de crecimiento de alto nivel.

## ERP (SII para Planeación de Recursos Empresariales)

Son sistemas de gestión de información que integran y automatizan muchas de las prácticas de negocio asociadas con los aspectos operativos o productivos de una empresa.

Al mismo tiempo busca satisfacer la demanda de soluciones de gestión empresarial, basado en el concepto de una solución completa que permita a las empresas unificar sus diferentes áreas de productividad.

Los sistemas ERP unen y sincronizan todas las operaciones de la compañía incluyendo: recursos humanos, finanzas, manufactura y distribución, así como también debe permitir conectar a la empresa con sus clientes y proveedores. Además, ofrecen una interfaz con el usuario para ejecutar las transacciones de la empresa y bases de datos centralizada para almacenar toda la información. Se posiciona como la integración de los diferentes sistemas de información en todas las áreas de las empresas.

La Figura 8 representa la organización estándar para todo Sistema de Información tipo ERP, integrando diversos procesos, áreas y segmentos a nivel organizacional para constituir el sistema más robusto e integral para la gestión inteligente de información.



**Figura 8.** Sistema de gestión ERP.

Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

En la actualidad, la implementación de sistemas de gestión, que sirve como soporte para la administración eficiente, ha adquirido un auge significativo en el mercado empresarial siendo el principal objetivo de estos sistemas, brindar el soporte necesario para alcanzar las metas deseadas.

Las principales tareas de apoyo que un ERP ofrece son:

- Control, gestión y planeación de los recursos financieros
- Planeación de productos
- Aprovisionamiento de materiales
- Manejo de inventarios
- Interacción con proveedores
- Proveen servicio a clientes
- Seguimiento de órdenes de trabajo (útil para el departamento de mantenimiento)
- Manejo de recursos humanos
- Gestión de costos y distribución y manufactura

- Control de desperdicios, mermas y retrabajos
- Optimización de la inversión de inventarios
- Manejo de productos sustitutos y a costo óptimo

Existen dos factores externos a la empresa que también son beneficiados con la organización y centralización de toda la información: los clientes y proveedores. De manera tal que se encuentran dentro de la solución propuesta que brinda los sistemas de planeación de recursos empresariales.

## Alternativa de administración de la información a la medida

Con el fin de administrar la información correspondiente al indicador ERP y toda información derivada del proceso productivo, Cenipalma, mediante el Programa de Procesamiento, ha desarrollado un sistema computarizado para gestión integral de información para plantas de beneficio. Este SII surge como una alternativa flexible y a la medida del gremio palmero colombiano, ajustándose a la configuración y designación real en las plantas de beneficio.

### Sistema Integrado de Información Computarizada para Plantas de Beneficio: CeniSiiC

Está desarrollado inicialmente para las plantas de beneficio y enfocado en aquellos sectores críticos de la industria: mantenimiento y confiabilidad de equipos, calidad en extracción, producción y gestión energética. Este aplicativo es el resultado de la sinergia entre mantenimiento, producción, calidad y gestión energética solidificada en modelos y aplicativos computarizados para la gestión de información del mantenimiento y confiabilidad de plantas de beneficio. El proceso de mejora continua de este sistema de información lo ha convertido en una herramienta flexible y adaptable a cualquier configuración de proceso existente en las plantas.

### Estructura Modular de CeniSiiC

Este aplicativo está concebido como un SII de tipo planeación estratégica de recursos empresariales para interconectar las diversas áreas, procesos y estándares dentro de las plantas de beneficio y constituirse en una herramienta multidisciplinaria formulada según la Figura 9.

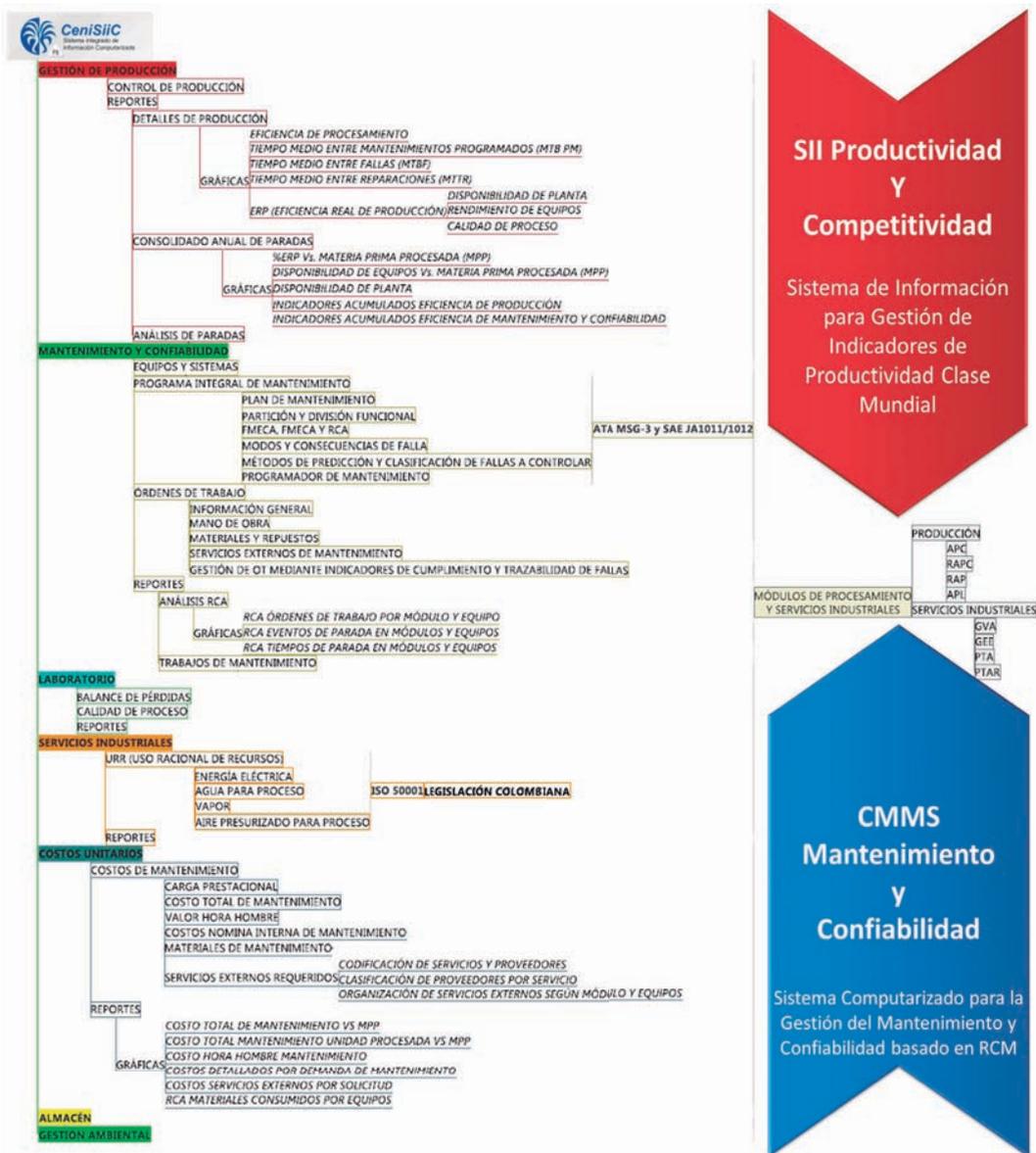


Figura 9. Estructura funcional y organización modular de CeniSiic.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

## Descripción de módulos interconectados

CeniSiiC se encuentra organizado en diversas interfaces para gestión de la información de acuerdo con la disposición anterior. La Figura 10 muestra algunas interfaces mediante las cuales se puede acceder y administrar la información según los módulos alineados a la disposición real de las áreas en una planta de beneficio en Colombia.

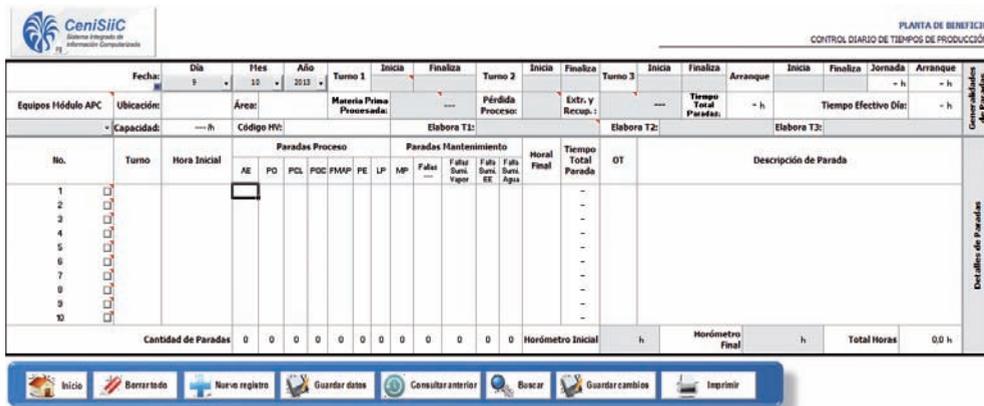


**Figura 10.** Inicio de aplicación con video institucional.

Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

La aplicación cuenta con una introducción breve acerca del contenido que ésta administra. A modo general, cuenta con una interfaz para autenticación y control de usuarios, panel de control para configurar y administrar la estructura de las bases de datos, entre otras funciones.

La Figura 11 representa una interfaz para gestión de producción, solicitando al usuario datos cuya criticidad determinan luego de diversos procesos de cálculo, múltiples indicadores, entre ellos el %ERP.



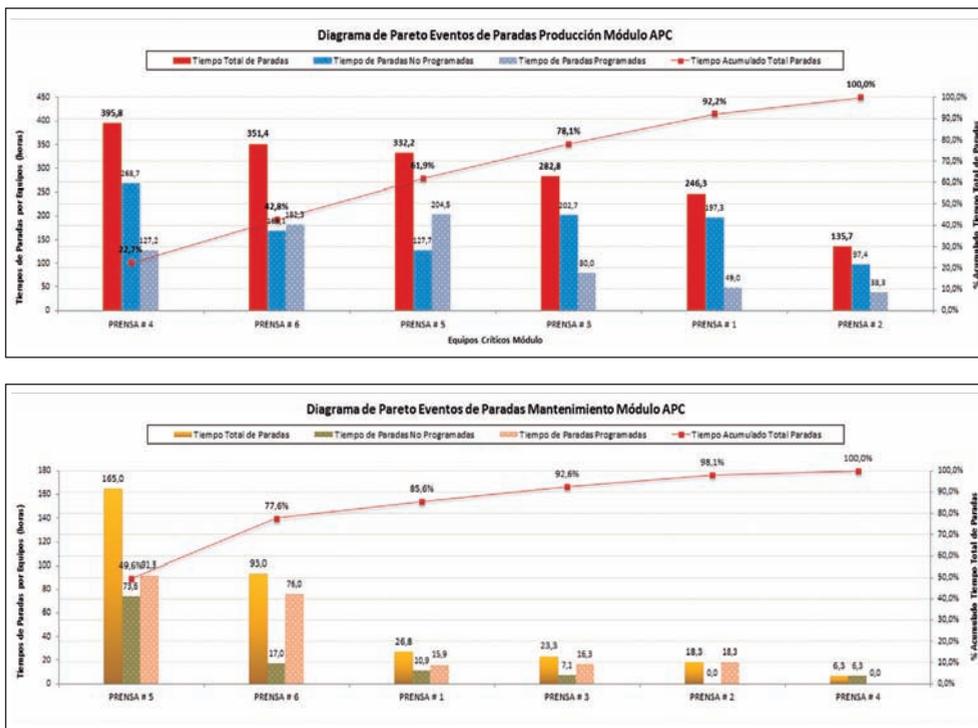
**Figura 11.** Gestión de producción.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

CeniSiiC cuenta también con diversas interfaces para gestión de información para producción, enlazando los eventos relevantes durante la jornada, tales como paradas, fallas, cambios de turnos, cantidad de materia prima procesada de acuerdo con cada uno de los módulos productivos.

La aplicación ofrece la generación de diversos reportes e informes detallados y actualizados según la rigurosidad y disciplina del diligenciamiento por parte de los usuarios. Con diversos recursos y menús agradables a la vista, el mismo usuario puede configurar la aplicación con el fin de adaptarla al entorno real de producción; teniendo en cuenta que esta aplicación basa su estructura en sistemas y casos de éxito que han llevado a industrias hacia la competitividad de clase mundial.

La Figura 12 representa diversas interfaces para recolección de datos, impresión de reportes, informes y administración de recursos a nivel general dentro de la aplicación. La calidad de los resultados obtenidos depende del nivel de precisión y veracidad de los datos suministrados al aplicativo, de modo que esta premisa es un requisito indispensable para cualquier sistema de información, independiente del contexto de su aplicación.





**Figura 12.** Gestión de información de mantenimiento y confiabilidad.  
Fuente: Área de Ingeniería, Programa de Procesamiento de Cenipalma.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a las directivas en las diversas plantas de beneficio que actuaron en el proceso; y al personal técnico y profesional que participaron en el desarrollo del estudio conjunto con Cenipalma.

A los ingenieros Edgar Yáñez y Lina Martínez por el respaldo brindado al inicio del proyecto. Igualmente, al Fondo de Fomento Palmero por facilitar esta investigación, a la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) y el apoyo económico recibido por parte del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), sin el cual no habría sido posible desarrollar este proyecto.

## Bibliografía

- ARCINIEGAS, Álvarez Carlos Alberto. Mantenimiento Productivo Total. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica , 1998
- BANOS BARÓN, Joel Enrique. Implementación 5's en el manejo de las materias primas, repuestos y herramientas de mantenimiento de la planta de Agua Brisa. Bucaramanga, 2000, 140 p. Trabajo de grado (Especialista en gerencia de la producción y mejoramiento continuo). Universidad Industrial de Santander.
- BERNAL MUÑOZ, Edgar. Mantenimiento y mecánica. En: MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Vol 3, No. 12 (Jun. 2002); 80 p. p.63 – 69
- CONSEJO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIA LABORAL DE MÉXICO. Análisis ocupacional del mantenimiento industrial. México: Limusa, 2001. 112 p.
- DRUMMOND, Responsabilidad Social Corporativa. La Loma 2009. 50p
- DUELL, Michael y BECK, Richard. Enterprise asset performance management improves plant maintenance. Oil & Gas Journal, May 19th 2003. T101. No. 20. p. 52-61. Available from Internet: <http://proquest.umi.com/pqdweb>
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE. Anuario Estadístico 2011. Bogotá: Fedepalma, 2011.
- GÓMEZ CUBILLOS, Rafael. Administración y estilos gerenciales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006. 44p
- GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2006.
- IMAI, Masaki. Cómo implementar el Kaizen en el sitio de trabajo. Bogotá: Mcgraw-Hill Interamericana, 2005.
- INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN PALMA DE ACEITE CENIPALMA, FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE FEDEPALMA. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de palma de aceite en Colombia con énfasis en oleína roja. Bogotá: Cenipalma, 2009.
- LEVITT, Joel. Basics of Fleet Maintenance. USA. Reliabilityweb.com.2010. 243p.
- MOORE, Paul. Mining Magazine, Mina Pribbenow Mine of the month .2008 30p.
- MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales o de servicios. Medellín: AMG. 2005.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004.

- MOUBRAY, Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.
- NAKANO, Kinjiro. Planned Maintenance: Keikaku Hozen. Tokio: Japan Institute of Plant Maintenance, 2003.
- NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. 1-50p
- NOWLAN, Stanley. Reliability-Centered Maintenance. San Francisco: U.S. Department of Commerce. 1978.2-30p
- ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. UIS. Bucaramanga 2010
- ORTIZ PLATA, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. [CD\_ROM]. Bucaramanga, 2008. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
- PINILLA, Pablo. Sistemas de información. Bucaramanga. [CD\_ROM]. Bucaramanga, 2008. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
- PULIDO, Luis. Herramientas de Mantenimiento predictivo útil para equipo eléctrico. Jun 2002. No. 9. Available from Internet: <http://www.mantenimientomundial.com/articulos/9herram.asp>
- ROBAYO, Jenny y SARMIENTO, Jaime. Reingeniería de los procesos de mantenimiento en torres enfriadoras. Proyecto de grado (Especialista en gerencia de mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica. Bucaramanga, 1992. 123 p.
- SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc. 1999. 30p.
- AIRON & STEEL. Technology Maintenance at Minimills effective but also efficient. Indianapolis: Aistech, 2007.
- SEVERINO, Alfonso. Modelo para utilizar SAP como herramienta para operar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad. Monografía: Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2009. 120 p.
- SHINOTSUKA, Shinitshi. PM system Corporation. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.tpm-us.com/>
- SHIROSE, Kunio. TPM Para mandos intermedios de fábrica. 2 ed. Madrid: Tgm-Hoshin, 2000.
- SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: Tgp-Hoshin, 1995.







**Centro de Investigación en Palma de Aceite**  
Calle 20A N° 43A - 50 Piso 4 Bogotá D.C.  
PBX: 208 6300 Fax: 244 4711  
[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

