

Indicadores de gestión enfocados al ahorro energético para la industria de beneficio de feldespato

Management indicators focused on energetic saving for the industry of benefit of feldspar.

Carlos Andrés Pérez T¹., Flaminio Vera Méndez²
 Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia
 carlosandres_p@yahoo.com
 flaminio.vera@unibague.edu.co

Resumen— Tomando como punto de partida el informe de [1], específicamente la prueba de la necesidad de un proceso estándar para el beneficio de feldespato, con el cual se obtuvo información relevante sobre el estado energético y productivo; se ha procedido a definir algunos indicadores energéticos para el ahorro de energía en esta industria en particular, se ha demostrado su viabilidad de uso, y se han desarrollado las herramientas sistematizadas para el control y gestión de esos indicadores.

Palabras clave— Beneficio de feldespato, Gestión energética, Índice de consumo, Indicadores energéticos.

Abstract— Taking as a starting point the report of [1], specifically the test of necessity for a standard process for the benefit of feldspar, with which relevant information was obtained about the energy and productive state; it has proceeded to define some energetic indicators for the energy saving on this particular industry, it has been demonstrated its viability of use, and it have been developed the systematized tools for controlling and managing of those indicators.

Key Word — Benefit of feldspar, Consumption index, Energetic characterization, Energetic indicators, Energetic management.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis y caracterización energética de cada proceso industrial permite a las empresas definir indicadores propios enfocados al ahorro energético. Estos sirven como base de comparación y monitoreo para controlar y reducir las pérdidas energéticas de sus procesos y evaluar los potenciales de reducción de las pérdidas energéticas debidas a la tecnología empleada.

A partir de los resultados de [1] donde se emplearon herramientas de caracterización energética y siguiendo recomendaciones de [2], [3], [4] y [5] entre otros, acerca de los requisitos que deben cumplir los indicadores de gestión para que se constituyan en un sistema de información; se propusieron algunos indicadores de gestión enfocados al ahorro energético para un proceso estándar de beneficio de feldespato, se validó su viabilidad de uso verificando el cumplimiento de requisitos y finalmente se diseñaron las herramientas sistematizadas para su control y gestión. Los resultados en particular que además de ser un referente para la industria en general, indican la manera como puede establecerse un sistema de información de este tipo.

II. PROPUESTA DE INDICADORES

A. Antecedentes según caracterización energética:

Energético/Línea	Índices de consumo (Kwh/T) ó (m ³ /T de H ₂ O)		
	Promedio	Mínimo	Máximo
Electricidad/Trituración-Secado	4,68	4,20	5,62
Electricidad/Molienda-Oficinas	41,79	36,27	44,78
Electricidad/Granulado	16,59	12,21	22,04
Electricidad/Transporte	0,99	0,88	1,15
Gas Natural/Secado	69,65	50,85	89,10
Electricidad/Total planta	43,44	36,84	45,86

¹ Ingeniero Mecánico., Estudiante de Maestría en Gestión Industrial.

² Ingeniero Industrial, M. Sc.

Tabla 1. Índices de consumo de energía.

Energético/Línea	ENA Máxima (%)
Electricidad/Trituración-Secado	7,79
Electricidad/Molienda-Oficinas	8,05
Electricidad/Granulado	38,81
Electricidad/Transporte	8,67
Gas Natural/Secado	4,18
Electricidad/Total planta	18,19

Tabla 2. Energía no asociada a la producción - ENA en %

Energético/Línea	Costos unitarios promedio Referencia año 2007 (\$/T) ó (\$/T de H ₂ O)		
	Promedio	Mínimo	Máximo
Electricidad/Trituración-Secado	702,07	629,7	842,41
Electricidad/Molienda-Oficinas	6268,96	5440,2	6716,43
Electricidad/Granulado	2488,96	1831,1	3305,91
Electricidad / Transporte	148,16	132,4	172,45
Gas Natural/Secado	47680,40	34810,1	60995,4
Electricidad/Total planta	6515,28	5525,58	6879,45

Tabla 3. Costos unitarios por energéticos.

En las tablas 1 a 3 se presentan los resultados obtenidos por [1] para cada energético consumido en las diferentes líneas de producción, correspondientes a un proceso estándar de beneficio de feldespato.

B. Indicadores de gestión propuestos:

En este caso, los indicadores de interés según [2], corresponden a los del tipo planeación operativa, puesto que se utilizarán para revisar el desempeño individual de los procesos en el aspecto energético, tendrán un enfoque cotidiano y mensual, y su propósito será el de alinear el desempeño de los procesos con las metas de la organización.

A continuación se enuncian solamente con un ejemplo de cada uno, los diferentes tipos de indicadores definidos. Esto aplica para cada energético consumido en cada una de las diferentes líneas. Además, del mismo modo se presentan algunas herramientas de cuantificación de la energía gestionada en los procesos y de los costos unitarios por el uso de energéticos.

- **Indicadores de rendimiento energético:**
Índices de consumo

Ejemplo: I.C.E.E.T. Índice de consumo de energía eléctrica en línea de trituración (Kwh/T)

- **Indicadores base 100 de consumo producción:**

Ejemplo: I.B.E.E.M. Indicador base 100 energía eléctrica - producción en línea de molienda.

- **Indicadores de seguimiento de ahorro energético:**

- **Indicadores de tendencia en el consumo**

Ejemplo: I.T.E.E.G. Indicador de tendencia en el consumo de energía eléctrica en granulado.

- **Herramientas para cuantificar el nivel de energía gestionado en los procesos:**

Ejemplo: E.N.A.TE. Energía eléctrica no asociada en transporte (%)

- **Herramientas para cuantificar los costos unitarios por energéticos:**

Ejemplo: C.U.G.N.S. Costo unitario por gas natural en secado (\$/T de H₂O removida)

Los índices de consumo relacionan la cantidad de energía que se consume en un determinado proceso productivo por cada unidad de producto obtenida en el mismo. Por su parte, los indicadores base 100 de consumo producción muestran el estado y variación de la eficiencia energética de los procesos. Los indicadores de tendencia en el consumo se usan como elementos de seguimiento y verificación del ahorro energético en tiempo, y resultan útiles para establecer periodos de referencia y compararlos con periodos de base.

A partir de la tendencia y comportamiento del consumo con respecto a la producción mensual, como el mostrado en el ejemplo de la figura 2, es factible cuantificar periódicamente el grado o nivel de energía que se gestiona en un proceso debido a la variabilidad operacional y el cambio tecnológico. Este elemento cuantificador corresponde a la energía no asociada a la producción (ENA) y muestra el porcentaje de la energía empleada en un determinado proceso productivo, que no está relacionada con la cantidad de unidades de producto obtenidas en dicho proceso; es decir, si por ejemplo en la planta se operan los equipos en vacío, las consecuencias, energéticamente hablando, se verán reflejadas a través del uso de esta herramienta. Los costos unitarios por energéticos representan el costo por concepto del uso de la energía en relación a una unidad de producto obtenida en un determinado proceso productivo. Son un referente numérico del costo y dependen directamente del índice de consumo; así por ejemplo, si los índices de consumo tienden a elevarse, ha de esperarse que los costos unitarios por energéticos también lo hagan.

C. Elementos de los indicadores de gestión propuestos:

Para elaborar los indicadores de gestión enfocados al ahorro energético, se tuvieron en cuenta los elementos que deben poseer los indicadores de gestión, como los recomendados por [2]. A continuación se presentan las características de cada uno de estos elementos, asociados con los indicadores definidos.

- **Definición:** La definición de cada uno de los tipos de indicador propuestos cumple con una expresión que cuantifica el estado de la característica o hecho que quiere ser controlado; por ejemplo, los índices de consumo como se mencionó anteriormente, representan la cantidad empleada de un

determinado energético en un proceso productivo. Además, cada tipo de indicador resulta en una definición simple, clara, e incluye solamente una característica. □

- **Objetivo:** Los diferentes tipos de indicadores definidos propenden por mejorar la eficiencia en el uso de la energía y con esto minimizar los costos por conceptos de compra de energéticos.
- **Valores de referencia:** Según [1] y [6], durante la búsqueda de indicadores con los cuales se pudiera comparar el comportamiento energético del proceso, no se encontraron datos para el beneficio de feldespato. Por lo anterior, se tienen como valores de referencia los obtenidos en la caracterización energética propia.
- **Responsabilidad:** En este caso recae en la jefatura de producción, por ser la responsable directa del desempeño de los procesos. Esta deberá clarificar el modo de actuar frente a la información que suministran los indicadores y su posible desviación respecto a las referencias escogidas.
- **Puntos de Medición:** Un colaborador designado dispondrá los datos de consumo y producción en un formato de hoja de cálculo preestablecido, que incluye el control de todas las líneas y deberá ser revisado al comenzar el día. Ver tabla 4. La hoja de cálculo generará automáticamente las gráficas de control para observar fácilmente el desempeño diario de la línea de producción en cuanto al índice de consumo. Ver figura 1. Además, al final de cada mes se tendrá disponible el consolidado de este indicador (ver tabla 5 y figura 3), así como el de los costos unitarios por energía (ver tabla 9) y la energía no asociada a la producción para cada línea. (Ver tabla 8 y figura 6).
- **Recursos:** Para registro de lecturas de contadores es requerido, un colaborador, un equipo de cómputo y el formato de hoja de cálculo, además de tiempo en la reunión mensual para análisis y toma de decisiones en torno al comportamiento de indicadores.
- **Periodicidad o frecuencia de medición:** Las cantidades de energía y producción se registrarán diariamente para tener un mejor control del índice de consumo, puesto que este indicador puede variar considerablemente ante cualquier falta de correspondencia entre los consumos de energía y la producción, situación para la que luego de un periodo de tiempo resulta más difícil determinar sus causas.
- **Sistema de procesamiento y toma de decisiones:** Los resultados se presentarán además de tabulados, en forma de gráficos de control para cada indicador, acompañados de la variación relativa por periodos para facilitar la toma de decisiones.

D. Validación de la viabilidad de uso para los indicadores propuestos:

A partir de las consideraciones que presentan varios autores consultados como [2], [3], [4], y [5]; a continuación se presentan las características de cada uno de estos requisitos, asociados con los indicadores definidos.

Adecuados: Son el mínimo número de indicadores necesarios para monitorear el comportamiento energético de la planta y propender por el ahorro en este aspecto.

Simples: Resultan fáciles de generar, recolectar y procesar.

Objetivos: Lo son porque se pueden expresar numérica o cuantitativamente.

Sencillos: Porque resultan claros, fáciles de interpretar y comprender por las diferentes partes.

Prácticos: Puesto que describen por completo el comportamiento de los procesos de esta planta en cuanto al uso de la energía, que es lo que se pretende medir, y se logra de manera poco costosa en tiempo y recursos. Además los indicadores definidos reflejan la magnitud del hecho analizado y muestran la desviación real del nivel deseado.

Útiles (tener una finalidad): Lo son para la toma de decisiones ya que permiten revelar las pérdidas energéticas relativas a los procesos y relativas a la tecnología.

Oportunos y fidedignos: los indicadores definidos permiten solos y en conjunto, obtener información en tiempo real, adecuada y oportuna y miden con un grado de aceptable de precisión los resultados alcanzados y los desfases con respecto a los objetivos propuestos, lo que posibilita la toma de decisiones para implementar las acciones correctivas o de mejora que corrijan y reorienten la gestión antes de que las consecuencias afecten significativamente los resultados o estos sean irreversibles.

Válidos en el tiempo: Los son, pues solo basta con ajustar los límites de control en función del desempeño de los procesos y continuarán sirviendo como herramientas de medida para la toma de decisiones.

Permisivos a la participación de los usuarios: Los indicadores definidos permiten la participación, además de la alta dirección, del equipo idealmente sugerido y conformado por un técnico eléctrico, un técnico mecánico y un supervisor; quienes tienen por una parte, la tarea de encontrar soluciones a problemas como los altos consumos por unidad de producto buscando reducirlos, y por otra, la de evaluar los casos en que se encuentren valores bajos para aprovechar las causas de estos y replicarlas en busca de menores índices de consumo.

Controlables: Son controlables pues se tiene la capacidad de influir en ellos al ajustarlos según el desempeño de los procesos. Adicional a la verificación de cumplimiento de requisitos de los indicadores de gestión propuestos, se destaca que según [6], ya se había puesto en práctica el control diario, encontrando en la mayoría de las líneas un valor estadísticamente aceptable, con lo que comprobó que era posible comenzar a usar un indicador de eficiencia energética como el índice de consumo.

III. CONTROL Y GESTIÓN DE LOS INDICADORES DEFINIDOS

A. Índices de consumo de energía:

- Para cada indicador de consumo energético se diseñó una hoja de registro por mes para llevar un control diario, de tal manera que al alimentarla se generará automáticamente el gráfico de

control correspondiente, (ver tabla 4 y figura 1) así como la gráfica de Energía Vs. Producción. (ver figura 2)

HOJA DE REGISTROS I.C.E.E.T. - ENERO DE 2011						
Día	Cons. (Kwh)	Prod. (T)	IC Kwh/T	ICP Kwh/T	LCI Kwh/T	LCS Kwh/T
1	1.506	300	5,01	4,68	4,20	5,62
2	1.106	262	4,21	4,68	4,20	5,62
...
31						

Total	35.871	7.618				
-------	--------	-------	--	--	--	--

Prom.	1.157	245	4,71			
-------	-------	-----	------	--	--	--

Tabla 4. Modelo hoja de registros diarios para control de índices de consumo.

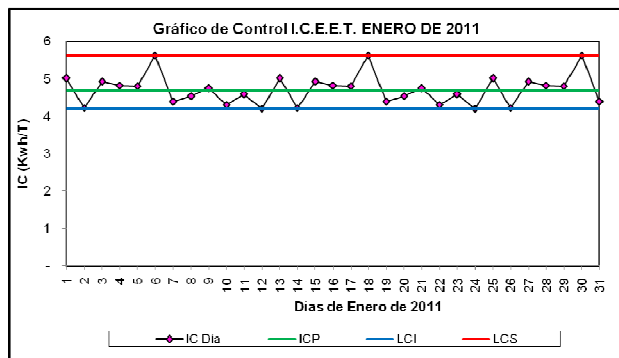
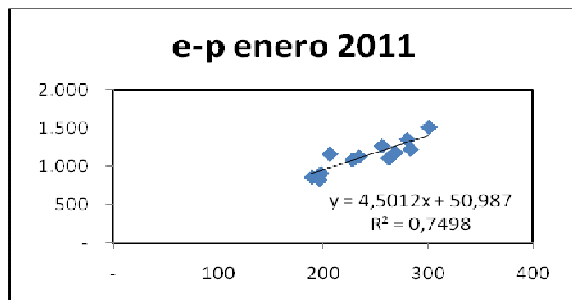


Figura 1. Ejemplo de un gráfico de control diario para índices de consumo.



Al finalizar el mes, escriba en la casilla de la derecha la constante de la ecuación para obtener y considerar la E.N.A. en los cálculos		50,987
	E.N.A. (%)	4,41%
	E.N.A (Kwh)	1.580,60

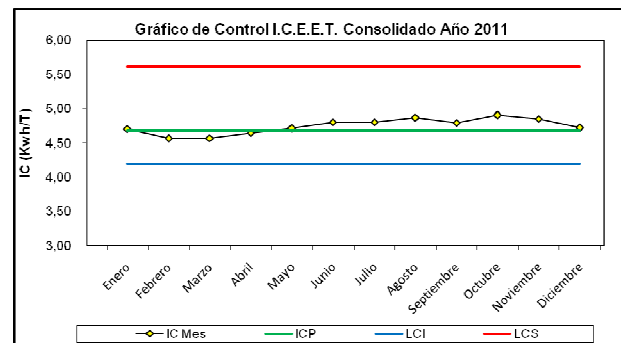
Figura 2. Ejemplo de gráfico Energía Vs. Producción para control de ENA

- Para el informe mensual, a partir de los registros se irá actualizando una tabla que consolida los resultados mes a

mes para todo el año, junto con el respectivo gráfico de control que presentará la variación relativa del indicador por periodos. Ver tabla 5 y figura 3.

CONSOLIDADO I.C.E.E.T. AÑO 2011						
Mes	Cons. (Kwh)	Prod. (T)	IC Kwh/T	ICP Kwh/T	LCI Kwh/T	LCS Kwh/T
Enero	35.871	7.618	4,71	4,68	4,20	5,62
...
Dic.	34.786	7.370	4,72	4,68	4,20	5,62
Total	420.857	88.750				
Prom.	35.071	7.395	4,74			

Tabla 5. Modelo hoja de registros para consolidado mensual de índices de consumo.



Periodo	Ene.-Feb.	Feb.-Mar.
Variación Relativa (%)	-3,04	0,11

Figura 3. Ejemplo de un gráfico de control para consolidado mensual de índices de consumo.

B. Indicadores base 100 de consumo producción

- A partir de la información tabulada de consumo y producción para cada línea, se actualizará automáticamente una tabla como la presentada en el ejemplo de la tabla 6, la cual expresará los datos de consumo-producción como valores índice; y a partir de esta se irá generando y actualizando el gráfico de comportamiento para dicho indicador como el mostrado en la figura 4.

VALORES INDICE PARA LÍNEA TRITURACIÓN-SECADO			
Variación de la demanda de energía y producción: Datos expresados en valores índices.			
Enero de 2007=100			
Mes-Año	Consumo de Energía	Producción	Relación Consumo Producción
Ene-07	100	100	100%
...
Dic-08	81	92	88%

Tabla 6. Modelo hoja de cálculo de valores índice de consumo-producción.

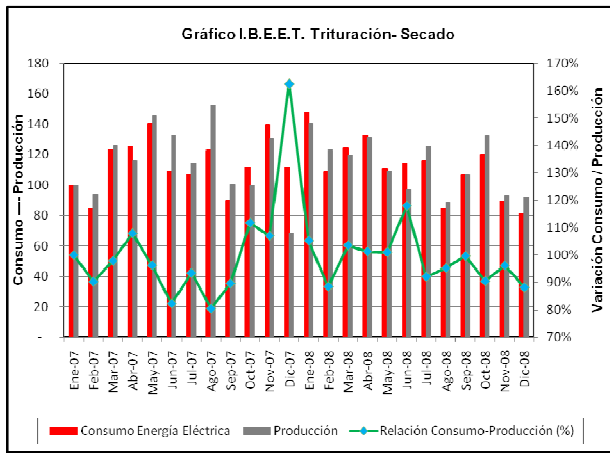


Figura 4. Ejemplo de un gráfico de indicador base 100 para consumo-producción.

3.3 Indicadores de tendencia en el consumo

Línea de Granulado					
Mes	Cons. Real 2008 (Kwh)	Prod. Real 2008 (T)	Cons. Teórico 2007 (Kwh)	Cons. Real – Cons. Teórico	Suma Acumulativa del consumo
Enero	33524	2619	37242,8	-3718,8	-3718,8
...
Diciembre	14166	1090	22915,7	-8749,7	-48413,5

Tabla 7. Modelo hoja de cálculo para generar gráficos de tendencia

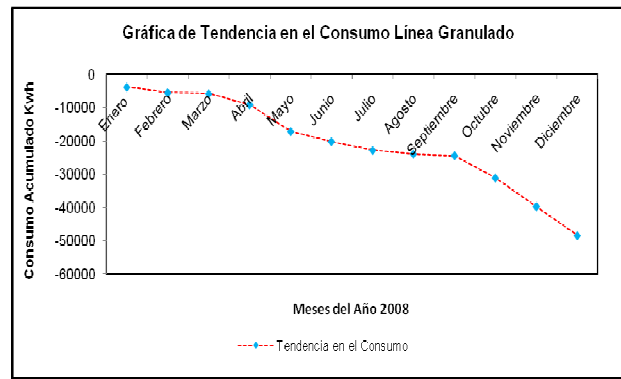


Figura 5. Ejemplo de un gráfico de tendencia

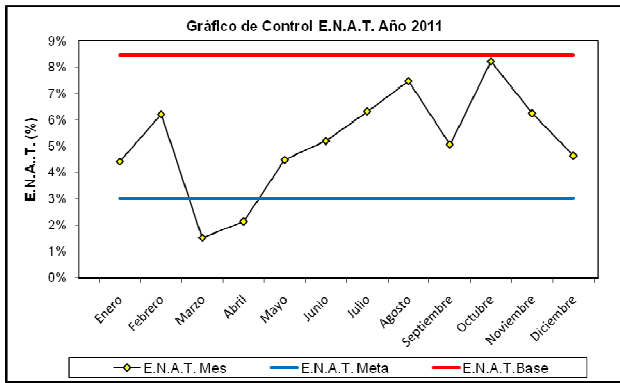
A partir de la información tabulada de consumo-producción por línea, para dos periodos de tiempo similares y con la caracterización energética del proceso, se puede alimentar una tabla de datos (ver tabla 7), la cual calcula la tendencia en el consumo o llamada también sumas acumulativas, y que a la vez automáticamente permite generar el correspondiente gráfico de tendencia como el mostrado en la figura 5.

C. Energía No asociada a la producción ENA:

- Para cálculo y control mensual de la ENA, al finalizar cada mes deberá registrarse en un hoja de cálculo como la que acompaña a la figura 2, el valor de la constante de la ecuación de la gráfica de Energía Vs. Producción, para que se cuantifique automáticamente y esta sea tenida en cuenta en los resultados como los mostrados en la tabla 8.
- Ahora solamente hace falta establecer la ENA meta, y automáticamente se actualizará un gráfico de control que muestra la variación relativa del indicador por periodos, y que permite llevar un control mensual de la energía gestionada en el proceso. Ver figura 6.

CONSOLIDADO MENSUAL E.N.A.T. Año 2011				
Mes	E.N.A. Típica del Proceso (%)	E.N.A. Mes (%)	E.N.A. Mes (Kwh)	E.N.A. Meta (%)
Enero	8,46%	4,41%	1.580	3,00
...
Dic.	8,46%	4,63%	1.611	3,00
ENA Promedio del Año		5,16%		

Tabla 8. Modelo hoja de cálculo consolidado de ENA.



Periodo	Ene.-Feb.	Feb.- Mar.
Variación Relativa (%)	40,97%	-75,63%

Figura 6. Ejemplo de un gráfico de control para consolidado mensual de ENA.

D. Costos unitarios por energía:

• Para los costos unitarios por energía, se diseñó para cada línea una hoja de cálculo (ver tabla 10) para llevar un control mensual, donde a partir de este se generará automáticamente el correspondiente gráfico de control de tipo similar a los presentados en las figura 3 y 6.

CONSOLIDADO MENSUAL C.U.E.E.T. - 2011						
Mes	Costo \$/Kwh	ICEET Kwh/T	CUBET \$/T	CUBET PROM. \$/T	LCI \$/T	LCS \$/T
Enero	150	4,71	706	702	629	842
...
Dic.	150	4,72	707	702	629	842

Tabla 9. Modelo hoja de cálculo consolidado mensual para costos unitarios por energéticos.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados, además de ser el primer referente para la industria de beneficio de feldespato, lo son también para los demás tipos de industria porque muestran la manera como puede establecerse un sistema de información de este tipo en la práctica.

La potencialidad del conjunto de indicadores definidos se manifestará en la medida en que se empleen para monitorear los procesos y se vayan ajustando a la realidad de los mismos.

Para su implementación se deben estratificar los índices de consumo, indicadores base 100 e índices de tendencia a las áreas y equipos mayores consumidores, estableciendo el sistema de análisis, registro, monitoreo y control respectivo; e identificando los recursos humanos de dichas áreas para capacitarlos en medidas de operación,

mantenimiento, coordinación, registros y evaluación para elevar la eficiencia energética de su área o equipo.

En la práctica se deben encontrar las causas que provocan comportamientos anormales de la producción y los consumos de electricidad y gas natural respecto de su comportamiento histórico, ya que pueden constituir potenciales para el incremento de la eficiencia de la planta.

REFERENCIAS

- [1] PÉREZ Tristancho, Carlos Andrés. Definición de indicadores de gestión enfocados al ahorro energético en la industria de beneficio de feldespato. Planta Sumicol. Tesis de Maestría en Gestión Industrial. 186 pág. Universidad de Ibagué. Ibagué-Colombia 2011.
- [2] PÉREZ Jaramillo, Carlos Mario. Los Indicadores de Gestión. Enero de 2006. [on line]. [Consultado en febrero de 2008], Disponible en internet en: <http://www.rcm2-soporte.com/documentos/2006/SOP-Indicadores-Gestion-Articulo-Enero-2006.pdf>
- [3] NAVAS C, Jesús Eduardo. Manual de indicadores de gestión y resultados. Publicado por el IPSE - Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas. Santafé de Bogotá, D. C., Octubre de 2002. [on line]. [Consultado en Marzo 29 de 2008], Disponible en internet en: <http://www.ipse.gov.co/>
- [4] AGUDELO P, Aida Ivonne. Indicadores de gestión. [on line]. [Consultado en Noviembre 21 de 2010], Disponible en internet en: www.minminas.gov.co...Indicadores%20de%20gestion%20MME.ppt
- [5] LABRADOR, Hénder, 2.005. Indicadores de Gestión. Material elaborado con fines de estudio. 2005 [on line]. [Consultado en Noviembre 21 de 2010], Disponible en internet en: http://galeon.com/henderlabrador/hender_archivos/Indi_Gest t.pdf.
- [6] MARTINEZ Peña, Román Samir. Propuesta para el desarrollo de un sistema de gestión total y eficiente de la energía en el proceso productivo de la planta de beneficio de feldespato Sumicol-Gualanday. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Programa de Ingeniería Mecánica. Universidad de Ibagué. Ibagué-Colombia 2010.