

 Institución Universitaria	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Diagnóstico de tecnologías emergentes en la industria del papel y del
cartón

Julio Cesar Franco Lopera

Juan Esteban Martelo Arismendi

Ingeniería electromecánica

Bernardo Herrera Múnera

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

14 de Julio de 2014

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN

Dentro de esta investigación el lector logrará conocer diagnósticos energéticos hechos alrededor de las empresas del papel y del cartón, ya que en estas empresas los consumos energéticos pueden demandar un alto impacto para los sectores manufactureros. Por esta razón se analizaron y documentar soluciones para el mejoramiento energético dentro de la industria del papel y del cartón, con el fin de generar un punto de partida de futuras investigaciones que tienen como objetivo el reducir costos y aumentar la eficiencia energética dentro de la industria en cuestión. Para llevar a cabo este proyecto Se recolectó, seleccionó, buscó, analizó y se miró desde un punto de vista crítico y seleccionar información útil en Internet, libros, bases de datos (Scopus, IEEE, sciencedirect), revistas o apuntes sobre diagnósticos energéticos. Después así ya definido y formulado el problema de estudio, sigue la identificación y documentación de las tecnologías actuales más importantes que se han venido implementando con el fin de conseguir un mejoramiento en la eficiencia energética. Por último se documentan los resultados del análisis teniendo en cuenta la consigna del impacto real obtenido dentro de los planes de mejoramiento que se encontraron para la industria del papel y del cartón.

Finalmente se encuentran algunas tecnologías usadas en los diagnósticos energéticos hechos por investigadores, empresas u otras organizaciones, que a partir de un mapa de proceso puede tener alto impacto en la producción, debido a que se generan grandes mejoras en el consumo energético inicial y se logran obtener beneficios en cuanto a los consumos excesivos que se tenían inicialmente.

Palabras clave: Empresa papelera, empresa de cartón, consumo energético, diagnostico energético, mapa de procesos, tecnologías emergentes.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

RECONOCIMIENTOS

Queremos dar un especial agradecimiento a todas las personas que nos dieron sus valiosos aportes para el desarrollo de este proyecto especialmente a nuestras familias que fueron un apoyo muy importante en nuestra formación, también queremos dar un agradecimiento a todos nuestros profesores, a nuestro asesor de trabajo de grados el profesor Bernardo herrera y a nuestra institución que nos brindó todas las garantías y nos dio todas las herramientas necesarias para realizar este proyecto.

 Institución Universitaria	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

ACRÓNIMOS

ANDI: Asociación Nacional de Industriales

CIIU: Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas

ECO: Potencial de la oportunidad de conservación energética

HVAC: Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

PFE: Programa de eficiencia energética

ROI: Retorno de la inversión

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Objetivos	11
1.1.1	General.....	11
1.1.2	Específicos.....	11
2.	MARCO TEÓRICO.....	13
2.1	Diagnostico energético	13
2.1.1	Consideraciones de un diagnóstico energético.....	14
2.1.1.1	Oportunidades comunes de ahorro energético.....	15
2.1.1.2	Maneras de disminuir el consumo energético.....	16
2.1.2	Tipos de diagnósticos energéticos.....	17
2.1.2.1	The Walk-through Audit.....	17
2.1.2.2	Standard Audit.....	18
2.1.2.3	ComputerSimulation.....	19
2.1.2.4	Determinar cuál tipo seleccionar	19
2.1.3	Proceso de un diagnóstico energético.....	21
2.1.3.1	Preparación de un diagnóstico energético	22
2.1.3.2	Componentes de un diagnóstico energético	24
2.1.3.2.1	Reunión inicial	24
2.1.3.2.2	Inspección.....	25
2.1.3.2.3	Análisis de datos	25
2.1.3.2.4	Restitución de los resultados.....	26
2.1.4	Reporte del diagnóstico energético.....	27
2.1.4.1	Resumen ejecutivo justificable.....	27
2.1.4.2	Análisis de costos energéticos.....	27
2.1.4.3	Recomendaciones.....	28
2.1.4.4	Propósito de un plan de acción energético.....	29

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.5	Pasos a seguir en pro del mejoramiento continuo.....	29
2.2	Mapa de proceso.....	31
2.2.1	Mapa de procesos en la industria del papel y del cartón	33
2.2.1.1	Análisis de algunos equipos mostrados en el mapa de procesos.....	34
2.2.1.1.1	El Pulper	34
2.2.1.1.2	Despastillador	35
2.2.1.1.3	Refinado	36
2.2.1.1.4	Depuración	37
2.2.1.1.5	Caja de entrada.....	39
2.2.1.1.6	Mesa de fabricación.....	40
2.2.1.1.7	Prensado.....	40
2.2.1.1.8	Secado	41
2.2.1.1.9	Estucado del papel.....	43
2.2.1.1.10	Calandrado	43
2.2.1.1.11	Bobinado	44
2.2.1.2	Consumos energéticos de los procesos del papel y del cartón.....	45
2.2.2	Indicadores comparativos entre la industria manufacturera	47
3.	METODOLOGÍA.....	50
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1	Acciones recomendadas	53
4.1.1	Mejora en el secado.....	53
4.1.1.1	Sistema de secado por recuperación de calor	54
4.1.2	Calderas.....	55
4.1.3	Producción de electricidad.....	56
4.1.4	Bombas de pulpas.....	56
4.1.5	Motores y variadores de alta eficiencia	56
4.1.6	Sistemas de medición	57
4.1.7	Sistema de lubricación	58
4.2	Recomendaciones adicionales	64
4.2.1	Primera recomendación.....	64

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.2	Segunda recomendación.....	65
4.3	Tecnologías emergentes y brecha tecnológica	66
4.3.1	Trabajos de algunos autores	68
4.3.2	Soluciones por tecnología	72
4.3.2.1	Máquina de papel con Gap Former	73
4.3.2.1.1	Comparación con otra máquina	74
4.3.2.2	Sección de prensado	74
4.3.2.3	Mejora a la sección de secado	76
4.3.2.4	Estucado.....	78
4.3.2.5	Aplicación de tecnologías renovables.....	79
4.3.2.6	Sistema de ahorro de agua dulce	79
4.3.2.7	Otras soluciones	80
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	82
6.	REFERENCIAS.....	83

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Lista de imágenes

<i>Imagen 1. Ejemplo sobre comparaciones de consumo energético antes y después de un diagnóstico energético.....</i>	31
<i>Imagen 2. Ejemplo de mapa de proceso.....</i>	32
<i>Imagen 3. Esquema de un Pulper</i>	35
<i>Imagen 4. Esquema del despastillador.....</i>	36
<i>Imagen 5. Esquema de un refinado de discos.....</i>	37
<i>Imagen 6. Discos de una máquina de refinado</i>	37
<i>Imagen 7. Esquema de un depurador probabilístico</i>	38
<i>Imagen 8. Depurador ciclónico.....</i>	39
<i>Imagen 9. Esquema de una caja de entrada</i>	39
<i>Imagen 10. Esquema de la mesa de fabricación</i>	40
<i>Imagen 11. Prensa tradicional.....</i>	41
<i>Imagen 12. Esquema de una sequería multicilíndrica.....</i>	42
<i>Imagen 13. Esquema de un proceso de calandrado.....</i>	44
<i>Imagen 14. Esquema de una bobinadora.....</i>	45
<i>Imagen 15 Mapa de procesos enfocado a las soluciones de la empresa Lincoln</i>	59
<i>Imagen 16 Identificación de partes críticas y referencias de algunas soluciones.....</i>	60
<i>Imagen 17 PM 3 de Haindl Paper Augsburg.....</i>	61
<i>Imagen 18 Sistema básico de lubricación utilizado por Lincoln.....</i>	62
<i>Imagen 19 Sistemas de lubricación para bobinadoras y prensas de pastas.....</i>	63
<i>Imagen 20. Sistema QLS-301 para puente grúa</i>	64
<i>Imagen 21. Pulper WasterPro 1200</i>	66
<i>Imagen 22 Máquina de papel Gap-Former</i>	73
<i>Imagen 23 Máquina de papel con Gap Former</i>	74
<i>Imagen 24 “Prensa de zapata” Voith</i>	75
<i>Imagen 25. Máquina de prensado Voith</i>	76
<i>Imagen 26. Máquina de secado de Laakirchen</i>	77
<i>Imagen 27. Satinadoras del proceso de secado Laakirchen</i>	78
<i>Imagen 28. Estucadora de cuchilla.....</i>	78
<i>Imagen 29. Sistema básico de suministro de agua.....</i>	80
<i>Imagen 30. Satinado del papel.....</i>	81

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Ciclo de la eficiencia energética.....</i>	14
<i>Ilustración 2. Sistemas de alto consumo energético.....</i>	16
<i>Ilustración 3. Métodos de un standardaudit</i>	18
<i>Ilustración 4. Actividades de un auditor</i>	20
<i>Ilustración 5. Implicaciones de cada tipo de diagnóstico energético</i>	21
<i>Ilustración 6. Sitios donde se puede encontrar información relevante para el diagnóstico energético.....</i>	23
<i>Ilustración 7. Paso a paso del análisis de datos.....</i>	26
<i>Ilustración 8. Lo que incluye un análisis de costos energéticos</i>	28
<i>Ilustración 9. Tips de una auditoría energética que ayudan al mejoramiento continuo.....</i>	30
<i>Ilustración 10. Tipos de energía involucrados en el proceso de elaboración de papel.</i>	33

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

1. INTRODUCCIÓN

En la industria del papel y el cartón al igual que en otros tipos de industrias, es notable la gran necesidad de consumo energético, derivado de su actividad económica. Sin embargo, las máquinas, la iluminación y toda clase de consumidores, se diseñan con el fin de cumplir una función específica y en ciertas ocasiones no se toma en cuenta su rendimiento y su trabajo neto real, que al final podría ser mucho mayor si se sabe que la optimización de su funcionamiento puede verse reflejada en un estudio previo y una posterior implementación de metodologías de trabajo y de tecnologías emergentes, que pueden finalmente contribuir económicamente y de manera tal, que en los productos finales se vea reflejado un trabajo eficiente y eficaz.

En las empresas actuales se están creando ideologías erróneas de los montajes y del mantenimiento realizado, esto debido a la falta de personal capacitado y con profesionalismo, debido en gran parte a la ya evidente terquedad de los gerentes y mandamás de las empresas, que solo quiere utilidad sin gastar o sin trabajar por sus activos. En consecuencia, más evidentemente en las máquinas, se nota un deterioro creciente a medida que pasa los años, y como consecuencia de ello, el rendimiento cae, los productos finales se ven afectados y el consumo energético se empieza a elevar por múltiples factores. Estas circunstancias son la que se pretenden trabajar de ahora en adelante, teniendo como referente los análisis hechos en industrias reales, que hablan de los trabajos y de los métodos usados para tratar de mejorar o mantener la eficiencia de una máquina, de la iluminación, y de otros elementos que pueden afectar la relación final de costo-beneficio.

Por otra parte, se requiere asegurar de que los activos de las empresas tengan un correcto funcionamiento y que la energía que se les entregue, sea aprovechada lo más eficientemente posible, por esto se crea este diagnóstico energético, para de esta manera

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

visionar que es lo que hay dentro de estas empresas y como se pueden generar oportunidades de conservación de la energía.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

- Analizar y documentar soluciones para el mejoramiento energético dentro de la industria del papel y del cartón, con el fin de generar un punto de partida de futuras investigaciones que tienen como objetivo el reducir costos y aumentar la eficiencia energética dentro de la industria en cuestión.

1.1.2 Específicos

- Identificar problemas energéticos de los equipos dentro de la industria del papel y del cartón.
- Desarrollar un mapa de proceso que permita la identificación de los posibles baches energéticos en la industria del papel y del cartón
- Documentar tecnologías implementadas, que solucionen los problemas energéticos identificados.
- Dar a conocer los problemas, métodos y resultados más comunes que se han identificado para conseguir el mejoramiento energético en la industria del papel y del cartón.

En el siguiente trabajo el lector se puede encontrar con una revisión de un marco teórico que encierra las implicaciones de un diagnóstico energético, es decir, las maneras como se hace, los factores que tiene en cuenta, las clases de diagnósticos que hay, quienes lo hacen, que resultados se esperan, quien lo inspecciona, entre otras. Seguidamente se habla de los mapas de procesos y los que existen dentro de una industria del papel y del cartón, porque así se puede hacer una mirada más global de lo que tienen las empresas y la manera como se manejan cada una de las áreas. Después se habla de algunos aparatos

	<p style="text-align: center;">TRABAJO DE GRADOS</p>	Código	
		Versión	
		Fecha	

o de algunos elementos que conforman el mapa de procesos, precisando cada una de las tecnologías que contribuyen con una función en específico para que se lleve a cabo el proceso de formación del papel y del cartón. El siguiente paso del trabajo, habla de la metodología y los recursos usados, para darle paso a los resultados que se enmarcan por las consideraciones de tecnologías y de medidas que debería adoptar una empresa papelería y del cartón con el fin de lograr estándares energéticos que cumplan las necesidades de la empresa, del sector, del país y que se puedan lograr posicionar dentro de un marco competitivo internacional.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Diagnostico energético

Es el procedimiento para entender el comportamiento energético de los activos involucrados en una empresa, pasando por el reconocimiento de cada una de las variables involucradas, es decir, consumos de electricidad, pérdidas de calor, presión, caudal, entre muchas otras variables que están inmersas en el campo industrial.

Saber cada uno de estas variables asegura un diagnóstico del funcionamiento real de un equipo, y permite consecuentemente hacer una comparación con las variables que se pueden o deben tener, permitiendo una relación costo-beneficio de la productividad real de las máquinas.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que antes de llevar a cabo un diagnostico energético, una serie de pasos, estructura, reglas, procedimientos y un enfoque persistente que se definirán líneas más abajo, con el fin de aumentar la eficiencia real de la planta y bajar los costos por mantenimiento o gastos en la factura de la energía. Al final con un diagnostico energético se espera alcanzar un retorno de la inversión, debido a que el diagnostico implica gasto por equipo adquirido y personal contratado. En la Ilustración1, se puede ver el ciclo de eficiencia energética, por medio del cual se muestra una descripción clara de los primeros pasos que apuntan a un diagnostico energético.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

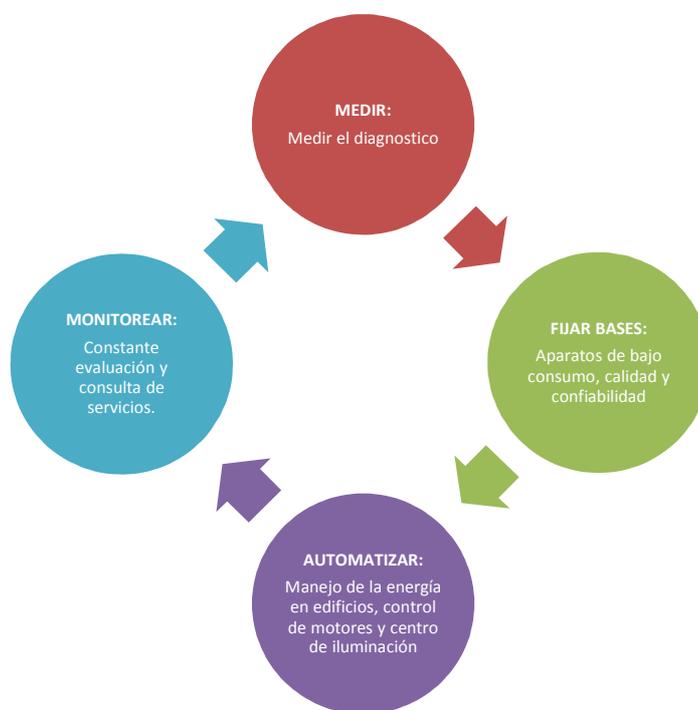


Ilustración1. Ciclo de la eficiencia energética
Fuente: elaboración propia a partir de (Energy University, 2011)

Lo que se pretende con un diagnóstico es evaluar de una manera especial los consumos energéticos de la empresa en cuestión, para comprender de tal manera estos consumos que se facilite la comprensión del rendimiento en el momento del diagnóstico.

Por esta razón, específicamente se evalúan sistemas y equipos que usan energía, con esto se hace una comparación subjetiva a los niveles o estándares de rendimiento, para facilitar las posibles mejoras, prácticas industriales o sistemas que se deben usar.

2.1.1 Consideraciones de un diagnóstico energético

Durante un diagnóstico energético, es indispensable tener en cuenta los resultados o las conclusiones que se dan después de estar inmerso en él, por esta razón se deben tener en cuenta lo que nos dice el diagnóstico energético, como por ejemplo, el consumo energético actual, es decir, con esto se refiere a los gastos financieros a partir del consumo de energía, plasmados en una cuenta de servicios públicos y jerarquizando los sistemas consumidores. Durante el diagnóstico también se deben identificar los

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

potenciales para ahorrar energía, es decir, los sistemas que pueden estar sujetos a cambios, sea en su maniobra, en su construcción o en la adecuación de otros sistemas, con el fin de reducir el consumo energético. Por último el diagnóstico energético también nos ayuda a priorizar acciones, pues cabe anotar que hay muchos elementos críticos dentro de una instalación, puesto que hay elementos que requieren de una atención inmediata por sus altos consumos, mientras que otros simplemente acarrearán con porcentajes bajos del consumo total de la empresa.

Un diagnóstico nos da una visión clara de lo que estamos usando y de los costos generados, para tener una idea clara de donde y cuando está siendo usada la energía, esto con el fin de identificar oportunidades de ahorro. Sin embargo, no es una tarea fácil, debido a que generalmente los sistemas a partir de su construcción tienen definidos unos parámetros de funcionalidad que adicionalmente acarrea con un consumo de energía estándar, por lo que modificaciones en sus sistemas de consumo se traducen en bajos rendimientos de los componentes tanto eléctricos como mecánicos de la instalación. Por esta razón se debe ser muy cuidadoso en la identificación de oportunidades, tratando de gestionar y de aterrizar a la realidad los verdaderos cambios que se pueden hacer, implementando un plan de manejo de la energía, hacer recomendaciones y realizar constantes análisis de costo-beneficio.

2.1.1.1 Oportunidades comunes de ahorro energético

Son muchos los sistemas involucrados dentro de un diagnóstico energético, pero es notable como algunos de los sistemas en particular son los responsables del mayor consumo energético dentro de una empresa, esto porque su construcción rudimentaria y/o principio de funcionamiento requiere mucho más consumo incluso que el de los motores de una empresa, en la Ilustración 2, se pueden observar los principales consumidores que pueden presentar problemas o deficiencias que incluyen un elevado consumo, esto debido por ejemplo a energía desperdiciada por trampas de vapor fallidas o fugas de aire.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

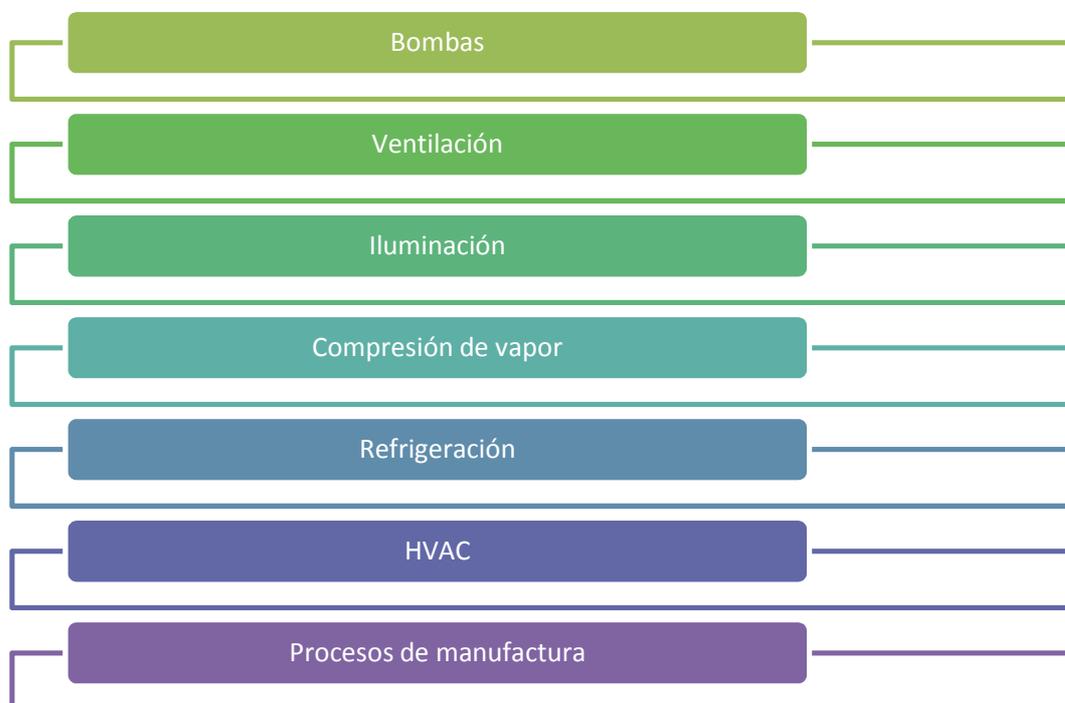


Ilustración2. Sistemas de alto consumo energético
Fuente: elaboración propia a partir de (Energy University, 2011)

De igual manera para lograr altos estándares de desempeño en los sistemas mencionados en la ilustración 2, se debe incluir una evaluación de los controles de operación, tanto manuales como automáticos, mantenimiento de los sistemas eléctricos y mecánicos y por último se debe crear una conciencia en los empleados que pueda orientar hacia la realización eficiente y eficaz del diagnóstico.

2.1.1.2 Maneras de disminuir el consumo energético.

Generalmente hay muchas metodologías que pueden llevar a reducir el consumo energético, pero en un diagnóstico más allá de querer identificar los consumidores, se pretende dar prioridad a los usos energéticos, es decir, muchas de las maneras para aumentar el ahorro monetario, primero pasa por consideraciones del cómo y del dónde se pueden implementar las estrategias, para luego entrar a priorizar tareas, modificaciones,

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

montajes de reemplazo y reestructuraciones. Seguido a esto, se pueden implementar varias estrategias, como por ejemplo:

- Se sabe que un aparato de bajo consumo, con una instalación analizada y verificada, que se pueda señalar como eficiente, puede aumentar la eficiencia energética entre un 10 y un 15%.
- Optimizar el uso de las instalaciones y de los sistemas mediante la automatización, puede lograr aumentar la eficiencia energética entre un 5 y un 15%.
- Un constante monitoreo y mantenimiento, puede garantizar de 2 a 8% el aumento de la eficiencia.

Por otra parte, después de hacer todas estas implementaciones se puede considerar que la falta de un plan o de una constante supervisión de los sistemas o de las mejoras, pueden llevar a que el diagnóstico fracase, tanto en su etapa de preparación como de implementación.

2.1.2 Tipos de diagnósticos energéticos

Según su nivel de complejidad o de avance, se pueden encontrar diferentes tipos de diagnósticos energéticos.

2.1.2.1 The Walk-through Audit

Es un tour que se da, para identificar visualmente cada uno de los sistemas que usan energía. Es típicamente una evaluación del consumo energético, analizado datos cuantitativos y comparándolos con promedios industriales o con patrones para lograr facilidades similares. Este puede dar una estimación de un potencial ahorro y proporcionar una lista de estimaciones para bajar los costos, a través de prácticas de mejoramiento en la parte operacional y en la parte del mantenimiento. Además es una oportunidad para recolectar información para muchos más detalles, que luego pueden

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

convertirse en un preliminar ahorro potencial, garantizando un alcance expandido de la actividad de la auditoría.

Dentro de esta, se hace una breve inspección del mantenimiento y las operaciones, que pueden dar resultados que tienden a ser evaluados a partir de pequeños análisis financieros.

2.1.2.2 Standard Audit

En este paso se cuantifica la energía usada y las pérdidas a través de una revisión más detallada y un análisis del equipo, sistema y características de la operación involucrada. En este análisis se puede incluir medidas en el lugar y/o un test que sirven para cuantificar las pérdidas y comparar la eficiencia con varios sistemas. Además es usada para calcular la eficiencia y los ahorros basados en el mejoramiento y los cambios de los sistemas. Esto también incluye un análisis económico profundo.

En la Ilustración3 se muestran algunos de los sistemas o métodos que se pueden utilizar en esta tipo de diagnóstico.



Ilustración3. Métodos de un standard audit
Fuente: elaboración propia a partir de (Thumann, Younger, & Niehus, 2009)

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.2.3 ComputerSimulation

En este tipo de diagnóstico energético se incluyen más detalles y una evaluación que permite una mejor comprensión del uso de la energía. Esto a través de patrones, el auditor usará un software que involucrará todas las variables de una construcción (equipo o estructura). El objetivo es construir una comparación entre los consumos actuales y la facilidad de consumo. De acá el auditor plantea una base, a la cual le hace cambios y luego compara esos cambios con la base que se tenía al principio. Aunque es el nivel que requiere más inversión es el más preciso y el que puede garantizar si las facilidades o sistemas son más complejos en naturaleza.

2.1.2.4 Determinar cuál tipo seleccionar

En este paso, un diagnóstico energético se debe que pasar por una evaluación, para determinar cuál de los tipos de diagnósticos expuestos puede ser el más útil para la empresa que lo va a implementar. Esto con el fin de definir algunas posibilidades económicas, tecnológicas y de experticia con las que cuenta la empresa, además de esto, es necesario determinar:

- Fondos disponibles.
- Costos.
- ECO
- Precisión de la información requerida.
- Tipo de equipos.
- Función de los equipos.
- Procesos involucrados en los equipos y viceversa.

Por otro lado, dentro de las facilidades, es necesario determinar si el diagnóstico va a ser realizado por personas externas a la empresa, internas o por ambas. Porque independiente del tipo de diagnóstico energético que al final se va a implementar, el grupo involucrado primeramente debe tener conocimientos sobre procesos de ingeniería,

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

procesos de mantenimiento, manejo de sistemas, especializaciones en manejo de la energía, entre otros temas que ayudan a una planeación, ejecución y verificación de un buen diagnóstico.

No obstante, antes de llevar a cabo un diagnóstico energético, se debe tener en cuenta las actividades que van a ser realizadas por el auditor, es decir, se toma como referencia cuatro actividades básicas estándar que aumentan de complejidad, según el tipo de diagnóstico seleccionado, por esta razón en la Ilustración4. Actividades de un auditor se señalan las actividades que un auditor debe llevar a cabo, y se allí surgen los objetivos y metas del diagnóstico.



Ilustración4. Actividades de un auditor
Fuente: elaboración propia a partir de (Thumann, Younger, & Niehus, 2009)

Peculiarmente cada uno de los tipos de diagnósticos energéticos anteriormente mencionados, están relacionados con un nivel de aplicación, es decir el nivel uno o básico corresponde a Walk-through, el nivel dos o intermedio corresponde a Standard audit y finalmente el nivel tres o avanzado corresponde a computersimulation, por esta razón dependiendo de diagnóstico se hace necesario reconocer cual tipo de los anteriores se va

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

a implementar esto teniendo en cuenta el tiempo y el esfuerzo que se van a gastar durante el tiempo de análisis.

En las Ilustración5 se ven detalladamente especificaciones que pueden orientar a un auditor a elegir uno de los tipos de diagnóstico.

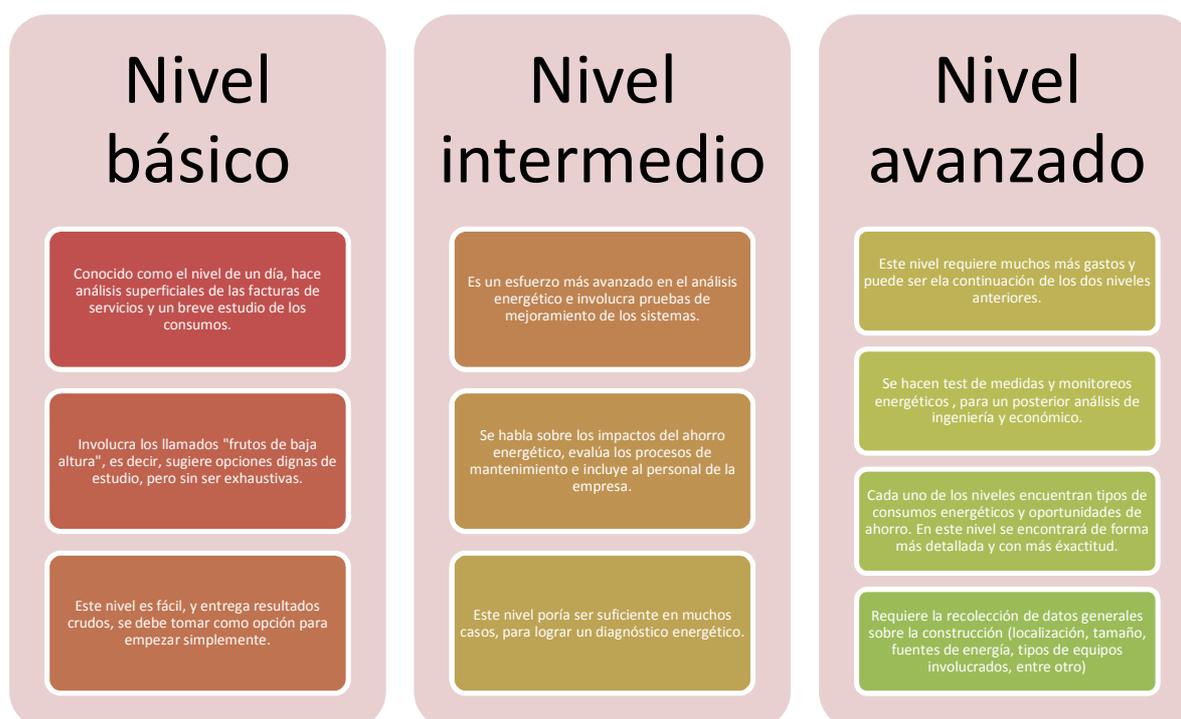


Ilustración5. Implicaciones de cada tipo de diagnóstico energético
Fuente: elaboración propia a partir de (Thumann, Younger, & Niehus, 2009)

2.1.3 Proceso de un diagnóstico energético

Una vez se establezca el tipo de diagnóstico que se va a realizar, se procede con la recolección de información relevante, sobre los elementos más críticos de la construcción, es decir, puede involucrar elementos eléctricos, mecánicos, estructurales, instrumentación, entre otros que pueden arrojar datos sobre las características de operación. Preferiblemente la información debería ser recolectada en el momento de la visita, debido a que información suministrada puede ser variable con el paso del tiempo,

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

teniendo en cuenta que muchas veces el diagnóstico tiene lugar, un tiempo considerable después de haber sido recolectada la información.

Organizar de manera enfocada el diagnóstico es de utilidad para recolectar la información, es decir, sistematizar los puntos de medida, pasar desapercibida la información irrelevante y hacer un recorrido que permita identificar hasta los puntos más críticos y menos visibles. Puesto que es necesario reducir el tiempo gastado porque en un diagnóstico eficaz, debe tenerse en cuenta tres componentes para hacer las mediciones, antes de llegar al sitio de trabajo, en el sitio de trabajo y análisis después de abandonar el sitio de trabajo.

Finalmente se debe tener en cuenta la preparación, capacitación, disposición y concientización de las personas que están involucradas con el proceso o la empresa, así mismo si se contrata personal profesional, que también debe brindar la suficiente confianza de que el trabajo venidero se va a realizar de la mejor forma posible. Esto porque se requiere la optimización de tiempo, recursos y hacer el mayor uso posible de los datos recolectados.

2.1.3.1 Preparación de un diagnóstico energético

Inicialmente se requieren datos y documentación de la empresa, ya que dan una perspectiva del manejo energético, los objetivos y lineamientos financieros de la empresa. El siguiente paso es hacerse a información como por ejemplo los consumos de fluidos. Seguidamente es factible programar una evaluación semanal, mensual y anual de cada uno de los equipos, teniendo en cuenta cada uno de los componentes, la frecuencia de análisis y tomar datos para saber cómo puede ir cambiando en el tiempo bajo algunas condiciones, esto finalmente para establecer patrones que sugieren una implementación de medidas sean operacionales o tecnológicas.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Los datos que pueden ayudar a un auditor a entender la cantidad de gasto de cada una de las máquinas o elementos de una empresa, por esta razón en la ilustración 6 se exponen diferentes lugares donde se pueden encontrar la información relevante.

Sitios para encontrar información relevante.

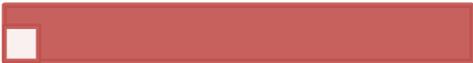
- 
- Datos de los proveedores.
- Datos de documentos
- Datos de operaciones, ocupación y utilización.
- Datos recolectados manualmente.
- Medidas temporales que no se registran.
- Datos históricos: curvas de energía, factor de potencia y curvas de temperatura

Ilustración6. Sitios donde se puede encontrar información relevante para el diagnóstico energético
Fuente: elaboración propia a partir de (Thumann, Younger, & Niehus, 2009)

Es de vital importancia tener en cuenta que una exactitud de los datos y un mejor trabajo puede verse influenciado por datos recientes, datos que han sido guardados durante mucho tiempo debido a sus impactos en el pasado y monitoreo de los procesos en tiempo real. Por otro lado las gráficas que representan datos, son más fáciles de manejar y analizar, así mismo como las hojas de cálculo en Excel.

El éxito final de un diagnóstico energético puede verse enmarcado no por la cantidad de datos recogidos, sino por la calidad de estos, y mucho más cuando se cuentan con personal interno o externo con un nivel alto de experticia en este tipo de temas.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.3.2 Componentes de un diagnóstico energético

Un diagnóstico energético está constituido principalmente por cuatro componentes distintos, que se hacen mucho más relevantes si el diagnóstico se va a hacer por alguien externo a la empresa:

- Reunión inicial.
- Inspección.
- Análisis de datos.
- Restitución de los resultados.

Cada uno de estos va a ser analizados para conocer las implicaciones que acarrea.

2.1.3.2.1 Reunión inicial

Se trata de una reunión general informativa, donde se involucre todo el personal que tiene que ver con el diagnóstico energético, es decir, desde la gerencia en energía, pasando por los supervisores de mantenimiento y finalizando con los auditores externos e internos. Adicionalmente dependiendo del tipo de diagnóstico que se vaya a realizar, también se tiene en cuenta al departamento de producción y el departamento financiero. Esta reunión inicial tiene como finalidad explicar el alcance, los objetivos y las tareas que se van a realizar en el diagnóstico. Por otro lado, al auditor después de terminar esta reunión debe conocer los aspectos más relevantes de la empresa, teniendo en cuenta que se le debe facilitar toda la información sobre la empresa, los equipos y la infraestructura, para que finalmente pueda hacer las preguntas que considere pertinentes.

Antes de esta reunión se debería haber recolectado información de más o menos dos años atrás, acerca de la utilización y el manejo que se le ha dado a la energía, tratando de tenerla tabulada y graficada. Esta información principalmente se debería enfocar en los sistemas más críticos, como por ejemplo lo son, sistemas HVAC, iluminación y motores, esto con el fin de dar pie a un reconocimiento de las ECO.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.3.2.2 Inspección

Después de haber terminado la reunión el auditor debería hacer las siguientes actividades:

- Visitar puestos de trabajos, talleres, subestaciones, almacén y oficinas. Para entender los procesos de consumo energético.
- El auditor debería estar acompañado con el técnico de mantenimiento, pueden hacer ciertas observaciones, levantar medidas y aprovechar esta compañía para hacer la mayor cantidad de preguntas posibles sobre el proceso.
- El auditor también debería formular preguntas para el supervisor de mantenimiento, sobre las áreas y equipamientos de producción. Así mismo, debe formular preguntas de la capacidad de los operarios para manejar y para entender los problemas de rendimiento de las máquinas.

Estas cuestiones pueden ser resueltas en poco tiempo, aunque muchas que tienen ciertas implicaciones o importancia deberían tomar un poco más, con el fin de hacer disertaciones más profundas sobre cuestiones que involucran las acciones operativas y de mantenimiento, finalmente teniendo en cuenta que el éxito del diagnóstico depende netamente de las personas involucradas en este proceso.

2.1.3.2.3 Análisis de datos

El análisis de datos principalmente consiste en el reconocimiento de estos, para posteriormente realizar cálculos de ingeniería que permitan de manera profunda, entender el comportamiento y el rendimiento de los sistemas que se ven involucrados en el diagnóstico. Si es necesario, luego de este paso se pueden hacer simulaciones o cálculos por medio de software y otras herramientas, con la finalidad de ser más precisos tanto en la apreciación como en la estructuración de los planes del diagnóstico.

Por otra parte, consultar o ponerse en contacto con los proveedores puede ser útil, ya que ellos pueden dar, desde su perspectiva, algunas soluciones para los cálculos de costo-

	<p style="text-align: center;">TRABAJO DE GRADOS</p>	Código	
		Versión	
		Fecha	

beneficio que se esperan obtener al culminar el diagnóstico. Finalmente es necesario tener en cuenta registrar la información que se va obteniendo, para organizar los entregables o los reportes que se incluyen al final del diagnóstico. En la Ilustración7, se incluye de forma resumida el paso a paso del análisis de los datos.



Ilustración7. Pasó a paso del análisis de datos
 Fuente: elaboración propia a partir de (Energy University, 2011)

2.1.3.2.4 Restitución de los resultados

Esto es el resultado de un diagnóstico energético, los soportes de la restitución son reportes escritos de lo que se diagnosticó, en lo que se trabajó y donde pueden quedar vacíos, sujetos a futuros trabajos. El lector de estos resultados, puede obtener información desde las actividades que se hicieron en la presidencia de la empresa, hasta las actividades que llevaron a cabo los técnicos de mantenimiento. De manera legible, entendible y con la seguridad de contar con absoluta transparencia en los temas que se estuvieron tratando.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.1.4 Reporte del diagnóstico energético

Al terminar un diagnóstico energético se esperan múltiples resultados dependiendo de las expectativas que genera la misma, sin embargo hay ciertos parámetros que indican que debería ser lo mínimo que se entrega en esta, debido a que por muchas circunstancias un diagnóstico energético muchas veces no cumple con los objetivos planteados en su etapa inicial, por esto si se quiere que el diagnóstico sea merecedor de dicho nombre debe cumplir por lo menos con:

- Resumen ejecutivo justificable.
- Análisis de costos energéticos.
- Recomendaciones para el manejo de energía.
- Propósito de un plan de acción energético.

Para mayor comprensión se discute cada uno de ellos a continuación.

2.1.4.1 Resumen ejecutivo justificable.

Es lo primero o lo principal en lo que el lector se enfoca, debido a que a partir de este se da una idea de los trabajos que se hicieron en todo el diagnóstico. Se debe tener en cuenta que este resumen es conciso, corto y puntual sin ofrecer muchos detalles sobre el procedimiento empleado. En este también se puede reservar un espacio para hacer recomendaciones del uso eficiente de la energía, como se hace y las medidas más generales que se adoptaron dentro del trabajo, así mismo debe llevar incluido los gastos que se ahorraron o las cantidades estimadas que se pueden recuperar con el tiempo, teniendo en cuenta la inversión en el estudio, análisis, en el montaje y en las modificaciones.

2.1.4.2 Análisis de costos energéticos

En este paso se puede incluir un análisis financiero, que dependiendo de la necesidad o del trabajo realizado, es un análisis profundo o simple, que provee la información sobre

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

los gastos operacionales que inicialmente implicaban que las cuentas de cobro de la energía estuvieran por fuera de los límites presupuestales, en comparación con los gastos que se lograron obtener o calcular, para reducir tanto los pagos elevados de energía, como el impacto ambiental que se generaba.

En la imagen Ilustración8, se incluyen algunas implicaciones o algunas cosas que se tienen en cuenta en el análisis del costo de la energía, tanto antes como después del diagnóstico energético.

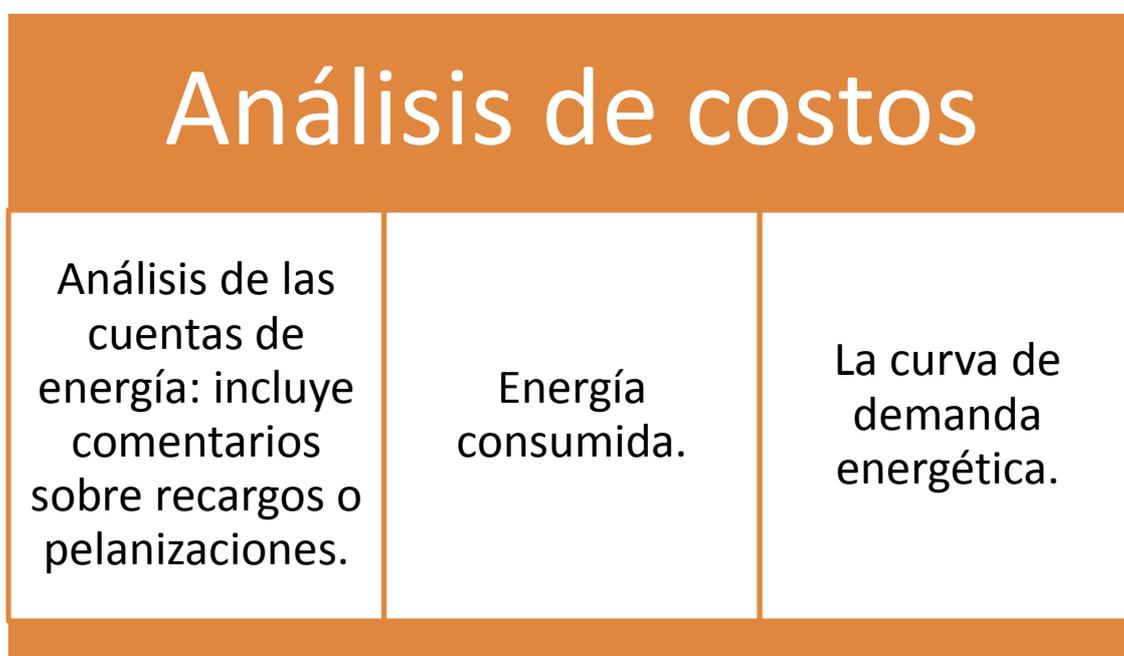


Ilustración8. Lo que incluye un análisis de costos energéticos
Fuente: elaboración propia a partir de (Energy University, 2011)

2.1.4.3 Recomendaciones

En esta sección se deben incluir cada una de las secciones que son acogidas por el diagnóstico energético, por lo que contiene las consideraciones que se tomaron sobre las oportunidades de conservación de la energía encontradas, como hacer un mantenimiento y como operar de forma efectiva los activos de la empresa, después de algunos

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

lineamientos determinados por los análisis financieros de los que previamente se hablaron, esto tomando en cuenta sus resultados.

Por otra parte, en esta sección se pueden retomar las recomendaciones de manejo de la energía expuesta en el resumen ejecutivo, eso sí, teniendo en cuenta una profundidad y una descripción mucho más asertiva, dirigida por un paso a paso del desarrollo del diagnóstico.

La idea de las recomendaciones, es dar a conocer las estrategias para reducir la energía demandada sin bajar la calidad y la efectividad de la producción, para finalmente obtener un ROI efectivo.

Finalmente, las recomendaciones deberían ser listadas y adicionalmente debería darse una explicación oportuna de cómo se logró evaluar el ROI, teniendo en cuenta detalles financieros y detalles técnicos que puedan señalar las formas correctas de trabajo.

2.1.4.4 Propósito de un plan de acción energético

Generalmente este se encuentra plasmado en un esquema, donde se ven detalles rápidos del plan de acción, es decir, allí se describen los pasos utilizados para llevar a cabo el diagnóstico energético, las recomendaciones más generales, las ganancias a corto plazo y el ROI obtenido. Dentro de este plan, se podría agregar un sistema que monitoree el rendimiento de los equipos, esto con la necesidad de planear nuevas intervenciones y mantener el continuo mejoramiento de los activos.

2.1.5 Pasos a seguir en pro del mejoramiento continuo

Hacer una auditoria energética es el primer paso para lograr que un programa de gestión de frutos reales, puesto que se pueden convertir posteriormente en ROI y conservación del medio ambiente. En la Ilustración 9 se encuentran algunos tips que ayudan al mejoramiento continuo, a partir de un programa estructurado de gestión de la energía.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

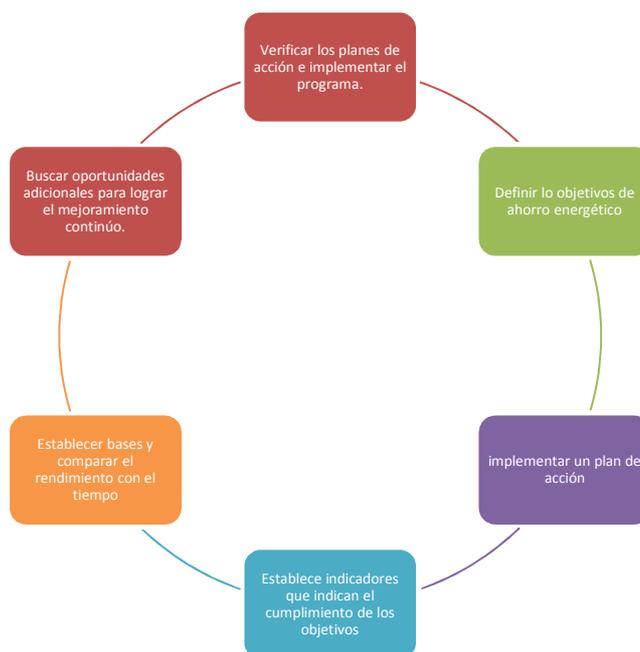


Ilustración 9. Tips de una auditoría energética que ayudan al mejoramiento continuo
Fuente: elaboración propia a partir de (Energy University, 2011)

Después de haber trabajado sobre un diagnóstico energético y someterlo a un constante monitoreo para lograr el mejoramiento de los planes y decisiones adoptadas, se deberían crear o establecer bases de consumo energético como lo sugiere la Ilustración 9. Donde se establece niveles de consumos diagnosticados antes de tomar medidas, y se compara con los niveles de consumo después de adoptar las diferentes medidas, esto se puede hacer mediante gráficas y tienen la finalidad de dar una clara visión del impacto real del diagnóstico energético. En la Imagen 1, se puede un ejemplo sobre lo considerado. Donde se asimila el eje abscisas al tiempo dividido. En la primera parte como la recolección de medidas sin ninguna implementación o decisión tomada. La otra parte es la comparación entre una línea base con las medidas del consumo después de adoptar soluciones para el mejoramiento de la eficiencia energética. El eje de las ordenadas se refiere a las medidas tomadas y registradas para las variables de consumo energético, es decir, fluidos, energía, entre otros. Adicionalmente en la gráfica con una línea verde continua está representado el consumo energético después de haberse realizado una implementación de soluciones,

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

comparado con una línea vino tinto discontinua que se refiere a una base que posiblemente se refiere a los consumos que se hubiesen tenido si no se adoptan los planes desarrollados durante el diagnóstico energético. Finalmente se toma en cuenta el consumo energético que se ahorró después de haber implementado soluciones de un diagnóstico energético.

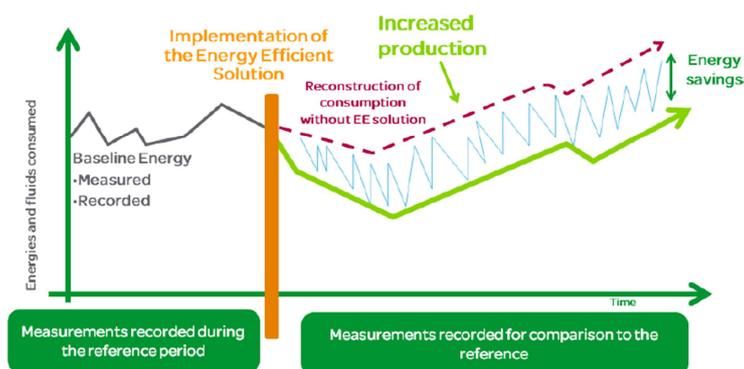


Imagen 1. Ejemplo sobre comparaciones de consumo energético antes y después de un diagnóstico energético.
(Energy University, 2011)

2.2 Mapa de proceso

El mapa de proceso contribuye a hacer visible el trabajo que se lleva a cabo en una unidad de una forma distinta a la que ordinariamente lo conocemos, A través de este tipo de gráfica podemos percatarnos de tareas o pasos que a menudo pasan desapercibidos en el día a día, y que sin embargo, afectan positiva o negativamente el resultado final del trabajo. Los mapas de procesos nos permite identificar claramente los individuos que intervienen en el proceso, la tarea que realizan, a quién afectan cuando su trabajo no se realiza correctamente y el valor de cada tarea o su contribución al proceso. También nos permite evaluar cómo se entrelazan las distintas tareas que se requieren para completar el trabajo, si son paralelas o secuenciales. Los mapas de procesos se representan uno y cada uno de los procesos que componen un sistema así como sus relaciones principales. Dichas relaciones se indican mediante gráficos en forma de mapas conceptuales los cuales representan los flujos de información, con estos mapas podemos identificar fácilmente los

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

problemas que se estén presentando en la parte de producción, administrativa, ventas o mercadeo entre otras. En la Imagen 2, se puede ver el ejemplo de un mapa muy general, que involucra los procesos más influyentes dentro de cualquier empresa.

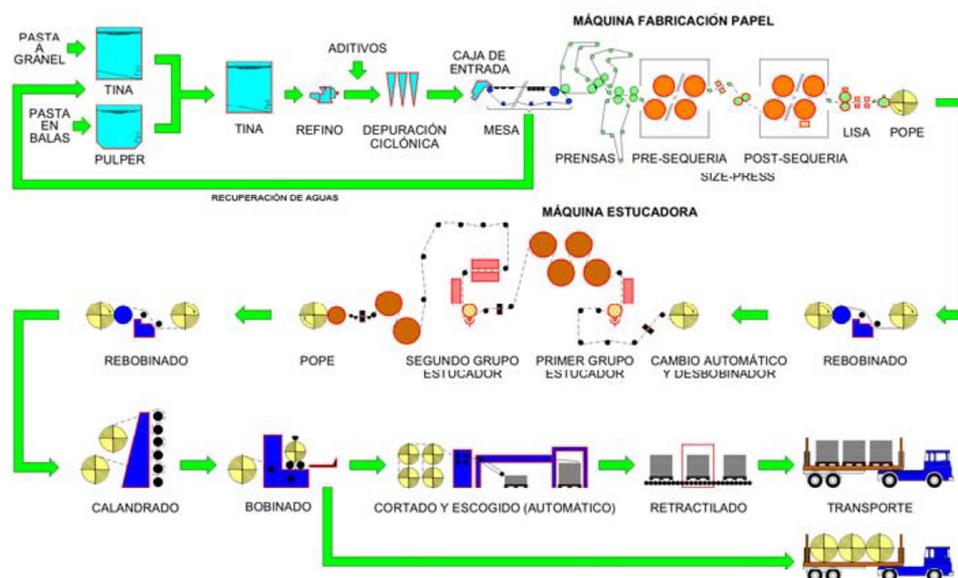


Imagen 2. Ejemplo de mapa de proceso (Portal Calidad, 2004)

Los mapas de procesos son muy útiles para conocer cómo se llevan a cabo los trabajos actualmente, analizar los pasos del proceso para reducir el ciclo de tiempo o aumentar la calidad, utilizar el proceso actual como punto de partida para llevar a cabo proyectos de mejoramiento del proceso, orientar a nuevos empleados, desarrollar formas alternas de realizar el trabajo en momentos críticos, establecer o fortalecer los indicadores o medidas de resultados

Para graficar un proceso nos da la oportunidad de observar su funcionamiento desde cada uno de sus pasos, esto nos permite ver la secuencia de dicho proceso desde otras perspectivas lo cual facilita el trabajo de corrección y mejoramiento. Porque debemos enfocarnos en la entropía de los sistemas de información que utiliza la empresa para así saber cuál se debe cambiar o modificar para darle un buen uso y tener resultados exitosos, esto permite Identificar en que se está fallando o en que se puede mejorar, para

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

así tener una idea más compleja de la solución del problema planteado. También lo podemos llamar como una guía de procesos el cual muestra una serie de actividades.

2.2.1 Mapa de procesos en la industria del papel y del cartón

Según las normas UNE 57003 el proceso del papel y del cartón se pueden considerar de características muy similares, debido a que el papel es una hoja constituida de fibras celulósicas de origen natural, afieltradas y entrelazadas. No obstante, si el gramaje de esta composición es mucho mayor a $250 \frac{g}{m^2}$ y con una mayor rigidez, deja de ser papel y se puede empezar a llamar como cartón (Torrepapel S.A, 2008).

El proceso del cartón y del papel tiene que ver con una serie de operaciones que van en línea y son complemento una de la otra, por lo que si hay algún problema en cualquiera de estas puede haber algún efecto nocivo para llevar el proceso a cabo. El proceso inicia con la preparación de las pastas, donde se desintegra, hay un despastillado, se refina, se mezclan aditivos y finalmente hay una depuración. Posteriormente tiene cabida el proceso de formación de la hoja, que tiene lugar en las mesas de fabricación, luego se prensa en húmedo, se seca, se estuca y se le hace un acabado al papel mediante el calandrado, bobinado y cortado. Este proceso se resume en la Imagen 2 donde se puede apreciar todo el proceso, y los aparatos o sistemas que lo componen, en la ilustración 10, se muestran los tipos de energía utilizados en cada uno de los procesos involucrados en el mapa descrito.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

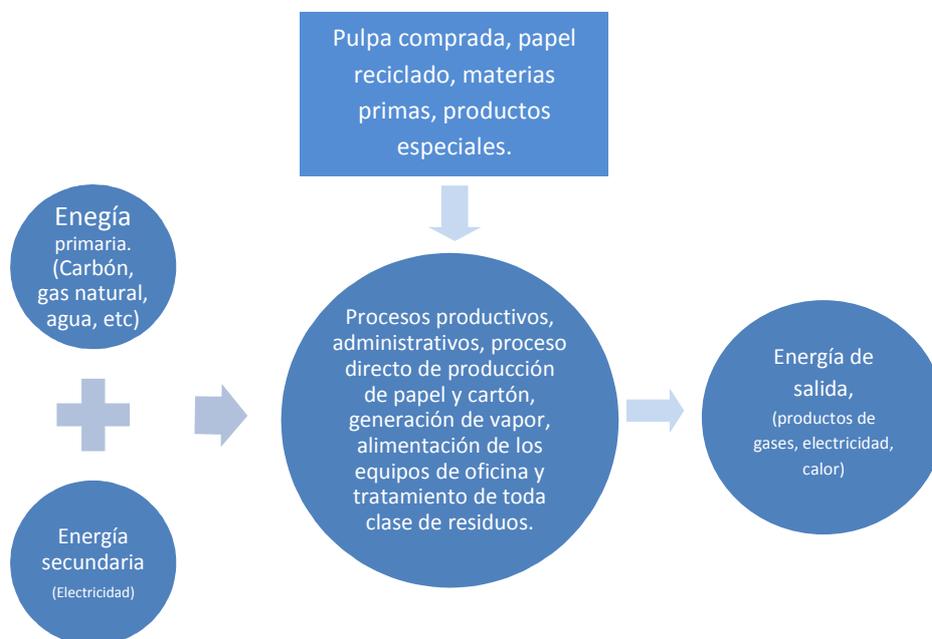


Ilustración 10. Tipos de energía involucrados en el proceso de elaboración de papel.
Fuente: elaboración propia a partir de (Oda, y otros, 2012)

El proceso, como se indicaba anteriormente, se inicia con la preparación de pastas, es decir, este proceso convierte las pastas a condiciones para hacer papel. Este un proceso que se puede considerar adicional dentro de las fábricas del papel debido a que estas empresas pueden obtener las pastas de otras empresas, mientras que las empresas integrales, están en las condiciones y cuenta con los equipos para la obtención de estas.

2.2.1.1 Análisis de algunos equipos mostrados en el mapa de procesos

2.2.1.1.1 El Pulper

Es donde el proceso de desintegración tiene lugar, es decir, donde por medio de un proceso mecánico se colocan las pastas que vienen de otro lugar, en agua suspendida, con el fin de deshacer las pastas que llegan en forma de papel o cartón prensados.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Este aparato consta de un recipiente en forma cilíndrica y tiene una hélice en su parte inferior que tiene la función de agitador. Cuando el agitador logró separar las fibras, se vacía el Pulper, haciendo pasar la pasta a través de una rejilla que no deja pasar los fragmentos más grandes, para llevarlo a una tina o cuba. En la Imagen 3 se hay un esquema sencillo de lo que es un Pulper.

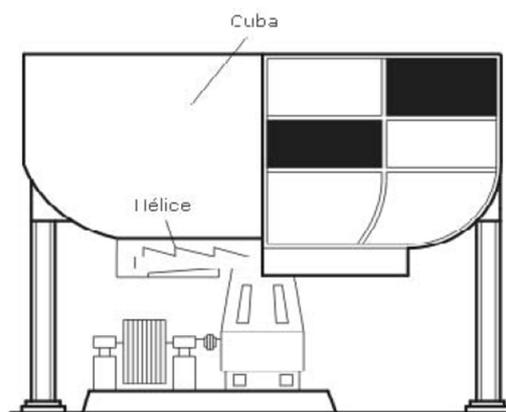


Imagen 3. Esquema de un Pulper (Torrepapel S.A, 2008)

Los principales problemas de un Pulper es que hay mucho desperdicio de volumen de pastas y el gran consumo de agua.

2.2.1.1.2 Despastillador

En el mapa de procesos anterior esta no aparece, pero después del Pulper está ubicado el despastillador, debido a que en el proceso de desintegración el Pulper no es capaz de desintegrar completamente todas las fibras, y este proceso necesita de un gasto adicional de energía para poderse lograr, por esta razón se justifica la aparición del despastillador, que consta de tres discos que pueden ser ranurados o perforados, de los cuales dos se utilizan para el proceso de desintegración, equipados con púas salientes y el otro disco o disco central, que se encarga del movimiento giratorio y lo hace a gran velocidad. Finalmente la necesidad de estos discos es que las fibras al chocar violentamente contra ellos y al hacerlas pasar por conductos pequeños, estas logran romperse e individualizarse totalmente. En la Imagen 4 se puede ver el esquema del aparato en cuestión.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

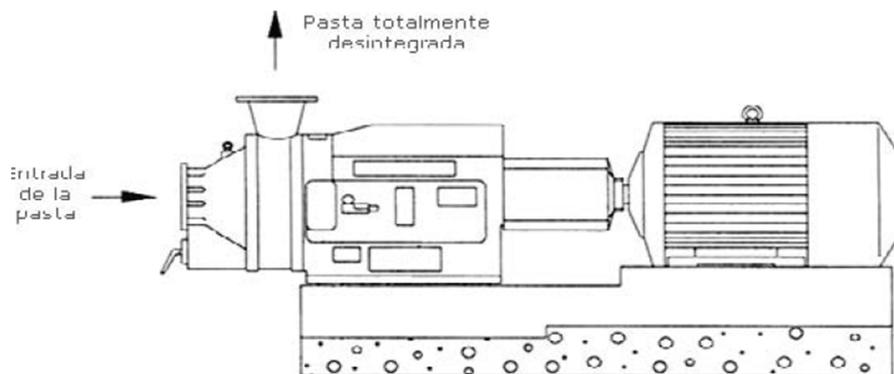


Imagen 4. Esquema del despastillador (Torrepapel S.A, 2008)

2.2.1.1.3 Refinado

Este proceso se hace con el fin específico de que las fibras que generalmente son obtenidas desde la madera, puedan desarrollar o mejorar algunas propiedades inherentes al papel, es decir, este proceso se trata de la adecuación de las fibras, para su posterior uso. Este es un proceso mecánico donde las fibras se someten a un medio acuoso (generalmente agua), y esto hace que la morfología de las fibras cambie completamente.

El aparato donde se lleva a cabo este proceso se llama refino y consta de un elemento fijo o estator y de un elemento móvil o también llamado rotor. Y entre ambos se hace pasar la pasta.

Este proceso es un proceso que requiere de mucho consumo energético que aunque no sea para el refinado como tal, si es para el movimiento de la máquina que necesita de una cantidad considerable de energía. En la Imagen 5 se puede apreciar el esquema de la máquina en cuestión y en la Imagen 6 se puede apreciar los discos que son generalmente los que hacen el trabajo de refinado.

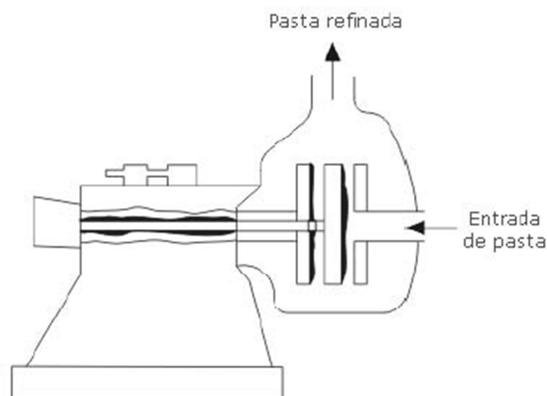


Imagen 5. Esquema de un refino de discos (Torrepapel S.A, 2008)

Por otro lado, cabe anotar que las máquinas de refinado tienen distintas con ilustraciones, esto dependiendo del fabricante y de la necesidad de la empresa papelera, por ejemplo existen refinados llamados pilas holandesas, refinados cónicos de ángulo pequeño y de ángulo grande y los más utilizados que son los refinados de discos.

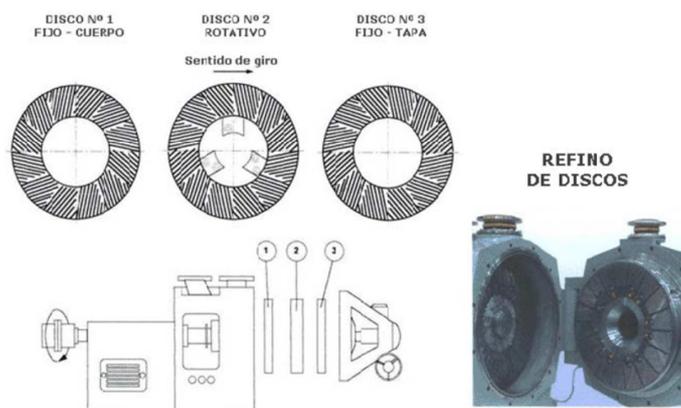


Imagen 6. Discos de una máquina de refinado

2.2.1.1.4 Depuración

En el proceso de la fabricación del papel se pretende que este salga lo más limpio posible y que se eviten rupturas y desgastes en el proceso, por esta razón existe este paso por el depurador, ya que se encarga de controlar las partículas o elementos extraños que acompañan a la fibra en el proceso, separándolos o eliminándolos.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

El depurador es el aparato que se utiliza para cumplir con esta labor, dependiendo de la necesidad de la empresa y de la capacidad económica de estas, existen dos tipos de depuradores que son el probabilístico o de ranuras y perforaciones. Este se basa en la probabilidad de que las partículas no deseadas pasen a través de una malla con ranuras, en la Imagen 7 se presenta el esquema de este tipo de depurador.

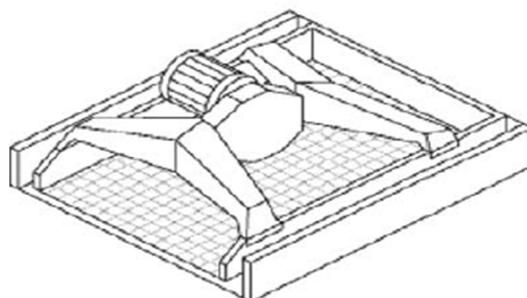


Imagen 7. Esquema de un depurador probabilístico (Torrepapel S.A, 2008)

Otro tipo de depurador es el dinámico o también llamado ciclónico, este es capaz de eliminar las partículas más pesadas y consiste en un cono de material plástico o cerámico, dependiendo de la capacidad económica de la empresa, los tipos de carga y según el tratamiento, aunque notablemente duran más los cerámicos. Adicionalmente este depurador tiene una salida y una entrada, ubicadas en la parte superior del sistema, para la pasta entrada y la que es aceptada, abajo del sistema hay una boquilla de rechazo que es donde salen todas las partículas indeseadas. En la Imagen 8 se muestra este sistema.



Imagen 8. Depurador ciclónico (Torreppapel S.A, 2008)

2.2.1.1.5 Caja de entrada

Esta es la encargada de dar salida a la pasta que se encuentra en la mesa de fabricación, de tal manera que quede en láminas delgadas, anchas y uniformes. Esta recoge la pasta que circula por tuberías que vienen después del depurador, en la Imagen 9 se muestra una caja de entrada básica y con sus partes más fundamentales.

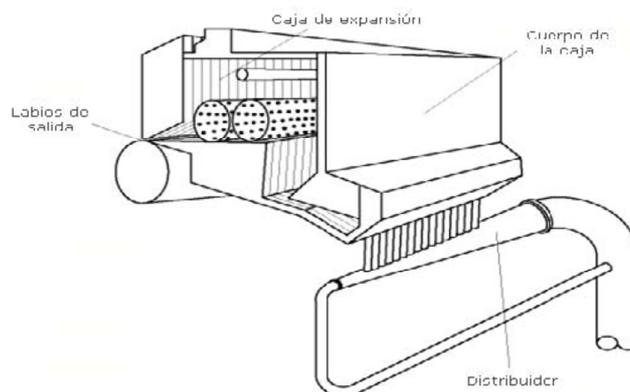


Imagen 9. Esquema de una caja de entrada (Torreppapel S.A, 2008)

2.2.1.1.6 Mesa de fabricación

Las principales funciones de esta es reducir gran cantidad de agua que contiene la pasta y de formar la hoja de papel, en la Imagen 10 se ve la disposición de esta mesa con alguna serie de partes.

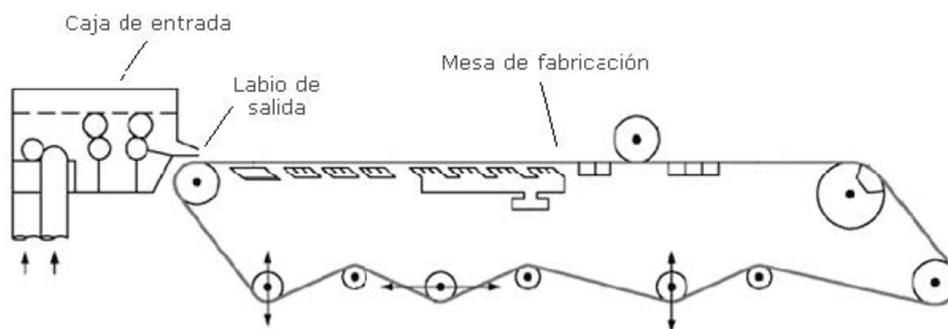


Imagen 10. Esquema de la mesa de fabricación (Torrepapel S.A, 2008)

En la primera parte de la mesa de fabricación es donde la hoja queda prácticamente fabricada, ya que es donde se da forma y queda con sus características principales ya definidas.

2.2.1.1.7 Prensado

En esta sección las hojas pasan por una serie de prensas que se encargan de eliminar la mayor parte del agua y de juntar o consolidar las hojas, para que el proceso siguiente de secado sea mucho más fácil de llevar a cabo.

Algunas de las variables que afectan o se ven involucradas en el proceso de prensado pueden tener influencia directa en los resultados finales del papel, algunas de estas variables son:

- La con ilustración de la prensa.
- La velocidad y las presiones de trabajo son directamente proporcionales.
- La humedad es un factor importante, ya que entre más húmedo el papel puede soportar menos presiones, ya que puede llegar a reventarse más fácilmente

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

- La humedad del fieltro, entre más seco, mucha más agua puede absorber.
- Propiedades físico-químicas del papel.

En la Imagen 11, se puede ver el esquema de una prensa tradicional.

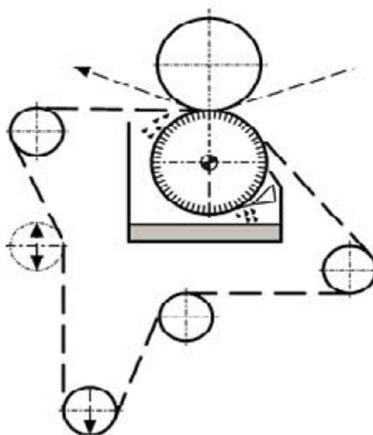


Imagen 11. Prensa tradicional (Torrepapel S.A, 2008)

Una de las funciones principales como se había indicado anteriormente es el de extraer la mayor parte posible de agua, por eso la con ilustración o el tipo de prensa que se adopte dentro de una empresa en particular puede ser lisa, aspiradoras, de zapata, transversales, con rodillo ranurados o de agujeros ciegos, la elección entre estos tipos de prensas depende de la necesidad de la empresa.

2.2.1.1.8 Secado

En este paso se pretende secar el 60% de agua que contiene el papel al salir de la prensa, dejándolo con alrededor de un 5% de agua. Ya que éste proceso no se logra por ningún otro medio, lo único que queda es adicionarle calor.

La función de secado la cumple una sección del proceso que se llama sequería, evaporando la humedad de las hojas de papel, para llegar finalmente al 5% anteriormente mencionado. No obstante, cabe anotar que esta sección es la que más alto consumo energético tiene dentro del proceso, por lo que hay que tener especial cuidado, con cada

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

uno de los parámetros de funcionamiento. Por esta razón se plantean varios mecanismos de secado; uno de ellos es el mecanismo por conducción, se realiza con una influencia de los cuerpos (el de secado con el papel). Por otro lado, está el mecanismo por convección; que se apoya por el concepto de propagación de los fluidos cuando tiene menos densidad, por lo que la humedad del papel al calentarse cambia de fase, haciendo que los fluidos evaporados sean retirados.

Basados en la transferencia de calor, hay muchos equipos que se utilizan en la industria del papel y del cartón, pero el secado con cilindros calentados (sequería multicilíndrica) es más usual dentro de las industrias (Imagen 12). Este sistema consta de cilindro de diámetro variable calentados por vapor. En este paso, la con ilustración de los cilindros hace que el papel o el cartón a su paso, queden en contacto directo por ambas caras contra los cilindros, pero a diferencia del proceso del papel, en el proceso de secado del cartón no se secan los fieltros.

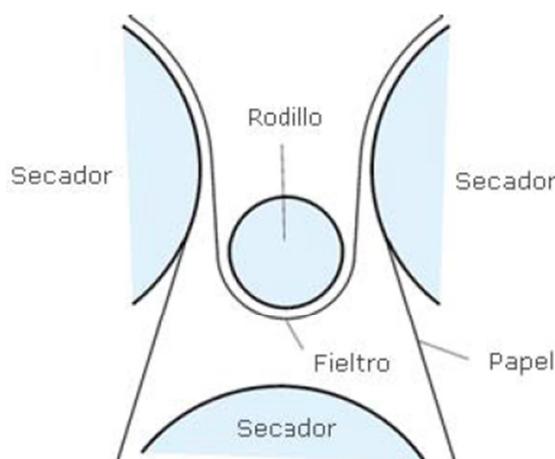


Imagen 12. Esquema de una sequería multicilíndrica (Torrepapel S.A, 2008)

Cabe señalar que el vapor utilizado para calentar los cilindros es llevado desde una caldera por medio de tuberías hasta la entrada del cilindro, por las cuales es importante asegurar la no presencia de impurezas, por lo que se instalan filtros en las tuberías. Adicionalmente

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

no deben de haber gotas de agua por las tuberías, ya que podrían causar corrosión; por esta razón se instalan purgas de agua.

Finalmente este proceso cuenta con un sistema de ventilación, esto porque cuando la sequería empieza a evaporar el agua contenida en el papel, este vapor o condensado empieza a saturar el aire presente alrededor de la sequería y hace que la transferencia de calor y consigo el secado se haga mucho más difícil, y de allí la necesidad de los ventiladores que contribuyan a hacer recircular el vapor proveniente de la hoja de papel.

2.2.1.1.9 Estucado del papel

Al terminar los procesos anteriormente mencionados, la hoja de papel termina sin la mejor calidad, sin el mejor brillo, sin lisura y tampoco con las propiedades para la impresión. Por lo que este proceso se encarga de hacerlo, para que la superficie del papel quede lisa y uniforme. Los estucados pueden hacerse en una máquina o fuera de ella, aunque hacerlo en máquina generalmente se consigue un estucado brillante o mate, por lo que hacer este procedimiento a máquina evita el riesgo de transporte en bobinas, que una caída o algo pueden producir daño del material. Por otro lado, no se necesitan almacenar las bobinas que se van a estucar, sino que en el transcurso del trabajo el estucado tiene lugar. Y finalmente la mano de obra se reduce.

2.2.1.1.10 Calandrado

Después del proceso de estucado, mucha parte de la producción de papel queda lista para la impresión de tintas, sin embargo mucha de la producción necesita un acabado superficial mucho mayor, por esta razón se somete a un proceso de calandrado. Las calandras son una serie de rodillos (12 en algunos casos) que normalmente están colocados unos sobre otros, por donde el papel pasa. En muchos procesos se alternan los rodillos por material, es decir, uno de acero duro y otro de material blando o fibroso, teniendo en cuenta que el que brinda el brillo es el de acero.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Con este proceso se espera que el espesor del papel quede homogenizado, y con una superficie uniforme. En la Imagen 13 se muestra un esquema del cómo es básicamente un proceso de calandrado.

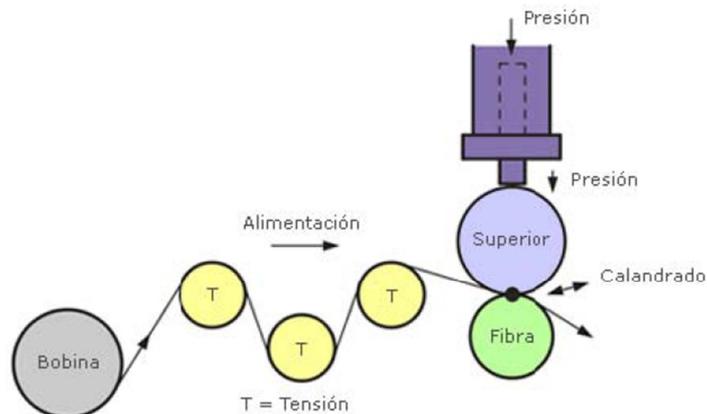


Imagen 13. Esquema de un proceso de calandrado (Torrepapel S.A, 2008)

2.2.1.1.11 Bobinado

Para el proceso se necesita que el papel sea enrollado en muchos casos, ya sea porque se vende de esta manera, entonces el cliente pide ciertas especificaciones de tamaño o si se requiere pasar a otra máquina. Por esto existe una bobinadora que se encarga de enrollar y cortar las bobinas de papel a partir de una bobinadora madre. Para este sistema se deben tener en cuenta factores como la tensión, la capacidad de carga de la máquina y el par diferencial, ya que con esto los diseños y las aplicaciones pueden ser tenidas en cuenta para los procesos. En la Imagen 14 se puede ver una bobinadora, donde en la parte izquierda se aprecia la bobinadora madre, y en la parte derecha las bobinadoras auxiliares donde se descarga el material.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

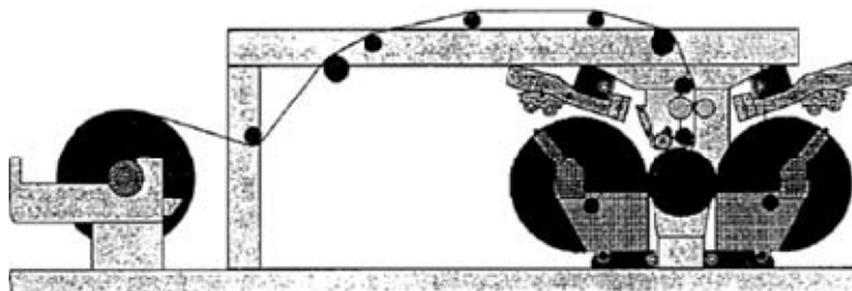


Imagen 14. Esquema de una bobinadora (Torrepapel S.A, 2008)

Esta máquina debe asegurar que una vez el proceso de bobinado esté terminado, debe asegurar que debe soportar los tratamientos y esfuerzos a los que va a ser sometida: almacenamiento, transporte, pruebas de dureza, densidad, la fuerza de fricción entre capaz y debe asegurar un diámetro establecido.

2.2.1.2 Consumos energéticos de los procesos del papel y del cartón

Se puede considerar que la empresa del papel y del cartón tiene alta influencia en el consumo energético de cualquier país, esto porque como se puede ver dentro del mapa de procesos, existen maquinaria y elementos especializados que requieren incluso un poco más de consumo que mucha otra maquinaria utilizada en otros procesos industriales. Por tal razón se puede hacer un balance del consumo energético específicamente en Colombia, donde los consumos se ven notablemente influenciados por la cantidad de maquinaria vieja y de “reciclaje”, esto porque la mayoría de los procesos utilizados en este país son los que ya en otros países se consideran obsoletos e ineficientes.

Dentro de la categoría de la fabricación de pastas de madera, papel y productos de papel. Se encuentra la división 17, según el CIU (Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas) donde se encuentran todos los procesos de manufactura del papel. En esta categoría se puede encontrar este grupo industrial regido por los códigos:

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

- 1701: Fabricación de pastas de madera, papel y cartón.
- 1702: Fabricación del papel, cartón ondulado y envases de papel y de cartón.
- 1709: Fabricación de otros artículos de papel y de cartón.

Lo anterior, se hace con el fin de agrupar los diferentes sectores industriales con características particulares, para hacer análisis y clasificaciones sistemáticas de los fenómenos o implicaciones económicas, esto finalmente para darle un enfoque estadístico a los datos o resultados obtenidos (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, 2009)

Con los actuales estudios se ha demostrado que en consumo energético e hídrico, las empresas del cartón y del papel son una de las mayores consumidoras, debido a como se indicaba al principio de este relato, al gran requerimiento de consumo que implica trabajar con la maquinaria presente en la industria del papel y del cartón, por esta razón haciendo balances generales, en Colombia el consumo energético de éstas empresas es alrededor del 10% del consumo total del sector manufacturero, que lo conforman grandes industrias como la del cemento, empresas lácteas, comestibles, cuero, madera, automotores, silvicultura, pesca, entre un sinnúmero de empresas que contribuyen, incluso, en menor medida que la industria del cartón y del papel, cuando de consumo energético se trata (DANE, 2013)

Todo lo anterior teniendo en cuenta que en Colombia existen 24 grandes empresas papeleras, de las cuales 4 son integradas, es decir, también se dedican a la producción de cartón, adicionalmente a estas hay 7 empresas consideradas medianas y finalmente un sinnúmero de empresas pequeñas y clandestinas que contribuyen a este consumo ya mencionado (Unidad de planeación minero energética, 2013).

De acuerdo con la ANDI durante el año 2000, la industria del papel y del cartón exportó el 21% del total de su producción y el otro 79% sirvió para las necesidades internas de Colombia. Por otro lado, cabe destacar que la producción de papel y de cartón también

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

tiene cierto impacto ambiental, debido a que el 58% de su constitución, es pulpa de madera, mientras que el 40% es pulpa de bagazo y el otro 1% son otras fibras adicionales (Unidad de planeación minero energética, 2013). Por lo que adicional al gran impacto energético que tiene las empresas del papel y del cartón, también incurren con grandes impactos ambientales que se han tratado de corregir con el transcurso del tiempo, pero sin resultados satisfactorios, esto reflejado en la creciente importación de pulpa de madera, debido a la insuficiencia de bosques plantados en Colombia y porque adicional a esto los bosques que hay deben ser conservados para garantizar la sostenibilidad del recurso forestal.

Como se vienen mencionando el consumo energético en las empresas de papel y de cartón colombianas, implica efectos nocivos para las ganancias por producción por lo que se puede ver reflejado en la pérdida de competitividad con respecto a otras áreas del sector manufacturero o industrial en general. En el año 2000 el consumo energético de las empresas del papel y del cartón llegó a ser de 7057 teracalorías de las cuales el 11.69% correspondieron a consumo de energía eléctrica y el 88.31% corresponde a consumos térmicos (Unidad de planeación minero energética, 2001).

2.2.2 Indicadores comparativos entre la industria manufacturera

Con el objetivo de determinar los indicadores de eficiencia energética de cada una de la empresa, se hacen encuestas y balances que finalmente dan resultados que permiten comparar la eficiencia entre empresa y empresa de cada sector, lo importante de estos indicadores se ven reflejados en la adopción de medidas correctivas y preventivas para los calificativos de baja eficiencia. Adicionalmente también se logra hacer comparativos internacionales, todos apuntando al trabajo hecho por cada empresa y los consumos definidos como estándar para que se puedan obtener buenos beneficios de la actividad productiva.

 Institución Universitaria	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

En la Tabla 1 se muestran algunos resultados comparativos entre varias industrias del sector paplero y del cartón, en cuanto a energía eléctrica y energía térmica en promedio durante el año 2000, enfocado en las industrias grandes, grandes integradas, medianas y pequeñas. Adicionalmente también consumos específicos de agua, debido a que estos también presentan gastos económicos que significan relevantes pérdidas económicas para la empresa y en las que se debería enfatizar un poco más, para buscar soluciones efectivas de ahorro. Finalmente cabe anotar que los datos que no se encuentran consolidados no fueron diligenciados o dados por las empresas.

Tabla 1. Consumo energético en diferentes industrias papeleras en Colombia
Fuente: Elaboración propia a partir de (Unidad de planeación minero energética, 2001)

	Energía eléctrica $\frac{GWh}{año}$	Energía térmica $\frac{Tcal}{año}$	Agua $\frac{miles\ m^3}{año}$	Producción $\frac{Ton}{año}$
Grandes empresas	95.4	681.7	17540	107000
	25.5	961.3	13700	98300
	38.2	81.7	1100	32700
	276.5	1027.3		240000
Grandes empresas integradas	47.1	92.8	1370	35613
	22.4	37.4	2605	12425
	16.5	69.4		26880
	10.8	112.1		18000
	1	13.1		3059
	21.9	69.3		31218
Medianas y pequeñas empresas	0.4			1980
	0.6			1800
	0.2	0.8	24	550
	0.2			600

 Institución Universitaria	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

3. METODOLOGÍA

Se recolectó, seleccionó, buscó, analizó y miró desde un punto de vista crítico información útil en Internet, libros, bases de datos (Scopus, IEEE, scientdirect), revistas o apuntes sobre diagnósticos energéticos y el tratamiento energético dentro de las empresas del papel y del cartón, teniendo en cuenta las tendencias en Colombia y otros lugares alrededor del mundo. Se desarrolla a partir de un estudio de casos reales, aplicados en proyectos de diagnósticos energéticos de la industria papelera y del cartón, determinada como la unidad de análisis, donde se analizan los diferentes aspectos de la temática propuesta, adicionalmente para investigar en las bases de datos se utilizaron ecuaciones como (1), (2), (3) y (4) Empezando desde lo más particular hacia lo más explícito, adicional a esto se hicieron búsquedas avanzadas en Google Scholar, para determinar el estado del arte en Colombia.

ALL(Paper and paperboard industry) (1)

(ALL(Paper and paperboard industry)) and energy audit (2)

Articles found for: pub-date > 2003 and (paper and paperboard industry) and ("energy audit") (3)

Articles found for: (pub-date > 2003 and (paper and paperboard industry) and ("energy audit")) and energy efficiency (4)

Luego de haber definido y formulado el problema de estudio, se planteó un mapa de procesos general para identificar los procesos y los puntos más críticos en la industria del papel y del cartón, notando que ambos procesos son muy parecidos en cuanto a equipos y funcionamiento. Por último se reconocieron los problemas más significativos y los métodos y tecnologías emergentes utilizadas para solucionarlos.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó anteriormente para establecer unos indicadores más adecuados, se hace necesario hacer un comparativo entre empresas del mismo sector, pero adicionalmente se requiere evaluar una comparación con empresas internacionales, sabiendo que son competidores muy fuertes. La unidad de planeación minero energética (2001) hizo un comparativo, de donde se lograron evidenciar datos generales de la producción, consumo energético y consumo térmico del sector papelerero y del cartón de España. En la Tabla 2 se muestra este comparativo mencionado.

Tabla 2. Comparativo entre la industria del papel y del cartón colombiana y española
Fuente: Elaboración propia a partir de (Unidad de planeación minero energética, 2001)

	Industria española		Industria colombiana	
	Consumo eléctrico (GJ/ton)	Consumo térmico (GJ/Ton)	Consumo eléctrico (GJ/ton)	Consumo térmico (GJ/Ton)
Integrada	0.4	16.7	0.9	23.9
Producción papel	0.79	15.5	0.9	14.6
Consumo total	1.19	32.2	1.8	38.5
	33.39		43.3	

Por lo que se puede notar que el consumo energético para este año en España fue mucho menor que en Colombia ese año, lo que puede significar menos gasto para las industrias españolas y una visible oportunidad de competitividad, ya que entre menos se consume puede que sea porque los procesos son más eficientes; sin embargo, esto no tiene en cuenta las horas operativas de cada una de las empresas, por ello se puede afirmar que no

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

se deben dar prejuicios en cuanto al gasto energético, pero si se pueden hacer balances en cuanto al dinero gastado y a las utilidades obtenidas.

Por otro lado, cabe señalar que a nivel mundial, Suecia es el principal exportador de pulpa y papel (Ericsson, Nilsson, & Nilsson, 2011). Esto debido a que en el 2008 la producción de este país fue de 12.1 Mega toneladas de pulpa y 11.7 Mega toneladas de papel, lo que corresponde al 6% y al 3% de la producción mundial (SFA, 2009). Según Ericsson, Nilsson, & Nilsson (2011) la industria del papel y de la pulpa en Suecia consumieron un total de 6.77 GJ/ ton, equivalente a un consumo específico promedio en el 2008.

Finalmente el consumo específico energético entre Colombia y España puede ser mucho menor que el presentado por Suecia, pero cabe recordar que este país es el pionero en exportaciones y en producción de pulpa, papel y cartón, debido a esto sus consumos energéticos son notablemente mayores, pero con la salvedad de que a partir de 1998 y hasta la fecha de redacción del artículo de referencia, las industrias suecas habían adoptados sistemas de generación in-situ, por lo que la producción de energía hecha por plantas de generación eólica producen 5400 GWh/año, adicionándole 670 GWh/año de recuperación de calor en los procesos (Ericsson, Nilsson, & Nilsson, 2011). Por esta razón, los procesos de producción de pulpa, papel y cartón suecos, aparte de ser eficientes y tecnológicamente más rentables, generan muchos más ingresos que los expuestos por la industria Colombiana y Española. Por tal motivo la diferencia tecnológica, económica, de calidad y de eficiencia entre las empresas de estos países, están muy lejos de lograr estándares similares, por eso líneas más abajo se mencionan algunas tecnologías y maneras sobre las que pueden trabajar las empresas de bajo perfil para lograr lo mostrado por la industria Sueca.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.1 Acciones recomendadas

Con relación a lo que se decía líneas atrás, se deben plantear estándares de competitividad nacionales e internaciones, para que el producto de las empresas papeleras y del cartón se reconozca mundialmente y pueda lograr competir con calidad y con efectividad contra otras empresas del sector colombiano y frente a empresas de nivel mundial. Por esta razón, se destaca que la labor de una auditoría energética deben arrojar resultados que logren precisar soluciones a los consumos actuales de la empresa, esto porque finalmente el beneficio se ve reflejado en el producto final. No obstante, al finalizar una auditoría, no siempre los resultados arrojados tienen que ver con soluciones que puedan estar dentro de las empresas, simples modificaciones, conciencia de las personas, entre otras; sino que también se deben adoptar nuevas tecnologías, adopción de nuevos productos y otras acciones, que tal vez presenten un gasto económico, que fue tenido en cuenta dentro del diagnóstico, para que a un futuro tenga retorno al gasto inicial y posteriormente se pueda ver como un potencial de ahorro, eso sí, sin que las máquinas o los procesos rebajen eficiencia, por el contrario tratando de que la eficiencia de estos y la productividad siempre estén dentro de los parámetros de capacidad para la que fueron diseñados.

4.1.1 Mejora en el secado

En el área de secado, se pueden montar sistemas cerrados, como por ejemplo campanas que aseguren que el sistema se mantenga aislado con respecto al aire del ambiente, debido a que la transferencia de calor por medio de este hace que la temperatura caiga. Con un sistema de estos se puede asegurar ahorros de un 10% del vapor utilizado para la calefacción de los cilindros (Campos, Figueroa, Meriño, & Tovar, 2007), además el proceso de secado puede ser mucho más eficiente, soportando mayores velocidades de producción y un secado mucho más efectivo para cualquier tipo de calibre de papel o incluso del cartón que presenta un proceso mucho más complicado.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para montar un sistema de estos se debe tener en cuenta el diseño de la campana o el sistema cerrado, ya que la mala elección de materiales, grosor del material y tamaño del mismo; puede significar muchas más pérdidas que incluso las que se tienen antes de montar el sistema.

Sin embargo, para este sistema no terminan las recomendaciones, ya que se debe también controlar la extracción de condensado y adicionalmente evitar las pérdidas de vapor tanto en el proceso de secado del papel, como el vapor que se utiliza para calentar el proceso. Para esto se puede utilizar un soplador de aire o un extractor que puede estar conectado directamente a otro sistema de recuperación de calor, como por ejemplo una bomba de calor o simplemente se utiliza en el mismo proceso, dependiendo de las características de temperatura que se necesiten.

4.1.1.1 Sistema de secado por recuperación de calor

Esta sección es una red de intercambiadores de calor en el cual calor desde los gases de la sección de secado intercambian calor con aire y diferentes corrientes de agua, la recuperación típicamente consta de dos a cuatro pasos básicos, dependiendo de la cantidad de escapes de gases que hallan. Se usan intercambiadores de placas modulares o una combinación de tubos e intercambiadores de calor de placas, teniendo en cuenta que no puede haber contacto en los fluidos que se van a calentar y los gases de escape. En la imagen 15 se puede observar la estructura física de este arreglo (Sivill & Ahtila, 2009).

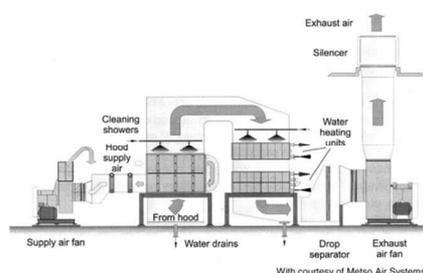


Imagen 15. Sistema de recuperación de calor en la sección de secado (Sivill & Ahtila, 2009)

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Los resultados que arrojó la investigación, mostraron que este sistema ahorra del 7 al 13% en el consumo de calor específico y con la posibilidad de aumentar, dependiendo del combustible utilizado (Sivill & Ahtila, 2009) o incluso se han reportado ahorros de hasta un 24% (Jokiniemi & Ahokas, 2014)

4.1.2 Calderas

Las calderas son equipos que sirven para la generación de vapor que puede ser destinado a varios servicios, entre ellos la calefacción de un lugar, procesos de calentamiento, potencia mecánica y muchas veces la posibilidad de general electricidad; por lo que es uno de los sistemas que pueden tenerse en cuenta para reducir los consumos es específicos de energía. Por lo que dentro de las empresas del papel y del cartón podría utilizarse como referente lo que menciona Al-Ghandoor (2012) en su publicación, es decir:

1. Idealizar el consumo de aire-combustible, ya que se hace necesario reducir el exceso de aire que va a través de la caldera, para así mejorar la combustión y consigo la eficiencia de la combustión.
2. Aislar las tuberías de las redes de vapor, debido a que se acentúan las pérdidas de calor por estas, por esta razón no solo se debería aislar, sino que se debe hacer un cálculo exacto para que el aislante favorezca a la eficiencia en la entrega de energía contenida en el vapor.
3. Reparar fugas de vapor, igual que aislar la tubería, esta medida sirve para preservar la presión dentro de la tubería y consigo preservar el contenido energético transportado.
4. La reparación de las trampas de gas, también es un factor a considerar, debido a que como es bien sabido, estas se encargan de separar el vapor del agua que surge de gases condensados. Si una trampa de vapor falla, el contenido energético del vapor puede ser absorbido por el agua lo que reduce las condiciones en la descarga del vapor.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Estas soluciones mencionadas alrededor de una caldera pueden significar ahorros entre 15 y 35% en el consumo específico de energía (Al-Ghandoor, 2012).

4.1.3 Producción de electricidad

En la industria papelera y del cartón sueca, entre el 2000 y 2007 la capacidad de generación de las plantas propias de cada empresa aumentaron de 851 a 1060 MW, esto usando turbinas de vapor y recuperación por medio de calderas. Adicionalmente muchas de las empresas de papel y cartón en Suiza, han trabajado alrededor de plantas eólicas, estimando la creación de 6 parques con una capacidad de generación de 2.4 TWh/año. Por lo que finalmente adicional a la reducción en el consumo específico de electricidad dado entre el 2000 y el 2007 que fue de 2335 a 2292 kWh/ ton (Ericsson, Nilsson, & Nilsson, 2011). Otras formas de producción de energía son mencionadas, sin embargo, estos datos reflejan que en condiciones de operación y manejo de este tipo de energía, pueden llegar a convertirse en una gran opción para aumentar la eficiencia y reducir los gastos de las empresas de papel y de cartón.

4.1.4 Bombas de pulpas

Dentro de los procesos en general de la industria papelera y del cartón, se encuentran las bombas de pulpas que se encargan de hacer circular esta materia prima hacia los procesos de la planta, con el fin de suplir los procesos de manufactura. Las ubicadas más específicamente en el procesos de desfibrado son las que más consumo energético presentan. Por esta razón se deben emprender acciones correctivas para este gran consumo, y más sabiendo que estas bombas en cualquier empresa que esté funcionando las 24 horas del día, están siempre encendidas.

4.1.5 Motores y variadores de alta eficiencia

En la industria del papel estadounidense el consumo promedio de los motores en la industria del papel y del cartón, equivale al 72% del consumo total, mientras que la

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

iluminación, la refrigeración, los hornos y otros representan el 6.1, 4.2, 13.1 y 4.6%, respectivamente (Al-Ghandoor, 2012). Por otra parte, en esta industria los motores pueden ser demasiado grandes, y adicionalmente pueden representar un desbalance entre el consumo energético y el trabajo útil entregado. Pero muchas veces reemplazar los viejos motores, parece una solución viable, pero a la vez es costoso y requiere de grandes esfuerzos económicos, por lo que adquirir variadores de velocidad de alta eficiencia puede ser una solución más factible, ya que estos equipos pueden reducir la velocidad, la fuerza de rotación y el torque mecánico entregado, por esto y muchas más cosas estos equipos pueden aumentar considerablemente la eficiencia de los motores obsoletos, ya que al incidir directamente en el funcionamiento del motor, pueden regularlo para que funcione a la velocidad ideal, y a las condiciones de carga estrictamente necesarias, por lo que finalmente reducen desde un 30 hasta un 60% del consumo eléctrico del motor (Al-Ghandoor, 2012), sin embargo, en caso de que sea necesario el reemplazo de los motores, los motores actuales de alta eficiencia son construidos con mejores rodamientos y bobinados que los configura con el calificativo de altamente eficientes, ya que son capaces de reducir las fricciones y disminuir las pérdidas por resistencia eléctrica. Estos motores en general dependiendo del número de caballos de potencia pueden llegar a decir hasta un 10% más de eficiencia que los motores tradicionales (Saidur, Hasanuzzaman, Yogeswaran, Mohammed, & Hossain, 2010).

4.1.6 Sistemas de medición

En las industrias en general se deberían adoptar toda clase de medidores, es decir, medidores de consumo energético, que midan variables como voltaje, potencia, corriente; así mismo medidores de combustibles, es decir medidores que puedan arrojar una visión clara de los combustibles que están consumiendo por ejemplo las calderas y cualquier sistema que trabaje a base de combustión; los medidores de aguas también se deberían tener en cuenta, por ejemplo los medidores de caudal, flujo másico, turbulencia del agua y nivel, ya que con estos se puede hacer un balance del consumo real y con ellos se pueden

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

hacer optimizaciones en el consumo presentado, no solo de agua sino de las otras variables mencionadas.

4.1.7 Sistema de lubricación

Antes de entrar en detalle con algunas empresas influyentes en la creación de maquinaria y soluciones efectivas que logren cambiar los referentes de trabajo, los grandes consumos energéticos y las ineficiencias productivas; es necesario dentro de este punto dar a conocer soluciones en el área de la lubricación, debido a que ésta es realmente importante para el mejoramiento en consumos y eficiencia, porque sistemas bien lubricados logran desempeñarse con un mayor rendimiento y asegurando una vida útil mucho más extensa de los componentes de las máquinas.

Lincoln, es una empresa que se encarga de presentar soluciones fiables y seguras en las instalaciones de lubricación para las plantas de acero, cemento, minería y el proceso del papel y del cartón ya señalado, esto dentro del margen ambiental. Los servicios de esta empresa ofrecen soluciones para instalaciones grandes que necesiten para su trabajo múltiples sistemas de transmisión, como engranajes, cadenas, rodillos, rodamientos, entre otros; para que así se logre mejorar el servicio y la duración de las máquinas (Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera, 2013).

En la Imagen 16 se muestra un esquema enfocado en el mapa de proceso, donde Lincoln ofrece ciertas soluciones a los procesos que requieren de lubricación, por lo que ofrecen algunas referencias de sistemas y de tipos de lubricación a cada uno de los procesos de una empresa papelera.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

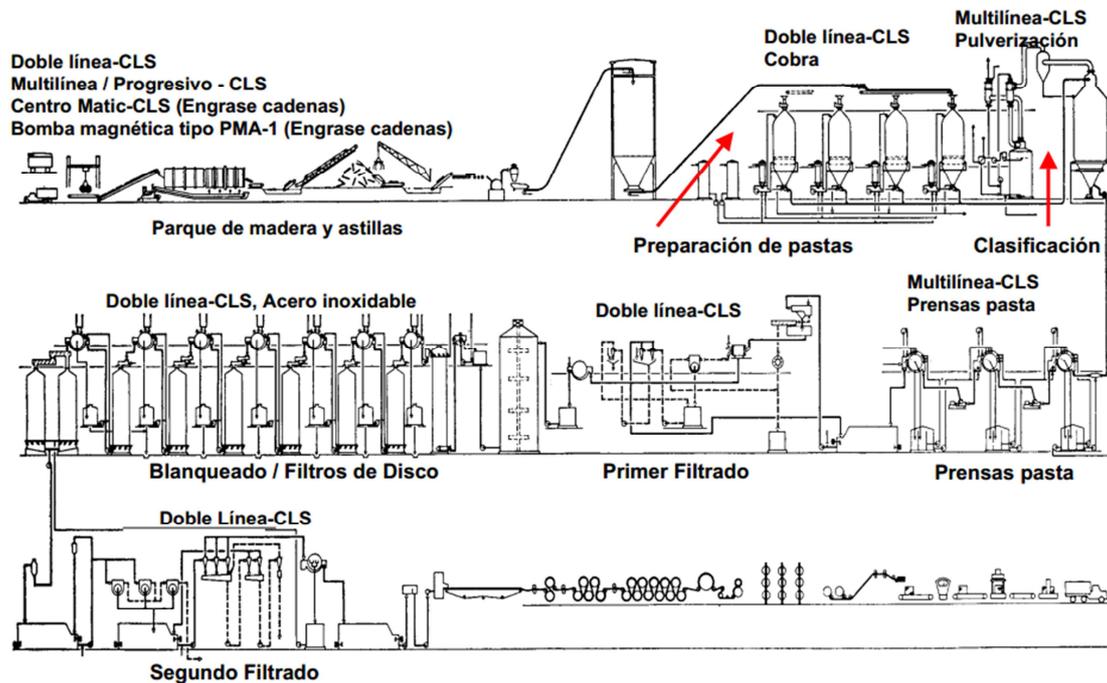


Imagen 16 Mapa de procesos enfocado a las soluciones de la empresa Lincoln (Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera, 2013).

En la Imagen 177, se presenta una identificación de sistemas que requieren lubricación y el tipo de lubricación que se debe implementar en algunas máquinas de la línea de producción, enfocado en el mejoramiento continuo del proceso y de la capacidad de este para entregar eficiencias de fábrica, incluso aunque la máquina sea de segunda. Adicionalmente se hace énfasis en la recuperación de calor y el sistema utilizado para esto, ya que este punto hace parte de las implicaciones reales de un diagnóstico energético.



Imagen 18 PM 3 de Haindl Paper Augsburg (Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera, 2013)

Algunos otros equipos tienen que ver con los elementos esenciales para el bombeo de lubricante, los cuales están automatizados y responden a las exigencias de los sistemas, es decir, cuando un sistema está trabajando mucho más rápido el sistema de lubricación tiene la capacidad de entregar mayores cantidades de lubricante, todo bajo parámetros de estudio y ahorro de lubricante, combustible y teniendo en cuenta la parte ambiental.

En la Imagen 19, se muestra el sistema básico de lubricación, que responde a las exigencias mencionadas en el párrafo anterior, con algunas características adicionales descritas en la misma imagen.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	



Estación de bombeo para guillotina
Zona seca / Zona húmeda
(La LISA está aparte)



LISA con
dosificadores de línea doble



Nota: La lisa siempre va con
equipo de bombeo
independiente, ya que
requiere de lubricante para
altas temperaturas.

Haindl Paper Augsburg

Cortadora, con dosificadores
de línea doble.

Imagen 19 Sistema básico de lubricación utilizado por Lincoln (Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera, 2013)

Por otra parte para la lubricación para las bobinadoras y para las prensas de pastas, se deben tener en cuenta para asegurar su correcto funcionamiento, por lo que a partir de estudios se estimaron alrededor de 110 puntos de engrase, para la bobinadora con referencia Haindl Papier, esto se menciona adicionalmente en la Imagen 20, y además se muestra la manera en que se montan tanto para la prensa de pastas como para la bobinadora.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	



Multilínea-CLS para bobinadora
(110 puntos de grasa, aprox.)



Multilínea-CLS en prensas pasta



Haindl Papier Augsburg

Imagen 20 Sistemas de lubricación para bobinadoras y prensas de pastas (Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera, 2013)

Finalmente a parte de muchos otros sistemas de lubricación para las empresas del papel y del cartón ofrecidas por Lincoln, y no mencionadas en este trabajo, se pueden señalar sistemas de lubricación para puente grúa, con referencia QLS-301, y mostrado en la Imagen 21. Este es un sistema completo que cuenta con una lubricación supervisada, controla el nivel y sirve para máximo 18 puntos de lubricación, este comprende bombas de distribuidores progresivos o no progresivos incorporados y se fabrican en diferentes referencias dependiendo la necesidad o las prestaciones (Lincoln, 2013)

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Sistema QLS-301 para puente grúa.



Imagen 21. Sistema QLS-301 para puente grúa (Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera, 2013)

4.2 Recomendaciones adicionales

Algunas de las tecnologías que pueden llevar a reducir los consumos energéticos y pueden llevar al tan anhelado deseo de alcanzar estándares internacionales, son mencionadas a continuación, haciendo hincapié en que pueden acarrear costos altos, pero la recuperación de la inversión puede ser a un plazo incluso menor que un año, esto dependiendo de uso que se le dé a la tecnología y de su implementación.

4.2.1 Primera recomendación

Los actuales trabajos de investigación apuntan al uso de las crecientes teorías de cogeneración y de trigeneración, que aunque sustituir fuentes energéticas sea un gran trabajo, adicionándole el uso de gas natural, este sistema puede presentar factibles usos que con el tiempo pueden significar procesos productivos mucho más eficientes y con bajos consumos energéticos.

Investigaciones han demostrado que adoptar un sistema de cogeneración puede traer consigo ahorros del 20% del consumo energético total de la empresa (Ericsson, Nilsson, & Nilsson, 2011). Por lo que, para el sector paplero y del cartón que consumen cerca de 72

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

MW, se lograrían obtener ahorros de 5000 millones de pesos, aunque la inversión se estima en 47000 millones de pesos, la recuperación de la inversión sería a un plazo de nueve años (Henriksson & Söderholm, The cost-effectiveness of voluntary energy efficiency programs, 2009).

4.2.2 Segunda recomendación

No solo la adopción de nuevas y pequeñas tecnologías puede ser la solución a los problemas de consumo energético, ya que la maquinaria vieja y obsoleta puede ser un gran consumidor y se estima que por su larga vida puede no tener las adecuaciones para presentar la eficiencia y el ahorro que se espera después de un diagnóstico energético. Por lo que se recomienda también la compra de equipo nuevo, con la tecnología de punta predispuesta para ser muy eficiente, y no se apunta a sistemas obsoletos de segunda mano, desechados por las grandes empresas del viejo continente, de estados unidos u otros países.

Por tal razón en sistemas viejos se pueden comprar algunas máquinas nuevas, por ejemplo un Pulper nuevo, que pueda reducir los desperdicios y pueda ahorrar en consumos energéticos. Este es el caso del WastePro 1200, que reduce los desperdicios en un 88% y con respecto a las máquinas viejas y obsoletas se estima un ahorro de alrededor 3 millones anuales (Hobart, 2013). Este modelo de Pulper se puede apreciar en la Imagen

22

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	



Imagen 22. Pulper WasterPro 1200 (Hobart, 2013)

Finalmente esta recomendación puede ser seguida para cada una de las máquinas que conforman el proceso productivo dentro de la industria del papel y del cartón, debido a que en muchas empresa se está trabajando con tecnología obsoleta y que por sus años de servicio presentan muchos inconvenientes técnicos que necesitan ser mejorados, o simplemente reemplazados. Por esta razón se debe evaluar y conocer los productos que se tienen dentro de la empresa para finalmente establecer que es lo que se cambia, que es lo que se mejora y qué es lo que requiere, una modificación o una tecnología adicional.

4.3 Tecnologías emergentes y brecha tecnológica

De forma muy general las brechas tecnológicas son aquellas que se presentan en cuanto al atraso tecnológico de nuestra nación con respecto a otras, es la forma como se avanza con el pasar del tiempo y es como se conciben los trabajos reales y los trabajos aplicados en cada nación. Con el transcurso de la historia el ser humano siempre ha tenido ese gran deseo de avanzar y de hacerlo con el ánimo de suplir las necesidades de cada uno de los seres de la tierra, por esto, a medida que pasan los días tenemos muchas más tecnologías y muchas más herramientas que se tienen al alcance de nuestras manos. Sin embargo, desde hace algún tiempo los colombianos tenemos una idea que existe un primer mundo y el nuestro, debido a que el llamado primer mundo cuenta con los mayores avances y las mejores realidades en cuanto a muchas cosas, dentro de ellas la tecnología, porque cada

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

que llega una tecnología a nuestro país, ya es una tecnología obsoleta en los países del primer mundo.

En términos muy generales esta es la diferencia entre los países pobres y los países ricos, y además le adicionamos la mala administración de los gobiernos y de los que están al poder (Universidad ICESI, 2008).

No muy lejos de esta realidad, se encuentran las empresas papeleras y del cartón, debido que existe una gran brecha tecnológica que hace que radique una gran diferencia entre las empresas de este país y las empresas de países industrializados como España, Estados Unidos, Suecia, entre otros países que cuentan con la tecnología para lograr hacer trabajos mucho más eficientes que con las tecnologías implementadas por las empresas nacionales. Por esta razón muchos de los consumidores del papel y del cartón a nivel mundial prefieren hacer sus compras a distribuidores confiables y que desde su construcción y constitución ofrezcan un producto final con altos estándares de calidad.

En las empresas colombianas de papel y de cartón se ofrece una variedad de productos y servicios que representan un claro desnivel en cuanto a muchas de las prestaciones mostradas por otras empresas, pero esto se ve reflejado desde el momento que llega la pulpa a la empresa, ya que en su recorrido tiene que pasar por diferentes máquinas que sin duda alguna han sido utilizadas en otros procesos de otros países y tan solo hasta que las consideraron obsoletas, no las mandaron a producir en otro lugar, y su destino fue nuestro país. Por lo que su nivel de utilización se traduce en fallos y caída de la eficiencia real para la cual están diseñadas las máquinas, por lo que como consecuencia se tienen procesos muy poco productivos, con paros constantes y con una alta necesidad de mantenimiento. Pero si las empresas conocieran muchas de las tecnologías actuales que pretenden mejorar el funcionamiento de los procesos, más específicamente en el secado, prensado, bobinado y mezcla; donde se presenta la mayor criticidad por ser los procesos pulmón de papel y del cartón y además porque requieren un alto consumo energético.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Estas empresas no tendrían tantos problemas con maquinaria y tecnología obsoleta, sin embargo es claro que se presentaría una inversión inicial muchísimo más alta, pero aun así se lograrían productos muchos más competitivos y con un impacto mayor.

Por esta razón, hay que señalar algunas tecnologías emergentes que suplen las brechas mencionadas líneas atrás, porque realmente es necesario empezar a competir eficientemente y con productos de alta calidad, para que finalmente las brechas entre los países del primer mundo y del nuestro se vayan acrecentando más, obviamente no solo con el aporte de las empresas papeleras y del cartón, sino con el aporte de todos los sectores industriales colombianos, con una proyección futura, con el planteamiento de macro-visiones y con la adopción de tecnologías realmente eficientes y no esta demás señalar que sean amigables con el medio ambiente.

4.3.1 Trabajos de algunos autores

Algunos autores, dedicaron sus trabajos o al análisis para recuperación energética o a la implementación de sistemas que contribuyan a las recuperaciones energéticas o ambas a la vez. Como es el caso de Utlu & Kincay (2013) que hicieron un análisis energético y exergético dentro de una industrial de pulpa y papel en Turkia llamada SEKA, donde el consumo depende de los materiales crudos usados, el proceso de fabricación de la pasta y el grado y tipo del producto final, donde se notó que el mayor consumo se debía al proceso de digestión de la pulpa con un gasto de alrededor del 60.5% del total de la energía usada por el proceso que tiene una variación de eficiencia entre el 34% y el 97.4%. Finalmente se encontraron consumos de 3122.5 TJ de consumo de combustible y 564.6 TJ de electricidad anual para una producción de 90 toneladas de papel gris y rosado y 100 toneladas de papel reprocesado (usando material reciclado). El análisis arrojó la posibilidad de recuperar 14300 MJ/h de energía que se perdía por convección, radiación y conducción en el proceso de fabricación del papel.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Por otro lado Xu, Sathaye, & Kramer (2013), se enfocaron en el análisis de los impacto de la adopción de tecnologías eficientes que finalmente contribuyeron a la recuperación económica y energética y a la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero. Este análisis se basó en el impacto de las tecnologías aplicadas en el sector de la pulpa y el papel de estados unidos. Este sector reportó una producción de 81 Mton en 1994 y 84.3 Mton en el 2006, con un consumo energético que redujo un 10% por la adopción de tecnologías, con 16.1 GJ/ton en 1996 y 14.5 GJ/ton en el 2006. La recuperación de la inversión en las empresas se estima de 350 US\$/GJ por cada producción de 12 GJ/tonelada de papel y una reducción de 30% de las emisiones de gases de efecto de invernadero. Las tecnologías y mejoras aplicadas que más sobresalieron y que ayudaron a lograr las reducciones mencionadas fueron: La pre-deslignificación del oxígeno, mayor uso de papel reciclado, adopción de pantallas con chips (bartype), descartar las virutas gruesas, mantenimiento constante en las calderas, mantenimiento de las trampas de vapor, implementación de control automático de los procesos para un mejor monitoreo y modificaciones a los digestores continuos.

Hong, et al. (2011) realizaron un análisis del flujo energético de las empresas del papel y del cartón en Taiwan, donde el foco principal fue examinar los procesos donde se podían usar tecnologías emergentes, esto para un proceso en general donde se perdían 40.3% de energía en calderas, 30% en generación y 27.7% en distribución del total de la energía que se pierde. Por esto se tomaron las siguientes medidas:

- Para las calderas: agregaron inversores al soplador de la caldera para ahorrar energía, se adaptaron controladores en la concentración de oxígeno descargado y minimizar el exceso de aire, recircular el agua fría y el calor de desecho, controlar la temperatura bajo los parámetros de diseño.
- Para las pérdidas en la distribución: instalar aislamientos y conductores, se estudiaron los sistemas de distribución de vapor para evitar las fugas.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Para equipo ineficiente: en el proceso de producción de celulosa, se retiran periódicamente los residuos que tiene conductividad térmica, para evitar las pérdidas y mejorar la eficiencia. En el proceso de fabricación del papel se diseñó un plan de mantenimiento preventivo. Se usó agua limpia y reciclada en el proceso, es decir se adaptaron equipos de purificación que reducen el consumo de agua. Se instaló un equipo de control para el secador, ya que es el equipo que más energía térmica gasta. En la máquina de papel, se usó agua con un contenido de sulfato, cloro y componentes orgánicos para prevenir la corrosión y las fallas por fatiga que pueden dañar la máquina y el producto.
- En la refinación de la pulpa: Se usaron tres tipos de refinadoras en común, una tipo cónica, de tambor y de disco, ya que son más eficientes que otro tipo de refinadoras.
- Los motores, ventiladores y bombas: Se usaron variadores de velocidad, que funcionaron para la alimentación, manejo y uso óptimo de la energía. Esto junto con un sistema de control.
- Para el compresor de aire: se usaron chillers y compresores tipo tornillo, que son más eficientes que los compresores centrífugos utilizados en el paso, ya que los de tornillo tienen mayor eficiencia y un periodo de utilización mucho mayor.

Finalmente con estas medidas adoptadas, estos autores lograron un ahorro energético, una eficiencia en la distribución y un equipamiento eficiente, con 86.8% de conservación energética total.

Por otra parte, Jönsson & Berntsson (2012) presentan un análisis en la implementación potencial de diferentes tecnologías en la industria del papel y del cartón en Europa, para la reducción de emisiones contaminantes. Por lo que como tecnología emergente usaron una opción de captura de CO₂ en la post-combustión, usando absorción química, ya que para implementar esta no se requieren modificaciones o reconstrucciones de las calderas. Estas tecnologías logran hasta capturan un 90% de CO₂. Otra de las técnicas usadas son las

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

oxi-combustión y la captura en la precombustión, sin embargo no son tan eficientes y en algunos casos requieren modificaciones en la caldera.

Brown, Maréchal, & Paris (2004), en su trabajo hacen un análisis del proceso y de la energía requerida en las empresas de la pulpa y del papel, para lograr identificar el mínimo de energía requerida para alimentar el proceso. Y además adoptando tecnologías como la cogeneración que logra aumentar en un 12% en la utilización de la energía generada y reemplazando los sistemas de inyección de vapor para mezclar los tanques, por intercambiadores de calor que disminuyen en un 10% la energía requerida para allimentar el sistema. En general, con la implementación de los dos tecnologías mencionadas se logró un ahorro energético de 29.7 MW (22%) con un incremento de 19.7 MWe en la producción eléctrica por medio del sistema de cogeneración.

En el trabajo de Fleiter, Fehrenbach, Worrell, & Eichhammer (2012) hablan de un análisis energético hecho en las empresas de papel alemanas, las cuales consumen alrededor del 9% de la demanda energética nacional. Este trabajo basado en un enfoque tecno-económico, muestra un potencial en ahorro energético de al menos 34 TJ/año para combustibles y 12 TJ/año para electricidad, el cual equivale al 21% y 16% de la demanda total de combustible y de energía, respectivamente. adicionalmente con el aumento de tecnologías se estima un ahorro de 3 Mton de emisiones de CO₂. Dentro de las tecnologías usadas para el proceso de pulpas, se utilizan pastas químicas, pastas mecanicas, pulpas de fibras recuperadas y mejoras en el proceso de formación del papel.

- Para las pastas químicas, se utiliza un gasificador de licor negro, es decir, se utiliza una mezcla de lignina y quimicos que se queman en la caldera, con una eficiencia de 10 a 15%.
- Las pastas mecánicas, es decir, se utilizan sistemas de generación integrados, donde el calor puede ser usado en los procesos mecánicos de formación del papel, donde se logran de 20 a 40% de eficiencia en al producción eléctrica y de 20 a 30%

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

en recuperación de vapor. Hay procesos adicionales que son la molienda de alta eficiencia, pretratamiento con enzimas, refinaria de alta eficiencia, pre-compresión y el uso de viruta de madera que son usadas en las empresas alemanas para mejorar la eficiencia.

- Las pulpas de fibras recuperadas, es un procesos de pulpas de alta consistencia, las cuales son movidas para formar un lodo líquido. Este proceso en modo de lodo líquido además de aumentar la consistencia del papel en procesos posteriores, reduce la demanda de energía electrica, y se reduce de 2 a 10 kWh por cada tonelada produccida a diferencia del gasto si la pulpa estuviera en estado sólido. Además de este proceso tambien se encuentra la detección eficiente que ahorra de 5 a 30% de energía y la recuperación de calor de desecho desde el blanqueo que ahorra por lo menos 30 MJ/ton producida.

Finalmente, Gemci & Ozturk (1998) hablan de un análisis energético y exergético en SEKA, la empresa Turca de la que se hablo inicialmente, donde se perdia 30% de exergía debida a la transferencia de calor de las máquinas con los alrededores, la adicción de un economizador en la caldera para la recuperación de calor de desecho aumento la eficiencia al igual que la producción de vapor por hora de 15 a 20%, es decir, 450 kg/h de vapor.

4.3.2 Soluciones por tecnología

Algunos de los avances tecnológicos en cuanto a maquinaria, estrategias y consejos, se enumeran a continuación, debido a que la tecnología vigente puede hacer que la productividad, la competitividad y la calidad del producto de las empresas papeleras y del cartón aumente significativamente y como se mencionaba en un principio haciendo que estas empresas puedan empezar a construir un camino en pro de la competitividad mundial, evitando en gran medida las pérdidas, desperfectos, devoluciones y entre otros factores que en este momento son inherentes a las empresas colombianas de estas áreas.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.2.1 Máquina de papel con Gap Former

Una de las tecnologías que actualmente se puede encontrar dentro de la industria del papel y del cartón, hablando de los grandes productores reconocidos a nivel mundial, es la máquina de papel con Gap Former presentada en la Imagen 23, la cual puede trabajar desarrollando altas velocidades. Esta tecnología extrae la pasta suspendida de la caja de admisión y la inyecta mediante boquillas individuales en todo el ancho de la máquina de papel, directamente entre las dos telas. Esto lo que permite es drenar ambos lados, proporcionando así una estructura más uniforme en la formación de la hoja.



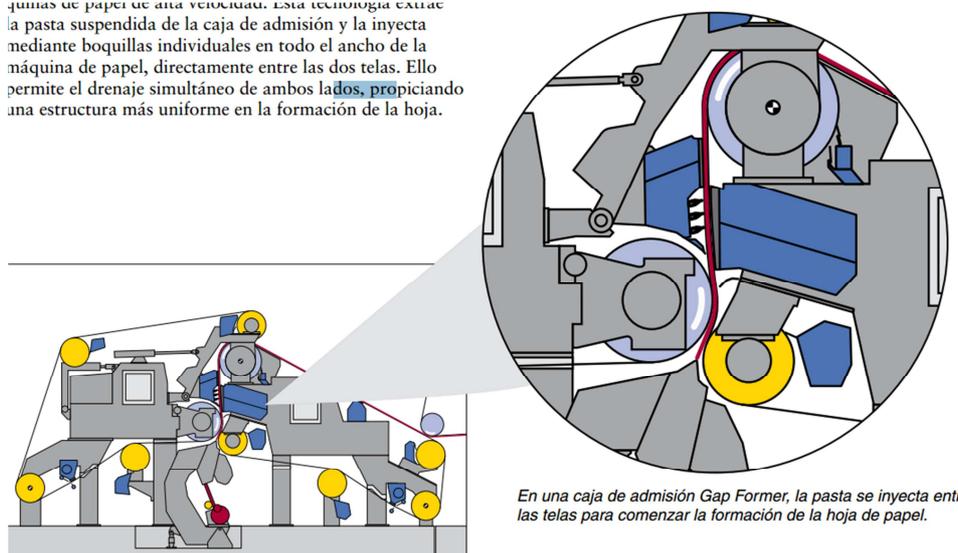
Imagen 23 Máquina de papel Gap-Former (SCA, 2013)

En la Máquina de papel con Gap Former, se puede observar un dispositivo Gap Former, donde la deshidratación de la hoja se inicia justo en el momento de introducir la pasta entre las telas.

Allí en una caja de admisión Gap Former, la pasta se inyecta entre las telas para comenzar la formación de la hoja de papel.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

...máquinas de papel de alta velocidad. Esta tecnología extrae la pasta suspendida de la caja de admisión y la inyecta mediante boquillas individuales en todo el ancho de la máquina de papel, directamente entre las dos telas. Ello permite el drenaje simultáneo de ambos lados, propiciando una estructura más uniforme en la formación de la hoja.



En una caja de admisión Gap Former, la pasta se inyecta entre las telas para comenzar la formación de la hoja de papel.

Imagen 24 Máquina de papel con Gap Former (SCA, 2013)

4.3.2.1 Comparación con otra máquina

Estas máquinas se encargan de la suspensión del agua y fibras que provengan desde la caja hidráulica. Se de guiarlas entre dos telas y hay una hoja que drena ambas caras de las telas. En las máquinas con Gap Former se ve acentuada la reducción de tiempo y la longitud del drenaje es más simétrica. En una máquina Fourdrinier de 20 m de longitud y trabajando a 800 m/ min, el tiempo de drenaje es 1.5 seg, mientras que en una máquina con Gap Former de 20 m de longitud y 1200 m/ min, el tiempo de drenaje se reduce a 0.15 seg (Rendina, 2009). Por esta razón la capacidad del drenaje se cuadruplica al comparar con una máquina Fourdrinier, alcanzando así, un proceso más eficiente y más rápido, con consistencias de las hojas de papel en formación del 1.5/2%, mejorando los perfiles ya que se vuelven más simétricos (Rendina, 2009)

4.3.2.2 Sección de prensado

Una prensa de zapata Voith ayuda a consolidar la formación de la hoja de papel durante la deshidratación. En la sección de prensado se elimina la mayor parte del agua de la hoja, ya que ésta atraviesa una serie de grandes rodillos de acero que la comprimen, así como se

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

puede ver en la Imagen 25, y de esta manera se expulsa la mayor cantidad del agua que lleva la hoja. Ésta se sujeta a modo de “sanduche” entre grandes capas de fieltro absorbente que envuelven los rodillos de acero mencionados. El fieltro actúa como papel secante en la absorción de agua, mientras que una caja de vacío extrae el agua de los fieltros antes de dar la vuelta y volverse a encontrar con la hoja de papel. Al terminar este proceso el grado de sequedad de la hoja de papel, se encuentra entre el 40-50%. La hoja de papel ya en este punto logra sostenerse por sí misma.

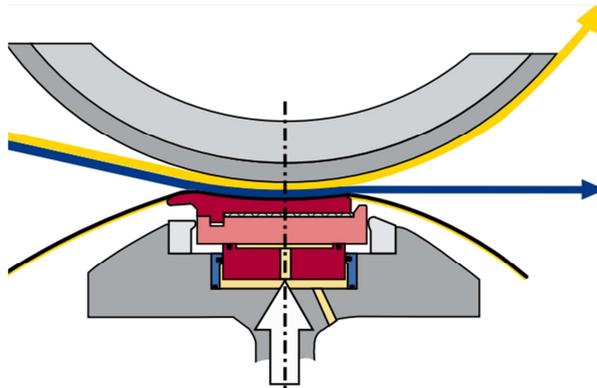


Imagen 25 “Prensa de zapata” Voith (SCA, 2013)

Esta prensa también toma en cuenta la recuperación del agua para que posteriormente pueda ser reprocesada, en la Imagen 26, se logra notar una presa del tipo mencionada, logrando rendimientos que muchas otras máquinas de prensado no han logrado.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

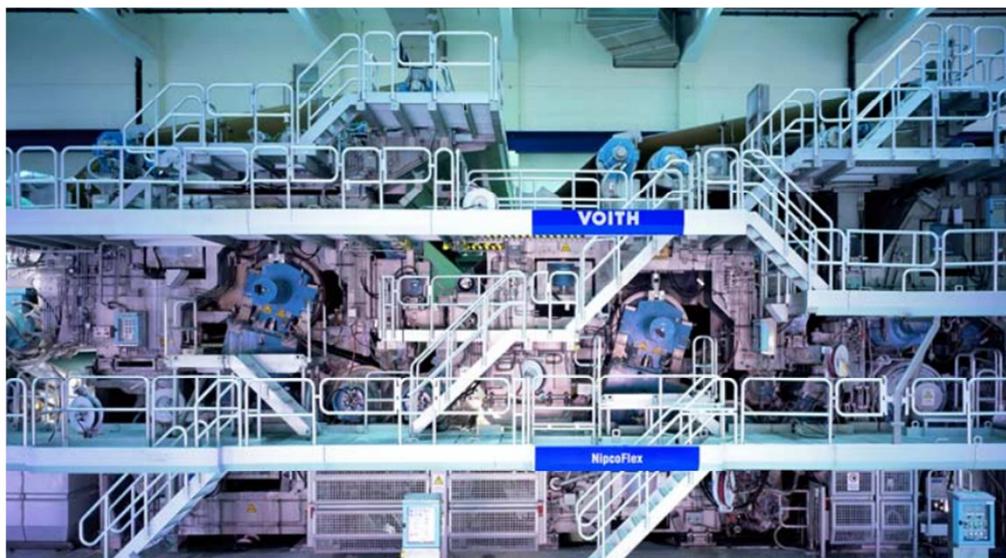


Imagen 26. Máquina de prensado Voith (SCA, 2013)

4.3.2.3 Mejora a la sección de secado

En la sección de secado se pueden utilizar máquinas bajo el nombre de Laakirchen mostrada en la imagen 27. Para fijar el grado final de humedad del papel se deben eliminar más porciones de agua, pero ya en este paso, por medio de la evaporación y realmente es un proceso eficiente, por el gasto mínimo de recursos. La sección de secado consta de una serie de cilindros que son calentados mediante vapor y sobre estos pasa la hoja de papel. Los cilindros se disponen de manera que el papel tenga contacto por sus dos caras, una a la vez, esto con el ánimo de garantizar una deshidratación homogénea. La hoja de papel puede apoyarse durante esta fase o simplemente soportarse por sí misma, en función del diseño del equipo. Pero se ha de tener en cuenta que el apoyo mejora el contacto y la transferencia de calor, al que facilita la ventaja de trabajar a altas velocidades de operación.

El papel se fabrica conforme a cierto número de especificaciones que adecuan el procesamiento final del papel, para así adoptar distintas vías en su posterior

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

procesamiento. Para el papel prensado y productos derivados de este, basta solamente con una satinadora para obtener el producto acabado.



Imagen 27. Máquina de secado de Laakirchen (SCA, 2013)

Una satinadora mostrada en la Imagen 28, esta funciona como una calandra que consta de rodillos de acero que presionan ambos lados del papel, para que finalmente para alisar las fibras de las superficies exteriores con mucha mayor eficiencia que la entregada por equipos anteriores, por lo que requiere de consumos energéticos bajos y ofrece productos con mayor calidad. Algunas máquinas de papel completan el proceso con una calandra blanda, que incluye dos pares de rodillos de acero. En cada par, uno de los rodillos está cubierto con un material plástico blando, y se dispone de forma que ambos lados del papel hagan contacto con cada uno de los rodillos. El emparejamiento de un rodillo blando con otro duro logra generar diferentes fuerzas de fricción sobre el papel, por lo que se aporta un ligero efecto satinado en el alisamiento de sus fibras.

El papel que posteriormente va a ser sometido a procesos adicionales para la obtención de un producto final, se enrolla sobre el eje de acero y se forma un gran rollo, o llamado de otra manera como tambor. Al final, el grado de sequedad que da esta máquina es del 90 al 95%, lo que permite una recuperación posterior del agua que sale como residuo en esta máquina.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

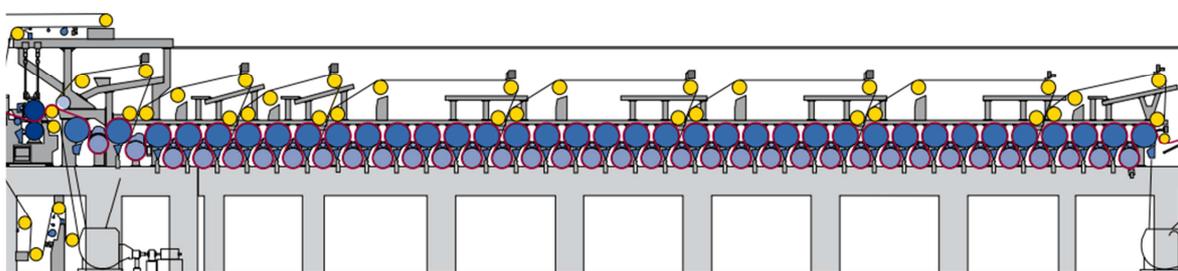


Imagen 28. Satinadoras del proceso de secado Laakirchen (SCA, 2013)

4.3.2.4 Estucado

Las pérdidas también pueden presentarse en esta área, debido a que muchas veces se puede aplicar el estuco de manera incorrecta, y en este proceso puede haber pérdidas que a largo plazo se convierten en significativas, recordando este proceso en la producción del papel se aplica cuando éste requiere una mayor calidad y blancura, durabilidad prolongada y pueda ser sometido a la impresión.

Esta máquina de estucado por cuchilla mostrado en la Imagen 29, lo que hace es aplicar una capa por encima del volumen final de estuco necesario, y este estuco sobrante es retirado por medio de la cuchilla, lo que produce que la capa superficial quede completamente lisa y uniforme.

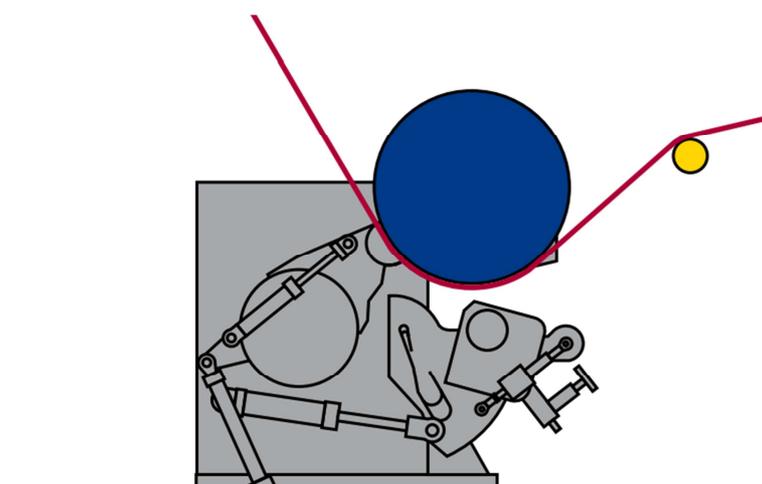


Imagen 29. Estucadora de cuchilla (SCA, 2013)

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.2.5 Aplicación de tecnologías renovables.

Adicionalmente a lo anterior el éxito de las empresas suecas se deben en gran parte a la implementación de tecnologías de generación eléctrica, debido a que a partir del año 1998, comenzaron a implementar estrategias que permitiesen reducir el consumo específico de energía. Una de ellas es la generación propia de energía eléctrica, de la cual el incremento del 33% permitió hacer reducciones considerables al consumo de energía eléctrica brindada por la empresa suministradora de este servicio (Ericsson, Nilsson, & Nilsson, 2011). Tomando en cuenta lo anterior cabe señalar que para la producción de electricidad y recuperación de recursos energéticos el estudio se centró en las siguientes áreas:

- Generación a partir de Biomasa más o menos el 90%
- Generación con turbinas de vapor.
- Recuperación de calor con calderas
- Generación de energía eólica.

Adicional a todo lo anterior, aparte de optimizaciones energéticas y de ahorro monetario, una de las principales causas que llevaron a las industrias suecas de papel y cartón a pensar en nuevas maneras de mejorar sus procesos, se debe a la creciente conciencia ambiental que se está creando a partir de los problemas visibles y los mencionados en diferentes entornos, debido al calentamiento global y a la contaminación del medio ambiente. Por esta razón, no siendo ajenos al problema se crearon soluciones que se ven reflejadas en aplicaciones de trigeneración, cogeneración y el involucramiento de sistemas eólicos, de celdas solares y la optimización de hidroeléctricas, todo esto presente dentro de cada una de las empresas.

4.3.2.6 Sistema de ahorro de agua dulce

En los procesos de producción del papel y del cartón es notable la necesidad de consumo de agua, por lo que es indispensable asegurar parámetros de inocuidad del agua, esto

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

restringido por autoridades de cada localidad donde se produzca papel y cartón, así mismo es necesario, que el agua esté fresca, para limitar la presencia de material biológico dañino. Por esta razón, en este paso se encontró un sistema de mejoramiento del proceso de agua, en cuanto a calidad y cantidad se refiere, trabajando bajo parámetros de temperatura, recuperación de calor y balance energético óptimos para toda aquella empresa papelera y del cartón que desee ahorros energéticos, sin la mayor cantidad de emisiones posibles.

Esta tecnología básica aplicada en el área de prensado del papel, actúa principalmente en la producción de papeles de 42 a 56 g/m², considerando producciones básicas de alrededor de 460000 toneladas por cada año (Borschke, 2004). Obteniendo alzas en la eficiencia del 70 al 90% con respecto a los sistemas tradicionales. En la Imagen 30 se muestra un esquema de sistema de mejora que permite los beneficios anteriormente mencionados, los principales componentes en la disposición son el TPM (Bomba termo-mecánica, por sus siglas en inglés) y las líneas de agua potable (DIP).

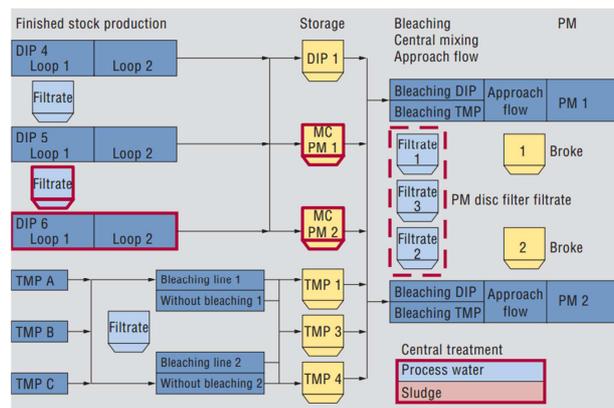


Imagen 30. Sistema básico de suministro de agua (Borschke, 2004)

4.3.2.7 Otras soluciones

Otros de los procesos que son susceptibles a mejoras son mencionados a continuación sabiendo que todos apuntan al mejoramiento de la eficiencia tanto energética como en la producción. Finalmente todos estos son soluciones o mejoras sugeridas a partir de la

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

investigación de varias fuentes, que realmente son las tecnologías aplicadas actualmente y entregan productos de alta calidad, con la mayor eficiencia y con la posibilidad de una alta competencia a nivel mundial.

Uno de los procesos que se mejoran usualmente son los de satinado o calandrado, ya que se utilizan rodillos duros y blandos para el paso del papel, esto es llamado supercalandrado, que se sabe es donde el caolín y el carbonato cálcico, que se utiliza en la fabricación del estuco, se integra con el papel de manera efectiva, esto antes de la llegada de este a la caja de admisión de la máquina de papel. Cuando la hoja de papel se está pasando por las calandras, los minerales ya mencionados se distribuyen por toda la hoja de papel, trasladando cantidades exactas a la parte superior, inferior y central del papel. En la imagen 30 se muestra esta disposición donde se lleva a cabo el proceso de plastificado por medio de rodillos duros y blandos, donde la fricción de estos debe ser no tan fuerte que el papel alcance a pegarse, si tan suave que no arrastre la película de papel.

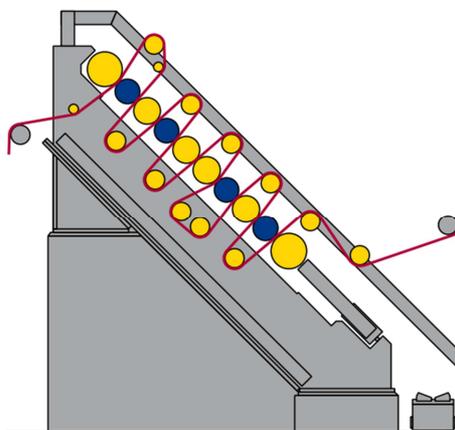


Imagen 31. Satinado del papel (SCA, 2013)

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Con esta investigación se logró documentar algunas soluciones que apuntan al mejoramiento energético dentro de las empresas del papel y del cartón, ya que se lograron establecer algunos parámetros de trabajo, mencionar algunas tecnologías que se han venido implementando y con ello se puede tener una base para muchas investigaciones futuras que pretenden reducir los gastos económicos y la calidad de la producción.
- Con este trabajo adicionalmente se lograron establecer algunos de los problemas energéticos que tienen la industria del papel y del cartón y más específicamente los aparatos o maquinaria que tienen consumos excesivos y son motivos de muchos estudios.
- Adicionalmente también se trabajó alrededor de un mapa de procesos establecido, que es muy general para las empresas del papel y del cartón, debido a que los trabajos de estas empresas pueden ser integradas en uno solo, ya que tales procesos son muy similares y se desarrollan con los mismos aparatos incluidos en el mapa de proceso.
- Por otro lado se da a conocer los problemas más comunes dentro de las empresas del papel y del cartón y con ello los métodos que se han utilizado para resolverlos, pasando por los resultados que se obtuvieron a partir de las bases de investigación consultadas.
- Para próximas investigaciones que utilicen como pilar este trabajo, se deberían tener en cuenta las implicaciones monetarias mucho más a fondo, debido a que los trabajos financieros no son tan mencionados y tan solo se hace referencia a unos pocos valores económicos y por el contrario se hace mucha referencia a los consumos y ahorros energéticos.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

6. REFERENCIAS

- Al-Ghandoor, A. (2012). Analysis of Jordan's industrial energy intensity and potential mitigations of energy and GHGs emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4485-4486.
- Al-Ghandoor, A., Phelan, P. E., Villalobos, R., & Jaber, J. O. (2010). Energy and exergy utilizations of the U.S. manufacturing sector. *Energy*, 3048-3065.
- Anderson, S. T., & Newell, R. G. (2004). Information programs for technology adoption: the case of energy-efficiency audits. *Resource and energy economics*, 27-50.
- Borschke, D. (2004). Water management system secures fresh water savings. *International Customer Conference for Board and Packaging Papers* (págs. 8-11). Vienna: Twogether: Paper Tehnology journal.
- Brown, D., Maréchal, F., & Paris, J. (2004). A dual representation for targeting process retrofit, application to a pulp and paper process. *Applied Thermal Engineering*, 1067-1082.
- Campos, J. C., Figueroa, E. L., Meriño, L., & Tovar, I. (2007). Ahorro energético en la industria del papel. *UPME*.
- DANE. (2013). Producto Interno Bruto - Primer trimestre 2013. *Comunicado de prensa*. Bogotá D.C.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. (2009). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU)*. New York, Estados Unidos : Naciones unidas.
- Energy University. (2011). *Energy Audits*. Recuperado el Agosto de 2013, de Schneider Electric: <http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/productos-servicios/formacion/energy-university/energy-university.page>
- Ericsson, K., Nilsson, L. J., & Nilsson, M. (2011). New energy strategies in the Swedish pulp and paper industry—The role of national and EU climate and energy policies. *Energy policy*, 1439-1449.
- FÄRM, L. (2001). Haindl Papier. *Fiber&Paper*, 35-37.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Fleiter, T., Fehrenbach, D., Worrell, E., & Eichhammer, W. (2012). Energy efficiency in the German pulp and paper industry: A model-based assessment of saving potentials. *Energy*, 84-99.

Gemci, T., & Ozturk, A. (1998). EXERGY ANALYSIS OF A SULPHIDE-PULP PREPARATION PROCESS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY. *Pergamon*, 1811-1820.

Henriksson, E., & Söderholm, P. (2009). The cost-effectiveness of voluntary energy efficiency programs. *Energy for sustainable development*, 235-243.

Henriksson, E., Söderholm, P., & Wärell, L. (2012). Industrial electricity demand and energy efficiency policy: The role of price change and private R&D in the Swedish pulp and paper industry. *Energy policy*, 437-446.

Hobart. (2013). Recuperado el 20 de Octubre de 2013, de Waste Pro 1200: <http://www.hobartcorp.com/products/commercial-dishwashers/waste-equipment/wastepro-1200/>

Hong, G.-B., Ma, C.-M., Chen, H.-W., Chuang, K.-J., Chang, C.-T., & Su, T.-L. (2011). Energyflow analysis in pulp and paper industry. *Energy*, 3063-3068.

Jokiniemi, H. T., & Ahokas, J. M. (2014). Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer. *Biosystems Engineering*.

Jönsson, J., & Berntsson, T. (2012). Analysing the potential for implementation of CCS within the European pulp and paper industry. *Energy*, 641-648.

Lincoln. (2013). Recuperado el 24 de Noviembre de 2013, de Bombas QLS 301 y 311: http://www.lincolnindustrial.com/onlinecatalog/catalogs/multiline_spanish2005_09-17.pdf

Luna Hernandez, M. (s.f.). Curso-taller internacional sobre aspectos empresariales y de negocios de las empresas de servicios energéticos en el Perú. *Los diagnósticos energéticos- la auditoría energética*. Perú: Funam.

Oda, J., Akimoto, K., Tomoda, T., Nagashima, M., Wada, K., & Sano, F. (2012). International Comparisons of energy efficiency in power, steel, and cement industries. *Energy policy*, 118-129.

Portal Calidad. (octubre de 2004). Recuperado el 20 de Julio de 2013, de http://www.portalcalidad.com/archivos/Map.04_Empresa_comercial.pdf

Rendina, A. R. (2009). *Secado en la industria del papel*. Obtenido de Formación, Parte 2, Secado entre dos telas: <http://pixelcodex.com/SecadoEnLaIndustriaDelPapel/articulos.html>

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

Saidur, R., Hasanuzzaman, M., Yogeswaran, S., Mohammed, H. A., & Hossain, M. S. (2010). An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital. *Energy*, 4780-4785.

SCA. (2013). Recuperado el 24 de Noviembre de 2013, de Fabricación de papel:
http://www.sca.com/Global/Publicationpapers/pdf/Brochures/Papermaking_ES.pdf

SFA. (2009). *Swedish Forestry Agency*. Obtenido de
<http://www.skogsstyrelsen.se/episerver4/templates/SFileListing.aspx?id=16583>

Sistemas de lubricación Lincoln en la industria papelera. (2013). Recuperado el 24 de Noviembre de 2013, de Presentación Industria Pesada:
<http://www.rivi.es/aplicaciones/IndustriaPapelera.pdf>

Sivill, L., & Ahtila, P. (2009). Energy efficiency improvement of dryer section heat recovery systems in paper machines – A case study. *Applied Thermal Engineering* .

Thumann, A., Younger, W. J., & Niehus, T. (2009). *Handbook of energy audits* (Eighth edition ed.). United States of America: Taylor & Francis Ltd.

Torreapapel S.A. (2008). *Fabricación del papel*. Obtenido de www.torrapapel.com

Unidad de planeación minero energética. (Octubre de 2001). *Determinación de la eficiencia energética del subsector industrial de pulpa y papel*. Bogotá D.C, Colombia: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.

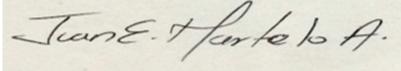
Unidad de planeación minero energética. (2013). Perspectivas de planeamiento energético de largo plazo en el contexto de competitividad. *Congreso ANDESCO “Competitividad y Servicios Públicos”*.

Universidad ICESI. (19 de Agosto de 2008). Recuperado el 24 de Noviembre de 2013, de Las brechas tecnológicas en Colombia:
http://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/alejo/2008/08/19/las-brechas-tecnologicas-en-colombia/

Utlu, Z., & Kincay, O. (2013). An assessment of a pulp and paper mill through energy and exergy analyses. *Energy*, 567-573.

Xu, T., Sathaye, J., & Kramer, K. (2013). Sustainability options in pulp and paper making: Costs of conserved energy and carbon reduction in the US. *Sustainable Cities and Society*, 56-62.

	TRABAJO DE GRADOS	Código	
		Versión	
		Fecha	

<p>FIRMA ESTUDIANTES:</p>	 
<p>FIRMA ASESOR:</p>	
<p>FECHA ENTREGA: 14/07/2014</p>	

<p>FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____</p>
<p>RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___</p>
<p>ACTA NO. _____</p>
<p>FECHA ENTREGA: _____</p>

<p>FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____</p>
<p>ACTA NO. _____</p>
<p>FECHA ENTREGA: _____</p>