

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DE MEJORA DE LA CALIDAD  
DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE NEXANS S.A.**

**PEDRO MIGUEL CAICEDO TORRES  
PATRICIA HERNÁNDEZ TOVAR  
ANDREA JULIANA RUIZ GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA  
ESPECIALIZACION GERENCIA DE RECURSOS ENERGETICOS  
BUCARAMANGA  
2012**

---

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DE MEJORA DE LA CALIDAD  
DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE NEXANS S.A.**

**PEDRO MIGUEL CAICEDO TORRES  
PATRICIA HERNÁNDEZ TOVAR  
ANDREA JULIANA RUIZ GONZÁLEZ**

**Monografía para optar al título de  
Especialista en Gerencia de recursos energéticos**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA  
ESPECIALIZACION GERENCIA DE RECURSOS ENERGETICOS  
BUCARAMANGA  
2012**

---

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bucaramanga, Abril de 2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

Nuestro Asesor quien dedicó parte de su tiempo y transmitió su conocimiento, haciendo posible este estudio.

Firma E.E.E. Ingeniería Ltda. por su colaboración.

NEXANS Colombia S.A. por su colaboración.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	12
1.GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	14
1.1. Planteamiento de la oportunidad .....	15
1.2. Descripción de la compañía.....	17
1.3. Justificación del proyecto.....	17
1.4. Estado del arte.....	19
1.4.1. Transitorio impulsivo.....	21
1.4.2. Transitorios oscilatorios .....	22
1.4.3. Variaciones de tensión de corta duración.....	23
1.4.4. Variaciones de tensión de larga duración.....	24
1.4.5. Desequilibrio de tensiones.....	25
1.4.6. Distorsión de la forma de onda.....	26
1.4.7. Fluctuaciones de tensión .....	29
1.4.8. Variaciones de frecuencia en el sistema de potencia .....	30
2.DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	32
2.1. Parámetros generales del proyecto .....	32
2.2. Caracterización de cargas .....	33
2.3. Impacto de las cargas.....	37
2.4. Análisis e impacto de armónicos.....	38
2.5. Impacto de instalaciones eléctricas .....	41
2.6. Proyección de crecimiento de carga .....	42

---

3.EVALUACIÓN DEL PROYECTO .....43

    3.1 Análisis económico .....43

        3.1.1. Análisis de la inversión.....44

        3.1.2. Análisis de beneficios económicos.....45

            3.1.2.1. Beneficio anual por la reducción de fallas en la planta de producción  
            .....46

            3.1.2.2. Beneficio por penalización consumo reactiva .....47

            3.1.2.3. Beneficio por reducción de tiempo ocioso del personal de producción  
            .....48

            3.1.2.4. Beneficio económico por corrección del factor de potencia .....48

            3.1.2.5. Beneficio económico por armónicos en la red.....48

            3.1.2.6. Beneficios totales .....49

        3.1.3. Costos de oportunidad del proyecto.....49

    3.2. Premisas de evaluación .....49

    3.3. Análisis de rentabilidad .....51

4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....52

    4.1. Sensibilidad según el tipo de financiación.....52

    4.2. Sensibilidad según el riesgo de falla .....55

CONCLUSIONES .....58

RECOMENDACIONES .....59

BIBLIOGRAFIA .....60

ANEXO A.....62

ANEXO B.....63

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de cargas .....	35
Tabla 2. Cargas críticas. ....	36
Tabla 3. Comparativo de cargas críticas de Nexans S.A. ....	38
Tabla 4. Valor de la inversión.....	44
Tabla 5. Ahorro económico por mantenimiento de averías eléctricas.....	46
Tabla 6. Ahorro económico por paradas de producción .....	47
Tabla 7. Ahorro económico por penalización .....	47
Tabla 8. Ahorro económico por mano de obra ociosa .....	48
Tabla 9. Beneficio económico producto de mejorar la calidad de la energía .....	49
Tabla 10. Evaluación económica. Escenario 1. ....	53
Tabla 11. Evaluación económica. Escenario 2. ....	54
Tabla 12. Evaluación económica. Escenario 3. ....	56
Tabla 13. Evaluación económica. Escenario 4. ....	57
Tabla 14. Evaluación económica de escenarios. ....	59
Tabla 15. Estadísticas de averías eléctricas. ....	62
Tabla 16. Consumo de energía eléctrica. ....	63

---

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Diagrama de Pareto para cargas.....	37
Ilustración 2. Magnitud total de corriente y componentes armónicas (T 16H).....	40
Ilustración 3. Efecto de amplificación de armónicos. ....	41
Ilustración 4. Comparativo económico de escenarios.....	55



## GLOSARIO

- **ARMÓNICO:** Una componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que posee una frecuencia fundamental.
  - **CAPACIDAD INSTALADA:** Es la cantidad máxima de bienes o servicios que pueden obtenerse de las plantas y equipos de una Empresa por unidad de tiempo, bajo condiciones tecnológicas dadas. Se puede medir en cantidad de bienes y servicios producidos por unidad de tiempo.
  - **CARGA:** La potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.
  - **CIRCUITO:** Conjunto de elementos, dispositivos y equipos eléctricos interconectados entre sí, alimentados por la misma fuente de energía y con las mismas protecciones contra sobre-tensiones y sobre-corrientes.
  - **CONFIABILIDAD:** Probabilidad de que un determinado equipo opere bajo las condiciones preestablecidas sin sufrir fallas.
  - **KILOVATIO:** El kilovatio equivale a mil vatios, usado para manifestar la potencia.
  - **MEGAVATIO:** El megavatio es igual a un millón ( $10^6$ ) de vatios.
  - **RETIE:** Acrónimo del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas adoptado por Colombia.
-

- **SUBESTACIÓN:** Conjunto de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia.
- **TENSIÓN:** Diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio; un error frecuente es hablar de “voltaje”.

## RESUMEN

El elevado crecimiento de la economía en los últimos años se ha traducido en una extraordinaria expansión del uso de energía eléctrica así como el desarrollo tecnológico, esto implica una alta proliferación de controles y dispositivos electrónicos, los cuales han producido una gran cantidad de perturbaciones en las ondas de tensión y corriente, creando un nuevo problema denominado perturbaciones eléctricas. A partir de lo cual cobra relevancia el concepto "Calidad de Energía Eléctrica ", tema esencial el cual ha evolucionado en la última década a escala mundial, relacionada con las perturbaciones eléctricas que pueden afectar a las condiciones eléctricas de suministro y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos y procesos, impactando de forma negativa los niveles de competitividad de una Compañía.

"Calidad de Energía Eléctrica ", es tema de estudio en el presente trabajo a través de la evaluación económica del proyecto de mejora de la calidad de la energía eléctrica en NEXANS S.A., el cual pretende determinar su viabilidad y justificar la importancia de invertir una serie de recursos en este proyecto el cual redundará en el beneficio de aumentar la productividad, disminuyendo los costos de producción ocasionados por paradas que obedecen a fallas de tipo eléctrico efecto de la calidad de la energía eléctrica.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de un proyecto, se ha convertido en un instrumento de uso prioritario al momento de decidir sobre la asignación de los recursos necesarios para una posible inversión. El contexto de esta investigación tiene por objeto la aplicación de las técnicas y métodos adquiridos durante la Especialización de gerencia de recursos energéticos de la Universidad Autónoma de Bucaramanga en los años 2009 y 2010, buscando recopilar y analizar en forma sistemática, un conjunto de antecedentes técnicos, económicos y financieros, para juzgar cualitativa y cuantitativamente las ventajas y desventajas de asignar recursos a la iniciativa de mejorar la calidad de la energía del sistema eléctrico de NEXANS S.A. Colombia.

La planta de producción para Colombia de NEXANS S.A. ubicada en el parque industrial Chimita de la ciudad de Bucaramanga, será objeto de estudio, con el fin de valorar las opciones de mejora de la calidad de la energía del sistema eléctrico de esta planta, a partir de las recomendaciones realizadas en el Estudio de calidad de la energía eléctrica y análisis de armónicos, elaborado en marzo de 2009 por la Firma Estudios Eléctricos y Energéticos Ingeniería Ltda., el cual propone mecanismos que permiten mejorar el funcionamiento de las instalaciones eléctricas y por ende contribuir a la eficiencia del proceso de producción, mediante el incremento de confiabilidad del sistema eléctrico.

En el estudio de calidad de la energía eléctrica se realizó el análisis de las variables eléctricas a través del monitoreo en las principales cargas eléctricas y el transformador de distribución que alimenta la planta de producción, con el propósito de determinar el estado de funcionamiento de las instalaciones eléctricas de la planta de producción, identificando los riesgos de daño o deterioro de los circuitos y equipos, verificando el cumplimiento de las normas vigentes del sector eléctrico colombiano en configuración de instalaciones industriales.

A partir de las recomendaciones realizadas en el estudio, se realiza la evaluación económica, determinando la viabilidad de inversión en mecanismos para mejorar la calidad de la potencia del sistema eléctrico de NEXANS S.A., lo cual representa desembolsos importantes de efectivo, compensados en el ahorro por costos de mantenimiento a través del ciclo de vida de los equipos, costos energéticos, impacto financiero en el sistema productivo como consecuencia de la salida intempestiva de servicio de un equipo.

A través del análisis de la metodología de verdadera rentabilidad, la cual involucra la necesidad, de conocer la viabilidad de realizar la inversión ya sea con recursos propios o a través de endeudamiento y la rentabilidad que dejaría la inversión de equipos o de innovación tecnológica con el fin de mejorar los procesos de producción, aumentar productividad y confiabilidad del sistema eléctrico y realizar un uso eficiente de la energía eléctrica, para lo cual se hace necesario analizar información y cifras estadísticas de los diferentes procesos de Nexans Colombia S.A. impactados por el proyecto de inversión, dicha información objeto de análisis en este trabajo, utilizada para desarrollar el modelo económico es de tipo confidencial.

Al concluir este trabajo, deseamos que la evaluación entregada a la Empresa, sea útil y oportuna, que sirva como fuente de información primaria para una acertada y futura decisión.

## 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

La energía eléctrica representa un insumo importante que mueve al mundo industrial, sin este las empresas se detendrían y las economías entrarían en crisis. Por esta razón es importante darle el mejor uso, lo cual permite a una empresa ser más competitiva en una economía que tiende a la globalización, al ser NEXANS S.A. una empresa de reconocimiento internacional exige diferenciarse y ser extraordinaria en el manejo de sus recursos, lo cual aporta a la estrategia de liderazgo en costos, a través de la alternativa viable para reducir costos de operación y mejorar los niveles de competitividad dentro del mercado mundial.

Se ha determinado que uno de los problemas más comunes que ocasiona el desperdicio de energía eléctrica en las empresas es la calidad de esta, pues influye en la eficiencia de los equipos eléctricos que la usan<sup>1</sup>.

La calidad de la energía eléctrica se mide por la calidad de la onda de tensión según la norma IEEE 519 de 1992, la obtención de datos sobre los distintos aspectos de la calidad de la energía eléctrica implica la medida de un gran número de parámetros como la variación de la tensión, corriente y frecuencia en el sistema eléctrico.

Los disturbios en el sistema, que se han considerado normales durante muchos años, ahora pueden causar desorden en el sistema eléctrico industrial, con la consecuente pérdida de producción. Adicionalmente, deben tomarse en cuenta nuevas medidas para desarrollar un sistema eléctrico confiable, las mismas que anteriormente no se consideraban significativas.

Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- ✓ Incremento en las pérdidas de energía.

---

<sup>1</sup> UPME. COLCIENCIAS. Calidad de la energía eléctrica. Página 5.

- ✓ Daños a la producción y competitividad empresarial.
- ✓ Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.

El presente estudio enfatiza en la interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad, a través del análisis y evaluación del efecto asociado de esta, a daños en la producción y competitividad empresarial. Dado que una alternativa para aumentar la competitividad de una empresa es optimizar su proceso productivo, mediante:

- ✓ Uso de equipos de alta eficiencia como motores eléctricos.
- ✓ Automatización de procesos mediante dispositivos electrónicos.
- ✓ Reducción de costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- ✓ Reducción de pérdidas de energía.
- ✓ Evitar envejecimiento prematuro de los equipos.

El aumento de equipos de control y automatización han incidido en los problemas de confiabilidad en la producción, pues los equipos electrónicos son una fuente de perturbaciones para la calidad de la energía eléctrica, pues distorsionan las ondas de tensión y corriente. Y por otro lado los equipos de control y automatización son muy sensibles a distorsión o magnitud de la onda de tensión, por lo que una variación en la calidad de la energía eléctrica puede ocasionar fallas que paralicen la producción, ocasionando tiempo perdido y costos de producción inesperados. Por lo que hay que minimizar el problema y encontrar soluciones cada vez más óptimas, para lo cual el estudio de la calidad de la energía es indispensable.

### **1.1. Planteamiento de la oportunidad**

Los estudios de calidad de la energía eléctrica permiten detectar desviaciones que se presentan, para poder establecer medidas correctivas y preventivas a partir de

la identificación de fuentes de disturbios que no están asociadas con el suministro eléctrico de entrada como descargas electrostáticas, interferencia electromagnética radiada y errores de operadores, adicionalmente factores mecánicos y ambientales como temperatura, vibración excesiva y conexiones flojas.

A través de la evaluación del estado general de tableros, instalaciones eléctricas y del sistema puesta a tierra mediante inspección eléctrica y su influencia en problemas de calidad de potencia con base en el RETIE, NTC-2050 y el Estándar IEEE 1100-1999, complementando con la inspección mediante medición de parámetros eléctricos: tensión, corriente, potencia, frecuencia, transitorios, armónicos, y medición de parámetros del sistema puesta a tierra como resistencia y continuidad, se determina que contar con una energía de calidad que permitirá minimizar las fallas de alimentación eléctrica aumentado la confiabilidad y optimizando la productividad de la empresa NEXANS S.A. contando de esta forma con una infraestructura eléctrica que garantice una adecuada calidad de la energía, obteniendo beneficios complementarios, ya que se cuenta con instalaciones seguras que minimizan riesgos eléctricos para personas y equipos.

La oportunidad del presente trabajo nace a partir de un estudio de la calidad de energía eléctrica en NEXANS S.A. realizado por la firma E.E.E. Ingeniería Ltda. en marzo de 2009, el cual determinó el estado actual del funcionamiento de las instalaciones eléctricas y propuso soluciones para optimizar el desempeño, confiabilidad y efectividad del costo-beneficio de la energía eléctrica y el sistema puesta a tierra de NEXANS S.A. a partir de este estudio técnico y las conclusiones y recomendaciones realizadas, se desarrolla este estudio de viabilidad económica para invertir recursos destinados a corregir la configuración del sistema eléctrico y eliminar los lazos que permiten los flujos de corrientes no deseadas por los conductores de puestas a tierra.



## **1.2. Descripción de la compañía**

La empresa objeto de estudio, comenzó con el nombre de CEDSA S.A. y fue constituida mediante la escritura pública N° 2320, el 26 de mayo de 1983 teniendo como actividad productiva inicial la elaboración de cables flexibles. La sociedad fue objeto de reestructuración de pasivos empresariales, en el año 2000, dentro del marco de la ley 550 de 1.999. A mediados del año 2004 la empresa celebró alianza estratégica con CONDUMEX de México, permitiéndole complementar el portafolio de sus productos, anticipándose así a la incidencia del ALCA.

CEDSA probó toda su energía y persistencia con motivo de la catástrofe causada por la inundación del Río de Oro, en febrero de 2005, donde sus máquinas, equipos, productos y materias primas fueron presas de dicha avalancha, pero con el empuje y entusiasmo de su gente logró sólo en dos meses volver y fortalecer su presencia en el mercado. En enero de 2007 la sociedad dio por terminado de manera anticipada el acuerdo de reestructuración empresarial. En febrero de 2007 y gracias a la imagen y posicionamiento de la empresa el Grupo Multinacional MADECO, la red más grande de Latinoamérica en la producción y comercialización de cables, adquirió la mayoría de las acciones de la compañía, convirtiéndonos en la mejor alternativa del sector eléctrico y de telecomunicaciones de Colombia y los países latinoamericanos por contar con el respaldo tecnológico, financiero y la experiencia de la casa matriz. En septiembre de 2008, el grupo francés NEXANS adquiere el 100% de la sociedad CEDSA S.A. y adopta como nueva razón social NEXANS COLOMBIA S.A. La planta de fabricación se encuentra ubicada en el parque industrial de Bucaramanga y cuenta con la presencia de oficinas comerciales en el resto del país.

## **1.3. Justificación del proyecto**

Las empresas tienen muchas opciones sobre cómo invertir su capital para obtener un beneficio de su inversión, y cada opción incluyendo calidad de energía debe

competir por los recursos financieros escasos con otras posibilidades de inversión. En la inversión de calidad de energía surge un problema particular, típico de cualquier inversión en reducción de costes. En el proceso de análisis presupuestario algunas inversiones están señaladas como estratégicas, las cuales tienen prioridad, otro tipo de inversiones son exigidas por la ley, las cuales nunca se podrán contemplar bajo criterios económicos así su rendimiento sea bajo. Una vez atendidas las necesidades de inversiones estratégicas y legales, suele quedar poco presupuesto para las medidas de reducción de costes, tal como la inversión en calidad de energía, lo cual obliga a que este tipo de inversión, el índice de rendimiento sea mayor al rendimiento de otros recursos.

La calidad de la energía eléctrica tiene repercusiones técnicas y económicas que son considerables en la industria, como consecuencia de una mala calidad principalmente se disminuye la vida útil de los equipos y se aumenta el consumo de energía y se aumentan considerablemente los gastos económicos en operación, mantenimiento de equipos y consumo de energía, razón considerable para que NEXANS S.A. invierta los recursos para mejorar la calidad de energía.

La necesidad de invertir en una solución para mejorar la calidad de la energía en NEXANS S.A. radica en el crecimiento proyectado, el cual demanda el uso de equipos electrónicos cada vez más sofisticados en los procesos de producción impactando considerablemente las características principales del suministro de energía. Debido a que estos equipos son susceptibles a pequeñas fluctuaciones en los parámetros de tensión, corriente y frecuencia, es de suma importancia mejorar la calidad de la energía, la cual se ha convertido en factor indispensable para garantizar el buen funcionamiento de equipos y mantener una alta confiabilidad de los sistemas de potencia.

La presencia de corrientes armónicas distorsiona la onda de la energía eléctrica y como consecuencia tiene un incremento en los costos de operación del sistema,

tales como pérdidas en los conductores, transformadores, motores, deterioro acelerado del equipo debido al calentamiento, además resta confiabilidad al sistema ya que algunas corrientes armónicas hacen disparar en falso ciertas protecciones. Como consecuencia de esto se obliga a paradas no programadas en la producción, lo cual repercute en pérdidas de producción.

#### **1.4. Estado del arte**

Existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica.

Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.

Una de las consecuencias más notorias de una mala calidad de energía eléctrica es la presencia de distorsiones armónicas fuera de tolerancias aceptables, lo que conlleva a fallas en las máquinas electrónicas y otros equipos sensibles de planta u oficinas.

Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Asimismo porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

Para aumentar la competitividad las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Usando equipos de alta eficiencia como motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatizando sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (micro-controladores, computadores, PLC, etc.).
- Reduciendo los costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reduciendo las pérdidas de energía.
- Evitando los costos por sobredimensionamiento y tarifas.
- Evitando el envejecimiento prematuro de los equipos.

La proliferación de equipos de control y automatización han aumentado los problemas de confiabilidad en la producción. Pues los equipos electrónicos son una fuente de perturbaciones para la calidad de la energía eléctrica pues distorsionan las ondas de tensión y corriente. Por otro lado los equipos de control y automatización son muy sensibles a distorsión o magnitud de la onda de tensión por lo que una variación en la calidad de la energía eléctrica puede ocasionar fallas que paralicen la producción ocasionando tiempo perdido y costos de producción inesperados.

Entonces hay que convivir con el problema y encontrarle soluciones cada vez más óptimas, para lo cual el estudio de los fenómenos de la calidad de la energía es indispensable.

Las ondas de tensión y corriente están definidas por las siguientes características principales:

- a. Número de Fases. La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.

- b. Amplitud de la onda: la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda senoide.
- El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta".
- El valor máximo negativo, "vientre o valle".
- El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".
- c. Frecuencia de la onda: La frecuencia (f) del movimiento ondulatorio se define como el número de oscilaciones completas o ciclos por segundo ( $f=1/T$ ).
- d. Forma de la onda.

También es necesario tomar en consideración un conjunto más amplio de indicadores de calidad, debido a sus efectos sobre el confort, la confiabilidad, el costo, el consumo, la demanda y el diseño de los sistemas de suministro eléctrico.

Según la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995 los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos:

- Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.
- Deformaciones en la forma de onda.

A continuación se describen las características típicas de los fenómenos electromagnéticos:

#### **1.4.1. Transitorio impulsivo**

Es un cambio súbito y unidireccional (positivo o negativo) en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos y de frecuencia diferente a la frecuencia del sistema de potencia.

Son de moderada y elevada magnitud pero de corta duración medida en microsegundos. Normalmente están caracterizados por sus tiempos de ascenso (1 a 10  $\mu$ sec) y descenso (20 a 150  $\mu$ sec) y por su contenido espectral.

#### **1.4.2. Transitorios oscilatorios**

Son un cambio súbito en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos, con polaridades positivas y negativas y de frecuencia diferente a la frecuencia de operación del sistema.

Este tipo de transitorio se describe por su contenido espectral, duración y magnitud. Por su frecuencia se clasifican en: transitorios de alta, media y baja frecuencia.

Los transitorios oscilatorios con una frecuencia mayor de 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o varios ciclos de la frecuencia fundamental) son considerados transitorios oscilatorios de alta frecuencia.

Cuando la frecuencia se encuentra entre 5 y 500 kHz se considera un transitorio de frecuencia media. Un transitorio con una frecuencia inferior a 5 kHz, y una duración de 0,3 ms a 50 ms, se considera un transitorio de baja frecuencia.

Sucede en los niveles de sub-transmisión y distribución y en los sistemas industriales y es causado por diversos tipos de eventos.

El más frecuente es la energización de bancos de capacitores que hacen oscilar la tensión con una frecuencia primaria entre 300 y 900 Hz. La magnitud pico observada normalmente es de 1,3 -1,5 p.u. con una duración entre 0,5 y 3 ciclos dependiendo del amortiguamiento del sistema

### 1.4.3. Variaciones de tensión de corta duración

**Depresiones:** Las depresiones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto.

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

Diferentes posibilidades existen para mitigar los efectos de los sags. La primera consiste en estabilizar la señal de tensión a través de acondicionadores de red, los cuales existen con diferentes principios y tecnologías.

**Crestas:** Una cresta (Swell) se define como un incremento del valor R.M.S. de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra.

También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

**Interrupciones:** Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal.

El recierre instantáneo generalmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión es irregular.

#### **1.4.4. Variaciones de tensión de larga duración**

Son aquellas desviaciones del valor R.M.S. de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto.

La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias en la tensión de estado estable en un sistema de potencia. Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando excede el límite de la ANSI por más de un minuto. Debe prestarse atención a los valores fuera de estos rangos.

En Colombia los límites están definidos por la Resolución CREG 024 de 2005 entre +10% y -10% de la tensión nominal.

La clasificación de las variaciones de tensión de larga duración son las siguientes:

**Sobretensión:** Es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. Las sobretensiones son



usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores.

Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

La incorrecta selección del TAP en los transformadores ocasiona sobretensión en el sistema.

**Baja tensión:** Es la reducción en el valor R.M.S. de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo.

Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.

La sobretensión y la baja tensión generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comúnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

**Interrupción sostenida:** Cuando la ausencia de tensión se manifiesta por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema.

#### **1.4.5. Desequilibrio de tensiones**

El desequilibrio de Tensiones en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación

máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje.

El desbalance también puede ser definido usando componentes simétricas como la relación de la componente de secuencia cero ó la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, expresada en porcentaje.

Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no detectadas. Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2%.

#### **1.4.6. Distorsión de la forma de onda**

La distorsión de la forma de onda es una desviación estable del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente, por el contenido espectral de la desviación.

Existen cinco formas primarias de distorsión de la forma de onda:

**Corriente DC:** La presencia de una tensión o corriente directa (DC) en un sistema de corriente alterna (AC) de potencia se denomina corrimiento DC (DC offset).

Esto puede ocurrir debido al efecto de la rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes. Este tipo de controlador, por ejemplo, puede consistir en diodos que reducen el valor R.M.S. de la tensión de alimentación por rectificación de media onda.

La corriente directa en redes de corriente alterna produce efectos perjudiciales al polarizar los núcleos de los transformadores de forma que se saturen en operación normal causando el calentamiento y la pérdida de vida útil en estos equipos.

La corriente directa es una causa potencial del aumento de la corrosión en los electrodos de puesta a tierra y en otros conductores y conectores.

**Armónicos:** Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz.

Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia.

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual.

Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- ✓ Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
- ✓ Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
- ✓ Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- ✓ Provocan la disminución del factor de potencia.
- ✓ Están asociados con el calentamiento de condensadores.
- ✓ Pueden provocar ferresonancia.

- ✓ Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.
- ✓ Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.
- ✓ Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.
- ✓ Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.

La mitigación de los efectos nocivos de los armónicos puede llevarse a cabo mediante:

- ✓ El monitoreo constante de los sistemas para detectar la presencia de armónicos indeseables.
- ✓ La utilización de filtros para eliminar los armónicos indeseables.
- ✓ El dimensionamiento los transformadores, máquinas y cables teniendo en cuenta la presencia de corrientes no sinusoidales (presencia de armónicos).

**Interarmónicos:** Son las tensiones o corrientes con componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual trabaja el sistema. Los interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las clases de tensiones. Las principales fuentes de interarmónicos son los convertidores estáticos de frecuencia, los ciclo convertidores, los motores asincrónicos y los dispositivos de arco. Efectos de calentamientos, similares a los producidos por los armónicos, son causados por los interarmónicos. Debido a que los interarmónicos son fuentes de son fuentes de las fluctuaciones de tensión, se presenta alto riesgo de la generación de flicker. La mitigación de los efectos de los interarmónicos se realiza con base en filtros pasivos.

**Muestras de Tensión (Notching):** Conocidas también como hendiduras, las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Como ocurren continuamente, son caracterizadas por el espectro armónico de la tensión afectada. Generalmente son tratadas como un caso especial ya que los componentes de frecuencia asociados a ellas pueden ser tan altos que no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para el análisis armónico. Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos. La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo. La inserción de reactancias inductivas también puede servir como solución, para mitigar el efecto de las muescas.

**Ruido:** El ruido es una señal eléctrica indeseable con un contenido espectral inferior a 200 kHz superpuesto a la tensión o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores neutros o líneas de señales. Puede ser causado por dispositivos de electrónica de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes conmutadas. Una de las causas más frecuente de ruidos son los generadores de emergencia baratos de baja calidad donde se manifiesta el efecto de las ranuras en la forma de onda del voltaje de salida.

#### 1.4.7. Fluctuaciones de tensión

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos de tensión especificados por la norma ANSI C84.1.

Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas “flicker”. El término flicker se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones.

Una de las causas más comunes de las fluctuaciones de tensión en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco. En otros sistemas más débiles las fluctuaciones se pueden deber a la presencia de equipos de soldadura por arco y cargas similares. La señal de flicker se define por su magnitud R.M.S. expresada como por ciento de la tensión nominal. Típicamente magnitudes tan bajas como 0,5% de la tensión del sistema pueden producir un titileo perceptible en las lámparas si la frecuencia está en el rango de 6 a 8 Hz. El flicker de tensión se mide con respecto a la sensibilidad del ojo humano.

El Consejo de la Industria de Tecnología de la Información (ITIC) describe los valores tolerables y la duración de las variaciones de voltaje que pueden ocurrir sin dañar o interrumpir las funciones de sus productos. Estos valores son aplicables a sistemas de 120 V R.M.S. a 60 Hz. Se definen tres regiones; la región prohibida, donde no es posible la explotación, la zona de operación sin interrupciones y la región donde no deben suceder daños permanentes a sus equipos ante variaciones de la magnitud mostrada.

#### **1.4.8. Variaciones de frecuencia en el sistema de potencia**

La variación de frecuencia es la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de su valor nominal especificado (60 Hz en el caso de Colombia). La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que componen el sistema. Normalmente existen ligeras variaciones de frecuencia debido a la fluctuación del balance entre la generación y la demanda de potencia de un sistema. El Consejo de la Industria de Tecnología de la

Información (ITIC) describe los valores tolerables y la duración de las variaciones de voltaje que pueden ocurrir sin dañar o interrumpir las funciones de sus productos. Estos valores son aplicables a sistemas de 120 V R.M.S. 60 Hz. Se definen tres regiones; la región prohibida, donde no es posible la explotación, la zona de operación sin interrupciones y la región donde no deben suceder daños permanentes a sus equipos ante variaciones de la magnitud mostrada.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto busca evaluar económicamente los resultados del “Estudio de calidad de la energía eléctrica y análisis de armónicos”, desarrollado por la firma Estudios eléctricos y energéticos Ltda. a través del análisis de los registros de las variables eléctricas obtenidos en el monitoreo realizado en las principales cargas eléctricas y el transformador general de distribución, el cual tiene una capacidad de 2 MVA, 34500V/440V, que alimenta a la planta de producción de NEXANS S.A. determinando el estado real y actual de funcionamiento de las instalaciones eléctricas, en busca de mecanismos que permitan mejorar su funcionamiento y hacer más eficiente el proceso de producción mediante el incremento de la confiabilidad y seguridad de las personas e instalaciones industriales.

Definiendo la calidad de la energía eléctrica como cualquier problema de potencia que se manifieste como una variación en la tensión, corriente o frecuencia cuyo resultado sean fallas o una mala operación de los equipos, agudizada por el desarrollo y utilización masiva de equipo electrónico altamente sensible a perturbaciones electromagnéticas, ha incrementado la atención, en cuanto a cómo es la calidad de las señales de tensión y de corriente, en los puntos de conexión del usuario a la red eléctrica y al interior de la organización, razón por la cual obtener y suministrar energía eléctrica de alta calidad cuyas características de voltaje, frecuencia, ruido, distorsión y conexión a tierra se encuentren todas dentro de los parámetros recomendados de la reglamentación y normatividad vigente, es una necesidad actual para todas las empresas.

### **2.1. *Parámetros generales del proyecto***

Para garantizar la calidad y confiabilidad del sistema eléctrico de NEXANS S.A., es necesario que el suministro de energía cumpla con ciertos parámetros como: Rangos de variación de tensión, frecuencia, susceptibilidad electromagnética,



distorsión de las formas de onda de las señales de tensión y corriente y estabilidad de la fuente de alimentación de energía. Partiendo del análisis de los parámetros que determinan la calidad de la energía eléctrica y el análisis de la curva de demanda, se proponen recomendaciones las cuales serán objeto de estudio económico, a partir del cual se recomendarán las alternativas de inversión y decisión adecuadas encaminadas en el incremento de la eficiencia y productividad de NEXANS S.A.

A través del diagnóstico realizado en el estudio de calidad de la energía eléctrica, se recomiendan soluciones para mejorar y dejar de incurrir en costos visibles como puntas de demanda, consumo de energía reactiva, deterioro en conductores, hilos de neutro y otros dispositivos y costos ocultos como redimensionamiento de las instalaciones debido a la sobrecarga de las líneas y transformador, parada de las instalaciones, mal funcionamiento de equipos de control o costos extras en tareas de mantenimiento. Con el fin de no incurrir en los costos mencionados, se realiza un análisis económico de los beneficios a obtener en términos monetarios frente a la inversión a realizar para mejorar la calidad de la energía, evaluando económicamente cada recomendación realizada en el estudio mencionado, el cual partió de la verificación del estado actual de las instalaciones eléctricas y verificación del cumplimiento de los requerimientos de la reglamentación eléctrica vigente, medición de los parámetros eléctricos en el transformador general y en cada una de las cargas eléctricas componentes de la planta de producción, a partir del cual se realizó un análisis de resultados.

## **2.2. Caracterización de cargas**

En el desarrollo de la metodología del estudio de calidad de la energía eléctrica y análisis de armónicos<sup>2</sup> realizado previamente, para el proceso de evaluación

---

<sup>2</sup> E.E.E. Ingeniería Ltda. Informe final Estudio de calidad de la energía eléctrica. Marzo de 2009.

y medición se realizó la medición de parámetros eléctricos de cada una de las cargas eléctricas componentes de la planta de producción, así como en el transformador general, igualmente se realizó la inspección visual de las instalaciones eléctricas, con el fin de verificar el estado actual de las mismas y el cumplimiento de los requerimientos de la reglamentación eléctrica vigente, lo cual permite determinar la susceptibilidad de daño e impacto de cada una de las máquinas y procesos sobre el funcionamiento de las demás y del sistema eléctrico en general y determinar el comportamiento y tendencia de los parámetros eléctricos básicos y la forma de onda de las señales particulares.

A partir de esta caracterización de las cargas se identifican los principales parámetros eléctricos de cada una, los cuales permiten realizar una comparación entre estas mismas, con el objeto de identificar máquinas con una incidencia crítica en la calidad de la energía eléctrica del sistema eléctrico de Nexans S.A.

La comparación de los principales parámetros eléctricos de cada una de las cargas, permiten determinar el 20% de los equipos que consumen aproximadamente el 80% de energía eléctrica utilizada en los procesos productivos.

Los principales parámetros eléctricos monitoreados para cada carga fueron:

- a. Factor de potencia aparente (FP)
- b. Corriente de línea (Arms)
- c. Potencia reactiva (KVAR)
- d. Potencia activa (KW)
- e. Potencia aparente (KVA)

Tabla 1. Caracterización de cargas

No.	Equipo	S(KVA)	P(KW)	Q(VAR)	I(Arms)	FP
1	Trefiladora de 16 hilos	336,28	135,3	307,57	458,12	0,4
2	Trefiladora de Gruesos TECALSA (Cu).	252,33	170,9	185,66	345,51	0,68
3	Trefiladora Finos Multi Hilos (NIEOFF,8 Hilos)	94,03	38,88	85,6	128,20	0,41
4	Trefiladora de Gruesos MATMEDIA (Al).	69,77	54,48	43,58	106,66	0,78
5	Trefiladora Finos Bi Hilos	55,37	27,77	44,03	71,58	0,5
6	Línea de Extrusión 1 (MAILLEFER)	46,62	29,55	36,01	75,93	0,63
7	Línea de Extrusión 4	39,24	38,75	6	53,70	0,99
8	Compresor SULLAIR V160	35,97	33,46	13,18	48,51	0,93
9	Línea de Extrusión 3	34,71	32,44	6,48	46,51	0,93
10	Compresor SULLAIR ESB	33,33	29,31	15,87	46,02	0,88
11	Línea de Extrusión 5 – EXTRUSION	25,68	12,19	22,4	34,71	0,47
12	Línea de Extrusión 2	18,49	9,97	-7,95	24,96	0,54
13	Trefiladora Finos Mono Hilos	16,11	11,6	11,17	22,07	0,72
14	SKALTEK	13,3	11,11	5,89	19,98	0,84
15	Cableadora SZ – EXTRUSORA	12,28	9,59	7,3	16,53	0,78
16	Trefiladora Rígida	9,73	7,42	2,48	13,18	0,76
17	Down Twister	9,29	6,79	1,82	12,61	0,73
18	Cableadora WATSON Rígida	7,83	5,84	-0,65	10,54	0,75
19	Buncher LESMO	7,57	2,48	7,14	10,17	0,33
20	Buncher 1250	7,02	3,25	6,02	9,57	0,46
21	Buncher 800	6,07	3,9	-1,68	8,29	0,64
22	Línea de Extrusión 5 – BOBINADOR	5,76	0,9	5,69	7,70	0,16
23	Cableadora Rígida WC	4,17	3,25	-1,62	5,60	0,78
24	Cableadora SZ	3,42	2,4	2,41	4,55	0,7

Fuente: Estudio de calidad de la energía eléctrica.

De la caracterización de cargas se obtiene como resultado las cargas críticas de la planta de producción de NEXANS S.A.

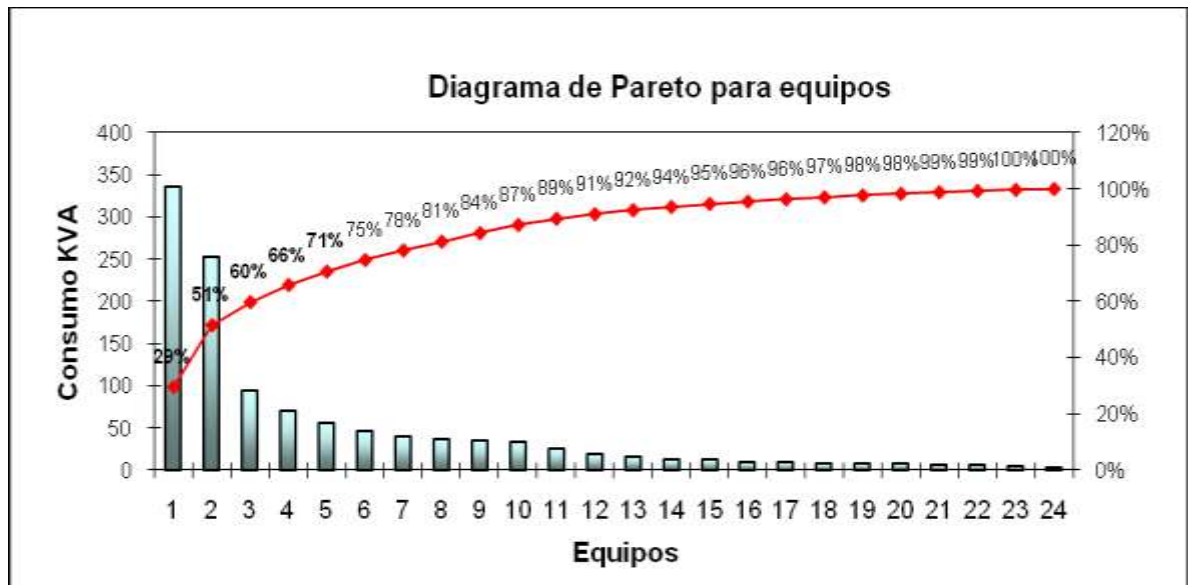
Tabla 2. Cargas críticas.

No.	Equipo	S(KVA)	Consumo total	%	Consumo acumulado	% acumulado
1	Trefiladora de 16 hilos	336,28	1144,37	29,4%	336,28	29%
2	Trefiladora de Gruesos TECALSA (Cu).	252,33	1144,37	22,0%	588,61	51%
3	Trefiladora Finos Multi Hilos (NIEOFF,8 Hilos)	94,03	1144,37	8,2%	94,03	60%
4	Trefiladora de Gruesos MATMEDIA (Al).	69,77	1144,37	6,1%	163,8	66%
5	Trefiladora Finos Bi Hilos	55,37	1144,37	4,8%	55,37	71%
6	Línea de Extrusión 1 (MAILLEFER)	46,62	1144,37	4,1%	101,99	75%
7	Línea de Extrusión 4	39,24	1144,37	3,4%	39,24	78%
8	Compresor SULLAIR V160	35,97	1144,37	3,1%	75,21	81%
9	Línea de Extrusión 3	34,71	1144,37	3,0%	34,71	84%
10	Compresor SULLAIR ESB	33,33	1144,37	2,9%	68,04	87%
11	Línea de Extrusión 5 – EXTRUSION	25,68	1144,37	2,2%	25,68	89%
12	Línea de Extrusión 2	18,49	1144,37	1,6%	44,17	91%
13	Trefiladora Finos Mono Hilos	16,11	1144,37	1,4%	16,11	92%
14	SKALTEK	13,3	1144,37	1,2%	29,41	94%
15	Cableadora SZ – EXTRUSORA	12,28	1144,37	1,1%	12,28	95%
16	Trefiladora Rígida	9,73	1144,37	0,9%	22,01	96%
17	Down Twister	9,29	1144,37	0,8%	9,29	96%
18	Cableadota WATSON Rígida	7,83	1144,37	0,7%	17,12	97%
19	Buncher LESMO	7,57	1144,37	0,7%	7,57	98%
20	Buncher 1250	7,02	1144,37	0,6%	14,59	98%
21	Buncher 800	6,07	1144,37	0,5%	6,07	99%
22	Línea de Extrusión 5 – BOBINADOR	5,76	1144,37	0,5%	11,83	99%
23	Cableadota Rígida WC	4,17	1144,37	0,4%	4,17	100%
24	Cableadora SZ	3,42	1144,37	0,3%	7,59	100%

El análisis que se puede hacer a partir del diagrama pareto del consumo de energía eléctrica de los equipos, es que la Trefiladora de 16 hilos y Trefiladora de gruesos TECALSA son los que generan el mayor consumo, sin embargo para concentrar esfuerzos se observa que en estos dos equipos se generan los mayores porcentajes de consumos, y sí se logra una reducción en sus

consumos se puede reducir de manera importante el consumo general de energía eléctrica en NEXANS S.A.

Ilustración 1. Diagrama de Pareto para cargas.



### 2.3. Impacto de las cargas

El análisis del comportamiento y tendencia de los parámetros eléctricos básicos de cada una de las máquinas y equipos componentes de los procesos de producción, permiten determinar la susceptibilidad de daño e impacto de cada una de las máquinas y procesos sobre el funcionamiento de las demás y del sistema eléctrico en general. Como observación principal en el estudio de calidad de la energía eléctrica, se encuentra que la mayoría de las cargas son altamente no lineales por ser controladas por dispositivos semiconductores de potencia y basar su principio de funcionamiento en el proceso de rectificación e inversión de voltaje de corriente alterna que las alimenta<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> E.E.E. Ingeniería Ltda. Estudio final de calidad de la energía eléctrica. Marzo de 2009. Pág. 32.

A continuación en la siguiente tabla, se pueden observar en forma ordenada las cargas de la planta de producción de Nexans S.A. de acuerdo a la demanda de energía eléctrica, a su no linealidad e impacto que pueden generar en el desmejoramiento de la calidad del suministro de energía eléctrica en el interior de las instalaciones.

Tabla 3. Comparativo de cargas críticas de Nexans S.A.

Comparativo de cargas críticas Nexans S.A.							
No.	CARGA	S (KVA)	P(KW)	Q (VAR)	I (Arms)	THDi (%)	FP
1	Trefiladora 16 Hilos	336.28	135.34	307.57	458.12	24.46	0.40
2	Trefiladora Gruesos TECALSA	252.33	170.87	185.66	345.51	19.53	0.68
3	Trefiladora Finos Multi Hilos.	94.03	38.88	85.60	128.20	32.01	0.41
4	Trefiladora Gruesos Matmedia	69.77	54.48	43.58	106.66	33.33	0.78
5	Trefiladora Finos Bi Hilos.	55.37	27.77	44.03	71.59	71.06	0.50
6	Trefiladora Finos Mono Hilos.	16.11	11.60	11.17	22.07	55.25	0.72
7	Cableadora Rígida	9.73	7.42	2.48	13.18	71.26	0.76

Fuente: Estudio de calidad de la energía eléctrica

De la tabla anterior se observa que la máquina que mayor impacto crea en la calidad de la energía eléctrica es la Trefiladora de 16 Hilos por la magnitud de la corriente exigida, el grado de distorsión de la señal de corriente y su bajo factor de potencia. Se observa además que esta máquina demanda el 16.81% de la potencia total aparente (2000 KVA) del transformador general de la planta de producción, con el factor de potencia más bajo de las demás máquinas principales. Se observa también que el consumo total de potencia reactiva de las principales máquinas de la planta es de 680.08 KVAR que representa el 34.0% de la potencia total del transformador general (2000 KVA).

#### 2.4. Análisis e impacto de armónicos

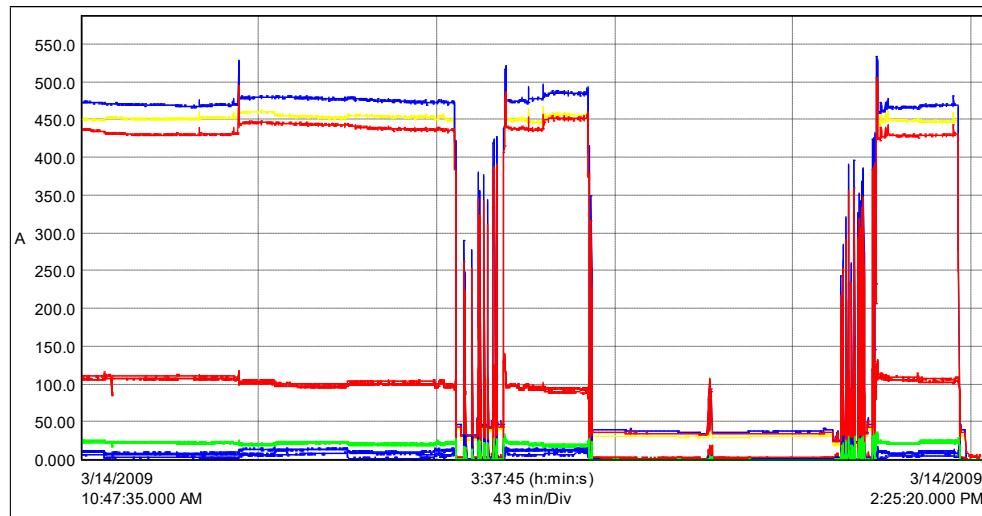
El impacto generado en la distorsión de las señales de voltaje y corriente debido al flujo de armónicos, también fue objeto de estudio, tanto en el transformador

general, en el banco de condensadores y en las cargas críticas identificadas, dado la incidencia en la calidad de la energía eléctrica, en el estudio realizado, se evidenció lo descrito a continuación.

La Trefiladora de 16 Hilos al funcionar en condiciones normales, inyecta a la red una corriente armónica de orden 5º con una magnitud del 25% del total demandado por la máquina. Lo anterior implica que al exigir la Trefiladora de 16 Hilos una corriente total de 460 Arms, la componente armónica de corriente de orden 5º que inyecta al sistema eléctrico de la planta de producción es de 115 Arms.

Lo anterior se obtuvo como resultado de analizar la compatibilidad electromagnética y el efecto en la calidad de la energía eléctrica utilizada al interior de la planta de producción, realizándose maniobras entre los diferentes componentes del sistema eléctrico. Se le exigió la mayor carga posible al sistema eléctrico y se realizaron maniobras de conexión y desconexión en forma controlada de los diferentes bancos de condensadores para analizar el flujo de las componentes armónicas de corriente por los conductores de puesta a tierra y su efecto en las señales de corriente y de voltaje. Evidenciándose que los armónicos inyectados por la Trefiladora de 16 hilos al sistema eléctrico son como lo indica la figura a continuación.

Ilustración 2. Magnitud total de corriente y componentes armónicas (T 16H)

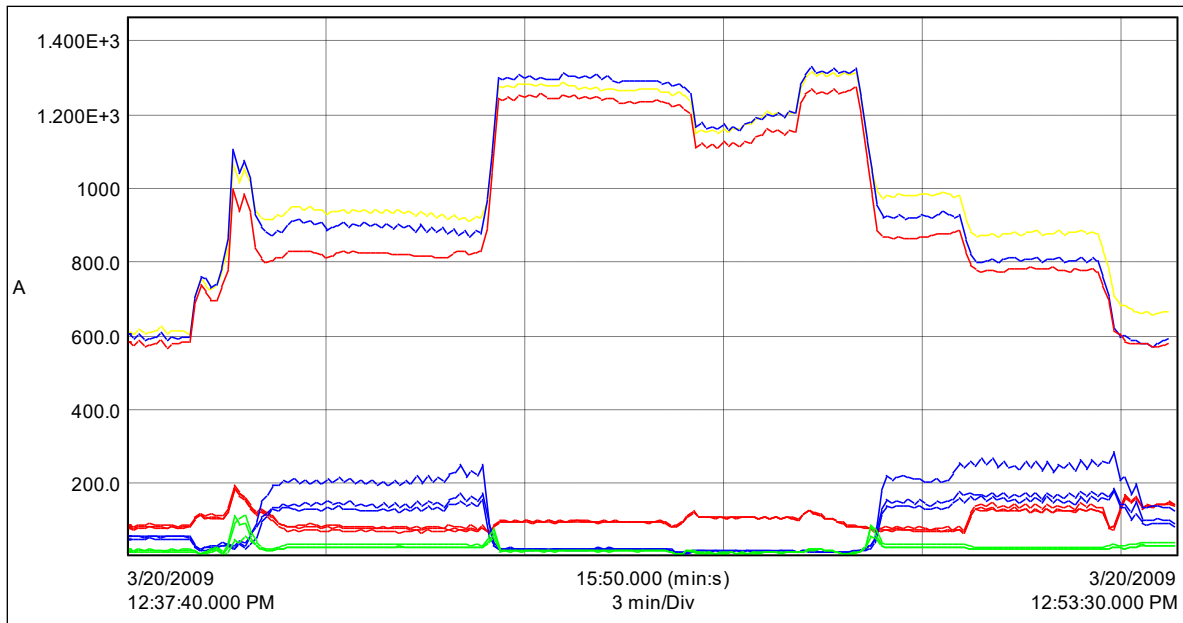


Fuente: Estudio de calidad de la energía eléctrica

Otro efecto evidenciado a causa del alto contenido de componentes de frecuencia en las señales de corriente, son los condensadores instalados para corregir el factor de potencia, los cuales se comportan como sumideros de corrientes armónicas e incrementan la distorsión armónica total de las señales de voltaje y de corriente. Con el objetivo de mostrar el impacto generado en la distorsión de las señales de voltaje y corriente debido al flujo de los armónicos de corriente en presencia de los condensadores, se procedió a hacer una maniobra de desenergizar los bancos de condensadores existentes en condiciones de carga máxima del transformador principal y se encontró lo descrito en la figura siguiente.



Ilustración 3. Efecto de amplificación de armónicos.



Componentes armónicas de corriente: 5º (Rojo), 7º (Azul) y 11º (Verde)  
Fuente: Estudio de calidad de energía eléctrica.

Esto da como resultado un elevado valor de distorsión armónica total de voltaje (THDv) y de corriente (THDi) registrados en el sistema, debido a la utilización de bancos de condensadores convencionales para corregir el factor de potencia en presencia de componentes armónicas de corriente. Los condensadores están actuando como amplificadores de corrientes armónicas de orden 7º, en el momento de operar para corregir el factor de potencia. Lo anterior representa un riesgo inminente de generar una situación de resonancia electromagnética entre los diferentes componentes del sistema eléctrico con sus repercusiones destructivas, especialmente con la entrada en operación de cargas no lineales tales como la Trefiladora de 16 hilos.

## 2.5. Impacto de instalaciones eléctricas

Al igual que las cargas asociadas al sistema eléctrico son objeto de análisis, las instalaciones eléctricas son objeto de inspección, con el propósito de garantizar

confiabilidad y seguridad en el sistema de suministro de la energía eléctrica en la planta de producción de Nexans S.A., asegurando una adecuada conexión y configuración de las instalaciones eléctricas. Para esto se realizó una inspección y verificación del cumplimiento de las normas nacionales vigentes (RETIE, NTC 2050) en la construcción de las instalaciones eléctricas y modificaciones realizadas en la subestación principal. Además de estas normas se tuvieron en cuenta los lineamientos y recomendaciones establecidos en normas internacionales (Stds. IEEE 142-1991, IEEE 80 2000, IEEE 519-1992, IEEE 1159-1995) cuyo objetivo primordial es el de preservar y garantizar la vida e integridad de las personas, los animales y el medio ambiente.

Según la verificación realizada se evidenció que la configuración actual del sistema de puesta a tierra de la planta de producción *no cumple* con los lineamientos establecidos por la reglamentación eléctrica vigente y por ende no está realizando su función de protección del sistema eléctrico correctamente. Existen conexiones inadecuadas del mismo que permiten el flujo de corrientes de puesta a tierra de magnitud significativa y peligrosa en forma permanente y en condiciones de operación en estado estable del sistema eléctrico de la planta<sup>4</sup>.

## **2.6. Proyección de crecimiento de carga**

Al año 2015 se proyecta tener un incremento en las ventas considerable lo cual conllevaría a una relación directamente proporcional al incremento en la carga eléctrica de la planta de NEXANS, razón por la cual la inversión de capital que aporte a la confiabilidad y calidad de la energía eléctrica contribuirá a fortalecer los indicadores de productividad y efectividad de la compañía y por ende al logro de los objetivos estratégicos.

---

<sup>4</sup> E.E.E. Ingeniería Ltda. Informe final de estudio de calidad de la energía eléctrica. Conclusiones. Pág. 38.

### **3. EVALUACIÓN DEL PROYECTO**

A través del análisis económico del proyecto se determina la viabilidad de incrementar la confiabilidad del sistema eléctrico y la seguridad de las instalaciones industriales, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de producción de NEXANS S.A. se estima el impacto financiero del proyecto a través del método de verdadera rentabilidad, comparando la asignación de recursos necesarios para una inversión, frente a los hallazgos a mejorar para la configuración del sistema eléctrico, identificados en el estudio técnico realizado previamente.

Para abordar la evaluación financiera del proyecto se tiene en cuenta la identificación de beneficios, cuantificación de estos en términos monetarios, de tal forma que puedan compararse diferentes beneficios entre sí y contra los costos de obtenerlos, identificación de costos, cuantificación de estos en términos monetarios para permitir comparaciones, determinación de beneficios y costos equivalentes, determinando el valor relativo del dinero en el tiempo con el objetivo de medir la bondad financiera del proyecto de inversión a través del cálculo de la tasa verdadera de rentabilidad, la cual combina las características del proyecto, reflejadas en su tasa de rentabilidad, con las características del inversionista, reflejada en la tasa de interés de oportunidad.

#### **3.1 *Análisis económico***

Comienza con la determinación de los costos totales y la inversión inicial, cuya prioridad según nivel de criticidad, son la instalación de filtros para contrarrestar la presencia de componentes de frecuencia armónica, porque a pesar de no existir penalización por inyectar armónicos a la red, estos producen pérdidas en receptores, y estas pérdidas son Kwh que se consumen innecesariamente.

A continuación se mencionan las pérdidas más significativas que se presentan en NEXANS S.A. debido a la mala calidad de energía.

- Pérdidas energéticas: Los armónicos producen pérdidas adicionales (efecto joule) en los conductores y equipos.
- Reducción de la vida útil de los equipos: Cuando el nivel de distorsión en la tensión de alimentación se aproxima al 10%, la duración de la vida útil del equipo se reduce considerablemente.

### **3.1.1. Análisis de la inversión**

La inversión necesaria para mejorar la calidad de la potencia en el sistema eléctrico en NEXANS, requiere la destinación de los siguientes recursos.

Tabla 4. Valor de la inversión.

<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>\$COL</b>
1	Filtro activo Trefiladora 16 Hilos	\$ 123.600.000
2	Filtro activo Trefiladora TECALSA	\$ 61.800.000
3	Medición y reestructuración sistema de puesta a tierra	\$ 2.500.000
4	Reestructuración y configuración del sistema eléctrico general	\$ 70.000.000
5	Reestructuración banco de condensadores	\$ 9.000.000
6	Filtro activo subestación principal	\$ 123.600.000
7	Sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas	\$ 60.000.000
8	Implementación de un diagrama unifilar	\$ 2.500.000
9	Sistema de gestión y administración del consumo de la energía incluyendo 15 máquinas principales	\$ 32.000.000
	Subtotal	<b>\$ 485.000.000</b>
	Mano de obra	<b>\$19.400.000</b>
	Total	<b>\$504.400.000</b>

### **3.1.2. Análisis de beneficios económicos**

Por medio de la inversión en este proyecto, NEXANS S.A. obtendrá los siguientes beneficios tangibles e intangibles por contar con una buena calidad de energía, los cuales se definen a través de la mejora de la confiabilidad y estabilidad del sistema eléctrico.

- Evitar sanciones por la presencia de componentes de frecuencias armónicas en las señales de corriente en la planta de producción, con el fin de cumplir con los límites establecidos en la norma IEEE 519 de 1992, estándar que recomienda mantener los niveles de distorsión de voltaje por debajo del 5%, y evitar la reducción de la vida útil por sobrecalentamiento de motores, generadores, transformadores y cables, falla de bancos de capacitores, falla de transformadores.
- Evitar el riesgo inminente de generar una situación de resonancia entre los diferentes componentes del sistema eléctrico con sus repercusiones destructivas, logrando un funcionamiento adecuado de los bancos de condensadores, a través del cambio de unidades defectuosas.
- Disminución de costos de mantenimiento por decremento en paros y arranques de equipos.
- Incrementar el factor de potencia de los equipos.
- Garantizar la protección del sistema eléctrico a través de la configuración adecuada del sistema de puesta a tierra de la planta de producción y el cumplimiento de la normatividad eléctrica vigente.
- Asegurar la confiabilidad del sistema eléctrico frente al crecimiento de capacidad de producción de la planta, según estimación de ventas al 2015.
- Incremento de seguridad en las instalaciones.
- Optimización de las operaciones.
- Optimización de actividades del personal.
- Permitir un nivel competitivo de excelencia.

De acuerdo a la información estadística del año 2010 del área de producción y mantenimiento, la cual ha sido analizada, se cuantificaron los siguientes beneficios para expresarlos en términos de dinero.

**3.1.2.1. Beneficio anual por la reducción de fallas en la planta de producción**

La estimación del costo de una interrupción de suministro de energía, corresponde al valor de las oportunidades de ganancias o beneficios que se hubieran producido de no mediar la interrupción, para lo cual se estiman los costos con estadísticas de paradas de la planta de producción en el año 2010 a causa de fallas en el sistema eléctrico. (Ver anexo A).

Tabla 5. Ahorro económico por mantenimiento de averías eléctricas

Descripción	Tiempo en horas al año	Pérdidas 2010 [ \$/año]
Mantenimiento averías eléctricas	349:50	\$ 136.800.000

Pero considerando, que del total de fallas clasificadas como averías eléctricas en el año de estudio, solo corresponden al 40% atribuible a la calidad de energía, el beneficio real, al mejorar la calidad de la energía eléctrica corresponde solo a este porcentaje.

Adicionalmente este porcentaje atribuible solo a fallas de calidad de energía, repercute también en las paradas de producción ocasionadas por averías eléctricas.

Tabla 6. Ahorro económico por paradas de producción

Descripción	Ton de cobre dejadas de producir	Pérdidas 2010 [ \$/año]
Paradas de producción por averías eléctricas	23	\$119.600.000

Este ahorro económico por paradas de producción, corresponde a las toneladas de cobre dejadas de producir (\$598.000.000), las cuales bajo la política de inventario de tener en stock el 50% más de la demanda, solo correspondería a un ahorro real de \$ 299.000.000, por demanda de pedidos no atendidos, y al discriminar del total de averías eléctricas que ocasionaron paradas de producción solo el 40% corresponden a fallas de calidad de la energía, por lo cual el ahorro real sería de \$119.600.000.

### **3.1.2.2. Beneficio por penalización consumo reactiva**

El costo asociado al consumo de energía eléctrica de la planta NEXANS S.A. en el año 2010 se puede apreciar en la tabla siguiente, el cual tiene asociado una tarifa de cliente no regulado, con nivel de tensión 3. En el transcurso del año objeto de estudio no fue penalizado por consumo de energía reactiva. (Ver anexo B).

Tabla 7. Ahorro económico por penalización

Descripción	[Kwh]	Costo facturación año 2010	Costo penalización
Consumo energía eléctrica	5.183.577	\$ 956.646.893	\$ 0.

### **3.1.2.3. Beneficio por reducción de tiempo ocioso del personal de producción**

Aumentando la confiabilidad del sistema eléctrico de NEXANS S.A. se elimina el riesgo de falla por calidad de la energía y por ende la interrupción de la producción a causa de esta razón en un 40%, por la cual el talento humano asignado no tendrá tiempo ocioso asociado a este porcentaje.

Tabla 8. Ahorro económico por mano de obra ociosa

<b>Descripción</b>	<b>[\$/hr]</b>	<b>Costo mano de obra año 2010</b>
Costo de mano de obra por paradas	3.800	\$ 2.656.960

### **3.1.2.4. Beneficio económico por corrección del factor de potencia**

Tener un bajo factor de potencia presenta falencias en el consumo de energía ya que el sistema consume más de lo que necesita, al corregir el factor de potencia se reduce la presencia de reactivos en la red y se disminuye la corriente rms. Este beneficio no se tiene en cuenta para la evaluación financiera del proyecto.

### **3.1.2.5. Beneficio económico por armónicos en la red**

Los armónicos al presentarse también como corrientes producen pérdidas de potencia y energía en la red eléctrica debido a las impedancias del mismo. Este beneficio no se tiene en cuenta para la evaluación financiera del proyecto.



### **3.1.2.6. Beneficios totales**

A los beneficios anteriormente estimados, se les tiene en cuenta que habrá un nivel de falla del 5% atribuible a la calidad de la energía, por lo tanto los beneficios reales a obtener por invertir en el proyecto son los siguientes.

Tabla 9. Beneficio económico producto de mejorar la calidad de la energía

<b>Análisis económico</b>	<b>Valor [\$/año]</b>
Beneficio por mantenimiento de averías eléctricas	\$ 119.700.000
Beneficio por paradas de producción	\$104.650.000
Beneficio por mano de obra ociosa	\$ 2.324.840
Total	\$226.674.840

### **3.1.3. Costos de oportunidad del proyecto**

Las consecuencias de no invertir en este proyecto son:

- Mayores riesgos de fallo de operación.
- Mayores costos de mantenimiento a causa de averías eléctricas.

### **3.2. Premisas de evaluación**

Para realizar la evaluación económica se tienen en cuenta las siguientes pautas a partir de las cuales se plantea el modelo.

#### **Horas de paradas por fallas eléctricas**

Una parada en las máquinas más críticas, como por ejemplo las trefiladoras o extrusoras, las cuales están por debajo de su capacidad máxima de producción

puede ocasionar un mayor impacto en la producción. Se determinó el tiempo de falla en horas por estadísticas del proceso productivo del año 2010 de NEXANS, con base en los registros anualizados de tiempo medio de fallas. Se determinó estadísticamente que del total de fallas eléctricas solo el 40% de estas son atribuibles a la calidad de la energía.

### **Fallas eléctricas atribuibles a calidad de energía**

Se estima que habrá presente un 5% de fallas eléctricas atribuibles a calidad de la energía invirtiendo en este proyecto.

### **Incremento del 2% al año por concepto de IPC.**

Para la proyección de costos de operación y mantenimiento se supone un incremento anualizado de 2%, lo cual representa en promedio el IPC en Colombia.

### **Costo directo de la reparación de una falla de operación**

Se supone un valor del 40% del costo de mantenimiento de averías eléctricas atribuibles a la calidad de energía, este costo en la realidad puede variar según el tipo de falla, máquina en la que se presenta la falla entre otros.

### **Valor de depreciación**

Para el cálculo de la depreciación se utiliza el método de línea recta, el cual consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo. Según el decreto 3019 de 1989, la maquinaria y equipo tienen una vida útil de 10 años.

### **Valor de salvamento**

El valor de salvamento o valor residual, es aquel valor que se estima por el que la empresa podrá vender el activo una vez finalizada la vida útil del mismo. Para el caso de evaluación financiera del proyecto, este valor se incluye en el último periodo de evaluación, determinado por la diferencia entre el valor de los equipos (filtros) y el valor de depreciación de estos.

### **Tasa de oportunidad (WACC) de la compañía real**

NEXANS cuenta con una tasa de oportunidad del 5,3%, este dato nos servirá de pauta para el análisis económico.

### **Tasa de reinversión**

NEXANS cuenta con una tasa de oportunidad del 3%, este dato nos servirá de pauta para el análisis económico.

### **3.3. Análisis de rentabilidad**

Para la evaluación financiera se siguen los siguientes pasos, en los cuales se tienen en cuenta todos los ingresos y egresos del proyecto de inversión, los impuestos, depreciación y valor de salvamento. Se calcula la tasa verdadera de rentabilidad, la cual se utiliza como criterio que evalúa la rentabilidad del dinero invertido durante la vida del proyecto, partiendo del supuesto de que el dinero recibido durante el transcurso del proyecto será invertido al interés de oportunidad (Tasa de reinversión), para lo cual se traen los flujos a valor presente neto, con el WACC y la tasa de reinversión, se estima el cálculo, representado en el valor de la TIRM, Tasa Interna de Retorno Modificada, la cual debe ser superior al WACC de la Compañía.

## **4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Con el fin de determinar cuáles son las variables que más afectan el rendimiento económico del proyecto, se realiza un análisis de sensibilidad con distintos escenarios.

### **4.1. Sensibilidad según el tipo de financiación**

La variable principal de análisis es la determinación del financiamiento más adecuado que conlleve una optimización del retorno del proyecto, teniendo en cuenta aspectos relevantes como costos y riesgos. Para lo cual se estructuran dos alternativas de financiación.

La primera alternativa, el escenario uno, se estructura financiar con capital propio el primer desembolso requerido del proyecto, en el periodo cero por su criticidad y el resto del valor del proyecto de inversión con un préstamo bancario de mediano plazo, el cual se desembolsa al final del periodo uno del horizonte de análisis del proyecto, y se difiere a un plazo de cuatro años.

La segunda alternativa de financiación del valor total del proyecto de inversión es solo con capital propio, este corresponde al escenario dos.

Tabla 10. Evaluación económica. Escenario 1.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO INVERSIÓN							
ESCENARIO 1							
Tasa de descuento WACC	5%	Tasa de reinversión			3%		
Tasa de impuestos	33%						
<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	
<b>Periodo</b>	0	1	2	3	4	5	
<b>Inversiones</b>	\$ (128.544.000)	\$ (375.856.000)					
Filtro trefiladora 16 hilos	\$ (123.600.000)						
Filtro trefiladora Tecalsa		\$ (61.800.000)					
Reestructuración sistema puesta a tierra		\$ (2.500.000)					
Reestructuración del sistema eléctrico general		\$ (70.000.000)					
Reestructuración banco de condensadores		\$ (9.000.000)					
Filtro activo sub-estación principal		\$ (123.600.000)					
Sistema de apantallamiento contra descargas		\$ (60.000.000)					
Diagrama unifilar		\$ (2.500.000)					
Sistema de gestión de consumo de energía		\$ (32.000.000)					
Mano de Obra	\$ (4.944.000)	\$ (14.456.000)					
<b>Financiación</b>	\$ -	\$ 375.856.000	\$ (168.752.604)	\$ (168.752.604)	\$ (168.752.604)	\$ (168.752.604)	
Costo capital	\$ -	\$ -	\$ (114.133.852,48)	\$ (93.557.928,19)	\$ (65.230.661,17)	\$ (26.231.972,91)	
Abono capital	\$ -	\$ -	\$ (54.618.751,21)	\$ (75.194.675,50)	\$ (103.521.942,52)	\$ (142.520.630,78)	
Desembolso crédito		\$ 375.856.000				-	
<b>Ingresos por calidad y confiabilidad</b>	\$ -	\$ 226.674.840	\$ 231.208.337	\$ 231.670.753	\$ 236.304.169	\$ 241.030.252	
Ahorro económico por no mantenimiento de averías eléctricas		\$ 119.700.000	\$ 122.094.000	\$ 122.338.188	\$ 124.784.952	\$ 127.280.651	
Ahorro económico por no paradas de producción		\$ 104.650.000	\$ 106.743.000	\$ 106.956.486	\$ 109.095.616	\$ 111.277.528	
Ahorro económico por mano de obra ociosa		\$ 2.324.840	\$ 2.371.337	\$ 2.376.079	\$ 2.423.601	\$ 2.472.073	
Ahorro económico por incremento de FP							
Ahorro económico por no tener armónicos en la red							
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	\$ -	\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
Costo de reparación máquinas por averías eléctricas		\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
<b>Utilidad antes de impuesto y depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ 211.842.840	\$ 79.994.484	\$ 100.291.225	\$ 132.495.475	\$ 175.448.686	
<b>Depreciación (Método línea recta)</b>		\$ (12.360.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	
<b>Utilidad despues de depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ 199.482.840	\$ 49.094.484	\$ 69.391.225	\$ 101.595.475	\$ 144.548.686	
<b>Impuesto de Renta</b>		\$ (65.829.337)	\$ (16.201.180)	\$ (22.899.104)	\$ (33.526.507)	\$ (47.701.067)	
<b>Utilidad despues de depreciación e Impuesto</b>	\$ (128.544.000)	\$ 146.013.503	\$ 9.174.553	\$ 2.197.445	\$ (4.552.974)	\$ 158.266.989	
<b>VPN (0%)</b>	\$ 182.555.517					\$ 309.000.000	
<b>VPN (WACC%)</b>	\$ 138.823.248					\$ (135.960.000)	
<b>TIRM</b>	20,43%				<b>Valor residual</b>	\$ 173.040.000	
<b>TIR</b>	45,57%						

Tabla 11. Evaluación económica. Escenario 2.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO INVERSIÓN							
ESCENARIO 2							
Tasa de descuento WACC	5%	Tasa de reinversión			3%		
Tasa de impuestos	33%						
Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Periodo	0	1	2	3	4	5	
<b>Inversiones</b>	\$ (128.544.000)	\$ (375.856.000)					
Filtro trefiladora 16 hilos	\$ (123.600.000)						
Filtro trefiladora Tecalsa		\$ (61.800.000)					
Reestructuración sistema puesta a tierra		\$ (2.500.000)					
Reestructuración del sistema eléctrico general		\$ (70.000.000)					
Reestructuración banco de condensadores		\$ (9.000.000)					
Filtro activo sub-estación principal		\$ (123.600.000)					
Sistema de apantallamiento contra descargas		\$ (60.000.000)					
Diagrama unifilar		\$ (2.500.000)					
Sistema de gestión de consumo de energía		\$ (32.000.000)					
Mano de Obra	\$ (4.944.000)	\$ (14.456.000)					
<b>Ingresos por calidad y confiabilidad</b>	\$ -	\$ 226.674.840	\$ 231.208.337	\$ 231.670.753	\$ 236.304.169	\$ 241.030.252	
Ahorro económico por no mantenimiento de averías eléctricas		\$ 119.700.000	\$ 122.094.000	\$ 122.338.188	\$ 124.784.952	\$ 127.280.651	
Ahorro económico por no paradas de producción		\$ 104.650.000	\$ 106.743.000	\$ 106.956.486	\$ 109.095.616	\$ 111.277.528	
Ahorro económico por mano de obra ociosa		\$ 2.324.840	\$ 2.371.337	\$ 2.376.079	\$ 2.423.601	\$ 2.472.073	
Ahorro económico por incremento de FP							
Ahorro económico por no tener armónicos en la red							
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	\$ -	\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
Costo de reparación máquinas por averías eléctricas		\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
<b>Utilidad antes de impuesto y depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ (164.013.160)	\$ 194.128.337	\$ 193.849.153	\$ 197.726.137	\$ 201.680.659	
<b>Depreciación (Metodo linea recta)</b>		\$ (12.360.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	
<b>Utilidad despues de depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ (176.373.160)	\$ 163.228.337	\$ 162.949.153	\$ 166.826.137	\$ 170.780.659	
<b>Impuesto de Renta</b>		\$ 58.203.143	\$ (53.865.351)	\$ (53.773.221)	\$ (55.052.625)	\$ (56.357.618)	
<b>Utilidad despues de depreciación e Impuesto</b>	\$ (128.544.000)	\$ (105.810.017)	\$ 140.262.986	\$ 140.075.933	\$ 142.673.511	\$ 318.363.042	
<b>VPN (0%)</b>	\$ 507.021.454						
<b>VPN (WACC%)</b>	\$ 379.400.543						
<b>TIRM</b>	27,35%						
<b>TIR</b>	43,31%						

## 4.2. Sensibilidad según el riesgo de falla

Se analizarán otros dos escenarios adicionales, en los cuales el riesgo de falla es mayor al esperado, es decir un riesgo de falla del 15% atribuible a calidad de la energía una vez se realice el proyecto de inversión, pero cada uno, con un tipo de financiación diferente, el escenario 3 es financiación con capital propio y el escenario 4 es financiación con préstamo bancario de mediano plazo, el cual se desembolsa al final del periodo uno del horizonte de análisis del proyecto, y se difiere a un plazo de cuatro años.

A partir de la evaluación económica de los cuatro escenarios simulados, a través de la tasa de verdadera rentabilidad (TIRM) se determina que el mejor escenario bajo este criterio, es el escenario 2, según ilustración, se puede observar el comportamiento de las dos tasas de evaluación (TIR y TIRM) para cada escenario evaluado.

Ilustración 4. Comparativo económico de escenarios

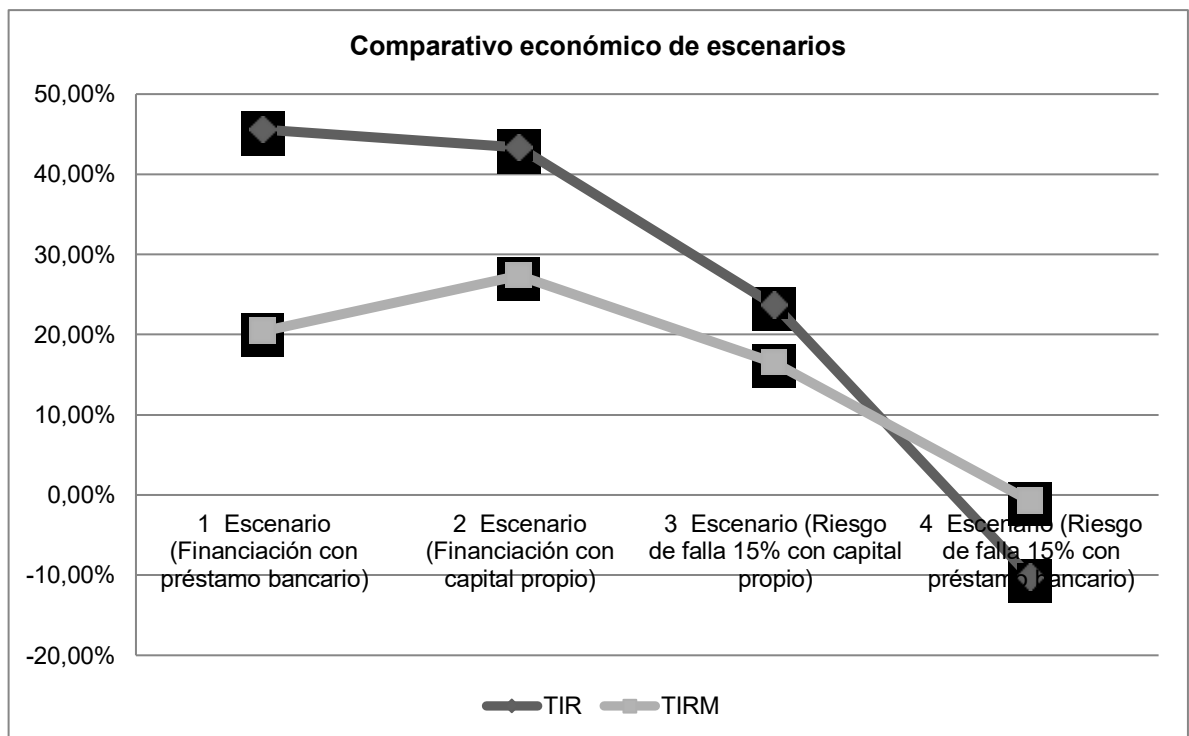


Tabla 12. Evaluación económica. Escenario 3.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO INVERSIÓN							
ESCENARIO 3							
Tasa de descuento WACC	5%	Tasa de reinversión			3%		
Tasa de impuestos	33%						
<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	
<b>Periodo</b>	0	1	2	3	4	5	
<b>Inversiones</b>	\$ (128.544.000)	\$ (375.856.000)					
Filtro trefiladora 16 hilos	\$ (123.600.000)						
Filtro trefiladora Tecalsa		\$ (61.800.000)					
Reestructuración sistema puesta a tierra		\$ (2.500.000)					
Reestructuración del sistema eléctrico general		\$ (70.000.000)					
Reestructuración banco de condensadores		\$ (9.000.000)					
Filtro activo sub-estación principal		\$ (123.600.000)					
Sistema de apantallamiento contra descargas		\$ (60.000.000)					
Diagrama unifilar		\$ (2.500.000)					
Sistema de gestión de consumo de energía		\$ (32.000.000)					
Mano de Obra	\$ (4.944.000)	\$ (14.456.000)					
<b>Ingresos por calidad y confiabilidad</b>	\$ -	\$ 161.910.600	\$ 165.148.812	\$ 165.479.110	\$ 168.788.692	\$ 172.164.466	
Ahorro económico por no mantenimiento de averías eléctricas		\$ 85.500.000	\$ 87.210.000	\$ 87.384.420	\$ 89.132.108	\$ 90.914.751	
Ahorro económico por no paradas de producción		\$ 74.750.000	\$ 76.245.000	\$ 76.397.490	\$ 77.925.440	\$ 79.483.949	
Ahorro económico por mano de obra ociosa		\$ 1.660.600	\$ 1.693.812	\$ 1.697.200	\$ 1.731.144	\$ 1.765.766	
Ahorro económico por incremento de FP							
Ahorro económico por no tener armónicos en la red							
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	\$ -	\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
Costo de reparación máquinas por averías eléctricas		\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
<b>Utilidad antes de impuesto y depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ (228.777.400)	\$ 128.068.812	\$ 127.657.510	\$ 130.210.660	\$ 132.814.873	
<b>Depreciación (Metodo linea recta)</b>	\$ (12.360.000)	\$ (12.360.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	
<b>Utilidad despues de depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ (241.137.400)	\$ 97.168.812	\$ 96.757.510	\$ 99.310.660	\$ 101.914.873	
<b>Impuesto de Renta</b>		\$ 79.575.342	\$ (32.065.708)	\$ (31.929.978)	\$ (32.772.518)	\$ (33.631.908)	
<b>Utilidad despues de depreciación e Impuesto</b>	\$ (128.544.000)	\$ (149.202.058)	\$ 96.003.104	\$ 95.727.531	\$ 97.438.142	\$ 272.222.965	
<b>VPN (0%)</b>	\$ 283.645.684						
<b>VPN (WACC%)</b>	\$ 187.859.764						
<b>TIRM</b>	16,46%						
<b>TIR</b>	23,66%						



Tabla 13. Evaluación económica. Escenario 4.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO INVERSIÓN							
ESCENARIO 4							
Tasa de descuento WACC	5%	Tasa de reinversión			3%		
Tasa de impuestos	33%						
<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	
<b>Periodo</b>	0	1	2	3	4	5	
<b>Inversiones</b>	\$ (128.544.000)	\$ (375.856.000)					
Filtro trefiladora 16 hilos	\$ (123.600.000)						
Filtro trefiladora Tecalsa		\$ (61.800.000)					
Reestructuración sistema puesta a tierra		\$ (2.500.000)					
Reestructuración del sistema eléctrico general		\$ (70.000.000)					
Reestructuración banco de condensadores		\$ (9.000.000)					
Filtro activo sub-estación principal		\$ (123.600.000)					
Sistema de apantallamiento contra descargas		\$ (60.000.000)					
Diagrama unifilar		\$ (2.500.000)					
Sistema de gestión de consumo de energía		\$ (32.000.000)					
Mano de Obra	\$ (4.944.000)	\$ (14.456.000)					
<b>Financiación</b>	\$ -	\$ 375.856.000	\$ (168.752.604)	\$ (168.752.604)	\$ (168.752.604)	\$ (168.752.604)	
Costo capital	\$ -	\$ -	\$ (114.133.852,48)	\$ (93.557.928,19)	\$ (65.230.661,17)	\$ (26.231.972,91)	
Abono capital	\$ -	\$ -	\$ (54.618.751,21)	\$ (75.194.675,50)	\$ (103.521.942,52)	\$ (142.520.630,78)	
Desembolso crédito		\$ 375.856.000				-	
<b>Ingresos por calidad y confiabilidad</b>	\$ -	\$ 161.910.600	\$ 165.148.812	\$ 165.479.110	\$ 168.788.692	\$ 172.164.466	
Ahorro económico por no mantenimiento de averías eléctricas		\$ 85.500.000	\$ 87.210.000	\$ 87.384.420	\$ 89.132.108	\$ 90.914.751	
Ahorro económico por no paradas de producción		\$ 74.750.000	\$ 76.245.000	\$ 76.397.490	\$ 77.925.440	\$ 79.483.949	
Ahorro económico por mano de obra ociosa		\$ 1.660.600	\$ 1.693.812	\$ 1.697.200	\$ 1.731.144	\$ 1.765.766	
Ahorro económico por incremento de FP							
Ahorro económico por no tener armónicos en la red							
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	\$ -	\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
Costo de reparación máquinas por averías eléctricas		\$ (14.832.000)	\$ (37.080.000)	\$ (37.821.600)	\$ (38.578.032)	\$ (39.349.593)	
<b>Utilidad antes de impuesto y depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ 147.078.600	\$ 13.934.960	\$ 34.099.581	\$ 64.979.999	\$ 106.582.900	
<b>Depreciación (Método línea recta)</b>		\$ (12.360.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	\$ (30.900.000)	
<b>Utilidad despues de depreciación</b>	\$ (128.544.000)	\$ 134.718.600	\$ (16.965.040)	\$ 3.199.581	\$ 34.079.999	\$ 75.682.900	
<b>Impuesto de Renta</b>		\$ (44.457.138)	\$ 5.598.463	\$ (1.055.862)	\$ (11.246.400)	\$ (24.975.357)	
<b>Utilidad despues de depreciación e Impuesto</b>	\$ (128.544.000)	\$ 102.621.462	\$ (35.085.328)	\$ (42.150.956)	\$ (49.788.343)	\$ 112.126.912	
<b>VPN (0%)</b>	\$ (40.820.253)						
<b>VPN (WACC%)</b>	\$ (52.717.531)						
<b>TIRM</b>	-0,79%						
<b>TIR</b>	-10,29%						

## CONCLUSIONES

La evaluación económica del proyecto de inversión se realizó a través de la definición de ocho premisas, con el fin de establecer el modelo económico del proyecto de inversión para la Compañía.

El proyecto de inversión para mejorar la calidad de la energía en el sistema eléctrico de NEXANS es viable económicamente, reduciendo así las pérdidas debido a la reducción de la expectativa de vida de los equipos, pérdidas de energía e interrupciones o reducción de la producción. Este último incidente fue el determinante de estimación de ahorros para la evaluación del proyecto y el cual impacta en las alternativas para mejorar los niveles de competitividad.

Evaluando financieramente el retorno de la inversión del proyecto, aún con un riesgo mayor de falla (15%) pero con capital propio, resulta viable económicamente, lo cual indica que el ahorro al mejorar la calidad de energía eléctrica al evitar un potencial riesgo de falla es mayor y aporta a la sostenibilidad de las máquinas de producción, para un potencial incremento en la demanda según proyección de ventas para el año 2015.

El escenario cuatro no es viable económicamente, según el análisis de sensibilidad realizado a través de la evaluación del criterio de financiación con préstamo bancario y un riesgo de falla del 15% una vez se invierta en el proyecto de mejorar la calidad de la energía eléctrica.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la primera alternativa de financiación para inversión del proyecto, la cual es con préstamo bancario a pesar de tener una menor rentabilidad, dado que la Compañía no puede disponer del capital de los inversionistas, indicando un apalancamiento financiero con deuda, acogiéndose a las políticas y lineamientos de la Casa Matriz, la cual está determinada por una tasa de financiación internacional.

Tabla 14. Evaluación económica de escenarios.

Escenarios	TIR	TIRM	WACC
1 Escenario (Financiación con préstamo bancario)	45,57%	20,43%	5%
2 Escenario (Financiación con capital propio)	<b>43,31%</b>	<b>27,35%</b>	<b>5%</b>
3 Escenario (Riesgo de falla 15% con capital propio)	23,66%	16,46%	5%
4 Escenario (Riesgo de falla 15% con préstamo bancario)	-10,29%	-0,79%	5%

## BIBLIOGRAFIA

LEÓN GARCIA, Oscar. Valoración de Empresas y Gerencia del Valor.

MARTÍNEZ ARIAS, César. Evaluación integrada de proyectos de inversión. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de ingeniería mecánica. Medellín, 2000. 518 p.

MENDOZA PINEDO, Álvaro. Formulación y evaluación de proyectos de inversión. Universidad del Norte. Unidad de tecnologías aplicadas a la educación. Barranquilla.

BAGGINI Angelo y BUA Franco. Análisis de las inversiones en soluciones para la calidad de la energía. Universidad de Bergamo. Julio de 2004.

BLANK, Leland y TARKIN, Anthony. Ingeniería económica. Mc Graw Hill. Mexico 1999. p. 725-

COPELAND Tom, KOLLER Tim, MURRIN Jack. Valuation, measuring and managing the value of Companies.

UPME Y COLCIENCIAS. Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética.

Norma IEEE 1159-1995, *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*.

Norma IEEE 519-1992, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE.

Código Eléctrico Colombiano, Norma NTC 2050.

Manual de Inspección de Instalaciones eléctricas de NFPA.

Norma IEEE 1100-1999, *Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.*

Norma IEEE 142-1991, *Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power systems.*

Norma IEEE 80-2000, *Guide for Safety in AC Substation Grounding.*

Norma IEEE 1100-1999, *Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.*

## ANEXO A

El beneficio atribuible a las fallas por averías eléctricas, corresponde a estadísticas de paradas de máquinas o equipos del proceso productivo de Nexans S.A. en el periodo del año 2010, estimado en número de horas y valor monetario del mantenimiento eléctrico de la falla.

Tabla 15. Estadísticas de averías eléctricas.

<b>Código de máquina</b>	<b>Descripción de máquina</b>	<b>Avería eléctrica</b>	<b>Costo reparación máquina</b>
BUN003	BUNCHER 1250 EDMANS COBRE	39:09:00	\$ 14.000.000
BUN004	BUNCHER 800 LESMO	08:37	\$ 3.000.000
BUN005	BUNCHER 1250 SETIC	69:35:00	\$ 22.000.000
CAB002	CABLEADO SZ TENSOR Cu	26:02:00	\$ 8.000.000
CAB003	CABLEADORA TUBULAR 2 WATSON C	04:03	\$ 1.000.000
CAB004	CABLEADORA RIGIDA WATSON	17:07	\$ 13.000.000
CAB005	CABLEADORA DRUM TWISTER CORTIN	07:18	\$ 6.000.000
EXT002	LINEA DE EXTRUSIÓN 3,5" DAVIS	33:34:00	\$ 10.000.000
EXT003	LINEA DE EXTRUSIÓN 3" GENCA	56:03:00	\$ 20.000.000
EXT004	LINEA DE EXTRUSIÓN 4,5" DAVIS	46:35:00	\$ 34.000.000
EXT005	LINEA DE EXTRUSIÓN 2,5" DAVIS	146:33:00	\$ 36.000.000
FRA001	FRACCIONADORA SKALTEK PVC/PE	87:15:00	\$ 24.000.000
TRE001	TREFILADORA GRUESA TECALSA Cu	37:50:00	\$ 44.000.000
TRE002	TREFILADORA GRUESA MALMEDIE AI	02:30	\$ 9.000.000
TRE004	TREFILADORA BIHILOS SYNCRO	84:36:00	\$ 18.000.000
TRE006	TREFILADORA MULTIHILOS NIEHOFF	207:50:00	\$ 80.000.000
<b>Total</b>		<b>874:37:00</b>	<b>\$ 342.000.000</b>

## ANEXO B

El beneficio considerado por consumo de energía reactiva, no aplica dado que analizando el consumo de energía eléctrica de Nexans S.A. correspondiente al año 2010, la Compañía no fue penalizada por este tipo de consumo, por lo tanto no existe beneficio alguno por este concepto al invertir en el proyecto.

Tabla 16. Consumo de energía eléctrica.

Año	Mes	Consumo reactiva	Consumo activa	Kw/hr	Días facturados	Consumo diario activa	Total facturado	Impuesto AP
2010	Dic	70141	287190	357331	31	9264	\$ 58.738.523	\$ 2.349.541
2010	Nov	90391	348491	438882	30	11616	\$ 76.331.626	\$ 3.053.265
2010	Oct	80467	323080	403547	31	10422	\$ 79.910.507	\$ 3.196.420
2010	Sep	81706	328134	409840	30	10938	\$ 77.257.035	\$ 3.090.281
2010	Ago	102328	378625	480953	31	12214	\$ 80.294.647	\$ 3.211.786
2010	Jul	87597	334344	421941	31	10785	\$ 71.136.876	\$ 2.845.475
2010	Jun	99358	375981	475339	30	12533	\$ 79.849.519	\$ 3.193.981
2010	May	101830	372317	474147	31	12010	\$ 93.249.521	\$ 3.729.981
2010	Abr	96233	376477	472710	30	12549	\$ 92.461.466	\$ 3.698.459
2010	Mar	92156	348102	440258	31	11229	\$ 89.759.610	\$ 3.590.384
2010	Feb	95476	313184	408660	28	11185	\$ 80.949.205	\$ 3.237.968
2010	Ene	92799	307170	399969	31	9909	\$ 76.708.358	\$ 3.055.008
<b>Total</b>				<b>5183577</b>			<b>\$ 956.646.893</b>	<b>\$ 38.252.549</b>