



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de diploma en opción al título
de
Ingeniero Mecánico

Título: Valoración económica del proceso de suministro de aire de combustión en los Hornos de Reducción.

Autor: Albert Steyners Castillo

Tutores: Ms.C Olga Pérez Maliuk

Ms.C. Orlando Víctor Vega Arias

Curso

2014– 2015

Año 57 de la Revolución

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Albert Steyners Castillo, autor del presente trabajo y los tutores; Ms.C Olga Pérez Maliuk e Ms.C. Orlando Víctor Vega Arias, certificamos la propiedad intelectual de este trabajo, a favor del ISMMM y a la Facultad de Metalurgia-Electromecánica del mismo Instituto, los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

Firma del Autor:

Albert Steyners Castillo

Firma de los Tutores:

Ms.C Olga Pérez Maliuk

Ms.C. Orlando Víctor Vega Arias

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a mis padres Dalía Castillo y Armando Steyners, al igual que a mi padrastro Carlos Luis Ojea Medina, a mis hermanos Yansel, Armando y Karine.

A toda mi FAMILIA.

Y Por otra parte a Marta Frómeta, a Eíner Reyes a Matos, María y en especial a la memoria de mis tíos Rosebel Leyva y Mercedes Steyners, como a mi madrina Fe Ventura.

AGRADECIMIENTOS

A todos lo que de una forma o de otra me brindaron su ayuda y colaboración, al departamento de mi facultad Metalurgia-Electromecánica, a mis profesores, a mis compañeros de aula, Colegas como (Ismel, Arleís, Miguelito, Omarito, Yoandri el niño, Alberto, Manuel, Carlos, Pocholo, Leiser, Polier, Alex, Jose, Maité, Kimara, Elsita, Yanet, Davi, Azalia, Yaimé), a los tutores: Ms.C Olga Pérez Malíuk e Ms.C. Orlando Víctor Vega Arias.

En especial a Ernesto Tan por ayudarme en todo lo que necesité para graduarme.

Por último y no menos importante al altísimo de los cielos (Jehová, Jesucristo, DIOS) que es el que me da fuerza para seguir adelante en los buenos y malos momentos de mi vida.

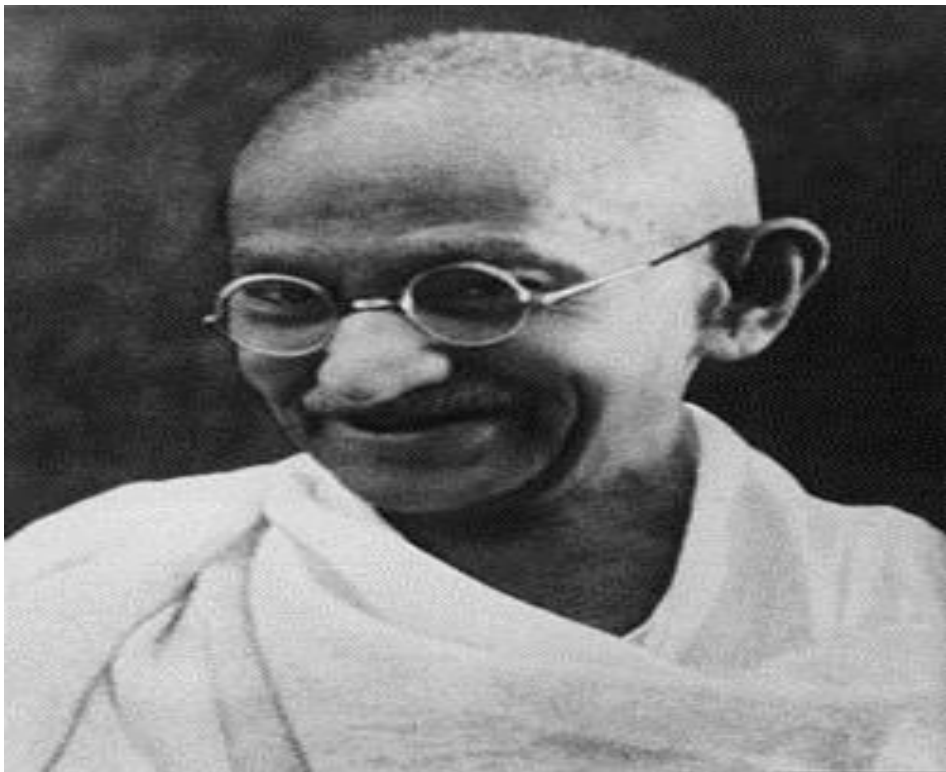
A todos GRACIAS.

PENSAMIENTO

"La verdad es el objetivo, el amor el medio para llegar a ella".

"No hay camino hacia la paz, la paz es el camino".

"Hay suficiente agua para la vida humana pero no para la codicia humana".



Mohandas Karamchand Gandhi

RESUMEN

En el trabajo se realiza un análisis de la incidencia de las tarifas eléctricas en los diferentes horarios de trabajo, en el consumo de energía eléctrica de los ventiladores, que suministran aire de combustión a los hornos de reducción; de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Se parte de los resultados obtenidos por vega 2015, utilizando la potencia consumida por estos ventiladores durante el período de análisis. Se establece la metodología para realizar una valoración exhaustiva de la influencia de las tarifas en el consumo de energía eléctrica y se concluye que, aunque en el horario del día la tarifa eléctrica no es ni la más baja ni la más alta, este es el momento en que mayor es el consumo de energía eléctrica debido a que constituye el período más largo de trabajo de estos ventiladores.

ABSTRACT

In the work an analysis of the incidence of the electric tariff rates in the different hour hands is carried out of work, in the consumption of electric power of the ventilators that supplies air of combustion to the ovens of reduction; of the Ernesto Che Guevara commander undertaking.

It splits of the obtained results for fertile lowland 2015, by using the consumed power for these ventilators during the period of analysis. The methodology is established to carry out an exhaustive valuation of the influence of the tariff rates in the consumption of electric power and it is concluded that, although in the hour hand in fashion the electric tariff rate is not neither the more low nor the more high, this is the moment in which major is the consumption of electric power due to that constitutes the more long period of work of these ventilators.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.Trabajos precedentes.....	3
1.1.1. Sistemas de suministro de aire.....	3
1.1.2. Valoración económica.....	5
1.2.Métodos de evaluación de proyectos.....	6
1.2.1. Criterios utilizados para evaluar proyectos.....	9
1.3.Economía energética.....	10
1.3.1. Costos directos o internos de la producción de energía.....	11
1.4.Clasificación de los costos.....	12
1.4.1. Otras clasificaciones de los costes.....	15
1.5.Flujo tecnológico.....	18
1.6.Características Generales del sistema de aire de combustión de la planta.....	19
1.7.Características generales de las tarifas eléctricas.....	19
1.7.1. Determinación de la tarifa a aplicar.....	20
1.7.2. Factor de Potencia ($\cos\phi$).....	20
1.7.3. Coeficiente K.....	21
1.8.Conclusiones del capítulo.....	23
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.1. Eficiencia energética.....	24
2.2. Flujo volumétrico de un ventilador.....	25
2.3. Determinación de los costos totales de energía eléctrica.....	26
2.3.1. Aplicación de las tarifas de alta tensión.....	26
2.4. Procedimiento experimental.....	27
2.4.1. Determinación de composición de los gases en la cámara de combustión.....	28
2.4.2. Mediciones del consumo del combustible y energía eléctrica.....	29
2.5. Análisis estadístico de los resultados.....	31
2.5.1. Prueba de hipótesis sobre las medias de dos distribuciones normales con muestras pareadas.....	32
2.6. Diagrama de Pareto.....	32
2.6.1. Utilidad del Diagrama de Pareto.....	33
2.6.2. Preparación de un diagrama de Pareto.....	33
2.6.3. Uso del diagrama de Pareto para identificar puntos claves de control de los consumos y costos energéticos.....	34
2.7. Conclusiones del capítulo.....	35

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	36
3.1. Costo de energía	36
3.1.1. Costos para tres ventiladores conectados	37
3.1.2. Costos para dos ventiladores conectados	39
3.2. Análisis de la potencia y el caudal	42
3.3. Análisis de la incidencia de las tarifas horarias en los costos por consumo de corriente eléctrica	42
3.4. Diagrama de Pareto	44
3.5. Influencia de las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente por el consumo de energía eléctrica	45
3.6. Medidas para la protección del medio ambiente durante la reducción del mineral .	47
3.7. Valoración económica	47
3.8. Conclusiones del capítulo	48
CONCLUSIONES GENERALES	49
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	53

INTRODUCCIÓN

La producción de níquel constituye uno de los rubros fundamentales de la economía cubana y a su vez, la industria niquelífera es considerada una de las mayores consumidoras de energía eléctrica; a pesar de que cuenta dentro de su flujo tecnológico con una planta generadora de este indispensable elemento que rige el funcionamiento de todas la industrias en el mundo y de la vida del hombre actual.

En el municipio Moa se encuentran ubicadas las dos empresas productoras de níquel, del país, cuyo proceso tecnológico difiere en la manera de extraer el níquel y el cobalto de las menas lateríticas.

La empresa productora de níquel Comandante Ernesto Che Guevara realiza su proceso de obtención de níquel por el método carbonato amoniacal y para garantizar un producto de calidad, en ella, se desarrollan complejos procesos que muestran diferentes comportamientos con dinámicas muy variadas, entre ellos se encuentran en la Unidad Básica de Producción de Planta de Horno Reducción (UBPPH), el suministro de aire para la cámara de combustión (Vega, 2015).

En la actualidad se ha presentado inestabilidad en el proceso de suministro de aire para las cámaras de combustión, produciendo afectaciones en los parámetros operacionales en la que debe de funcionar la instalación, (Menéndez, 2012).

La planta Hornos de Reducción, cuenta con 24 hornos, divididos en tres grupos (losas), cada uno funciona de forma independiente, aunque en principio su funcionamiento es el mismo (Vega, 2015).

La génesis del proceso de reducción resulta al introducir el mineral en el horno, donde se logra establecer un determinado perfil de temperatura y concentración de gases reductores hidrógeno y monóxido de carbono. Para ello, cada horno dispone de 10 cámaras de combustión instaladas en los hogares 15, 14, 12, 10, 8 y 6, con quemadores de petróleo de alta presión, encargados de producir los gases calientes para el calentamiento del mineral a la vez que enriquecen la atmósfera reductora de los hornos, que trabajan con combustión incompleta (Pun y Legrá, 2004).

Los quemadores se alimentan del aire aspirado por los ventiladores desde la atmósfera y están diseñados para mantener el flujo volumétrico de aire, dos de estos funcionando de forma continua y uno en reserva.

A pesar de que existen diversas investigaciones que han evaluado los parámetros operacionales del proceso de suministro de aire de combustión a los hornos, este continúa siendo un proceso altamente costoso en cuanto a consumo de energía eléctrica. Es por ello que en este trabajo se presenta como **situación problemática**: alto consumo de energía eléctrica en el proceso de suministro de aire de combustión de los hornos de reducción para tres ventiladores conectados al unísono.

Como **problema a resolver** se establece: ajuste del costo relacionado con el consumo de energía eléctrica en el sistema de suministro de aire de combustión.

Como **objeto de la investigación** se define el sistema de suministro de aire de combustión en los hornos de reducción.

Campo de acción: reducción del consumo energético basado en el establecimiento de los parámetros económicos racionales del sistema de suministro de aire de combustión.

Dado el problema a resolver se plantea como **hipótesis**: mediante el conocimiento de los valores adecuados de flujos volumétricos, presión de aire y tarifa eléctrica horaria, se puede determinar el valor real del consumo energético para el suministro de aire de combustión a los hornos de reducción.

Objetivo general: analizar los parámetros económicos que permitan disminuir los costos por consumo de energía eléctrica.

Para dar cumplimiento al objetivo general se establecen como **objetivos específicos**:

- Establecer el sistema de conocimiento adecuado relacionado con la valoración económica del objeto de estudio.
- Definir la metodología de cálculo para determinar los parámetros económicos que permitan establecer el consumo real de energía eléctrica basado en la tarifa horaria.
- Valorar el impacto ambiental del proceso de suministro de aire de combustión

Tareas:

- Búsqueda bibliográfica relacionada con el tema en estudio.
- Establecimiento de los parámetros económicos relacionados con el consumo de energía eléctrica en procesos industriales.
- Evaluar el impacto ambiental del sistema de suministro de aire de combustión.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Introducción

La valoración económica que se realiza sobre muchos de los procesos productivos en las fábricas u otras instalaciones desarrolla un procedimiento de cálculo que permite descartar todo tipo de gasto energético, pérdidas de combustible y hasta los más insignificantes costos, para lograr la disminución de inversiones, de energía eléctrica y otros factores, que a la misma vez nos demuestra que tan preciso puede ser el comportamiento de diferentes equipos técnicos que laboran dentro del mismo sistema productivo.

En este capítulo se destaca como **objetivo del capítulo**: establecer el estado del arte, a partir de la revisión bibliográfica relacionada al sistema de suministro de aire de combustión en los hornos de reducción y la valoración económica del proceso.

1.1. Trabajos precedentes

En la implantación de los procesos tecnológicos que se desarrollan en las industrias, se presentan dificultades que son necesario corregir sin detener dicho proceso, por lo que muchos trabajos ingenieriles se relacionan con las diversas problemáticas que se presentan.

Durante el análisis bibliográfico relacionado con la temática tratada se desglosó esta búsqueda en dos líneas fundamentales:

- Sistema de suministro de aire
- Valoración económica

1.1.1. Sistemas de suministro de aire

Desde los inicios de la industria del níquel en Cuba, los ventiladores y la red que suministran el aire para la cámara de combustión han presentado dificultades en el proceso de lograr estabilidad en cuanto a los parámetros de flujo volumétrico de aire y presión para los cuales están diseñados, implica operar en ocasiones con tres ventiladores cuando por diseño es para mantener dos funcionando y uno en reserva, debido a que la presión necesaria debe de ser superior a 11kPa, (PRIOR, 1991) cuando realmente es inferior a la que se requiere, no se logra una buena atomización en los quemadores que están ubicados en cada cámara de combustión.

Gutiérrez (1992), en el trabajo de diploma expone el diseño de la red de distribución de aire de combustión en una losa de hornos, en el mismo contiene una propuesta del

sistema de regulación de la instalación basada en la regulación por variación de velocidad de rotación y por estrangulación en la succión. Este investigador al haber analizado las deficiencias de la red de tuberías, pudo proponer un diseño que favorecía a un proceso más eficiente.

Gutiérrez, (2006), aborda la comparación entre la regulación flujo de aire por *dámper* (válvula electrohidráulica) y la regulación de flujo controlada por equipos electrónicos, como son los variadores. Este autor plantea la flexibilidad que permiten los variadores de velocidad y el beneficio económico que brinda al sustituir las válvulas electrohidráulicas.

Estévez y Freile,(2006), realizan el diseño y construcción de un banco de pruebas con capacidad de 1,3 m³/s para el estudio de principios de ventilación industrial, en el cual determinaron que la potencia al freno entregada por un motor eléctrico es una característica particular del mismo, y su relación con la potencia de entrada no es lineal.

La optimización y eficiencia de un sistema de distribución de fluido depende de la selección correcta del equipo de bombeo con el diseño de la red de resistencia del sistema, (Hechevarría, 2009).

Para la evaluación energética para la reducción del consumo de energía eléctrica se obtuvo información para determinar el punto de trabajo del ventilador centrífugo, las curvas de potencia y rendimiento, (Pilatásig, 2013). Este autor no analiza el sistema en cuanto al punto de trabajo del ventilador y la red, por lo que pone en duda el origen del criterio, de presión para fijar la constante de referencia.

Cruz, (2010) en su trabajo "Regulación de velocidad en ventiladores de aire atmosférico de combustión de la planta de Hornos de Reducción" muestra un estudio para la implementación de variadores de velocidad a los ventiladores de aire atmosférico de la planta, teniendo en cuenta un lazo de regulación por medio de la variable presión. Se describe brevemente el proceso en la planta, se hace un estudio de los métodos de regulación para estabilizar presión y se analiza el existente, para de esta forma compararlo con el propuesto y seleccionar el más eficaz, el trabajo ofrece además la selección del sensor para la medición de la presión en el horno y del variador de velocidad para gobernar los ya mencionados ventiladores.

Leyva, (2012), evalúa el funcionamiento de los equipos existentes en los Sistemas de Limpieza de Gases de la Planta de Hornos de Reducción de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" para evitar las emanaciones de polvo al medio ambiente y las

pérdidas de mineral por este concepto, para ello realizó un muestreo del mineral de entrada, salida, y el recolectado en los sistemas de limpieza de gases con el propósito de determinar su composición granulométrica. Determinó de forma práctica los posibles arrastres hacia los sistemas de limpieza de gases y aplicando la ley de Stockes corroboró los obtenidos prácticamente. También, analiza desde el punto de vista aerodinámico las redes de distribución de gases, y se comprueba la capacidad de transportación del polvo recolectado en los sistemas de limpieza de gases de la sección de horno de reducción, comprueba las potencias de los ventiladores de cada sistema, el tiro de la chimenea y el comportamiento de las baterías de ciclones de cada sección para las producciones en ese período (2012). Concluyó que: de los equipos de limpieza de gases existentes en la Planta de Hornos de Reducción de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” los ventiladores y los conductos, las baterías de ciclones, los electrofiltros y la chimenea pueden soportar la productividad de la empresa de 31000 toneladas al año de Ni+Co.

Vega, (2015) en su trabajo de maestría desarrolló la evaluación del sistema suministro de aire y combustión de la losa dos en los Hornos de Reducción de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, empleó un procedimiento de cálculo considerando las principales variables que influyen en la instalación. Los resultados muestran que dos ventiladores y la red de distribución de aire, garantizan los parámetros de presión y flujo volumétrico, siempre que no existan resistencias en el sistema que cambien las condiciones de funcionamiento de los ventiladores. Comprobó que los ventiladores desarrollan carga dinámica total, por ser la presión de impulsión superior a la carga total que se introduce por las pérdidas de presión y el consumo real de cada ventilador y obtuvo el punto de operación de dos ventiladores y el sistema, sin embargo en la valoración económica no tiene en consideración la influencia de las tarifas eléctricas, en diferentes horarios de trabajo, en el consumo eléctrico de los ventiladores.

Teniendo en cuenta todas las investigaciones relacionadas con el sistema de suministro de aire para la combustión se ha investigado lo relacionado con la red de los ventiladores, la cámara de combustión y el accionamiento eléctrico pero ninguno de los autores ha realizado una valoración del impacto económico en la integración de este sistema.

1.1.2. Valoración económica

La valoración económica de cualquier investigación constituye un elemento indispensable. En este trabajo, a pesar de que toda la bibliografía analizada presenta su valoración

económica se resumió en este acápite, aquellos cuyo objetivo general implicaba una valoración económica a partir de parámetros técnicos óptimos.

Pérez (2013), en su trabajo de maestría parte del estudio experimental donde hace la caracterización en cuanto al comportamiento reológico del fluido, a partir de ahí propone modelos y procedimientos de cálculo apropiados para la evaluación y racionalización del proceso de transporte por tuberías del petróleo crudo cubano CM-650, relacionados con sus propiedades físicas. Analiza las incidencias más significativas de la temperatura racional de transporte, el diámetro de tubería, el caudal del fluido y el espesor de aislamiento en el consumo de energía e impactos sociales y ambientales del proceso.

Laurencio, (2012), propone modelos y procedimientos de cálculo apropiados para la selección y evaluación de sistemas de transporte, relacionado con las propiedades reológicas del fluido. Los modelos propuestos para la estimación de pérdidas de carga y potencia son válidos para fluidos pseudoplásticos que se transportan en régimen laminar. Como propósito del efecto económico y medioambiental relacionado al transporte de emulsiones de petróleo; se analiza las incidencias más significativas, como el consumo de energía eléctrica para el transporte y peligros a la salud humana, causados al interactuar con el petróleo.

Turro, (2002) a partir del modelo físico – matemático, propone un sistema de correlaciones para el cálculo y evaluación de las instalaciones de hidrotransporte de colas, provenientes de los resultados de la caracterización realizada al fluido y al sistema de transporte; a la vez que realiza una valoración económica donde tiene en consideración los costos por concepto de energía eléctrica consumida por los motores en la transportación de la cola y el mantenimiento de estos por averías, así como, los gastos de inversión por el cambio de los motores y las tuberías en el período analizado (2002).

1.2. Métodos de evaluación de proyectos

Los proyectos de evaluación forman parte del análisis económico de cualquier empresa puesto que estos implican mejoras en el proceso productivo que contribuyan a la eficiencia del proceso o ampliación del mismo. Estos proyectos de evaluación se clasifican en:

- Según su finalidad:

Evaluación financiera: es del interés del inversionista privado, del gobierno y de las instituciones financieras. La valoración de beneficios, ingresos y costos del proyecto se

hace a precio de mercado, es decir, con todas sus distorsiones. Incluye los costos y beneficios directos atribuibles a la alternativa. Utiliza la tasa de interés de oportunidad del mercado para el análisis.

Evaluación económica: estudia y mide el aporte neto de un programa o proyecto al bienestar nacional, social o empresarial teniendo en cuenta el objetivo de eficiencia.

Evaluación social: además de los análisis de eficiencia de los impactos de una política, un programa o un proyecto en evaluación social se deben incorporar los efectos sobre la distribución del ingreso y la riqueza.

- Según el nivel de gestión:

Política-Estratégica: la parte política verá la parte social y política, su consistencia para trascender en el tiempo y que sea en cierta forma equitativo.

Administrativa: el fin siempre es la mayor racionalización de todos los recursos, el logro de sus planes, objetivos, metas, actividades, programas; expresión de la eficiencia y eficacia en su mayor expresión.

Técnica: lo técnico es una mezcla de lo anterior y lo propio, ya que incide hoy en día al mejor logro de los dos puntos anteriores, por el avance en los descubrimientos, su rapidez, medición y precisión. Ya dependerá de cada ciencia, qué enfoque científico y técnico aplicarán.

- Según la naturaleza de la evaluación

La evaluación de proyectos puede ser vista de dos ópticas diferentes:

Evaluación privada: que incluye a la "evaluación económica" que asume que el proyecto está totalmente financiado con capital propio, por lo que no hay que pedir crédito, y por otro lado la evaluación financiera, que incluye financiamiento externo.

Evaluación social: en la evaluación social, tanto los beneficios como los costos se valoran a precios sombra de eficiencia. Aquí interesa los bienes y servicios reales utilizados y producidos por el proyecto esto no quiere decir nada.

- Según el momento en que se realiza:

Los distintos tipos de evaluación varían según el momento en que se realicen. Los tipos de evaluación son: ex-ante, de proceso, ex-post y de impacto.

Evaluación supervisada: se efectúa antes de la aprobación del proyecto y busca conocer su pertinencia, viabilidad y eficacia potencial. Este tipo de evaluación consiste en seleccionar de entre varias alternativas técnicamente factibles a la que produce el mayor impacto al mínimo costo. Este tipo de evaluación supone la incorporación de ajustes necesarios en el diseño del proyecto, lo cual podría generar incluso el cambio del grupo beneficiario, su jerarquía de objetivos y el presupuesto. **Evaluación de proceso, operativa, de medio término o continua:** se hace mientras el proyecto se va desarrollando y guarda estrecha relación con el monitoreo del proyecto. Permite conocer en qué medida se viene logrando el logro de los objetivos (Resultados en caso de marco lógico); en relación con esto, una evaluación de este tipo debe buscar aportar al perfeccionamiento del modelo de intervención empleado y a identificar lecciones aprendidas. Las fuentes financieras suelen requerir la realización de este tipo de evaluación para ejecutar los desembolsos periódicos.

Evaluación ex-post, de resultados o de fin de proyecto: se realiza cuando culmina el proyecto. Se enfoca en indagar el nivel de cumplimiento de los objetivos (Propósito y Resultados en caso de marco lógico) asimismo busca demostrar que los cambios producidos son consecuencia de las actividades del proyecto (exclusivamente o en interacción con otras fuentes); para esto suele recurrir a un diseño experimental. No solo indaga por cambios positivos, también analiza efectos negativos e inesperados.

Evaluación de impacto: es la que indaga por los cambios permanentes y las mejoras de la calidad de vida producida por el proyecto, es decir, se enfoca en conocer la sostenibilidad de los cambios alcanzados y los efectos imprevistos (positivos o negativos). En caso de diseño con marco lógico, se enfoca en la evaluación del *Fin* de la jerarquía de objetivos. Esta evaluación necesariamente debe ser realizada luego de un tiempo de culminado el proyecto y no inmediatamente éste concluya; el tiempo recomendado para efectuar la evaluación de impacto es de 5 años.

Cabe considerar que las evaluaciones *ex-ante* y *de proceso* son consideradas como **evaluaciones formativas** debido a que se producen mientras se da la preparación y/o ejecución del proyecto y sus conclusiones sirven para optimizar la ejecución del mismo; en tanto que las evaluaciones *de resultados* y *de impacto* vienen a ser **evaluaciones sumativas** que ocurren al culminar el proyecto e incluso un tiempo después de haber culminado, ocurriendo que sus conclusiones servirán para ser transferidas a otras

experiencias pero ya no podrán tener una aplicación directa en el proyecto que ha concluido.

Las evaluaciones de resultados y de impacto requieren asumir un diseño específico de investigación.

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/eLearning/dnp/2/html/metodologia.html>

1.2.1. Criterios utilizados para evaluar proyectos

La evaluación de proyectos, en sus distintos tipos, contempla una serie de criterios base que permiten establecer sus conclusiones. En función del campo, empresa u organización de que se trate, es que se emplearán una serie de criterios u otros que guarden relación con los objetivos estratégicos que se persigan.

No existen criterios únicos, por lo general los criterios surgen en función de la naturaleza de cada proyecto pero existe cierto consenso en la necesidad de analizar la pertinencia, eficacia, eficiencia y sostenibilidad de los proyectos.

Los criterios en que se basa la evaluación de proyectos se mencionan a continuación:

- **Pertinencia o relevancia:** observa la congruencia entre los objetivos del proyecto y las necesidades identificadas y los intereses de la población e instituciones (consenso social). Se observa especialmente en la evaluación ex-ante pero también en los demás tipos de evaluación.
- **Eficacia:** es el grado en que se han cumplido los objetivos. Se observa en las evaluaciones de tipo continuas y ex-post.
- **Eficiencia:** indica el modo en que se han organizado y empleado los recursos disponibles en la implementación del proyecto. Este criterio es usual en el análisis costo-beneficio realizado en la evaluación ex-ante.
- **Sostenibilidad:** establece que es la medida en que la población y/o las instituciones mantienen vigentes los cambios logrados por el proyecto una vez que este ha finalizado. Suele considerarse en las evaluaciones de impacto.

Es fundamental considerar la evaluación desde las propias necesidades, y alcances de las acciones para con la población.

Toda evaluación debe cumplir algunos requisitos metodológicos para garantizar que la información que genere pueda ser usada en la toma de decisiones. Así, se espera que todo proceso de evaluación sea:

- **Objetivo:** debe medirse y analizarse los hechos definidos tal como se presentan.
- **Imparcial:** la generación de conclusiones del proceso de evaluación debe ser neutral, transparente e imparcial. Quienes realizan la evaluación no deben tener intereses personales o conflictos con la unidad ejecutora del proyecto.
- **Válido:** debe medirse lo que se ha planificado medir, respetando las definiciones establecidas. En caso en que el objeto de análisis sea demasiado complejo para una medición objetiva, debe realizarse una aproximación cualitativa inicial.
- **Confiable:** las mediciones y observaciones deben ser registradas adecuadamente, preferentemente recurriendo a verificaciones *in-situ*.
- **Creíble:** todas las partes involucradas en el proyecto deben tener confianza en la idoneidad e imparcialidad de los responsables de la evaluación, quienes a su vez deben mantener una política de transparencia y rigor profesional.
- **Oportuno:** debe realizarse en el momento adecuado, evitando los efectos negativos que produce el paso del tiempo.
- **Útil:** debe ser útil y elaborarse en un lenguaje conciso y directo, entendible para todos los que accedan a la información elaborada, los resultados de una evaluación no deben dirigirse sólo a quienes tienen altos conocimientos técnicos sino que debe servir para que cualquier involucrado pueda tomar conocimiento de la situación del proyecto.
- **Participativo:** debe incluirse a todos los involucrados en el proyecto, buscando reflejar sus experiencias, necesidades, intereses y percepciones.
- **Retroalimentador:** un proceso de evaluación debe garantizar la disseminación de los hallazgos y su asimilación por parte de los involucrados en el proyecto (desde las altas esferas hasta los beneficiarios), para así fomentar el aprendizaje organizacional.
- **Costo/eficaz:** la evaluación debe establecer una relación positiva entre su costo (económico, de tiempo y recursos) y su contribución en valor agregado para la experiencia de los involucrados en el proyecto. (<http://www.gestiopolis.com/metodos-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/#comments>)

1.3. Economía energética

La Gestión Total Eficiente de la Energía, consiste en una tecnología integrada por un paquete de procedimientos y herramientas técnico-organizativas, que aplicadas de forma continua, con la filosofía y procedimientos de la gestión total de la calidad, permiten

identificar y utilizar todas las oportunidades de ahorro, conservación de energía y reducción de los gastos energéticos de la empresa.

Los procesos de producción y uso de la energía constituyen la causa del deterioro ambiental. El previsible agotamiento de los combustibles fósiles y el daño irreversible que se ocasiona al medio ambiente, exige la adopción de nuevas estrategias en materia de energía, como base de un modelo de desarrollo sostenible, que permita satisfacer las necesidades energéticas de la generación actual y preservar las posibilidades para que las futuras generaciones puedan también encontrar soluciones para satisfacer las suyas.

Con mucha frecuencia, el incremento de la intensidad energética ha sido tratado como parte integrante e inevitable del crecimiento económico. Se manejan los índices de consumo per cápita de energía como indicadores básicos del nivel de vida, sin tomar en consideración lo irracional e ineficiente del modo con que ésta se utilice, ni que son los servicios energéticos y no la energía lo que el hombre necesita.

Para el desarrollo sostenible se establecen como bases de la política energética, tres direcciones principales:

1. **Elevación de la eficiencia energética**, eliminando esquemas de consumo irracionales, reduciendo la intensidad energética en los procesos industriales, aprovechando las fuentes secundarias de bajo potencial, utilizando sistemas de cogeneración, y empleando en general la energía de acuerdo a su calidad.
2. **Sustitución de fuentes de energía**, por otras de menor impacto ambiental, en particular por **fuentes renovables**, tales como energía solar, energía eólica, energía geotérmica, hidroenergía, biomasa, energía de los océanos.
3. **Empleo de tecnología para atenuar los impactos ambientales, o tecnología limpias**, como los sistemas depuradores de gases de combustión o las tecnologías de gasificación del carbón en ciclos combinados con turbinas de gas.

Aunque en realidad, la única alternativa verdaderamente sostenible es la sustitución de fuentes convencionales por fuentes renovables, la eficiencia energética es una alternativa esencial, tanto por su efecto directo, como por lo que la misma puede contribuir al relevo por las energías renovables (Borroto, 2002).

1.3.1. Costos directos o internos de la producción de energía

Los costos internos son aquellos costos que están estrechamente vinculados con los gastos directos del proceso de producción de energía, y que se manifiestan a través de

las relaciones entre productores y consumidores. Estos se clasifican como se muestra a continuación (Borroto, 2002):

- Capital (tecnología)
 - Costo de planeación (proyecto)
 - Costo de adquisición de la tecnología.
 - Costos de transporte, montaje e instalación
 - Costo del terreno

- Combustible

- Operación y mantenimiento
 - Salarios
 - Materiales
 - Impuestos, seguros, inspecciones
 - Intereses sobre capital.

- Desmontaje

- Otros

1.4. Clasificación de los costos

Los costes pueden ser clasificados atendiendo a distintos criterios, algunos de los cuales se utilizan con más frecuencia que otros e incluso lo más habitual es utilizar una combinación de los mismos. Es decir, dentro de la Contabilidad de Costes, los costes pueden ser observados y clasificados desde muy diversas perspectivas que variarán atendiendo al análisis concreto que en cada momento pretendamos realizar o a la aplicación que queramos hacer de esa clasificación.

Criterios de clasificación más comunes.

- **Clasificación de los costes por naturaleza.**

Las cargas según su naturaleza consiste en diferenciar de acuerdo con las condiciones intrínsecas de cada uno de los gastos periodificados, es decir; los costes son clasificados en este caso mediante la identificación de la causa que ha motivado su aparición. Si esta clasificación por naturaleza, conseguida por medio de cuentas de tres cifras, fuera insuficiente desde la perspectiva de la Contabilidad de Costes, se podría detallar más, diferenciando conceptos más expresivos de la propia naturaleza de las cargas. Así pues

los costes son clasificados en este caso, en función de las características intrínsecas del gasto, es decir, mediante la identificación de la causa que ha motivado su aparición. En este caso los costes pueden ser clasificados según la misma agrupación que establece el Plan General de Contabilidad en el Grupo 6, es decir, identificando los conceptos de **costes de materiales, mano de obra y costes indirectos de fabricación.**

- **Perspectivas de los Productos**

Los costes directos son costes cuya asignación a la unidad de producto o servicio, se controla económicamente de forma individualizada. Otra forma de describir estos costes, cuando son directos de producto, es que son causados por la existencia misma del producto. Es decir, que si el producto dejara de existir el coste también desaparecería, en la mayoría de los casos.

Como se puede observar gran parte de los costes son duales, ya que son directos e indirectos a la vez (ejemplo: el sueldo del directivo de la sección de producción es directo para el mencionado centro de coste, pero indirecto para los distintos productos que se fabrican en él). De forma resumida tenemos:

- a) Directos: son aquellas cargas identificables con el artículo o pedido que los ha motivado, tal ocurre con las materias primas incorporadas al producto, la mano de obra utilizada en su elaboración.
- b) Semidirectos: se refieren a los costes que si bien no pueden ser aplicados a un producto, pedido u orden de fabricación, se pueden localizar en un taller, sección o departamento de la empresa, por ejemplo el sueldo del encargado del taller.
- c) Indirectos: se llaman así los costes comunes que no pueden ser atribuidos a ningún artículo ni departamento particular, tal es el caso del alquiler de la fábrica, el seguro de incendios, la remuneración del gerente.

- **Clasificación de los costes atendiendo al volumen de producción**

Los mismos costes analizados anteriormente pueden ser clasificados en costes variables o fijos en función de su relación con el nivel de producción de la empresa. El **coste fijo** es aquel que no guarda, por lo general, una relación directa con el volumen de producción y no varía, por tanto, ante cambios en los niveles de la misma que se puedan originar dentro de un rango relevante. Ejemplos típicos de costes fijos en una empresa son los costes de personal, amortización del inmovilizado, alquileres.

Los costes no se comportan de la misma manera en los diferentes periodos de tiempo. Entre los distintos factores que influyen en que los costes por naturaleza sean distintos en un periodo que en otro podemos destacar el volumen de producción obtenido por la unidad económica. Es viable comprobar que al variar el volumen de producción varían ciertos costes, muchas veces de una forma casi proporcional. A estos se les denomina costes variables. Algunos costes son insensibles a los cambios en el volumen de producción. Cualquiera que sea el volumen de producción, son invariables a corto plazo. A estos costes se les denomina **costes fijos**. Un mismo coste puede ser fijo y variable. Ejemplo: el coste de energía eléctrica tiene un componente fijo, que es la fuerza contratada, y un componente variable, que son los kW consumidos.

El **coste variable** es aquel cuyo importe depende del volumen de actividad que se prevé alcanzar. Es un coste para el que existe correlación directa entre su importe y el volumen de actividad al que se refiere. Entre los costes variables destacan los consumos de mercancías, materias primas y otros aprovisionamientos.

Los **costes semifijos o escalonados** son los que aumentan ante ciertos cambios en el volumen de producción, por tanto el coste se incrementa a saltos a medida que se producen determinados cambios en el volumen de producción.

Los **costes semivariantes** son los que incluyen elementos fijos y variables en su evolución. Este es el caso de determinados suministros, como la energía, por ejemplo que contiene un componente fijo y otro variable en función del consumo. En general los costes directos son variables y los fijos son indirectos, aunque hay excepciones. Por ejemplo, en muchas empresas la energía y el pequeño utilaje suelen ser costes variables e indirectos, y los jefes de producto o la amortización de una viña que produce uva para un solo producto pueden ser costes fijos y directos.

Los costes Fijos están constituidos en general por las denominadas cargas de estructura, que tienen por misión permitir a la empresa mantener su capacidad de servicio. El importe de los costes fijos es constante a lo largo del ejercicio en tanto no varíen los precios de los factores (alquiler, seguros). Su importe no se ve afectado por el volumen de producción. Los costes fijos son aquellos costes que generalmente no guardan una relación directa con el volumen de producción a que se refiere, es decir son costes que no se ven afectados por las variaciones que se pueden producir en el nivel de actividad.

Es conveniente matizar que estos costes no varían ante cambios de actividad, al menos

dentro de un rango relevante de actividad, constituyendo esta su característica definitoria.

Los costes Semifijos o escalonados, Variables a Saltos, están entre los costes fijos y proporcionales, así por ejemplo, un pequeño aumento de la producción tal vez no ocasione ningún incremento en los costes fijos; pero un mayor volumen requerirá la compra de nuevos equipos, se necesitarán más técnicos.

Los costes Variables se denominan también costes de actividad operaciones u operativos. Distinguimos tres modalidades:

Costes Proporcionales: varían en proporción a la cantidad producida o volumen de ventas.

Costes Progresivos, su cuantía se incrementa en mayor proporción que el volumen de actividad correspondiente. Si la actividad disminuye, también decrecen más que proporcionalmente, este es un caso típico de las horas extraordinarias.

Costes Degresivos, su cuantía se incrementa en menor proporción que el volumen de actividad. A este tipo de cargas normalmente se le llama con frecuencia cargas variables.

Los costes mixtos o semivARIABLES se comportan a la vez una parte fija y una variable, tal como ocurre con los costes de mantenimiento y de vehículos.

1.4.1. Otras clasificaciones de los costes

Es importante señalar que según el criterio de clasificación de los costes que se utilice, debe mantenerse durante todo el proceso contable, ya que, como se ha explicado con anterioridad un mismo elemento de coste puede tener varias clasificaciones según el criterio que se emplee. Otros criterios de clasificación se presentan a continuación.

- **Clasificación según sean incorporables o no al objeto del coste**

Respecto a la primera clasificación, hemos de señalar que se consideran cargas incorporables aquellas que constituyen un elemento del coste, es decir van a pasar a ser coste. Por el contrario denominaremos como cargas no incorporables a aquellos gastos del periodo desde la perspectiva de la Contabilidad Financiera que la Contabilidad de Costes no va incluir entre el coste por no obedecer a este concepto de acuerdo con sus criterios específicos.

De acuerdo con la función de la empresa a la que corresponda: podemos distinguir: **Costes de Producción** son los que se generan en el proceso de transformación de los

factores en productos terminados (coste de los materiales, coste de la mano de obra que interviene directamente en el proceso de producción y los costes indirectos de fabricación que intervienen de manera indirecta en la elaboración del producto como son las amortizaciones, sueldo del supervisor).

Costes de Distribución que son los que se generan en el departamento encargado de llevar el producto desde la empresa hasta el consumidor (publicidad, comisiones).

Costes Administrativos son los que se originan en el área administrativa como los de oficinista, contable.

- **Clasificación según el momento de cálculo**

Los costes clasificados bajo este criterio también son conocidos como costes para la toma de decisiones por el papel que juegan dentro del proceso de administración en la toma de decisiones. Si nos fijamos en el momento en que se calculan estos, podemos distinguir **costes históricos y predeterminados o estándar**. El análisis de toda la problemática relacionada con los costes que se originan como consecuencia del proceso productivo, puede realizarse desde dos perspectivas temporales distintas. Por una parte a la empresa le puede interesar saber qué es lo que ha sucedido y como se ha llevado a cabo ese proceso productivo. Para poder conocerlo, tendrá que recabar información acerca de todos los costes que se han producido en ese ejercicio que se intenta analizar. Se trata por consiguiente de estudiar una serie de costes realizados, es decir, son costes que se han originado ya en la empresa. Cuando la Contabilidad de Costes trabaja con estos costes en que ya se han incurrido, se dice que está actuando con **costes históricos o reales**. Pero en muchas otras ocasiones a la empresa le interesa conocer no tanto lo que ha pasado sino lo que puede suceder durante el ejercicio. **Los costes tipos calculados a prioridad o predeterminados** constituyen la herramienta principal del llamado Control de Gestión, ya que nos permite apreciar claramente la eficiencia de cada puesto de trabajo y el rendimiento del material utilizado, comparando los resultados obtenidos con las correspondientes normas, estándar o patrones.

- **Costes del Producto y del Periodo**

Con fines de determinación de los diferentes conceptos de costes, y sobre todo para facilitar la determinación del resultado del ejercicio, los costes pueden ser clasificados en: Costes del Producto y Costes del Periodo.

Los **costes del producto** son aquellos costes que pueden ser identificados con la compra o producción de productos para su venta; estos costes son inventariables hasta el momento de su venta.

El **coste del periodo** se presume que beneficia únicamente al ejercicio en el que se ha incurrido, y, por tanto, se consume en el ejercicio económico contable.

- **Costes Relevantes e Irrelevantes**

Son **costes relevantes** los que varían en función de la decisión que se adopte. También se les conoce como costes diferenciales. Ejemplo: en situación de subactividad, al recibirse un pedido especial, los costes que cambiarán si se acepta el pedido son los de materias primas, energía, fletes, etc. La depreciación del edificio permanecerá constante por lo que los costes primeros serán relevantes, y el segundo irrelevante para tomar la decisión. Los **costes irrelevantes** serán aquellos que no varían en función de la alternativa elegida.

Los costes relevantes pueden agruparse por un lado, aquellos costes que se esperan puedan originarse como consecuencia de un curso de acción determinado, que se está evaluando en el análisis de cursos de acción alternativos. La identificación de los costes relevantes, en la adopción de una determinada decisión, supone efectuar un análisis de los costes orientados al futuro, y que puede poner de manifiesto, tanto los costes adicionales en que se incurre como consecuencia de un determinado curso de acción, como los costes que pueden ser evitados como consecuencia de la elección de una alternativa frente a otra.

- **Costes Controlables y no Controlables**

- Para poder realizar esta clasificación es necesario como paso previo establecer cuáles son los diferentes centros de responsabilidad, así como las personas que van a dirigirlos, por ejemplo el director de compras. Y es respecto de esa persona como se enjuicia la capacidad para controlar o no un determinado coste. Así pues, los **costes controlables** con respecto a una persona responsable serán aquellos sobre los que tal directivo tiene capacidad de decisión, tanto sobre la conveniencia de incurrir o no en él, como sobre su importe. Y serán considerados **costes no controlables** aquellos que escapan de la capacidad de un directivo determinado para poder tomar cualquier tipo de decisión sobre él. (Manual Práctico de Contabilidad de Gestión. Julio Ortega Seco y Ángel Arbeola López. Edición Cinco Días, Año 2000. Fascículo 1y 2. Naturaleza y Necesidades de

la Contabilidad de Gestión) fuente; (<http://www.gestiopolis.com/metodos-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/#comments>)

1.5. Flujo tecnológico

El objetivo del proceso que se realiza en esta planta, es reducir el óxido de níquel a níquel metálico, haciéndolo apto al mineral reducido para la lixiviación amoniacal. Para ello se cuenta con la instalación de 24 hornos, 12 transportadores rotatorios e igual número de enfriadores (anexo 1). El mineral antes de ser sometido a proceso de reducción se somete a un proceso de secado y molienda en la planta de preparación del mineral. En esta planta al mineral se le elimina la humedad hasta un 4 % aproximadamente y se muele hasta una fineza de 0,074 mm. También en los transportadores de banda se alimenta alrededor de 2,9 % de petróleo tecnológico, por lo que se logra una homogeneización bastante completa con la desventaja de una pérdida de combustible en el trayecto hasta su alimentación.

El mineral, después de pasar por la sección de molienda, es enviado mediante transporte neumático a los silos (225 – SI) como forma de almacenaje, los cuales tienen una capacidad de 1500 ton cada uno, lo que facilita una operación en los hornos de unas 16 horas. En la sección de los silos se encuentran 9 bombas tipo TA-36 (225- BO) de una capacidad de 120 t/h, mediante las cuales el mineral es bombeado hasta las tolvas de los hornos (225 TV) que son 12 en total, dispuestas una para cada dos hornos. Estas tolvas permiten realizar una operación de 8 horas a cada horno.

Una vez el mineral en las tolvas, este pasa a los dosificadores de pasaje automático (225 – BA – 201) que son los equipos encargados de garantizar una alimentación uniforme al horno a través del pasaje que este realiza de acuerdo al tonelaje fijado, estos equipos tienen una capacidad hasta 22 t/h, después que el mineral es pesado, se produce la descarga del mismo al sinfín alimentador (225-TR-202) el cual transporta el mineral al horno hacia el hogar cero. El mineral una vez dentro del horno es sometido al proceso de reducción, el que se logra estableciendo un perfil de temperatura dentro del mismo y una concentración determinada de gases reductores (CO-H₂) para ello el horno dispone de 9 cámara de combustión con quemadores de alta presión para la combustión incompleta del petróleo, el cual permite además de lograr el perfil de temperatura enriquecer la atmósfera reductora.

El proceso de reducción se efectúa en hornos de hogares múltiples tipo IIM 17 K-6, 8, de 23,5 m de alto y 6,8 m de diámetro, con 17 hogares ó soleras y 10 cámaras de combustión. Además, cuenta con un eje central al cual se le articulan 68 brazos (4 en cada hogar). Estos brazos tienen dispuestos diente o paletas con la que mediante la rotación del eje central facilitan el traslado de mineral de un hogar a otro. El movimiento o traslado de mineral de un hogar a otro se realiza en forma de zigzag, ya que los hogares pares tienen su descarga por la periferia y los hogares impares por el centro.

1.6. Características Generales del sistema de aire de combustión de la planta

En la planta de reducción de hornos se encuentran nueve motores de inducción trifásica de conexión delta, donde de ellos tres son de reserva. Estos motores se encuentran trabajando en régimen subcargado, los cuales presentan un alto par de arranque y después de que la corriente se restablece no operan a su potencia nominal, los motores están conectados por cuatro correas a su ventilador centrífugo de tiro forzado (succión), los cuales representan la carga mecánica para la máquina asincrónica. Los ventiladores (anexo 2) generan un flujo de aire que es suministrado a las cámaras de post-combustión (PRIOR), las cuales mezclan el petróleo y el aire, después pasa al horno, cada horno necesita como mínimo 6 cámaras (anexo 3) para que se realice el proceso. En la planta una losa es la estructura de tres accionamientos motor-ventilador, con uno de reserva y la red de tuberías que le corresponde y la conexión con los ocho hornos con sus cámaras pertinentes.

1.7. Características generales de las tarifas eléctricas

Las tarifas eléctricas aprobadas por la Resolución No. 311 del Ministerio de Finanzas y Precios se encuentran diferenciadas por niveles de voltaje (Alta, Media y Baja) y podrán aplicarse en Moneda Nacional o en Pesos Convertibles, según la moneda de pago establecida para cada cliente.

Las tarifas no residenciales en su mayoría se forman por la suma de dos precios básicos: **un cargo fijo y un cargo variable.**

El importe por el cargo fijo depende de la demanda máxima de potencia contratada (kW). Este parámetro expresa el nivel de demanda de potencia, que según contrato se compromete el cliente a tener como máximo, y depende de la cantidad de carga (equipos luminarias) y de su factor de coincidencia (equipos conectados simultáneamente), así como del régimen de trabajo de los mismos.

El cargo variable viene dado por el consumo de energía, en kilowatt hora (kWh). El cobro por este concepto se diferencia por horarios del día en los consumidores que tienen más de un turno de trabajo, siendo el precio de kWh en el pico mayor para desestimular el consumo en ese horario.

El sistema de tarifas consta de bonificaciones por concepto de elevación del factor de potencia, así como, penalización por disminución del factor de potencia y por el uso de bombas de riego en el horario pico.

1.7.1. Determinación de la tarifa a aplicar

El sistema tarifario está formado por tres grandes grupos de tarifas que se aplicarán a los clientes que se encuentran conectados a la red de Alta Tensión, Clientes de Media Tensión y Clientes de Baja Tensión, independiente de la actividad que realicen.

- A. Tarifa para consumidores en alta tensión.
- M. Tarifa para consumidores en media tensión.
- B. Tarifa para consumidores en baja tensión.

1.7.2. Factor de Potencia ($\cos \varphi$).

El suministro de energía eléctrica a los servicios de cualquier demanda, teniendo en cuenta el aseguramiento y racional funcionamiento de Sistema Electroenergético Nacional es con un factor de potencia ($\cos \varphi$) del cliente entre 0,90 y 0,92.

El método de valoración del factor de potencia se determina mensualmente como resultado de la medición de la energía reactiva en el mismo período, obteniéndose la $\tan \varphi = kVArh/kWh$ y para esta relación el ($\cos \varphi$) correspondiente. En caso que el servicio no tenga instalado equipo de medición de energía reactiva, se tomará como factor de potencia del mismo el promedio resultante de mediciones realizadas durante 24 horas como mínimo.

Para factores de potencia superiores a 0,92 el cliente será bonificado para lo cual, el suministrador facturará la cantidad que resulte de multiplicar el importe de la facturación normal (no incluye penalizaciones por demanda) por 0,92 y dividir el producto por el factor de potencia real (obtenido en la última comprobación efectuada), hasta el valor máximo de 0,96.

Para factores de potencia inferiores a 0,90 el cliente será penalizado para lo cual, el suministrador facturará la cantidad que resulte de multiplicar el importe de la facturación

normal (no incluye penalizaciones por demanda), por 0,90 y dividir el producto por el factor de potencia real (obtenido en la última comprobación efectuada).

Consideraciones:

- Se penalizará con un factor de potencia menor de 0,9.
- Entre 0,9 y 0,92, no habrá penalización ni bonificación, quedando la factura sin variación.
- Se bonificará con un factor de potencia de 0,92 hasta 0,96.
- Cuando el factor de potencia sea mayor de 0,96, se bonifica hasta 0,96.
- La penalidad por el factor de potencia de efectúa automáticamente y se informa en la facturación, aunque en epígrafe independiente.
- Mientras se desconozca el factor de potencia real de un servicio o pasados los 60 días de solicitada a la OBE una nueva medición por el usuario, se estimará que este factor es de 0,9 a los efectos de la facturación.

1.7.3. Coeficiente K

Según las Normas de la Unión Eléctrica Nacional, 2015, el ajuste en las tarifas eléctricas, mediante la aplicación del coeficiente K refleja los cambios que ocurren en el precio de los combustibles usados en la generación de electricidad con relación al utilizado como base (95,00 \$/t) para su determinación y se aplica igualmente a todo tipo de tarifa que así lo estipule, independientemente de la moneda de pago, de la siguiente forma:

Se aplicará multiplicando el importe de Cargo Variable por el coeficiente de ajuste por variación del precio del combustible (K), que se define:

$$K = \frac{P_{PC}}{P_{Pt}} \quad (1.1)$$

Donde:

P_{PC} : Precio promedio interno ponderado de los combustibles; (\$)

P_{Pt} : Precio promedio interno ponderado de los combustibles, utilizado como base de la tarifa; (\$)

El precio ponderado del combustible se determina por la siguiente expresión:

$$P_{PC} = \frac{P_{FO} \cdot \text{Consumo FO} + P_C \cdot \text{Consumo C} + P_{GO} \cdot \text{Consumo GO}}{\text{Consumo FO} + \text{Consumo C} + \text{Consumo GO}} \quad (1.2)$$

Donde:

PFO – Precio interno de Fuel - Oil del mes; (\$/t)

PC – Precio interno del Crudo del mes; (\$/t)

PGO – Precio interno del Gas – Oil (Diesel) del mes; (\$/t)

Consumo FO – Consumo Real de Fuel-Oil del mes; (t/mes)

Consumo C – Consumo Real de Crudo del mes; (t/mes)

Consumo GO – Consumo Real de Gas-Oil (Diesel) del mes; (t/mes)

El precio ponderado de los combustibles antes mencionados, base de la tarifa es de 95,00 \$/t. El cálculo del coeficiente K se hará con 4 decimales.

Los períodos del día para la aplicación de las tarifas eléctricas serán: Pico eléctrico de las 17:00 horas a las 21:00 horas, día de las 5:00 AM a las 17:00 horas y madrugada de las 21:00 horas a las 5:00 AM.

Para las tarifas M-3 (Regadíos) y B-1 (General Baja Tensión), la cláusula de ajuste por precio del combustible, se aplica utilizando la expresión siguiente para las tarifas lineales:

$$IMPORTE \text{ de período} = CONSUMO \cdot [F \cdot K + (P - F)] \quad (1.3)$$

Donde:

P – Precio del kWh en los períodos dl día, según tipo de tarifa; (\$/kWh)

K – Coeficiente de ajuste por variación del precio del combustible

F – Precio del cargo variable de la tarifa a \$ 95.00 la tonelada de combustible; (\$/kWh)

CONSUMO – Consumo mensual del servicio; (kWh)

En el caso de las tarifas A-2 y M-4 (Cogeneradores), la facturación del consumo mensual se obtiene sumando los importes de los diferentes períodos del día, después de aplicada la ecuación (1.3) a los consumos de cada uno de ellos. En Alta Tensión para la tarifa A-2, a aplicar a Cogeneradores Industriales existentes en alta tensión: $F = \$ 0,0356$ (Normas de la Unión Eléctrica Nacional, 2015).

1.8. Conclusiones del capítulo

- La bibliografía consultada muestra varios trabajos relacionados con los parámetros técnicos racionales para el suministro de aire de combustión de las cámaras de los hornos de reducción, sin embargo la valoración económica es limitada en cuanto a la incidencia de las tarifas eléctricas en el consumo de energía en los diferentes horarios de trabajo.
- Se establecen las normas que definen las tarifas eléctricas en el sector industrial.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Introducción

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción distribución y uso de la energía necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones.

Eficiencia Energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental por este concepto.

Con el fin de determinar los parámetros económicos que permitan disminuir los costos por consumo de energía eléctrica asociados al proceso de suministro de aire de combustión a los hornos de reducción se plantea como **objetivo**: establecer el procedimiento de cálculo para la determinación de los parámetros económicos que permitan disminuir los costos por consumo de energía eléctrica.

2.1. Eficiencia energética

El ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerar como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de los recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin ligar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada.

El incremento de la eficiencia energética se logra mediante las acciones tomadas por productores o consumidores que reducen el uso de energía por unidad de producto o servicio, sin afectar la calidad del mismo.

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan dos indicadores básicos:

- La intensidad energética
- El consumo específico de energía o índice de consumo

La **intensidad energética** se define, para un sector de la economía de un país, como el consumo de energía por unidad de valor añadido por ese sector. Al nivel de nación, el Producto Interno Bruto (PIB) es la suma de los valores añadidos por todos los sectores económicos; y en este caso, la intensidad energética sería la relación entre el consumo total de energía primaria y la producción mercantil expresada en valores.

El **consumo específico de energía** o índice de consumo se define como la cantidad de energía por unidad de actividad, medida en términos físico (productos o servicios). (Borroto, 2002).

Índice de consumo de combustible

El índice de consumo de combustible (I_{cb}) se establece como la relación que existe entre las toneladas de combustible consumido y las de mineral seco y se determina por la ecuación siguiente en t/t (tonelada de combustible consumido por cada tonelada de mineral seco):

$$I_{cb} = \frac{F_c}{F_{cs}} \quad (2.1)$$

2.2. Flujo volumétrico de un ventilador

Teniendo en cuenta las condiciones establecidas

El flujo volumétrico de aire que llega al colector es el resultado en conjunto del aporte de cada ventilador.

Conociendo que la potencia eléctrica que demanda cada ventilador se puede determinar por la (ecuación 2.2) (Fitzgerald, 2004), fue posible calcular el rendimiento del sistema de suministro de aire para las cámaras de combustión, al dividir la potencia que se le comunica al aire por la suma de las que demandan de forma individual cada ventilador (Streeter, 2008).

Se aplica la ecuación para la potencia del ventilador.

$$P_e = \sqrt{3 \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi} \quad (2.2)$$

Donde:

P_e : Potencia; (kW)

U_L : Tensión de línea; (V)

I_L : Corriente de línea; (A)

$\cos \varphi$: Factor de potencia; (adimensional)

Determinación del rendimiento total de la instalación

$$\eta_s = \frac{Q \cdot p_t}{P_T} * 100 \quad (2.3)$$

Donde:

η_s : Rendimiento del sistema; (%)

p_t : Presión en el colector; (kPa)

P_T : Suma de las potencias demandadas por los ventiladores; (kW)

2.3. Determinación de los costos totales de energía eléctrica

Para la determinación de los costos totales de energía se utiliza la sumatoria de las potencias eléctricas consumidas de los ventiladores, para tres ventiladores conectados y para dos ventiladores. Se aplican las ecuación que se muestran a continuación:

$$CT_e = P_t \cdot t_{e1} \cdot t_{t1} \quad (2.4)$$

Donde:

CT_e : Costo total de la energía eléctrica; (\$)

P_t : Potencia total de los ventiladores; (kW)

t_{e1} : Tarifas eléctricas para los diferentes horarios; (\$/kWh)

t_{t1} : Tiempo de trabajo en cada horario de trabajo; (h)

2.3.1. Aplicación de las tarifas de alta tensión

Las tarifas de alta tensión, como es el caso estudiado, se aplican a los servicios de los consumidores clasificados como de Alta Tensión con instalaciones de cogeneración u otras que generen energía eléctrica, cuya demanda máxima registrada sea igual o inferior a su capacidad de generación (kW) en explotación activa o mantenimientos planificados cuya extensión sea inferior a un mes completo de la facturación eléctrica. Las tarifas a aplicar se muestran en la tabla 1.1:

Trifa	U.M	Horario	Denominación
0,075	\$/kWh	5:00 pm - 9:00 pm	Horario pico
0,056	\$/kWh	6:00 am - 5:00 pm	Horario del día
0,037	\$/kWh	9:00 pm - 6:00 am	Horario de la madrugada

Tabla 1.1. Tarifas eléctricas horarias

2.4. Procedimiento experimental

Equipos utilizados en la determinación de las mediciones

Para el desarrollo experimental de la investigación se utilizaron ventiladores centrífugos, las redes de tuberías para el transporte de aire, y los consumidores de las diferentes cámaras de combustión. Se instaló un medidor con tecnología ANNUBAR, (figura 2.1), utilizado como elemento primario de medición de la caída de presión con vista a determinar el caudal suministrado de aire de combustión para el horno número 10 que alimenta las cámaras de la parte norte (Vega, 2015).



Figura 2.1. Medición de caudal en la línea ø 0,3 m que alimenta las cámaras de combustión

Fuente: (Vega, 2015)

El método de medición de flujo a partir de Annubar como elemento primario de medición de gasto volumétrico de aire se determinan por (Annubar, 1989):

$$\Delta P = \left(\frac{T_f G}{P_f} \right) \left(\frac{qv}{5,351 \cdot 10^{-5} \cdot K \cdot D^2} \right)^2 \quad (2.5)$$

Donde:

ΔP : Presión diferencial; (kPa)

T_f : Temperatura del servicio del gas; (K)

G : Densidad relativa del gas en condiciones de servicio; (kg/m³)

P_f : Presión de servicio del gas; (kPa)

qv : Flujo volumétrico de diseño del fabricante; (m³/s)

K : Coeficiente del flujo

D : Diámetro interno de la tubería; (m).

Se seleccionó la tubería de diámetro 0,3 m teniendo en cuenta que es el máximo recorrido que debe efectuar el fluido y lograr vencer la resistencia del sistema de red que puede considerarse en paralelo y bifurca a cuatro ramales independientes, conectado a una red principal con varias transiciones. Para registrar las caídas de presión se utilizó un medidor de presión diferencial de la firma SIEMENS, modelo SITRANS-P, (figura 2.2), con lectura digital y rango de medición de (1- 2.56 mbar), debidamente calibrado.



Figura 2.2. Medición de presión

Fuente: (SITRANS-P 2010)

Para determinar el consumo de aire actual se realiza un monitoreo continuo a la salida de los ventiladores y a la entrada de la cámara de combustión de la parte norte del horno número 10. Estas mediciones ya están instaladas de forma permanente; para los cuales corresponden diferentes regímenes de consumo de aire en dependencia de las cantidades de cámaras que se encuentren en operaciones, a fin de evaluar la estabilidad de los factores que inciden en los ventiladores y la red instalada.

2.4.1. Determinación de composición de los gases en la cámara de combustión

En el caso de la composición de los gases en los hogares, específicamente el10 Norte, se determinaron mediante el análisis en el Orsat. Su uso está avalado por las normas cubanas al efecto:

- BS 1756/71 Part1 Methods of Sampling
- BS 1756/71 Part2 Analysis by the Orsat

El Aparato Orsat es un dispositivo que permite realizar análisis volumétrico en base seca de los productos de la combustión. El equipo más común sirve para determinar el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y el oxígeno. La figura 2.3 muestra un Orsat de tres reactivos. A la derecha hay una bureta de medición revestida por una camisa de

agua a fin de evitar variaciones de temperatura durante el análisis. Las pipetas A, B y C contienen hidróxido de potasio (absorbe el CO₂), ácido pirogálico (absorbe el O₂) y cloruro cuproso (absorbe el CO), respectivamente

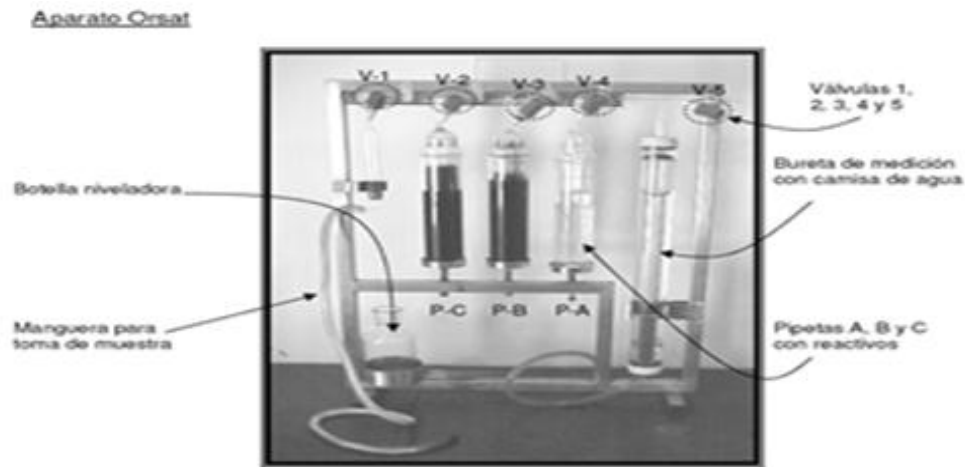


Figura 2.3. Equipo Orsat empleado en las mediciones de concentración volumétrica de gases

2.4.2. Mediciones del consumo del combustible y energía eléctrica

El flujo del combustible fue medido mediante los sensores habilitados en el horno 10. Para las mediciones del consumo de energía eléctrica demandada por los ventiladores se utilizó el PQM, (POWER, 2008). Es una opción ideal para el control continuo de un sistema trifásico, ya que proporciona la medición de la corriente, del voltaje, de la potencia activa, reactiva y aparente, coste de la energía, factor de potencia y de frecuencia, así como otras las cuales son imprescindibles para el buen análisis de un sistema como el contenido de armónico del sistema y posibles asimetrías.

Este consta con 4 relés (salidas digitales) asignables y programables que permiten que las funciones de control sean agregadas para los usos específicos. Esto incluye niveles de alarma o disparos, ya sean ocasionados por valores de corriente o voltaje, desequilibrio, y control de la corrección de factor de energía. Además posee entradas digitales programables, una entrada analógica (4-20 mA), dos salidas analógicas, y comunicación vía SR-485 o profibus.

En este caso el PQM de uso portátil se utilizó para censar la potencia a la entrada de cada ventilador. En la figura 2.4 se muestra el esquema completo del conexionado físico de este equipo para su uso.

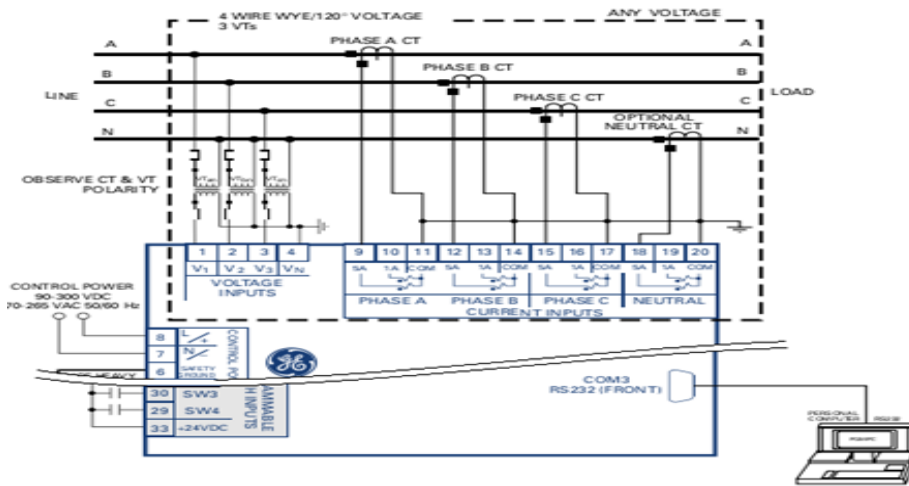


Figura 2.4. Esquema completo del conexionado físico del equipamiento PQM, (POWER, 2008)

La empresa cuenta con un sistema de adquisición de datos CITECT que permite visualizar, graficar y controlar los parámetros que son de interés para el proceso metalúrgico, en la figura 2.5 se muestra una imagen de las principales variables que son registradas por el CITECT y podemos ver la distribución de las distintas cámaras de combustión donde llega la variable flujo de aire de combustión suministrada por los ventiladores (figura 2.6).

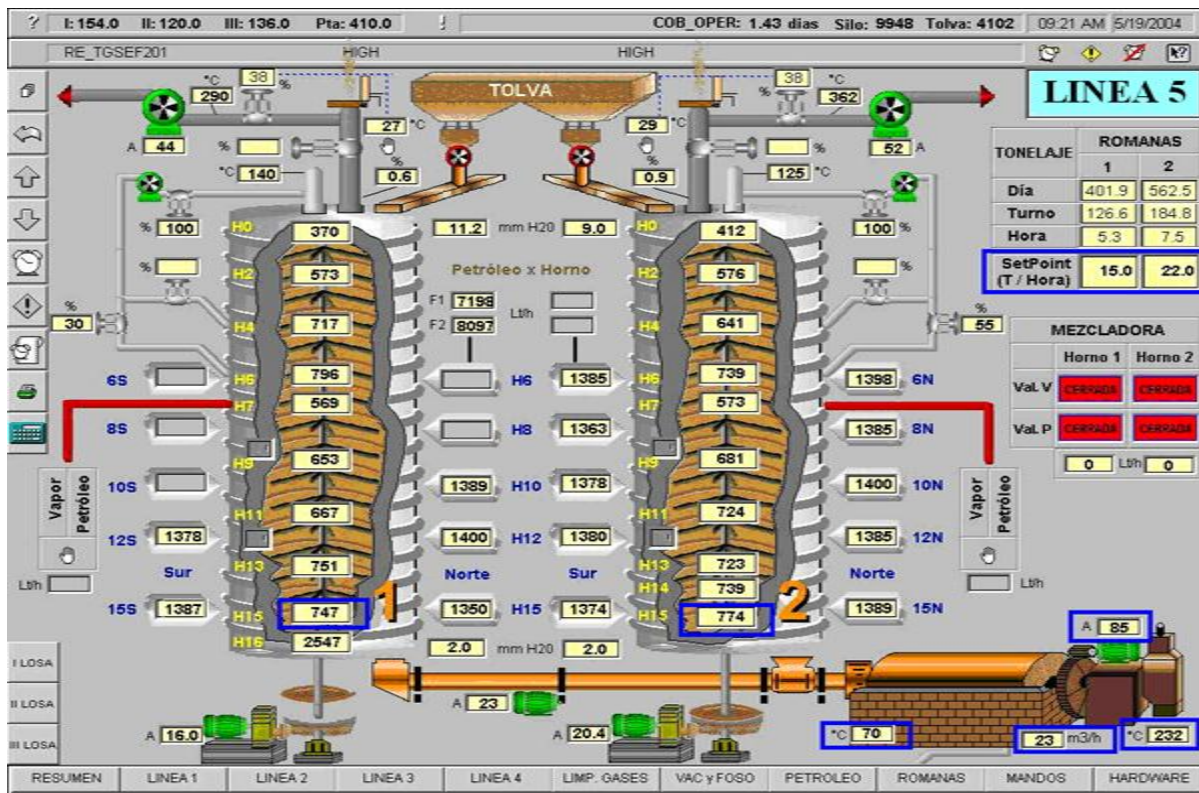


Figura 2.5. Imagen de las variables registradas por el SCADA (CITECT)

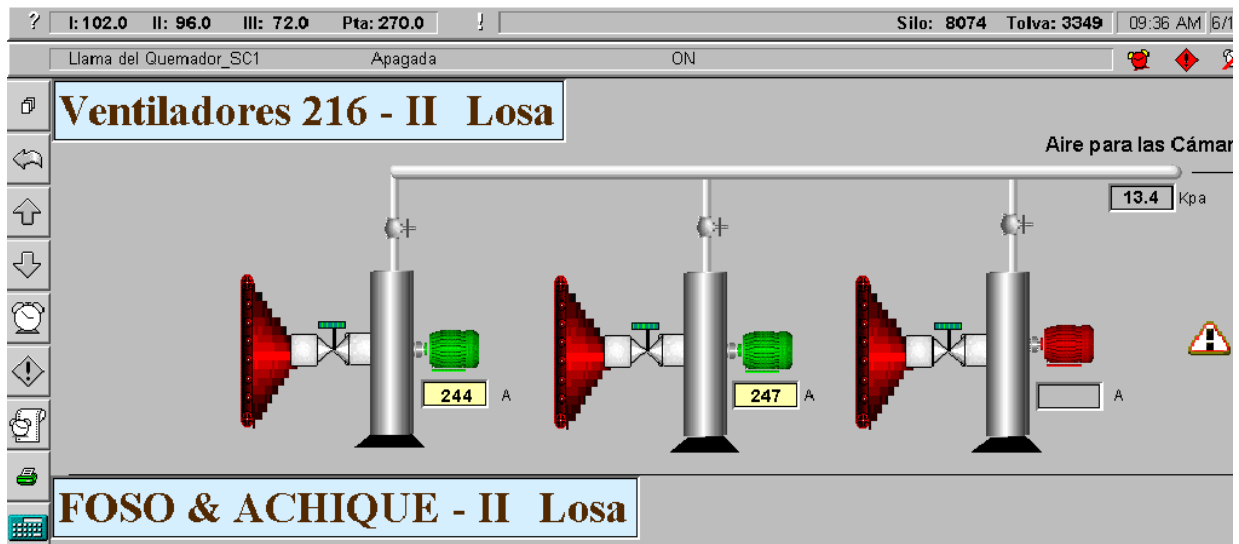


Figura 2.6. Vista de los ventiladores de la Losa 2 desde el CITEC.

2.5. Análisis estadístico de los resultados

Debido a que los ventiladores trabajan las 24 horas de forma continua, en la instalación se genera una gran cantidad de mediciones. Esto hizo necesario la determinación de los valores promedios (media aritmética) de los parámetros para cada día de operación, para ello se empleó la (ecuación 2.6), (Torres y Sánchez, 1986), (Vega, 2015).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.6)$$

La desviación estándar se determina por la ecuación (2.7) y el coeficiente de variación por la expresión (2.8), así como la desviación típica (2.9).

$$\Delta\bar{X} = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n} \quad (2.7)$$

$$CV = \frac{\Delta\bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética; (adimensional)

X_i : Elementos de la serie; (adimensional)

n : Número de pruebas o mediciones; (adimensional)

$\Delta\bar{X}$: Desviación estándar; (adimensional)

CV : Coeficiente de variación; (%)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

Donde:

$S \Rightarrow$ Desviación típica.

2.5.1. Prueba de hipótesis sobre las medias de dos distribuciones normales con muestras pareadas

Cuando las observaciones son tomadas en pares, donde cada par es sometido a idénticas condiciones experimentales, variando las condiciones de par a par se dice que se han tomado observaciones pareadas o muestras pareadas. Cuando se analizan experimentos en un proceso de producción que las mediciones están asociadas a un proceso tecnológico es de aplicación este método.

$$T = \bar{d}\sqrt{n}/Sd \quad (2.10)$$

Dónde:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{n} \quad (2.11)$$

Donde:

di : muestra aleatoria simple de diferencias

T : estadígrafo

\bar{d} : media de una muestra.

2.6. Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

2.6.1. Utilidad del Diagrama de Pareto

- Identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser: los mayores consumidores de energía de la fábrica, las mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos.
- Predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce.
- Determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora.

2.6.2. Preparación de un diagrama de Pareto

1. Seleccionar las categorías de elementos de los datos que van a ser registrados en el diagrama. Por ejemplo: consumos equivalentes de energía por portador, costos de energía por portador, pérdidas de energía por áreas o por equipos, etc.
2. Tabular los datos y calcular los números acumulativos. La tabulación se puede presentar de la siguiente forma:

Tabla 2.1. Tabulación de datos para el Diagrama de Pareto

Número	Categoría	Valor de la categoría	Porcentaje	Valor acumulado	Porcentaje acumulado
1					
2					

4. Etiquetar el diagrama:

Es muy importante escribir correctamente el título del gráfico y de cada eje del diagrama. Los títulos deben reflejar la categoría, el período de recogida de datos, y el elemento que influye sobre la categoría. Ej. Consumo de energía equivalente por portador (categoría: consumo de energía, elemento: portador energético).

5. Obtener conclusiones sobre el diagrama.

Un diagrama de Pareto informa sobre los siguientes aspectos:

- ¿Cuál es la causa o elemento de mayor importancia de los registrados y cuál es su influencia cuantitativa?
- ¿Cuál es el 20% de los elementos que producen el 80% del efecto reflejado en la categoría? Por ejemplo: ¿Cuál es el 20% de los portadores energéticos que producen el 80% del consumo de energía equivalente de la empresa?
- ¿Cómo influye cuantitativamente la reducción de una causa o elemento en el efecto o categoría general analizado?

Por ejemplo: si el consumo equivalente de gas mensual representa el 30% del consumo equivalente total de la empresa, la reducción de este consumo en un 25% impactará en un 7,5% el consumo total equivalente. Sin embargo, la reducción de un 25% en el consumo equivalente de energía, si ésta representa el 70% del total, impactará en un 17,5%.

2.6.3. Uso del diagrama de Pareto para identificar puntos claves de control de los consumos y costos energéticos

- Identificar el 20% de los portadores energéticos de las fábricas que producen el 80% del consumo total equivalente, realizando un diagrama de Pareto de los consumos equivalentes de energía por portador energético.
- Identificar el 20% de las áreas de la empresa que producen el 80% el consumo energético de un portador energético específico, realizando un diagrama de Pareto de los consumos energéticos de ese portador para las diferentes áreas que lo utilizan en la fábrica.
- Identificar el 20% de los equipos que producen el 80% del consumo energético de un portador específico, realizando un diagrama de Pareto de los consumos de ese portador para todos los equipos que lo utilizan.

- Realizar de igual forma que lo explicado en los 3 puntos anteriores, diagramas de Pareto para los costos energéticos.
- Identificar el 20% de los equipos o áreas que producen el 80% de las pérdidas energéticas equivalentes de la empresa, realizando un diagrama de Pareto de las pérdidas energéticas equivalentes para todos los equipos donde estas son significativas.

2.7. Conclusiones del capítulo

- Se establece el diseño experimental que permite la obtención de los datos.
- Se establece la metodología de cálculo a aplicar para determinar la influencia de la tarifa eléctrica horaria en el costo por consumo de energía eléctrica.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Introducción

Los análisis realizados en numerosas empresas ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión energética existente en muchas de ellas, así como las posibilidades de reducir los costos energéticos mediante la creación en las empresas de las capacidades técnico organizativas para administrar eficientemente la energía.

Hasta el momento, el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha visto de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Esta vía, además de obviar parte de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene reducida efectividad por realizarse muchas veces sin la integralidad, los procedimientos y el equipamiento requerido, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos, pero sobre todo, por no contar la empresa con la cultura ni con las capacidades técnico-administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas (Borroto, 2002).

En este capítulo se establece como **objetivo**: analizar los resultados obtenidos una vez aplicada la metodología planteada en el capítulo anterior.

3.1. Costo de energía

Como se establece en el capítulo anterior, los costos de energía están asociados fundamentalmente a la potencia consumida por los ventiladores (anexo 1), la tarifa eléctrica en los diferentes horarios de trabajo y el tiempo de trabajo de los ventiladores en cada uno de los horarios. Determinados estos costos, aplicando las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.6 se grafican los resultados, mostrando el comportamiento de los costos en cada uno de los horarios.

Este procedimiento se realiza aplicando el software Excel, que queda representado por el diagrama de la figura 3.1, usando el método de búsqueda exhaustiva.

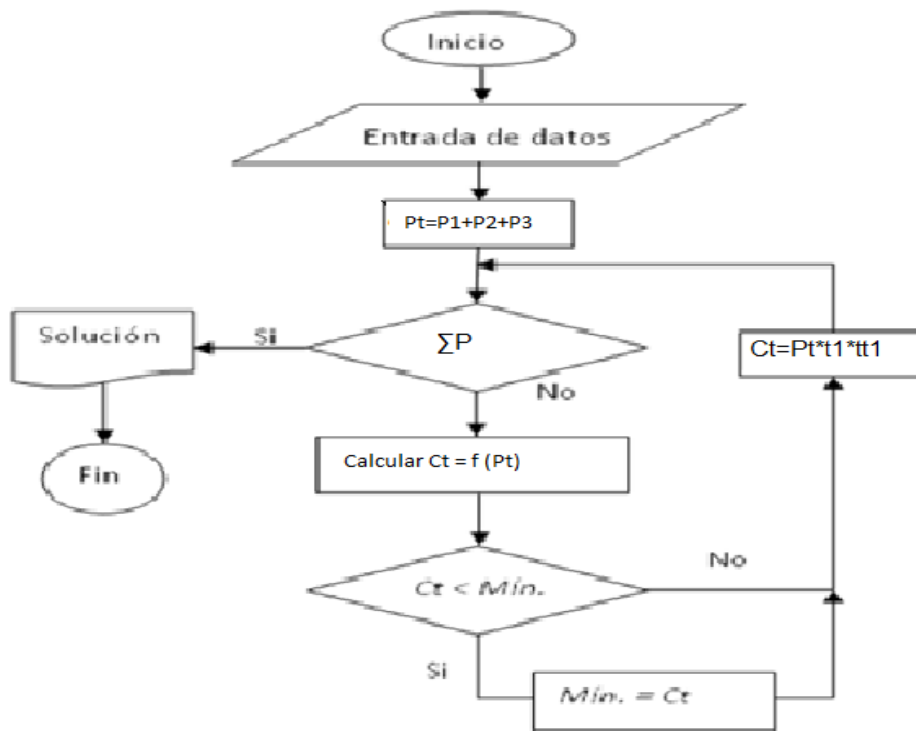


Figura: 3.1. Diagrama para la obtención de los costos

3.1.1. Costos para tres ventiladores conectados

El análisis de los costos se realiza para los dos casos en estudio, es decir; para tres ventiladores en funcionamiento, como actualmente trabaja el sistema, y para dos ventiladores como se comprobó en Vega, 2015; que era más eficiente el proceso.

Una vez obtenidos estos costos, para tres ventiladores funcionando, se grafica como se muestra en la figura 3.2, para la tarifa establecida en el horario pico.

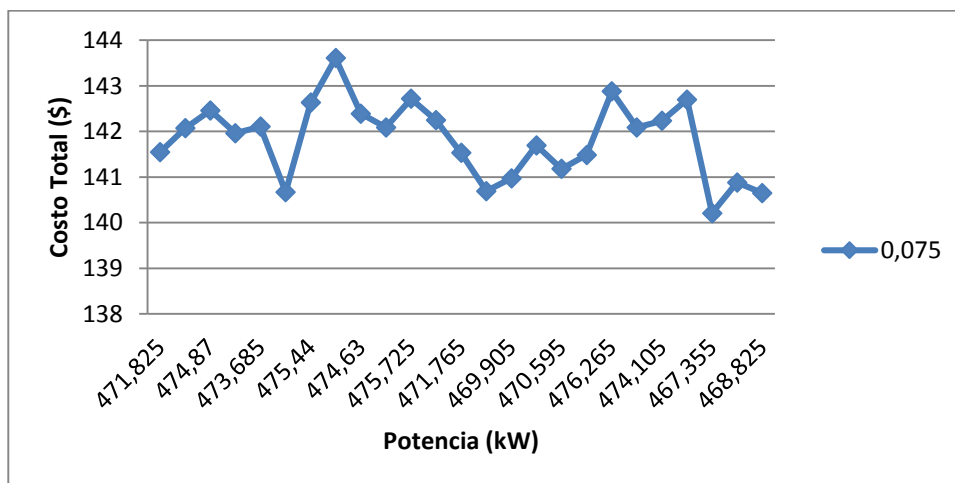


Figura: 3.2. Relación Costo – Potencia para el horario pico, para tres ventiladores

La figura anterior muestra una oscilación de los costos entre los 140 y los 144 pesos para una potencia consumida por los ventiladores de 468 y 471 kW.

En la figura 3.3 se muestran los costos asociados al horario del día cuya tarifa eléctrica, como se explicó en el capítulo anterior es de 0,056 \$/h.

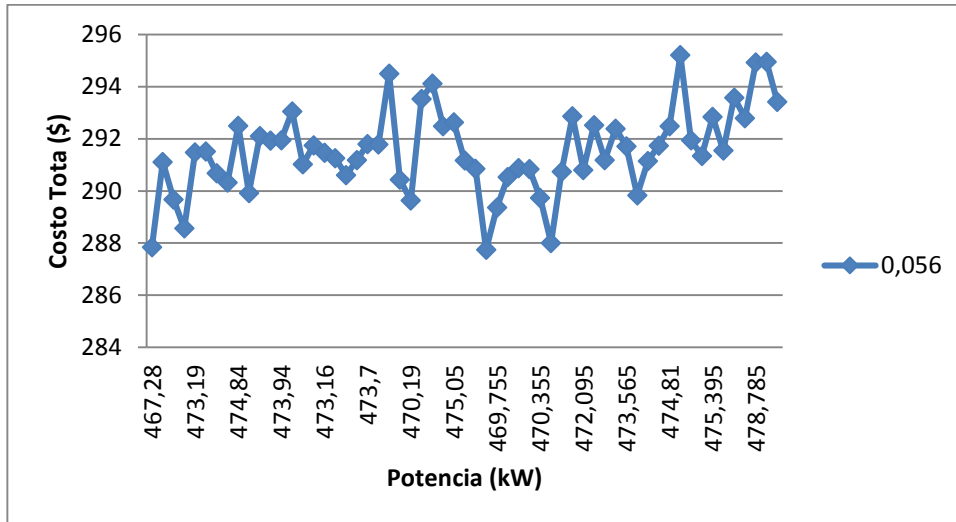


Figura: 3.3. Relación Costo – Potencia para el horario del día, para tres ventiladores

El rango de oscilación de los costos para el horario del día está entre los 288 y 295 pesos, para una potencia consumida de 467 y 478 kW.

En la figura 3.4 los costos de la energía eléctrica corresponden a la tarifa del horario de la madrugada, que constituye la más baja de los tres horarios que establece la Unión Eléctrica Nacional.

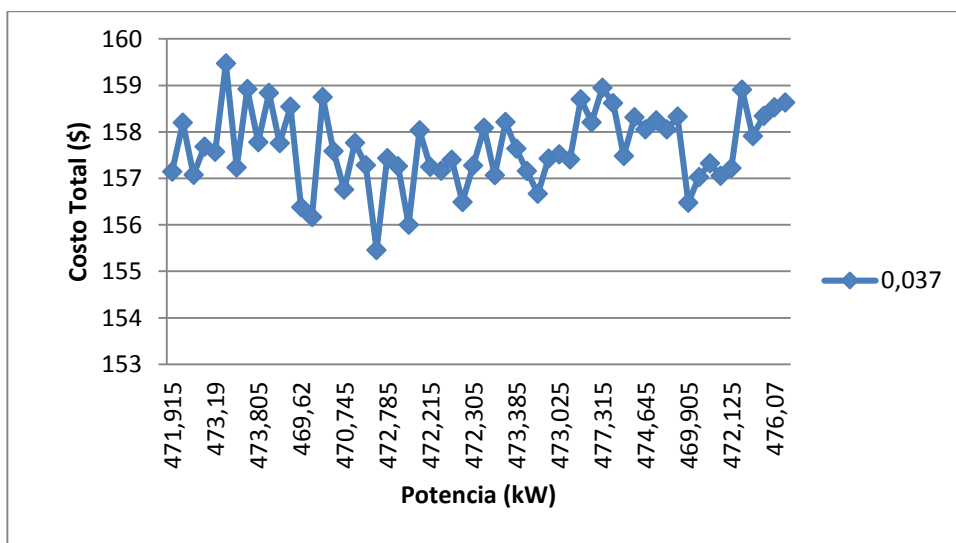


Figura: 3.4. Relación Costo – Potencia para el horario de madrugada, para tres ventiladores

En el caso del horario de la madrugada, como se observa en la figura anterior, el rango de oscilación de los costos está entre los 155 y 160 pesos, para una potencia consumida de 471 y 476 kW.

En la figura 3.5 se muestra un diagrama de costos, correspondiente a la clasificación de costos mixtos escalonados, pues como se explica en el capítulo 1 existe un salto de rangos relevantes, para cada tarifa eléctrica. En dicha figura se puede apreciar que los costos mayores corresponden al horario del día, aunque la tarifa eléctrica en este horario está en el valor medio en correspondencia con las tarifas de los horarios de la madrugada y pico.

Este resultado se debe fundamentalmente a que en el horario del día los ventiladores trabajan más tiempo, es decir; 12 horas de trabajo.

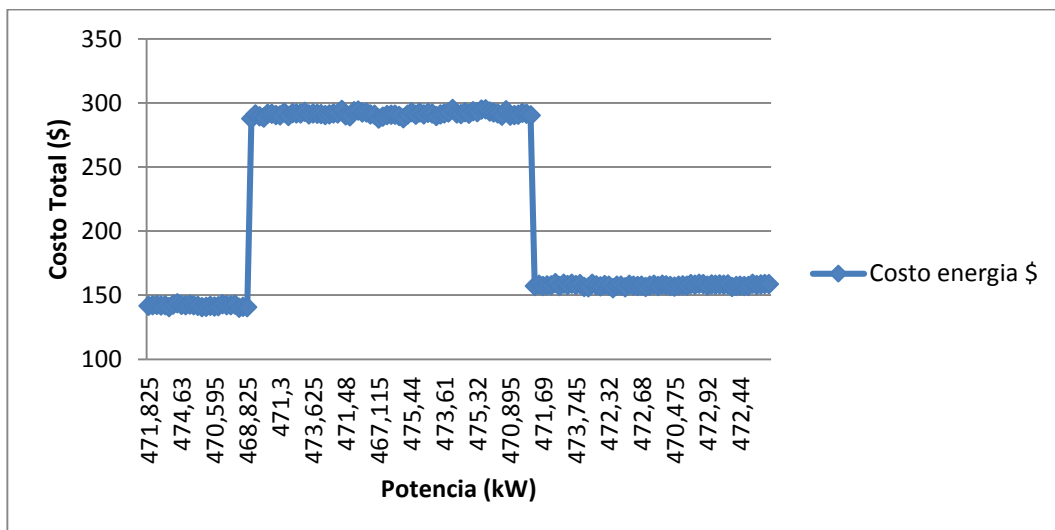


Figura: 3.5. Relación Costo – Potencia para las tres tarifas, tres ventiladores

3.1.2. Costos para dos ventiladores conectados

Para el caso de dos ventiladores conectados, que constituye la propuesta de Vega, 2015, se grafican los costos para cada uno de los horarios.

En la figura 3.6 se muestra el comportamiento de los costos en el horario pico, donde los costos, que oscilan entre valores de 96,50 y 99 pesos, para una potencia consumida de 323 325 kW.

Una vez obtenidos estos costos, para dos ventiladores funcionando, se grafica como se muestra en la figura 3.6, para la tarifa establecida en el horario pico.

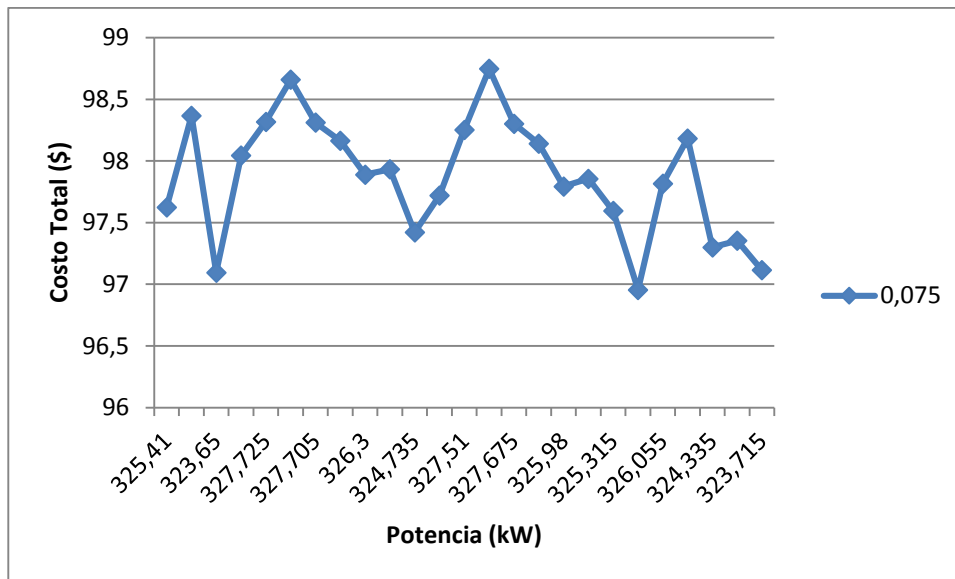


Figura 3.6. Comportamiento de los costos en horario pico, para dos ventiladores

En la figura 3.7 se muestra el comportamiento de los costos asociados al consumo de energía eléctrica, para dos ventiladores conectados al mismo tiempo, en el horario establecido por la UNE, como del día.

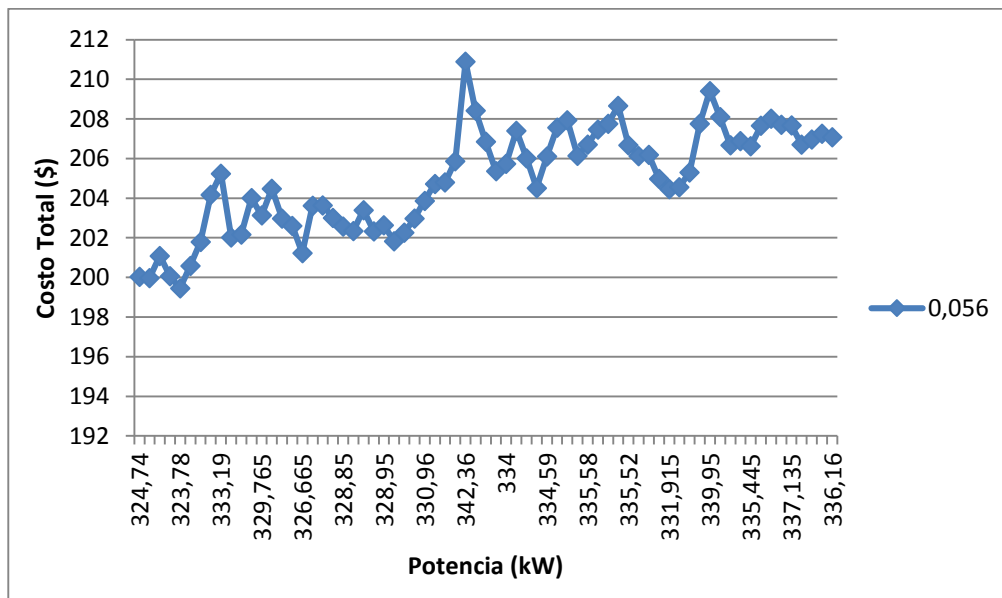


Figura 3.7. Comportamiento de los costos en el horario del día, para dos ventiladores

Como se puede apreciar en la figura anterior los valores de costo oscilan entre 199 y 211 pesos para una potencia consumida que oscila entre 324 y 338 kW.

Para el horario de la madrugada, los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.8, donde la tarifa eléctrica constituye la de menor valor, asociado esto a que este es el horario de menor demanda eléctrica a nivel nacional.

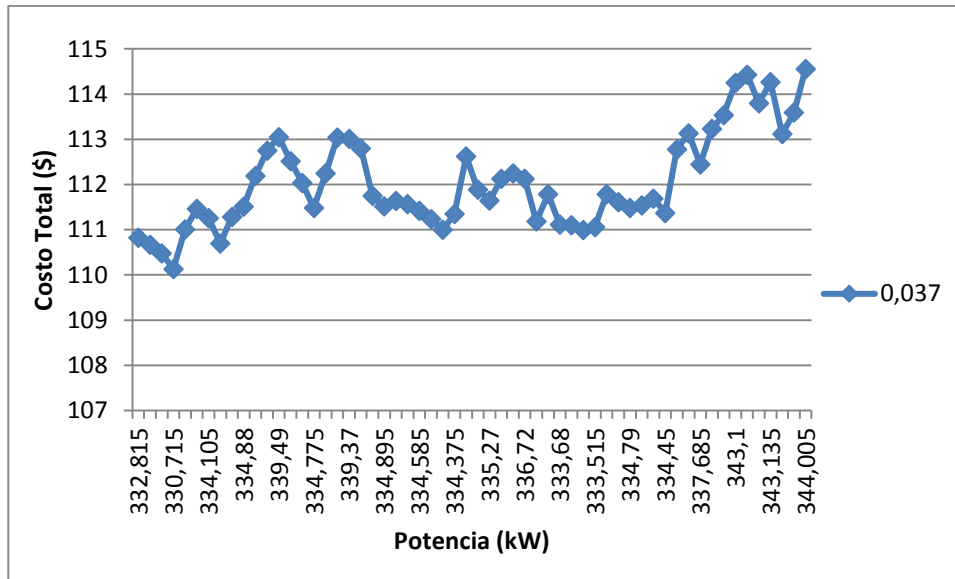


Figura 3.8. Comportamiento de los costos en el horario de la madrugada, para dos ventiladores
 En este gráfico (figura 3.8) se puede apreciar que el costo de energía eléctrica en este horario oscila entre 110 y 115 pesos y la potencia eléctrica está entre los valores de 332 345 kW.

Una vez obtenidos los costos para cada tarifa horaria se grafican, al igual que se hizo para tres ventiladores, los valores de costo, obteniéndose un gráfico de costo semifijo escalonado, donde se puede apreciar que el horario del día constituye el de mayor consumo de energía eléctrica.

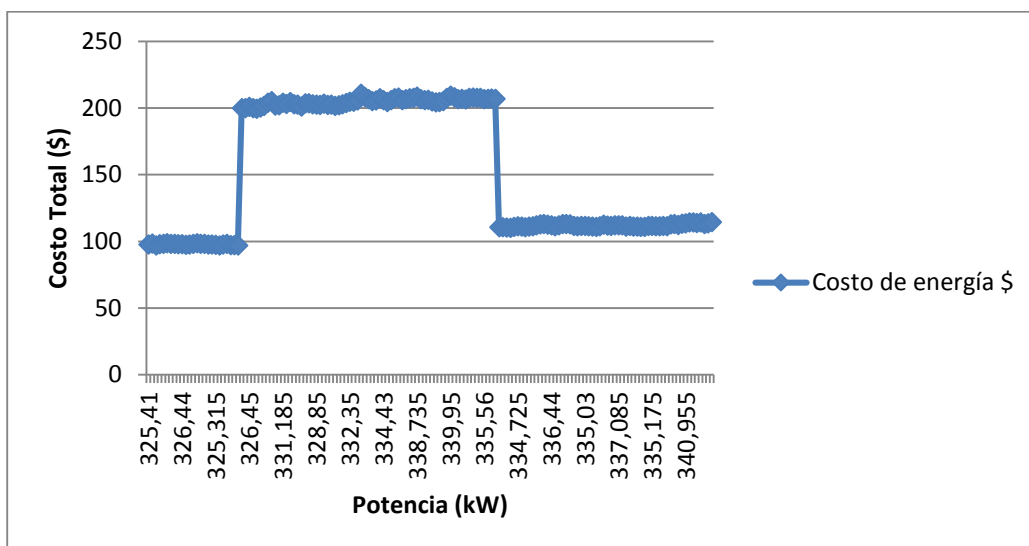


Figura 3.9. Comportamiento de los costos para dos ventiladores en los tres horarios
 Los resultados obtenidos para dos ventiladores son similares a los de tres ventiladores en cuanto a que el horario del día constituye el de mayor consumo de energía eléctrica,

asociado a que es el horario más largo, es decir, los ventiladores trabajan en este horario 12 hora; pero cuando trabajan solo dos ventiladores sigue siendo mucho más barato el proceso.

3.2. Análisis de la potencia y el caudal

Los estudios realizados por Vega, 2015, establecen que cuando se encuentran tres ventiladores funcionando el flujo de aire que garantizan es de 29 m³/h y la potencia calculada de estos ventiladores es de 490, 813 kW. Para dos ventiladores se garantiza un flujo de 24 m³/h con una potencia calculada de 407,013 kW, como se observa en la figura 3.9.

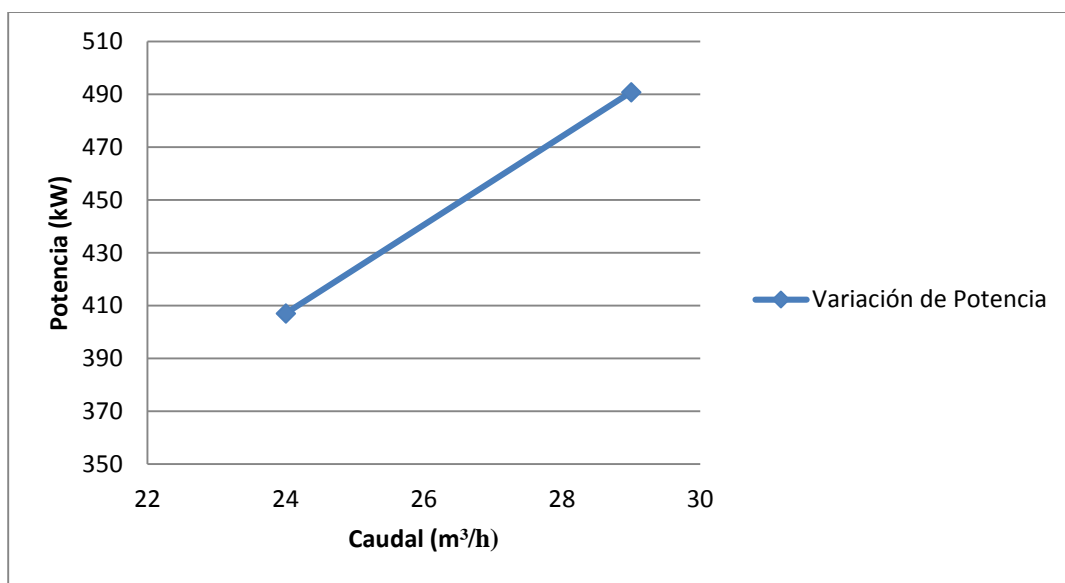


Figura 3.9. Relación de potencia eléctrica y caudal de aire

3.3. Análisis de la incidencia de las tarifas horarias en los costos por consumo de corriente eléctrica

Como se ha explicado con anterioridad, la UNE ha establecido diferentes tarifas eléctricas en diferentes horarios del día para el sector estatal. Esto tiene como objetivo que las empresas disminuyan el consumo eléctrico en el horario establecido como pico, permitiendo que disminuya con ello la carga de las termoeléctricas.

Para apreciar con claridad la incidencia de las tarifas eléctricas horarias en el costo de energía eléctrica se muestra la figura 3.10, donde se puede observar que, manteniendo una potencia estable, calculada, que garantice el flujo necesario en ambos casos analizados, el horario pico constituye el período donde los costos por consumo de energía eléctrica son mayores, en ambos casos.

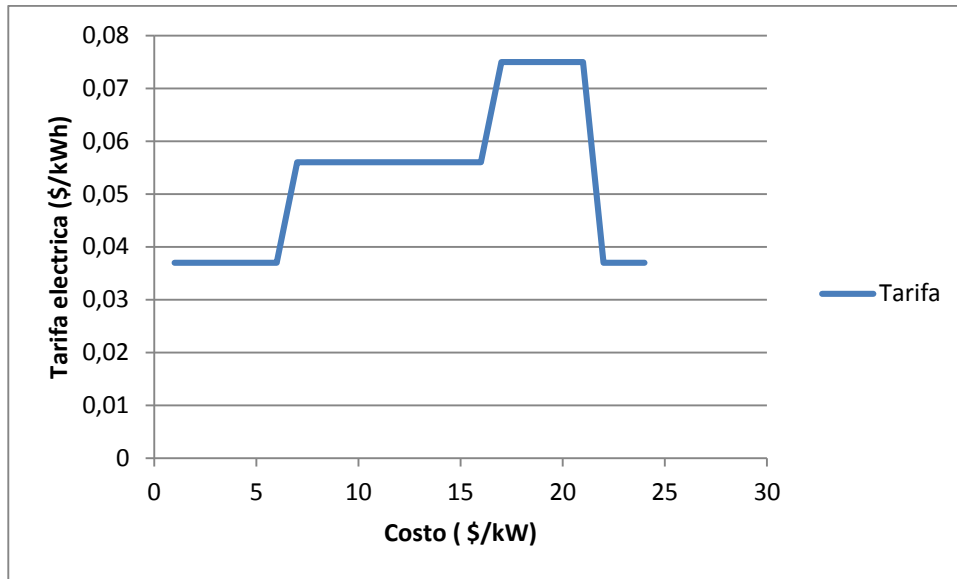


Figura 3.10. Relación tarifa eléctrica horaria y costos por consumo de energía eléctrica

Además se puede observar en la figura 3.11 que de las variantes analizadas, dos ventiladores constituyen los de menor costo, demostrando que la propuesta de Vega, 2015, garantiza los valores adecuados de los parámetros técnicos, el flujo de aire de combustión para los hornos de reducción y presión; minimiza los costos por consumo de energía eléctrica y permite un ventilador de reserva, para, en caso de avería; no se vea afectado el flujo tecnológico.

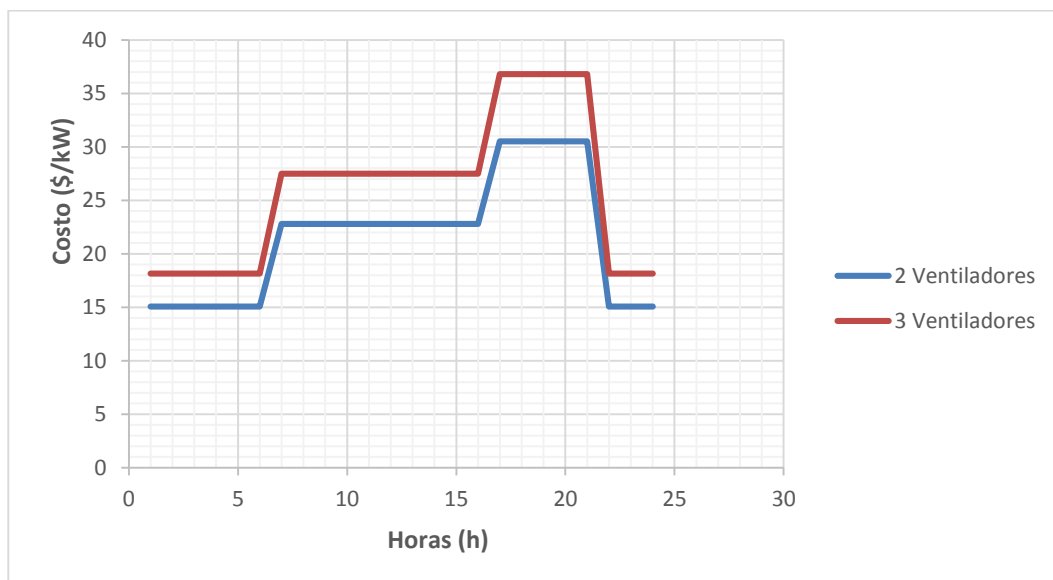


Figura 3.11. Relación costos de energía eléctrica por horario

3.4. Diagrama de Pareto

Aplicando el diagrama de Pareto para analizar la incidencia de los ventiladores en el consumo total de corriente eléctrica, se analiza primeramente, la incidencia de un ventilador, luego la de dos ventiladores y luego la de tres ventiladores funcionando al mismo tiempo. Los datos utilizados se exponen en la tabla 3.1

Tabla: 3.1. Costo de energía

	Costo de energía (\$)	%	Costo de energía (\$) acumulado	% acumulado
Vent 1	47,276	33,333	47,276	33,333
Vent 2	47,276	33,333	94,552	66,667
Vent 3	47,276	33,333	141,828	100,000

A partir de los datos que se recogen en la tabla anterior se aplica el diagrama de Pareto representado en la figura 3.12, donde se presenta que un ventilador constituye el 33,333 % del costo de la energía consumida por los tres ventiladores. Como los ventiladores son iguales, es decir; tienen las mismas características técnicas, las barras tienen el mismo tamaño.

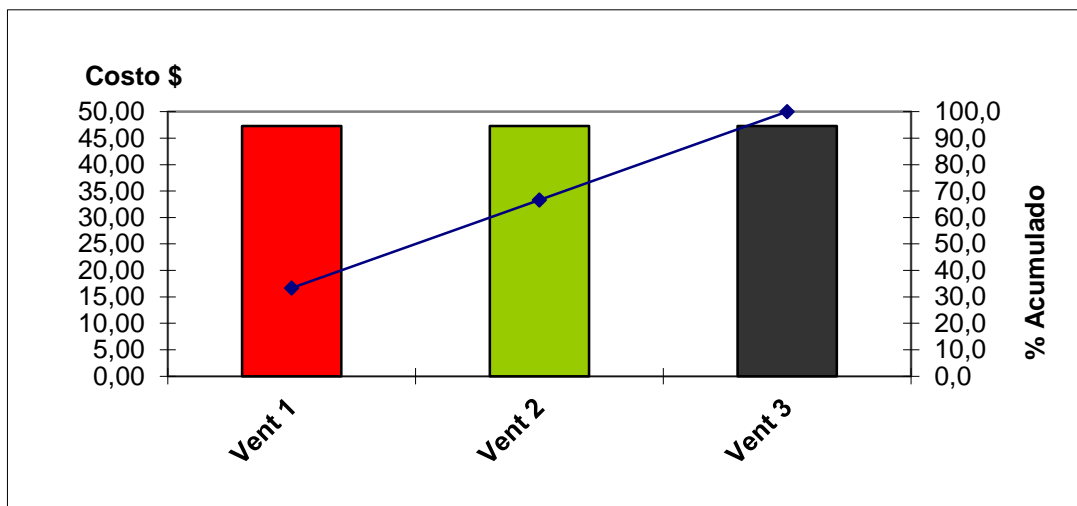


Figura: 3.12. Diagrama de Pareto

Por tanto para un ventilador conectado el costo de la energía eléctrica es de 47,276 \$ para ese 33,333 % de energía.

3.5. Influencia de las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente por el consumo de energía eléctrica

Para la estimación de la reducción de las emisiones, se tomó como base las mediciones de potencia activa de los ventiladores para las condiciones de trabajo de dos y tres ventiladores. Para esto se utilizaron los factores de emisión aceptados internacionalmente para los sistemas de generación por combustión Fuel Oil No.6; Bunker C por la EPA de los EE.UU y tomado de su página Web. Los valores se refieren en la tabla 3.2 (AP 42, Fifth Edition, 2010) (Vega, 2015).

Tabla 3.2. Factores de emisión publicados para la combustión de combustible tipo Bunker C por la EPA de EEUU

Contaminantes	FE (lb/10 ³ gal)	FE (kg/10 ³ L)	FE (kg/kWh)
CO ₂ (Dióxido de carbono)	25000	3000	0,6735
MP (Material particulado)	7,14	0,856	0,0002
CO (Monóxido de carbono)	5	0,600	0,0001
NO _x (Óxido de nitrógeno)	47	5,640	0,0013
SO ₂ (Dióxido de azufre)	392,5	47,100	0,0106

Fuente: (AP 42, Fifth Edition, 2010) (Vega, 2015)

En la tabla 3.3 se muestran los factores de emisión estimados para la planta de Hornos de Reducción mediante el consumo de energía eléctrica para dos y tres ventiladores funcionando.

Tabla 3.3. Valores estimados de emisiones por consumo de energía eléctrica de los ventiladores

Estimado de emisiones por consumo de energía eléctrica				
	kg/mes	Red con 3 ventiladores	Red con 2 ventiladores	Diferencia
Consumo de energía (Ventiladores)	kWh/mes	473,15	334,47	138,67
emisiones de CO ₂	10 ³ kg/mes	0,3186	0,2252	0,0933
emisiones de MP*	kg/mes	0,0909	0,0642	0,0266
emisiones de CO	kg/mes	0,0637	0,0450	0,0186
emisiones de NO _x	kg/mes	0,5990	0,4234	0,1755
emisiones de SO ₂	kg/mes	5,002	3,53	1,46
*MP: Material Particulado				

En la figura 3.13 se puede observar el comportamiento de las emisiones para el caso de funcionar dos y tres ventiladores. Con el incremento consumo de la energía eléctrica debido al uso de tres ventiladores, se incrementa la emisión de gases contaminantes. El uso de dos ventiladores reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO₂, gas de efecto invernadero) en 93,4 kg/mes y las de dióxido de azufre (SO₂) en 1,47 kg/mes, siendo este el efecto ambiental más importante.

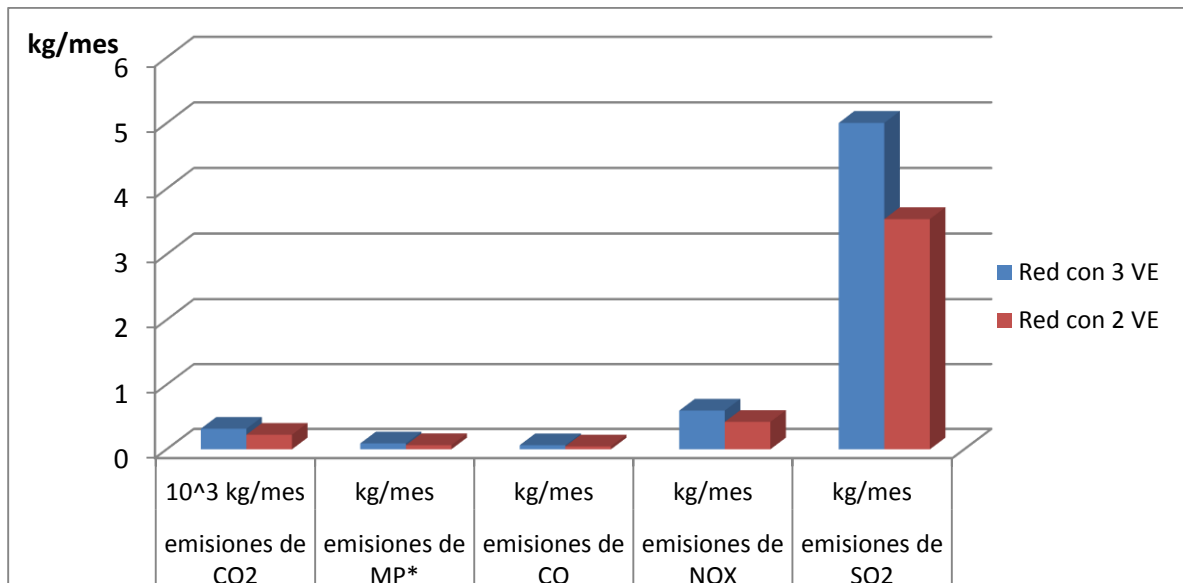


Figura 3.13. Comportamiento de las emisiones para dos y tres ventiladores

3.6. Medidas para la protección del medio ambiente durante la reducción del mineral

En la planta Hornos de Reducción se expulsa a la atmósfera polvo de mineral proveniente de la limpieza de gases. A la chimenea de 140 m de altura y 6 m de diámetro se descargan los gases provenientes de los hornos, después de pasar por el sistema de purificación mecánico y electrostático (ciclones y electrofiltros). Los gases que se expulsan a la atmósfera contienen CO₂, SO₂, N₂, O₂, y vapor de agua, el contaminante principal es el polvo a razón de 40,55 a 74,4 g/s Para eliminar los problemas ambientales se proponen las siguientes medidas:

1. Ejecutar mantenimiento según proyecto a los sistemas de limpieza de gases.
2. Eliminar fugas que existan en diferentes líneas tecnológicas de la planta.
3. Limpieza de los canales de drenaje.
4. Limpieza de la canalización fluvial.
5. Aprovechamiento de los gases calientes de horno a la cámara de combustión (mantenimiento del ducto de gases).

3.7. Valoración económica

En el análisis realizado se pudo comprobar para tres ventiladores funcionando el costo total de la energía consumida es de \$ 32804,2983 y para dos ventiladores conectados es de \$ 23086,7905. Actualmente se encuentran funcionando los tres ventiladores, por tanto,

si se aplica la propuesta de Vega, 2015; se logra un ahorro por concepto de energía eléctrica consumida por estos ventiladores de \$ 9717, 5078. Esta constituye una cifra representativa en el costo total de energía eléctrica consumida, para la planta.

3.8. Conclusiones del capítulo

- Se comprobó que para ambas variantes analizadas existe una variación de potencia consumida que incide en las fluctuaciones de costo de la energía.
- Se demostró que el horario del día constituye el más costoso a pesar de que la tarifa eléctrica en ese horario es de 0,056 \$/kWh.
- Queda establecido que la propuesta de dos ventiladores realizada por Vega, 2015, garantiza los parámetros técnicos de flujo de aire y presión; y además disminuye los costos por consumo de energía eléctrica.

CONCLUSIONES GENERALES

- Queda establecida la norma de aplicación de las tarifas eléctricas horarias para el sector industrial que permite determinar el consumo real de energía eléctrica de una instalación o empresa de alta tensión.
- Se demostró que manteniendo la potencia que consumen los ventiladores, constante, el horario pico constituye el de mayor costo de energía eléctrica consumida.
- Queda demostrado que la propuesta de Vega, 2015, de mantener operando solo dos ventiladores, no solo garantiza el flujo de aire y la presión necesarios para el proceso tecnológico, sino que disminuye los costos por consumo de energía eléctrica de estos en \$ 9717, 5078.

RECOMENDACIONES

- Aplicar las Normas establecidas por la UNE en cuanto a tarifa eléctrica horaria, para todas las valoraciones económicas que incluyan consumo eléctrico.
- Aplicar la propuesta de Vega, 2015, de la permanencia de dos ventiladores funcionando. Estos garantizan los parámetros técnicos, flujo de aire y presión, además de disminuir los costos por consumo de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

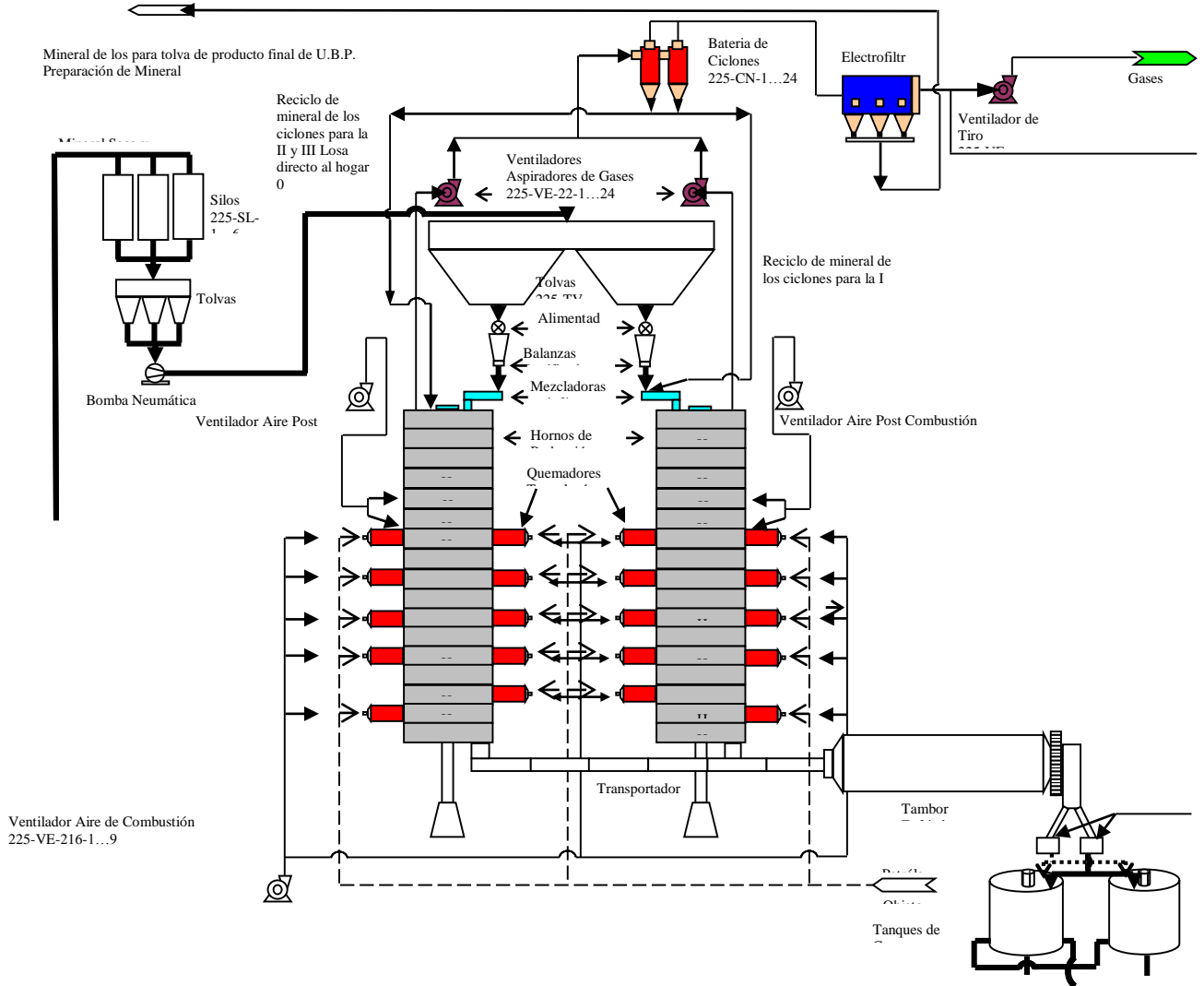
1. Borroto, A. "*Gestión Energética Empresarial*". Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos. (2002).
2. Companys P. R, Corominas S. "*Organización de la Producción I Diseño de sistemas productivos 1*". Primera Edición, septiembre 1993. EDICIONS UPC
3. Cruz, E. "*Regulación de velocidad en Ventiladores de Aire Atmosférico de combustión de la planta de Hornos de Reducción*". Tesis de diploma. ISMM. Moa. (2010).
4. Estévez, P. y Freile "*Diseño y construcción de un banco de pruebas con capacidad de 1,3 m3/s para estudio de principios de ventilación industrial*". (2006).
5. Gutiérrez, A. "*La regulación flujo de aire por dámara (válvula electrohidráulica) y la regulación de flujo controlada por equipos electrónicos, como son los variadores*". ISMM. Moa. (2006).
6. Gutiérrez, A. "*Regulación del flujo de aire por estrangulación en la succión*". ISMM Moa. (1992)
7. Hechavarría, J. "*Optimización del diseño de redes de distribución de agua bajo criterios técnico-económicos*". Tesis de Doctorado, Universidad de Holguín. (2009). 105h
8. <http://www.gestiopolis.com/metodos-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/#comments>.
9. Laurencio, A. H "*Método para la determinación de parámetros racionales de transporte de petróleo crudo cubano CM-650*". ISMM. Moa. Tesis doctoral. (2012).
10. Leyva, F. "*Evaluación del proceso de limpieza de gases de la Unidad Básica de Horno de Reducción en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*". Tesis de diploma. ISMM. Moa. (2012).
11. Menéndez, G. "*Informe técnico sobre el estado técnico de las cámaras de combustión de la planta hornos de reducción*". Moa. Empresa Ernesto Che Guevara. (2012).
12. (Manual Práctico de Contabilidad de Gestión. Julio Ortega Seco y Ángel Arbeola, López. Edición Cinco Días, Año 2000. Fascículo 1y 2. Naturaleza y Necesidades de la Contabilidad de Gestión) fuente; (<http://www.gestiopolis.com/metodos-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/#comments>)
13. Normas de la Unión Eléctrica Nacional, Moa. 2015.

14. Pérez, O. "*Determinación de los parámetros técnico económicos racionales para el transporte de petróleo por tuberías*". Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2013.
15. Pun, H. y Legrá, A "*Balance de carga y capacidad para la producción de la Unidad Básica de Producción Planta Hornos de Reducción para la producción de 3600 Toneladas de Níquel más Cobalto*". ISMMM. (2004).
16. Streeter, V. L. "*Mecánica de Fluidos*". 9. ed. La Habana. Editorial Félix Varela. 2008.
17. Torres, J:A: R: Sánchez, R. "*Estadística Elemental*". La Habana: Editorial Pueblo y Educación. (1986).
18. Turro, B. A. "*Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniacal*". Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM, Moa. (2002). p.154
19. Vega, O. "*Evaluación de los parámetros operacionales del suministro de aire de combustión en los Hornos de Reducción*". Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2015.
20. Weston J. F, Brigham E. F. "*Fundamentos de Administración Financiera*". Décima Edición. 1994.

ANEXOS

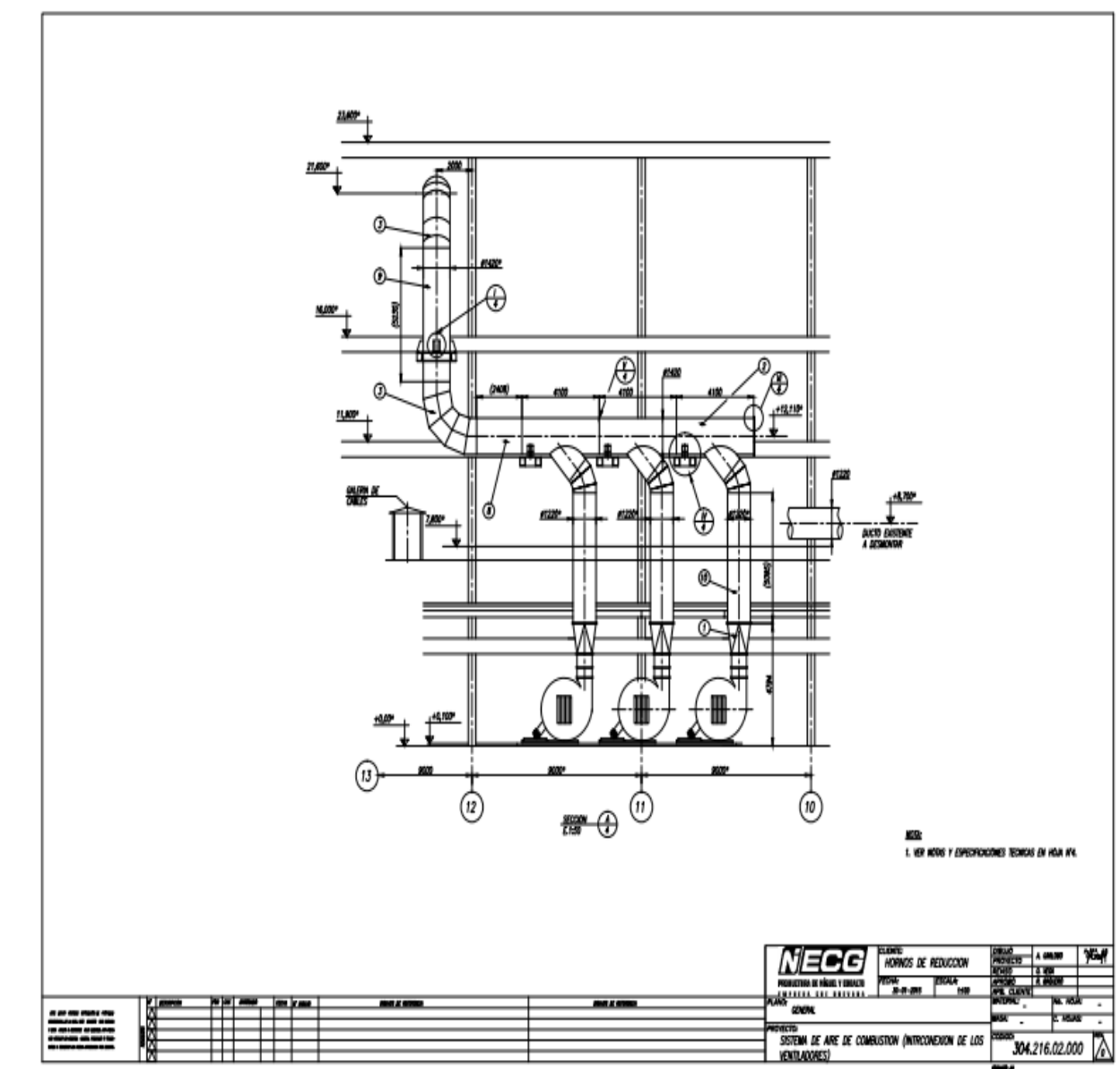
Anexo 1

Flujo tecnológico de la planta de Hornos de Reducción



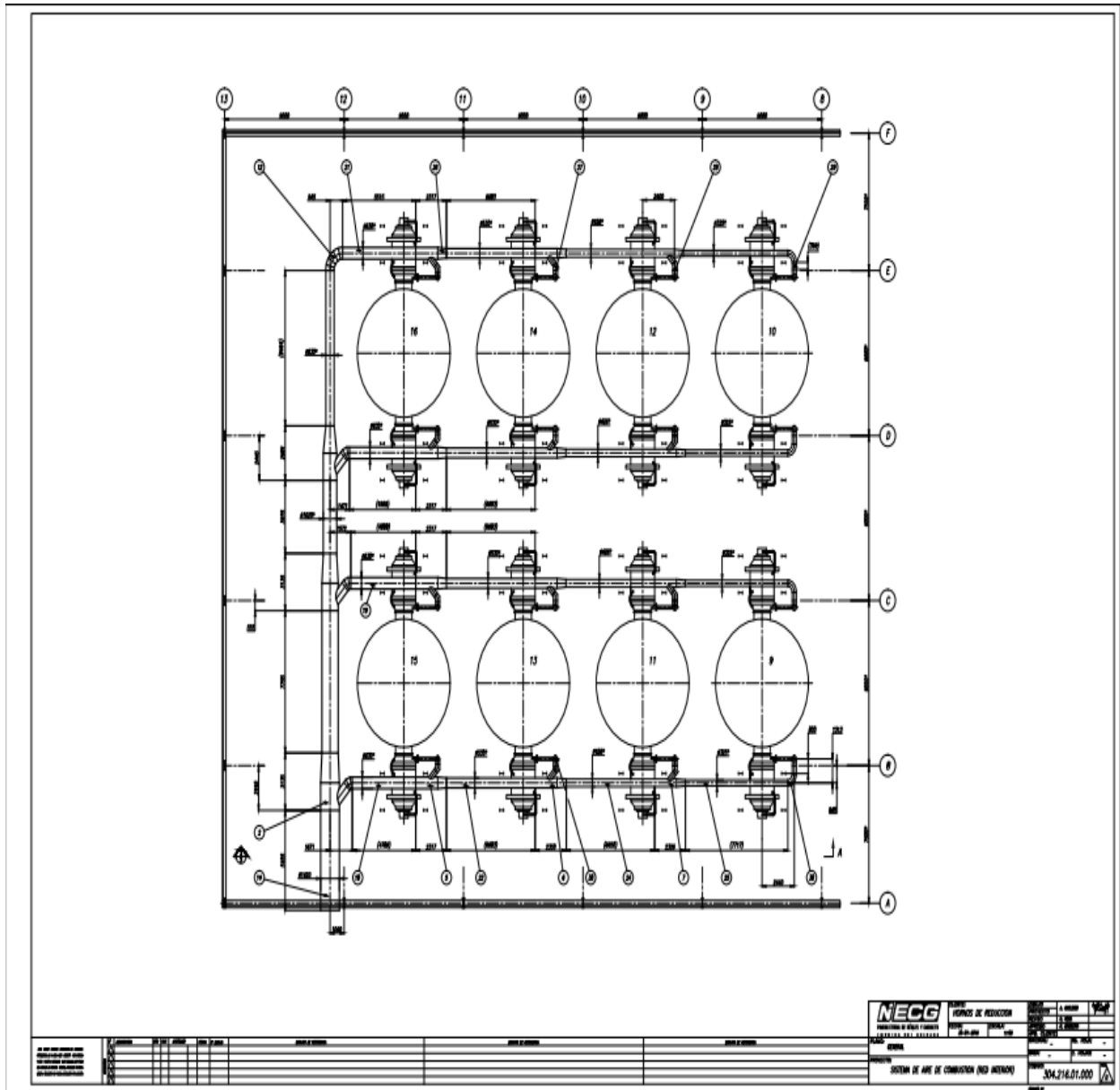
Anexo 2

Plano de montaje de los ventiladores 304.216.02.000



Anexo 3

Plano del sistema de suministro de aire en la losa dos 304.216.01.000



Anexo 4

Mediciones de potencia consumida en cada ventilador (4, 5, y 6)

Con 3 ventiladores					Con 2 ventiladores			
V4	V5	V6			V4	V5		
Potencia: P3	Potencia: P3	Potencia: P3	Presión	Caudal	Potencia: P3	Potencia: P3	Presión	Caudal
(kW)	(kW)	(kW)	(kPa)	(m3/s)	(kW)	(kW)	(kPa)	(m3/s)
158,07	156,48	157,275	13,9357595	27,871519	162	163,41	11,8330909	22,3842636
158,06	157,65	157,855	13,9871519	27,9743038	164,82	163,07	11,9232727	22,5548576
159,16	157,42	158,29	14,0256962	28,0513924	161,32	162,33	11,7690909	22,263197
157,32	158,15	157,735	13,976519	27,953038	163,34	163,475	11,8841818	22,4809106
159,94	155,85	157,895	13,9906962	27,9813924	163,61	164,115	11,9172727	22,5435076
156,4	156,2	156,3	13,8493671	27,6987342	164,62	164,245	11,9587273	22,6219258
158,58	158,38	158,48	14,0425316	28,0850633	163,87	163,835	11,9165455	22,5421318
159,72	159,41	159,565	14,1386709	28,2773418	163,8	163,41	11,8985455	22,5080818
158,23	158,19	158,21	14,0186076	28,0372152	163,02	163,28	11,8654545	22,4454848
158,06	157,69	157,875	13,9889241	27,9778481	163,54	162,9	11,8705455	22,4551152
159,64	157,51	158,575	14,0509494	28,1018987	162,26	162,475	11,8085455	22,3378318
158,01	158,09	158,05	14,0044304	28,0088608	162,69	163,045	11,8449091	22,4066197
158,92	155,59	157,255	13,9339873	27,8679747	163,4	164,11	11,9094545	22,5287182

157,72	154,93	156,325	13,8515823	27,7031646	164,82	164,34	11,9694545	22,6422182
157,12	156,15	156,635	13,8790506	27,7581013	163,86	163,815	11,9154545	22,5400682
158,73	156,15	157,44	13,9503797	27,9007595	163,77	163,365	11,8958182	22,5029227
157,04	156,69	156,865	13,8994304	27,7988608	162,96	163,02	11,8538182	22,4234727
157,61	156,8	157,205	13,929557	27,8591139	163,08	163,105	11,8612727	22,4375742
160,51	157	158,755	14,0668987	28,1337975	163,13	162,185	11,8296364	22,3777288
159,01	156,74	157,875	13,9889241	27,9778481	161,24	161,945	11,7521818	22,2312106
159,01	157,06	158,035	14,0031013	28,0062025	162,65	163,405	11,8565455	22,4286318
160,58	156,53	158,555	14,0491772	28,0983544	164,16	163,115	11,9009091	22,512553
154,94	156,63	155,785	13,8037342	27,6074684	162,07	162,265	11,794	22,3103167
157,49	155,58	156,535	13,8701899	27,7403797	162,46	162,05	11,8003636	22,3223545
155,93	156,62	156,275	13,8471519	27,6943038	161,64	162,075	11,7714545	22,2676682
157,38	154,14	155,76	13,801519	27,603038	162,51	162,23	11,8087273	22,3381758
157,08	157,98	157,53	13,9583544	27,9167089	161,95	162,685	11,8049091	22,330953
156,24	157,26	156,75	13,8892405	27,778481	163,42	163,03	11,8709091	22,455803
158,12	154,18	156,15	13,8360759	27,6721519	162,64	162,14	11,8101818	22,3409273
157,57	157,89	157,73	13,9760759	27,9521519	161,64	162,14	11,7738182	22,2721394
159,34	156,16	157,75	13,9778481	27,9556962	162,64	162,995	11,8412727	22,3997409
157,98	156,61	157,295	13,9375316	27,8750633	163,35	164,255	11,9129091	22,535253
157,26	156,94	157,1	13,9202532	27,8405063	165,16	166,285	12,0525455	22,7993985

160,38	156,18	158,28	14,0248101	28,0496203	167,41	165,78	12,116	22,9194333

Anexos 5: Mediciones de potencia consumida en cada ventilador (4, 5, y 6). Continuación

157,15	156,62	156,885	13,9012025	27,8024051	164,15	163,805	11,9256364	22,5593288
159,89	156,24	158,065	14,0057595	28,011519	163,46	164,73	11,9341818	22,5754939
158,83	157,11	157,97	13,9973418	27,9946835	166	165,185	12,0430909	22,7815136
160,07	155,89	157,98	13,9982278	27,9964557	164,37	165,395	11,9914545	22,6838348
159,59	157,57	158,58	14,0513924	28,1027848	166,42	165,54	12,0712727	22,8348242
157,9	157,06	157,48	13,9539241	27,9078481	164,66	164,845	11,982	22,66595
159,55	156,2	157,875	13,9889241	27,9778481	165,03	163,865	11,9598182	22,6239894
157,3	158,14	157,72	13,9751899	27,9503797	162,7	163,965	11,8787273	22,4705924
157,44	157,77	157,605	13,965	27,93	165,23	165,34	12,0207273	22,7392091
156,17	158,34	157,255	13,9339873	27,8679747	165,45	165,145	12,0216364	22,7409288
159,12	156,01	157,565	13,9614557	27,9229114	164,84	164,73	11,9843636	22,6704212
158,61	157,19	157,9	13,9911392	27,9822785	164,62	164,23	11,9581818	22,6208939
157,76	158,03	157,895	13,9906962	27,9813924	163,84	164,64	11,9447273	22,5954424
160,97	157,76	159,365	14,1209494	28,2418987	165,44	164,755	12,0070909	22,7134136
158,01	156,31	157,16	13,9255696	27,8511392	164,07	164,395	11,9441818	22,5944106
159	154,46	156,73	13,8874684	27,7749367	164,72	164,23	11,9618182	22,6277727

160,59	157,08	158,835	14,0739873	28,1479747	163,74	163,895	11,914	22,5373167
160,17	158,14	159,155	14,1023418	28,2046835	164,05	164,31	11,9403636	22,5871879
160,9	155,65	158,275	14,0243671	28,0487342	164,57	164,925	11,9816364	22,6652621
160,53	156,17	158,35	14,0310127	28,0620253	165,28	165,68	12,0349091	22,7660364
158	157,12	157,56	13,9610127	27,9220253	166,08	166,27	12,0854545	22,8616515
159,29	155,49	157,39	13,9459494	27,8918987	166,46	166,01	12,0898182	22,8699061
156,83	154,58	155,705	13,7966456	27,5932911	165,56	168,655	12,1532727	22,9899409
156,85	156,32	156,585	13,8746203	27,7492405	171,75	170,61	12,4494545	23,5502182
157,17	157,26	157,215	13,930443	27,8608861	169,47	168,875	12,3034545	23,2740348
158,61	156,19	157,4	13,9468354	27,8936709	168,28	167,52	12,2109091	23,0989697
158,36	156,41	157,385	13,9455063	27,8910127	166,76	166,62	12,1229091	22,932503
157,57	156	156,785	13,8923418	27,7846835	166,48	167,52	12,1454545	22,9751515
155,7	156	155,85	13,8094937	27,6189873	168,56	168,145	12,2438182	23,1612227
157,96	156,7	157,33	13,9406329	27,8812658	167,73	166,7	12,1610909	23,0047303
160,26	156,7	158,48	14,0425316	28,0850633	165,67	166,33	12,0727273	22,8375758
159,91	154,82	157,365	13,9437342	27,8874684	166,99	167,6	12,1669091	23,0157364
160,96	155,63	158,295	14,0261392	28,0522785	168,21	168,75	12,2530909	23,1787636
159,4	155,74	157,57	13,9618987	27,9237975	169,29	168,265	12,2747273	23,2196924
159,2	157,24	158,22	14,0194937	28,0389873	167,24	167,405	12,1689091	23,0195197
158,99	156,72	157,855	13,9871519	27,9743038	167,57	168,01	12,2029091	23,0838364

157,83	155,85	156,84	13,8972152	27,7944304	168,45	168,345	12,2470909	23,1674136
158,54	156,56	157,55	13,9601266	27,9202532	168,24	169,04	12,2647273	23,2007758
158,3	157,44	157,87	13,988481	27,976962	169,84	168,895	12,3176364	23,3008621

Anexos 5

Mediciones de potencia consumida en cada ventilador (4, 5, y 6). Continuación

160,07	156,47	158,27	14,0239241	28,0478481	167,95	167,57	12,2007273	23,0797091
160,93	158,56	159,745	14,1546203	28,3092405	167,19	167,42	12,1676364	23,0171121
157,16	158,8	157,98	13,9982278	27,9964557	167,65	167,09	12,1723636	23,0260545
159,15	156,16	157,655	13,9694304	27,9388608	166,53	166,235	12,1005455	22,8901985
158,78	158,15	158,465	14,0412025	28,0824051	165,94	165,975	12,0696364	22,8317288
156,71	158,82	157,765	13,9791772	27,9583544	166,01	166,08	12,076	22,8437667
158,58	159,15	158,865	14,0766456	28,1532911	166,15	167,135	12,1194545	22,9259682
158,43	158,45	158,44	14,0389873	28,0779747	168,12	169,155	12,2645455	23,2004318
159,24	159,95	159,595	14,1413291	28,2826582	170,19	169,76	12,3618182	23,3844394
159,97	159,25	159,61	14,1426582	28,2853165	169,33	168,49	12,2843636	23,2379212
158,24	159,31	158,775	14,0686709	28,1373418	167,65	167,86	12,2003636	23,0790212
158,65	158,05	158,35	14,0310127	28,0620253	168,07	167,78	12,2127273	23,1024091
158,94	156,83	157,885	13,9898101	27,9796203	167,49	167,955	12,198	23,07455
156,53	157,28	156,905	13,9029747	27,8059494	168,42	168,69	12,2585455	23,1890818

159,78	158,76	159,27	14,1125316	28,2250633	168,96	168,735	12,2798182	23,2293227
157,13	156,8	156,965	13,9082911	27,8165823	168,51	168,68	12,2614545	23,1945848
157,07	157,3	157,185	13,9277848	27,8555696	168,85	168,285	12,2594545	23,1908015
159,73	155,12	157,425	13,9490506	27,8981013	167,72	167,84	12,2021818	23,0824606
158,39	157,94	158,165	14,0146203	28,0292405	167,96	168,035	12,218	23,1123833
158,2	157,41	157,805	13,9827215	27,965443	168,11	168,36	12,2352727	23,1450576
157,65	156,43	157,04	13,9149367	27,8298734	168,61	167,55	12,224	23,1237333
157,7	156,91	157,305	13,9384177	27,8768354	166,49	166,325	12,1023636	22,8936379
158,59	158,12	158,355	14,0314557	28,0629114	166,16	166,17	12,0847273	22,8602758
156,41	158,05	157,23	13,9317722	27,8635443	166,18	165,585	12,0641818	22,8214106
159,19	156,49	157,84	13,9858228	27,9716456	164,99	165,725	12,026	22,7491833
157,35	158,11	157,73	13,9760759	27,9521519	166,46	166,9	12,1221818	22,9311273
159,13	160,13	159,63	14,1444304	28,2888608	167,34	167,385	12,1718182	23,0250227
158,34	156,45	157,395	13,9463924	27,8927848	167,43	166,675	12,1492727	22,9823742
159,47	158,69	159,08	14,0956962	28,1913924	165,92	166,495	12,0878182	22,8661227
158,08	157,79	157,935	13,9942405	27,988481	167,07	167,12	12,1523636	22,9882212
159,4	158,59	158,995	14,0881646	28,1763291	167,17	167,71	12,1774545	23,0356848
157,85	157,98	157,915	13,9924684	27,9849367	168,25	168,66	12,2512727	23,1753242
159,21	158,19	158,7	14,0620253	28,1240506	169,07	169,52	12,3123636	23,2908879
155,79	157,29	156,54	13,8706329	27,7412658	169,97	169,52	12,3450909	23,352797

157,74	154,9	156,32	13,8511392	27,7022785	169,07	168,825	12,2870909	23,2430803
159,27	158,55	158,91	14,0806329	28,1612658	168,58	167,86	12,2341818	23,1429939
158,24	157,25	157,745	13,9774051	27,9548101	167,14	167,635	12,1736364	23,0284621
157,19	156,64	156,915	13,9038608	27,8077215	168,13	168,945	12,2572727	23,1866742
157,5	158,34	157,92	13,9929114	27,9858228	169,76	169,695	12,3438182	23,3503894
158,72	156,16	157,44	13,9503797	27,9007595	169,63	169,74	12,3407273	23,3445424

Anexos 5

Mediciones de potencia consumida en cada ventilador (4, 5, y 6). Continuación

154,92	156,31	155,615	13,7886709	27,5773418	169,85	168,895	12,318	23,30155
158,14	157,05	157,595	13,9641139	27,9282278	167,94	167,66	12,2036364	23,0852121
157,36	157,48	157,42	13,9486076	27,8972152	167,38	167,515	12,178	23,0367167
156,82	155,5	156,16	13,836962	27,6739241	167,65	167,61	12,1912727	23,0618242
159,85	156,53	158,19	14,0168354	28,0336709	167,57	167,46	12,1829091	23,046003
158,34	156,47	157,405	13,9472785	27,894557	167,35	167,235	12,1667273	23,0153924
158,02	156,63	157,325	13,9401899	27,8803797	167,12	166,93	12,1472727	22,9785909
157,49	157,63	157,56	13,9610127	27,9220253	166,74	166,595	12,1212727	22,9294076
156,53	156,77	156,65	13,8803797	27,7607595	166,45	167,925	12,1590909	23,000947
157,83	157,04	157,435	13,9499367	27,8998734	169,4	168,8	12,2981818	23,2640606
159,66	156,83	158,245	14,0217089	28,0434177	168,2	167,8	12,2181818	23,1127273

156,95	157,5	157,225	13,9313291	27,8626582	167,4	167,87	12,1916364	23,0625121
158,58	158,16	158,37	14,0327848	28,0655696	168,34	168,37	12,244	23,1615667
156,65	158,94	157,795	13,9818354	27,9636709	168,4	168,685	12,2576364	23,1873621
157,34	157,29	157,315	13,9393038	27,8786076	168,97	167,75	12,2443636	23,1622545
158,56	155,09	156,825	13,8958861	27,7917722	166,53	167,355	12,1412727	22,9672409
158,1	157,07	157,585	13,9632278	27,9264557	168,18	167,51	12,2069091	23,091403
158,91	156,44	157,675	13,9712025	27,9424051	166,84	166,84	12,1338182	22,9531394
157,66	157,47	157,565	13,9614557	27,9229114	166,84	166,795	12,1321818	22,9500439
159,38	158,34	158,86	14,0762025	28,1524051	166,75	166,56	12,1203636	22,9276879
159,63	157,1	158,365	14,0323418	28,0646835	166,37	167,145	12,1278182	22,9417894
160,06	158,15	159,105	14,0979114	28,1958228	167,92	167,78	12,2072727	23,0920909
160,54	157,02	158,78	14,0691139	28,1382278	167,64	167,535	12,1881818	23,0559773
159,11	156,17	157,64	13,9681013	27,9362025	167,43	167,36	12,1741818	23,0294939
158,4	158,55	158,475	14,0420886	28,0841772	167,29	167,675	12,1805455	23,0415318
159,58	156,85	158,215	14,0190506	28,0381013	168,06	167,345	12,1965455	23,0717985
158,29	158,52	158,405	14,0358861	28,0717722	166,63	167,82	12,1618182	23,0061061
160	156,42	158,21	14,0186076	28,0372152	169,01	169,67	12,3156364	23,2970788
159,04	157,93	158,485	14,0429747	28,0859494	170,33	169,4	12,3538182	23,3693061
155,81	157,46	156,635	13,8790506	27,7581013	168,47	169,215	12,2794545	23,2286348
157,9	156,47	157,185	13,9277848	27,8555696	169,96	170,08	12,3650909	23,3906303

157,24	157,72	157,48	13,9539241	27,9078481	170,2	170,755	12,3983636	23,4535712
158,56	155,87	157,215	13,930443	27,8608861	171,31	171,79	12,4763636	23,6011212
158,45	156,3	157,375	13,9446203	27,8892405	172,27	171,36	12,4956364	23,6375788
159,68	158,45	159,065	14,0943671	28,1887342	170,45	171,295	12,4270909	23,5079136
158,54	157,6	158,07	14,0062025	28,0124051	172,14	170,995	12,4776364	23,6035288
158,7	158,3	158,5	14,0443038	28,0886076	169,85	169,84	12,3523636	23,3665545
158,65	158,73	158,69	14,0611392	28,1222785	169,83	171,29	12,4043636	23,4649212
161,02	156,56	158,79	14,07	28,14	172,75	171,255	12,5092727	23,6633742