

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”



Título: Optimización energética del proceso de “beneficio seco” del café en la empresa Procesadora Eladio Machín.

Por

Autor: Luis Angel Peñate Olivera

Tutor: Enrique Arturo Padrón Padrón

Cienfuegos, año 62 de la revolución

Pensamiento

La mente es como un paracaídas, sólo funciona si se abre.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mis familiares y a mis amigos, que de una forma u otra contribuyeron a que este trabajo fuera posible.

A mi tutor Arturo, sin sus conocimientos y paciencia, no hubiese sido posible la pronta culminación de este trabajo.

A los profesores de la Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", por su tiempo y dedicación a mi formación.

A todos ustedes Gracias

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi padre y a mi madre quienes nunca dijeron que no podía, pudiendo ser así lo que pensaban. A sus sacrificios, que solo ellos los conocen, al brindarme especial apoyo en todas mis tareas. A sus ideas que solo fueron guiar mis pasos, que sin ellas esto no pudiera haber sido de igual forma. También a la persona que me acompaña hoy, que como resultado a todo, agiliza mis ideas. Y, en fin, a toda familia que estuvo presente, como compañeros y amigos, el cual cada grano de una forma u otra incidió en este trabajo.

SINTESIS

En el presente trabajo se analizan los portadores energéticos de la Empresa Procesadoras de Café “Eladio Machín”, y como concluyente se determina que el portador energético de la electricidad es el que más se consume y por ende en que más gastos genera. Revisando la factura eléctrica, se llega a la conclusión que está mal facturada, al igual que su selección no es la adecuada. Al analizar la demanda contratada se evidencia que no se recontracta dos veces al año, debiendo ser así por como se comportan las cosechas de café, al igual que su recontractación de valores. Como estudio se efectúan mediciones de todos los parámetros eléctricos y se determina, el día característico donde más trabajo se realiza, para su posterior análisis, el cual arroja que existe un deterioro en el factor de potencia, como un consumo alto de energía reactiva. Luego procedemos a un estudio, para compensar la potencia reactiva, determinándose un Banco de capacitores de 45 kVAr, el cual la disminuye y no se deteriora en factor de potencia. Por último se realiza un estudio de factibilidad con sustitución de los motores de mayor potencia, que consumen más energía al año. Arrojando que el intercambio por uno más eficiente con régimen de trabajo similar al efectuado, no es atractiva su inversión, pero de cambiar el régimen de trabajo por carácter continuo en un margen de dos años, esta se recupera. Por lo cual es factible la inversión.

SYNTHESIS

In the present work, the energy carriers of the Coffee Processing Company “Eladio Machín” are analyzed, and as a conclusion it is determined that the energy carrier of electricity is the one that is consumed the most and therefore generates the most expenses. Reviewing the electricity bill, it is concluded that it is badly billed, just as its selection is not adequate. When analyzing the contracted demand, it is evident that it is not rehired twice a year, and this must be the case because of how the coffee harvests behave, as well as their rehiring of securities. As a study, measurements of all electrical parameters are made and the characteristic day where more work is done is determined, for subsequent analysis, which shows that there is a deterioration in the power factor, such as a high consumption of reactive energy. Then we proceed to a study to compensate for reactive power, determining a 45 kVAr capacitor bank, which reduces it and does not deteriorate in power factor. Finally, a feasibility study is carried out with the replacement of the higher power motors, which consume more energy per year. Throwing that the exchange for a more efficient one with a work regime similar to the one carried out, your investment is not attractive, but if you change the work regime for a continuous nature in a margin of two years, it recovers. Therefore, the investment is feasible.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

<i>Introducción</i>	2
Antecedentes	2
Justificación del estudio	2
Problema de Investigación	2
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis de la Investigación	3
<i>Capítulo 1: Estado del arte sobre plantas benefactoras de café en Cuba y el Mundo</i>	4
1.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial	5
1.2 Estructura del proceso productivo para el beneficio seco del café	6
1.3 Comparación tecnológica nacional e internacional	13
<i>Capítulo 2: Sistema de Gestión de la energía</i>	15
2.1 Análisis de los portadores energéticos de la planta	16
2.2 Sistema de suministro eléctrico de la planta	19
2.3 Análisis de la factura eléctrica	22
<i>Capítulo 3: Análisis de resultados</i>	32
3.1 Descripción de las mediciones	33
3.2 Estratificación de cargas de suministro eléctrico	36
3.3 Acciones para disminuir los costos por concepto de factura eléctrica	39
3.3.1 Demanda contratada	39
3.3.2 Penalización por bajo factor de potencia	41
3.3.2.1 Planta Benefactora de Café	41

3.3.2.2 Taller y prestación de servicios	44
3.4 Comportamiento de la potencia activa en un día característico de trabajo en la Planta	45
<i>Capítulo 4: Evaluación económica, de sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia</i>	48
4.1 Selección de los motores a estudiar	49
<i>Conclusiones</i>	53
<i>Recomendaciones</i>	56
<i>Referencias Bibliográficas</i>	59
<i>Anexos.</i>	62

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La Empresa Procesadora de Café Eladio Machín fue fundada el 4 de abril 1964, por lo que la estructura de instalaciones de la industria, tanto mecánicas como eléctricas datan de esta fecha, dando al traste a una obsolescencia en sus instalaciones, las cuales constan con más de 5 décadas de explotación, pasando los regímenes de fiabilidad de los índices para los que fueron diseñadas, solo pudiéndose realizar mantenimientos parciales tales como: reemplazo y engrase de cojinetes y rodamientos que se encontraban averiados, al igual que sustitución de motores eléctricos con similar potencia y velocidad, moto reductores y engranajes por el medio de la innovación.

Justificación del estudio

Con este proyecto se pretende disminuir los consumos de los portadores energéticos, principalmente energía eléctrica, manteniendo los estándares de calidad para el beneficio de café seco, al igual lograr cumplir con los parámetros técnicos y tecnológicos desarrollados para estos procedimientos y así mejorar su productividad, ya que el consumo mayor de energía en la industria recae en el funcionamiento de los motores eléctricos, los cuales sustentan netamente este proceso.

Problema de Investigación

En la industria de beneficio seco no existe un sistema de gestión de energía, que controle por medio de indicadores el comportamiento de los consumos energéticos. Un estudio de la organización del proceso productivo y determinación de los mecanismos claves, que son los que mayores incidencias tienen en la factura eléctrica, puede llevar a soluciones que impliquen mayor competitividad de la empresa.

Objetivo General

Estudiar diferentes estrategias para disminuir los costos por concepto de portadores energéticos, a fin de hacer más competitivo el proceso de beneficio seco en la industria del café, en la Empresa Procesadora “Eladio Machín”.

Objetivos específicos

- ✓ Estudio del estado del arte sobre sistemas de gestión de energía en plantas procesadoras de café.
- ✓ Conocer y analizar el proceso productivo del beneficio seco del café.
- ✓ Medir los parámetros eléctricos por áreas y totales.
- ✓ Analizar los resultados de las mediciones.
- ✓ Estudio de la Factura Eléctrica y sus distintos acápite.
- ✓ Proponer mejoras en la organización del proceso productivo.
- ✓ Evaluar proyectos de eficiencia energética con la posible sustitución de motores de eficiencia estándar, por motores de alta eficiencia.

Hipótesis de la Investigación

Un estudio profundo de los costos por concepto de portadores energéticos y un plan de medidas encaminadas a la disminución puede mejorar la imagen y la competitividad de la empresa.

CAPITULO I

CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE SOBRE PLANTAS BENEFACTORAS DE CAFÉ EN CUBA Y EL MUNDO.

1.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial

La industria del beneficio de café seco, en el contexto local (Empresa Procesadora de Café Eladio Machín) se encuentra con obsolescencia tecnológica, enmarcada en la dificultad que posee la misma para adquirir nuevas tecnologías, lo cual afecta sus índices de eficiencia y control de sus portadores energéticos, que en este caso recaen en la electricidad, ya que es el portador energético principal con que se desempeña el proceso de beneficio de café seco, en esta industria. En el ámbito nacional, el país posee cuatro procesadoras: Rolando Ayud en la provincia de Santiago de Cuba, Azdrubal López en la provincia de Guantánamo, Luis Bocourt en la provincia de Artemisa y la Eladio Machín en la provincia de Cienfuegos. Todas tienen similar tecnología exceptuándose las Procesadoras Rolando Ayud y la Azdrubal López, que constan con selectoras electrónicas modernas, disminuyendo su consumo eléctrico y aumentando su eficiencia en cuanto el aprovechamiento de la masa del café, el cual es superior al 90% en el proceso de selección óptica del grano de café, no siendo así en las demás, ya que tienen una eficiencia inferior al 42 % en cuanto a la selección de la masa y por ende su consumo energético es superior.

Debido a las falencias de la selectora óptica del grano es necesario suplir con escogida manual en la cual intervienen 30 personas, para eliminar los defectos excedentes en los surtidos, quedando aptos para la exportación. A pesar de los problemas antes mencionados la Planta de Beneficio ostenta el título de mejor procesadora del país, porque de la masa total un 87% es exportable y por el cumplimiento de las ventas. Esta alta distinción está determinada por la calidad de la materia prima y el compromiso del personal que labora en la misma.

1.2 Estructura del proceso productivo para el beneficio seco del café

La Planta Eladio Machín procesadora de café está diseñada procesar 7000 T al año trabajando en régimen continuo, como la materia prima nunca llega a estos valores, dicha planta solo trabaja 8 h por día y algunos meses del año. Las producciones anuales prácticamente solo dependen de la disponibilidad de materia prima y anualmente se procesa alrededor de 500 T, es decir a menos de un 10% de su capacidad nominal.

Inicialmente la planta trabaja con dos líneas de producción, que generalmente laboran de forma independiente con las variedades de café arábico y robusta. Después del molinado ambas líneas se unen en un solo proceso productivo.

El proceso comienza con la alimentación de las torvas de café, lo cual se realizan manualmente por los propios operadores de dicha área, luego a través de un elevador pasa a las **zarandas limpiadoras** encargadas de la descontaminación de palos, piedras u otro medio ajeno al grano. Su principio de funcionamiento es a través de un brazo que acciona al rotor principal, que debido a su configuración provoca movimiento en el tamiz. (Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.1: Zaranda limpiadora

Capítulo I: Estado del arte sobre las Planta Benefactoras de café en Cuba y el Mundo

Un elevador de cajilones, accionado por un moto-reductor de 0.75 kW recibe el café a la salida de la zaranda y lo eleva seis metros hasta la Guardiola.

La **Guardiola** tiene la función de deshumidificar el café y consiste en Intercambiador de calor giratorio destinado a reducir la humedad del café hasta un $12 \pm 0,5\%$ utilizando un flujo de aire caliente, proveniente del **horno** de afrecho. Esta gira a una velocidad de entre 2 y 4 rpm proporcionándole calor del horno, la temperatura inicial ira aumentado paulatinamente hasta 60° C como máximo para obtener la humedad deseada, el combustible que se utiliza es el afrecho del café, el cual es un subproducto del propio proceso. (Delgado Vásquez, 2017). El secado asegura un mayor beneficio económico al productor debido a que el producto seco sufre poco o ningún deterioro si es bien almacenado, permite la conservación de la semilla por largos períodos de tiempo conservando su poder de germinación y adquiere un mayor valor agregado si se empaca al consumidor. (Alvarado, 2004)

La comercialización del café pergamino húmedo trae consigo daños irreparables para la calidad final del producto, afectando finalmente sus características en tasa y modificando sus propiedades organolépticas como sabor suave y amargor moderado. (Montilla, Oliveros, & Montoya, 2008a)



Figura 1.2: Guardiola



Figura 1.3: horno

El café seco cae sobre un **transportador tipo husillo**, el cual es accionado por un motor-reductor de 0.75 kW, descargándolo en un elevador de cajilones el cual lo lleva hasta la parte superior de la torva que alimenta los molinos. Según nivel de suciedad que tenga el café pergamino se somete a otra limpieza en el **cedazo**. (Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.4: husillo



Figura 1.5: Cedazo

El **Molino** es de tipo martillo y tiene la función del descascarado del café, el mismo es accionado por un motor eléctrico de 16 kW y 1750 rpm. En este mecanismo salen dos productos, el café oro y el afrecho. El afrecho es conducido por conductos, el cual es succionado por un extractor exterior, y depositado en una torva fuera de la instalación, elevada a unos 8 metros. El café oro es depositado en sacos, con dos destinos posibles:

- 1.- Directamente a la máquina clasificadora
- 2.- Al área de costura del saco para después ser almacenado.

(Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.6: Molino

Capítulo I: Estado del arte sobre las Planta Benefactoras de café en Cuba y el Mundo

Primero se alimenta una torva con la materia prima, que en este caso es el café oro a chorro, luego interviene un elevador de canjilones con un moto-reductor de 0.75 kW, para así llevarlo a la **clasificadora** que tiene como objetivo principal a través de cribas seleccionar el grano según su tamaño este que se encarga de separar los granos de café de acuerdo a su tamaño, está compuesto por cinco juegos de cribas que van desde 7.144 mm hasta 5.556 mm, y luego verterlos independientemente de su tamaño en diferentes sacos, en los cuales se les otorga la clasificación de extra-turquino lavado, turquino lavado, altura lavado, montaña o cumbre. Esta actividad se realiza para mejorar el aspecto comercial del grano y lograr una mayor uniformidad de la masa. Al principio se lleva al laboratorio para analizar si se encuentran en los parámetros establecidos, luego esto se efectúa cada dos horas, de no ser así esto se reajusta, hasta la calibración ideal. Al final cuando cada saco llega a sus 60 Kg se cierran las compuertas y se cambia en mismo. (Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.6: Clasificadora

En dependencia de los surtidos que se vayan a clasificar según lo obtenido anteriormente, son los que se van pasando por las **mesas gravimétricas**, los cuales se vierten en tolvas para su posterior elevado e insertado en dicho proceso, el cual consiste en la limpieza neumática de limpieza y separación de granos por diferencia de peso específico. Los granos afectados pesan menos

que la media de los sanos pertenecientes al tipo, y por presión de aire de los ventiladores (neumática), los granos sanos siguen su curso, y los menos pesados son rechazados por otro conducto. En fin, la separación gravimétrica va encaminada a continuar mejorando la calidad de la masa de café, limpiando los granos vanos, fragmentos de granos, granos corchosos, otros de menor peso por su defecto, impurezas ligeras, mediante un sistema de movimientos vibratorio y rotatorio, combinado con aire en un plano inclinado que permite dividir la masa en tres grupos, una mejor calidad en el plano superior, una calidad media en la parte central y una masa de rechazo o imperfecta de baja calidad en la parte más baja. (Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.7: Mesa gravimétrica

Posteriormente este grano es pasado a las **selectoras electrónicas** mediante elevadores de canjilones accionado por un moto-reductor de 0.75 kW, a una tolva para su posterior análisis.

Que no es más que la selección del café mediante su color de forma óptica observando el grano de café por cuatro zonas de exploración suministrando un flujo de aire a presión, con el fin de separar las partículas (defectos) de los granos buenos. Dicha máquina tiene un consumo de 015 K/caloría cada una, ciclo 60 ciclos, capacidad de selección de 90 a 130 Kg por canal por hora, como promedio, presión de trabajo 40 libras.

Según su selección de acorde a la calidad, es transportado por un sinfín y almacenado en tolvas diferentes, el de buena calidad es apto para la exportación y el rechazo puede ser sometido a un segundo pase o a la selección manual para emitir un segundo criterio respecto a su calidad. (Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.8: Selectora Electrónica

Ya en el área de la **máquina cosedora** se procede a las actividades relacionadas con el marcado, pesaje y cosido de los sacos de café, donde se usa una báscula de aire para verificar el pesado establecido, y luego se usa la estera para su incorporación al sellado y posteriormente a la estera, la cual se encadena en la producción para la incorporación al almacén de producción terminada. Donde intervienen los estibadores, llenando los parles y luego en monta-carga transportándolos a su destino final. (Delgado Vásquez, 2017)



Figura 1.9: máquina cosedora

1.3 Comparación tecnológica nacional e internacional

Internacionalmente la política cafetalera va encaminada a la producción en masa con la mayor brevedad posible, utilizando el mínimo de personal y aumentando las exigencias de las máquinas del proceso de beneficio seco, incorporando así en este siglo XXI tanto clasificadoras, molinos, guardiolas, etc. Mucho más eficientes tanto a la hora del proceso, como en su consumo energético. Dando traste a ser superiores en todos los aspectos, respecto a las instaladas en el área nacional. Un ejemplo claro se encuentra instalado en las despulpadoras de Santiago de Cuba las cuales son más eficientes en el momento de la selección, teniendo un índice superior al 90% (Manual de Procedimiento de Beneficio Seco, 2015), siendo las selectoras de la empresa analizada solamente un 70% de eficientes, y realizando estos procesos mediante placas electrónicas, y las modernas realizando este proceso de forma computarizada, donde se selecciona el tipo de defecto más específico del grano que no se debe seleccionar. (Delgado Vásquez, 2017).

En Colombia el secado mecánico se utiliza una fuente externa de calentamiento para aumentar la temperatura del aire hasta 50°C e impulsarlo por un ventilador, generalmente centrífugo, a través de la capa o las posibles capas de grano provistas en las cámaras de secado y pre-secado, con una altura máxima por capa de 35 cm. (Oliveros, Ramírez , & Pañuela , 2009)

Entre los años 60 y 70's el secador mecánico más popular en Colombia era el tipo Guardiola, posee un gran cilindro como cuerpo que gira continuamente con los granos de café en su interior, levantándolos hasta dejarlos caer por gravedad desde la parte superior, utilizando palas metálicas empotradas en la parte interna del cilindro. El tiempo de secado está comprendido entre 18 a 30 horas, sin que las condiciones climatológicas lo afecten enormemente, comparado con el secado solar. Para conservar los estándares de calidad del café. (Puerta, 2006)

Los Intercambiadores de calor utilizados actualmente para secado mecánico del café tienen un bajo nivel de eficiencia, con valores desde 30% para los equipos construidos artesanalmente en mampostería por talleres rurales hasta 60% para los dispositivos fabricados por la industria nacional. (González, 2008)

Por lo que se concluye que los centrífugos son los más eficientes.

Conclusiones Parciales

1. El proceso de beneficio seco del café tiene una obsolescencia tecnológica que data a la fundación de la planta en 1964.
2. Si el proceso fuera más eficiente, no se debiera repetir en ocasiones, para rectificar errores en la selección, y beneficio del grano.
3. Internacionalmente se tiene técnicas similares, solo que en equipos más modernos y eficientes.

CAPITULO II

CAPITULO 2: SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENRGÍA

2.1 Análisis de los portadores energéticos de la Planta

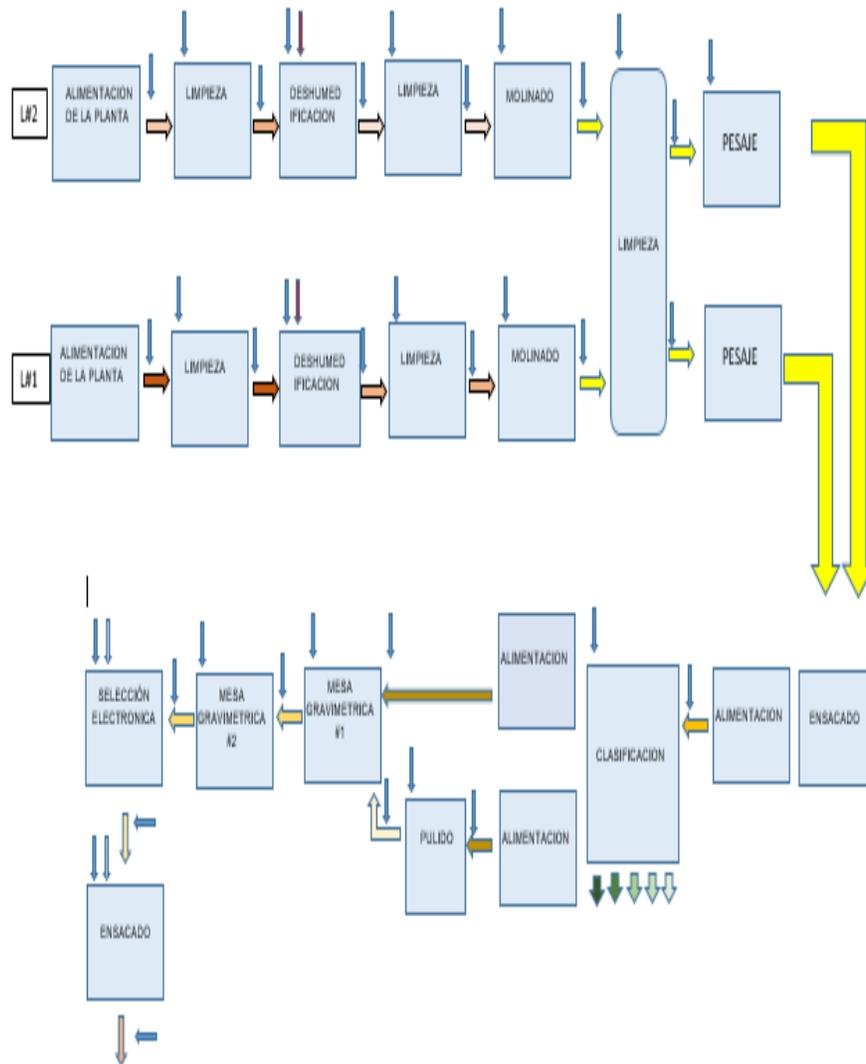


Figura 2.1: Flujograma del proceso

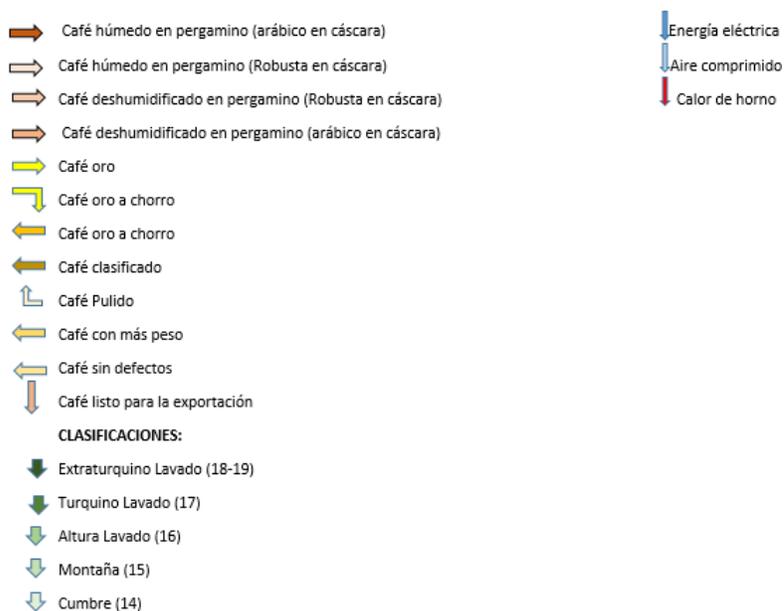


Figura 2.2: Leyenda del flujograma

El proceso comienza con la alimentación de las torvas de café, lo cual se realizan manualmente por los propios operadores de dicha área, luego a través de un elevador pasa a la zaranda limpiadora , tanto en la línea número 1 como en la línea número 2. La materia prima en este proceso es café húmedo en pergamino (arábico en cáscara) y café húmedo en pergamino (robusta en cáscara). Luego entran a la Guardiola independientemente de la línea en que se encuentre ese día trabajando para posteriormente deshumidificar, esto lo hace a mediante un elevadores y accionado por moto reductores. En la Guardiola en dependencia del nivel de humedad que posea la materia prima es el tiempo que se demora este proceso mover el tambor y calor del horno el cual se alimenta con afrecho de la misma cáscara del café. Retirándose posteriormente de dicho lugar con el nivel establecido de humedad en los parámetros comerciales, se traslada al cedazo por el sinfín y se procede a la limpieza nuevamente de este en la cual se retiran restos de materia no deseada, utilizando energía eléctrica para su funcionamiento. Luego de elevado a torvas nuevamente se descarga en los molinos que en dependencia del tipo que se surta y aquí se descascara, dejando solamente el embrión. Se le aplica otra limpieza y luego se ensaca.

Se vierte nuevamente en una tolva, para luego ser elevado a la clasificadora, en la cual se obtendrán surtidos mediante cribas, según el tamaño del grano, si en cliente solicita el embrión de pulido, se le adiciona al proceso, lo que lo hace más costoso, y de no ser así se interrumpe el proceso y se vierte en torvas para ser luego seleccionado en las mesas gravimétricas, aquí se obtiene el grano más pesado, siendo el otro el rechazado del proceso, sometiéndose varios pases en dependencia de sus defectos. El óptimo pasa a las selectoras electrónicas a través de elevadores que tiran a su tolva superior y aquí se realiza una tercera selección según su nivel de defectos obteniéndose nuevamente café para la exportación y rechazado por dichos equipos, pasando a su posterior ensacado el de buena calidad. Y de ser necesario según defectos encontrados pasan a la selección manual, para así emitir un último criterio. Al final de este se procede al ensacado, pesado y cosido de dicha producción terminada. Interviniendo electricidad en todos los procesos, más calor del horno, y aire comprimido en el ensacado y las selectoras electrónicas.

1. Gráfico de portadores energéticos del año 2019:

Tabla 2.1. Portadores energéticos utilizados en la Planta

PORTADOR	ACUMULADO (ML)	TCC/año	%	% acumulado
Electricidad	71.07	25.02	69.7%	69.7%
Diesel	10.52	9.43	26.3%	96.0%
Gasolina B-83	1.14	1.12	3.1%	99.1%
Gasolina B-90	0.32	0.31	0.9%	100.0%
TOTAL		35.89		

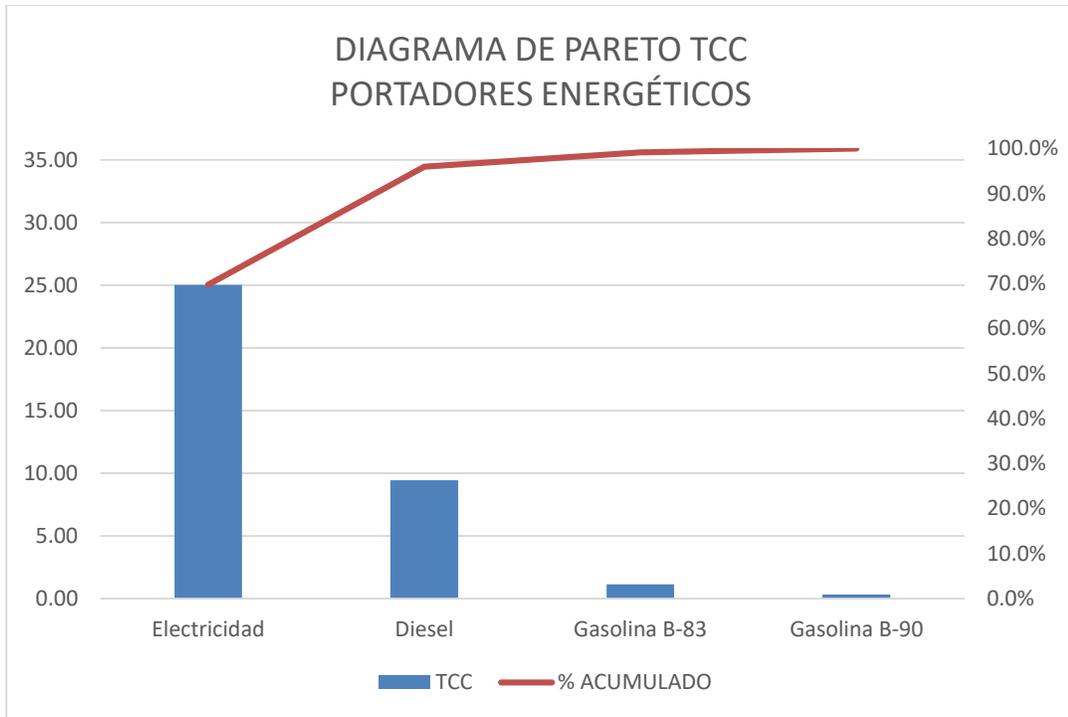


Gráfico 2.1: Diagrama de Pareto TCC de los portadores energéticos

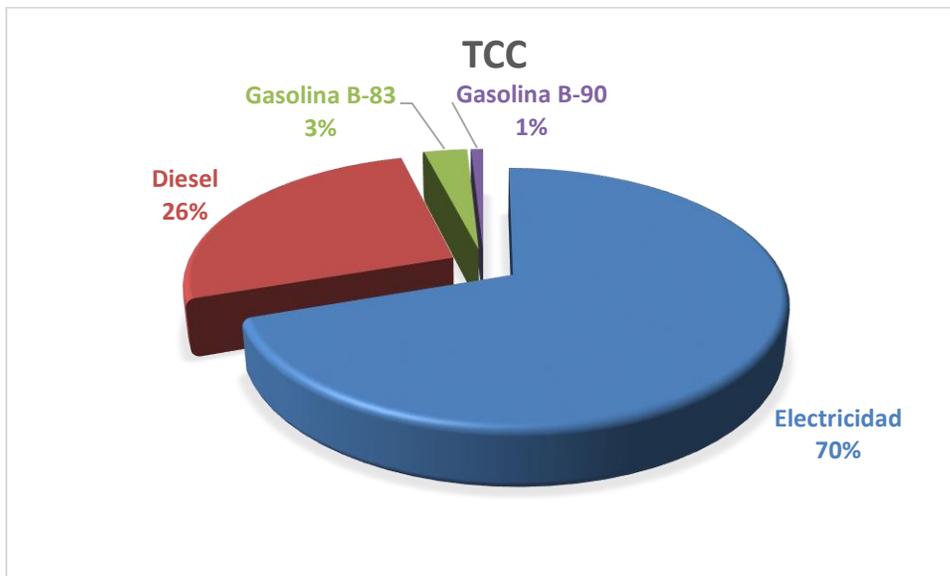


Gráfico 2.2: Gráfico de Pastel de TCC de los portadores energéticos

Como se puede apreciar anteriormente, se analiza el año 2019 en cuanto a los portadores energéticos consumidos, todos llevados a un mismo factor de conversión para así poder ser posteriormente analizados. Para el correcto

funcionamiento de dicha entidad, se utiliza Electricidad, Diésel, Gasolina B-83, Gasolina B-90. Siendo así el portador de energía eléctrica el que representa el mayor % de consumo por indicador de gastos. El portador energético que más se consume es la electricidad, prácticamente todos los mecanismos de la planta utilizan motores eléctricos para su funcionamiento. Y es el factor que se centra nuestro estudio, tanto para su disminución, como para su correcto empleo y corrección de errores encontrados. El trabajo centra sus esfuerzos en la disminución de este portador energético que decide en los gastos por este concepto.

2.2 Sistema de suministro eléctrico de la Planta

El sistema eléctrico que alimenta la industria consta con 3 transformadores de 50 kVA c/u, prestando el servicio de 220 volt a 60 HZ 3 ϕ . El metro correspondiente a la Ruta 62 Folio 100 metro correspondiente a la Ruta 62 Folio 100. Luego le siguen 2 contadores mayores de tres escalas, los cuales registran los horarios comprendidos (Día, Pico y Madrugada) al igual que la máxima demanda y los consumos históricos de dicho suministro. El metro correspondiente a la Ruta 62, Folio 100 es el de Talleres, el cual alimenta (Carpintería, Construcción, Aseguramiento y Taller), cada cual con su conector independiente, con un total de 4 breakers. El metro de la ruta 62, Folio 80 es el que le corresponde a la Planta Benefactora, el cual alimenta (Línea #1 Planta y oficinas de beneficio, Línea # 2 Plantas y oficinas de beneficio, banco de compresores y almacén, Laboratorio y oficinas, Dirección 1, Dirección 2 y Cocina), con un total de 7 breakers.

A continuación, el esquema monolineal de transformadores y breaker:

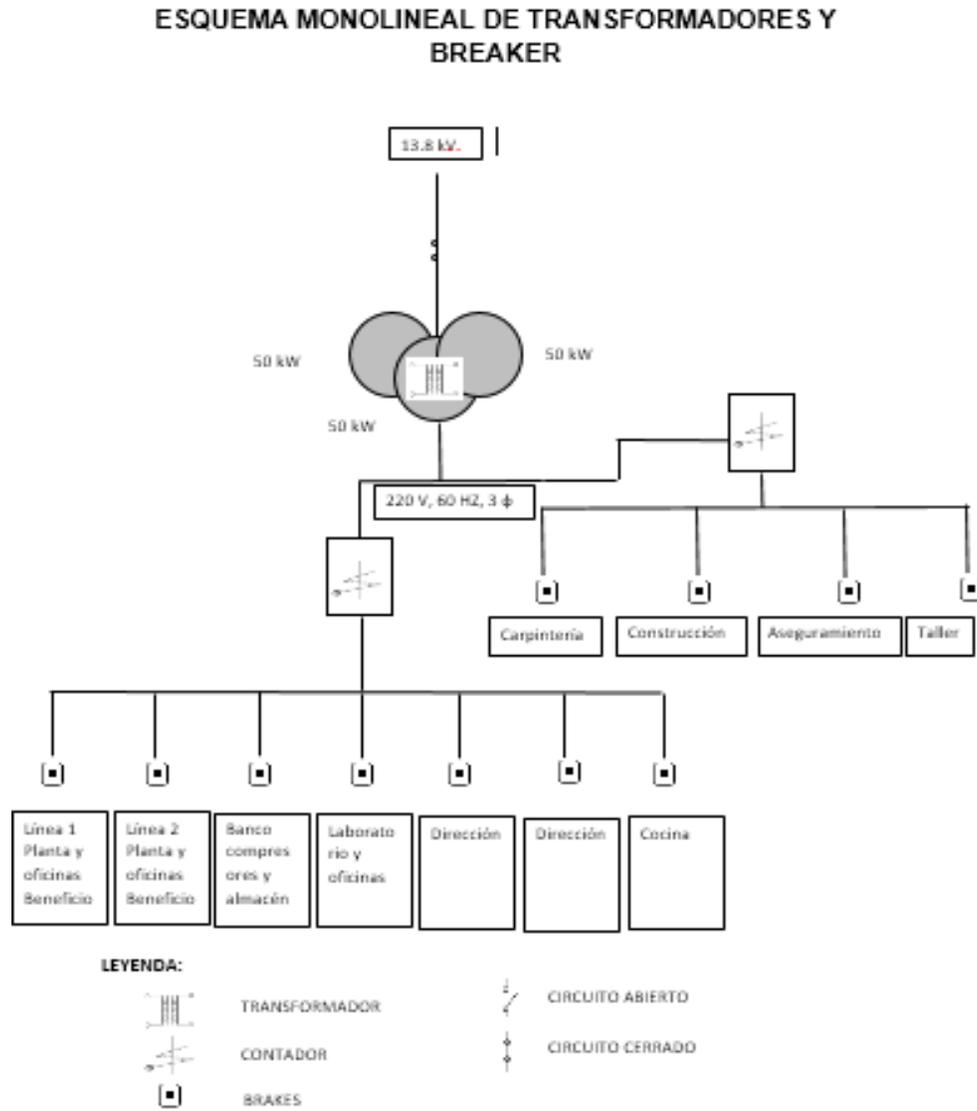


Figura 2.3: Esquema unifilar de la planta

2.3 Análisis de la factura eléctrica

Determinación de la tarifa eléctrica que nos define:

M. Tarifa para consumidores ubicados en la media tensión.

Tarifa de media tensión con actividad continua M1A:

Aplicación: Se aplicará a todos los servicios de consumidores clasificados como Media tensión con actividad de 20 horas o más diarias.

\$ 7.00 mensual por cada kW de máxima demanda contratada en el horario comprendido entre las 5:00 y las 21:00 horas.

Por cada kW consumido en horario pico:

$(0.0481 \text{ \$/kWh} * K + 0.064 \text{ \$/kWh}) * \text{Consumo pico en kWh}$

Por cada kWh consumido en el horario del día:

$(0.0241 \text{ \$/kWh} * K + 0.064 \text{ \$/kWh}) * \text{Consumo día en kWh}$

Por cada kWh consumido en el horario de la madrugada:

$(0.0161 \text{ \$/kWh} * K + 0.064 \text{ \$/kWh}) * \text{Consumo madrugada en kWh}$

Consideraciones:

- Para el cálculo de la facturación del cargo fijo mensual, se considerará:
 - ✓ El valor de demanda máxima contratada en el horario comprendido entre las 05:00 y las 21:00 horas.
 - ✓ Si la demanda máxima registrada en el horario establecido, es mayor que la demanda máxima contratada, se facturará la contratada al precio de la tarifa y el exceso al triple de su valor, \$ 21.00 por cada kW.
- Sólo se permitirá contratar dos valores de demanda al año, por períodos no menores de tres meses a los consumidores cíclicos o por períodos de alta y baja en el caso de las instalaciones hoteleras.
- Se aplica la cláusula del factor de potencia.
- Se aplica la cláusula de ajuste por variación del precio de los combustibles.
- Por esta tarifa se contratará a clientes de 100 kW de demanda y mayores. De existir disponibilidad de CEE con tres registros, se podrá aplicar esta tarifa a clientes de menos de 100 kW de demanda que cumplan la condición de tres turnos de trabajo. (UNE, 2011)

Tabla 2.2: tarifa M1A

TARIFA M1A		
Demanda contratada	Precios	Nomenclaturas
Demanda contratada (mes)	7.00 \$/ kWd	Prf
Consumo 5 PM - 9 PM (HORA PICO)	(0.0481 * K + 0.064) \$/kWh	Prp
Consumo 5 AM – 5 PM (DIA)	(0.0241 * K + 0.064)	Prd

	\$/kWh	
Consumo 9 PM- 5 AM (MADRUGADA)	(0.0161 * K + 0.064) \$/kWh	Prm
Coeficiente K aplicado en el mes de la facturación	4.2143	K
	Consumos	
DEMANDA MAX	2750 kW	Dc
Consumo 5 PM - 9 PM (HORA PICO)	100000 kWh	Cp
Consumo 5 AM – 5 PM (DIA)	565750 kWh	Cd
Consumo 9 PM- 5 AM (MADRUGADA)	503750 kWh	Cm

Facturación

Importe Cargo Variable (I CV) = (Prp * Cp + Prd * Cd + Prm * Cm) * K

Importe Cargo Variable = ((0.0481 * 4.2143 + 0.064) * 100,000 + (0.0241 * 4.2143 + 0.064) * 565,750+ (0.0161 * 4.2143 + 0.064) * 503,750) = \$ 186,758.53

Importe Cargo Fijo (I CF) = Prcf * Dc

Cargo Fijo = 7.00 * 2750 = \$ 19,250.00

I PERD = Los clientes de media tensión pueden tener los equipos de medida instalados por el lado de alta de los transformadores y las perdidas están incluidas en las lecturas de los consumos. En caso contrario se pueden calcular siguiendo la metodología desarrollada en el ejemplo.

Importe Facturación Normal (I FN) = I CF + I CV + I PERD . = \$ 206,008.53

Importe Factor de Potencia (I FP) = I FN * (fpnorma/fpreal-1)

Caso 1 Bonificación

Ejemplo: $fp = 0.96$ $fp \text{ normal} = 0.92$

Tabla 2.3: Bonificación en facturación

Caso de Bonificación				
Mayo de 2019				
Aspectos	U	Consumos	Penalizaciones	Saldo
Consumo reactivo	kVAr	1618		
C. Madrugada	kW	959		121.07
C. Día	kW	4336		680.57
C. Pico	kW	614		153.48
C. Pérdida				51.77
FP		0.96	0	-65.29
DC		560	0	560
Total		5903		1501.6

Importe Total (I T) = I_{FN} + I_{FP} + I_{PD}

Caso 2 Penalización

Tabla 2.4: Penalización en facturación

Caso de Penalización				
Febrero de 2020				
Aspectos	U	Consumos	Penalizaciones	Saldo
Consumo reactivo	kVAr	7439	14453	
C. Madrugada	kW	914		128.73
C. Día	kW	7360		2134.86
C. Pico	kW	944		422.44
C. Pérdida				96.97
FP		0.73	778.51	778.51
DC		560	273	833
Total		9168		4394.51

Importe Penalización Demanda (I PD) = 3 * (Prctf * D excedida)

Ejemplo Dem.Max contratada = 80 kW

$$I_{PD} = 3 * (7.00 * 750)$$

$$\text{Importe Total (I T)} = I_{FN} + I_{FP} + I_{PD}$$

Resumen de penalizaciones y Bonificaciones por el factor de potencia y la demanda contratada (Contador de la Planta de Beneficio) y (Contador de Taller):

Tabla 2.5: Resumen estadístico en penalizaciones y bonificaciones

PLANTA									
2018			2019			2020			
	P. fp	B. fp	P. DC	P. fp	B. fp	P. DC	P. fp	B. fp	P. DC
CUP	540.94	278.98	63	848.23	280.53	21	1775.7	11.33	420

TALLER									
2018			2019			2020			
	P. fp	B. fp	P. DC	P. fp	B. fp	P. DC	P. fp	B. fp	P. DC
CUP	559.95	0	0	584.78	5.07	0	310.41	0	0

Aspectos	Planta	Taller
P. fp	3164.87	1455.14
B. fp	570.84	5.07
P. DC	504	0
Total	3098.03	1450.07

Factor de Potencia (cos φ)

El suministro de energía eléctrica a los servicios de cualquier demanda, para el racional funcionamiento del Sistema Electroenergético Nacional debe ser con un factor de potencia (cos φ) de 0.90 o mayor, ya que valores menores del cos φ llevan a transmitir innecesariamente energía reactiva por las líneas del SEN, provocando pérdidas eléctricas en las redes. Esta energía puede ser producida donde se consume con la instalación de bancos de capacitores en los servicios de los clientes. (Browun Boberi)

Método de valoración del factor de potencia (cos φ): Es el resultado de la división de la energía activa, dividida por la energía aparente, medidas en un

período de tiempo mayor de 24 horas. Como realmente por medición se obtienen los valores de energía activa (kWh) y energía reactiva (kVAr) de un período, el valor de φ se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\text{Cos } \varphi = \cos (\text{Tan}^{-1} \text{ kVArh} / \text{kWh}) = \text{Factor de Potencia (Browun Boberi)}$$

Para factores de potencia superiores a 0,92 el cliente será bonificado. La bonificación será el importe que resulte de multiplicar la facturación normal (sin incluir penalizaciones por incumplimiento de la demanda contratada) por 0.92 y dividir este producto por el factor de potencia real del período, hasta un valor máximo de 0,96. Para factores de potencia inferiores a 0,90 el cliente será penalizado. La penalización será el importe que resulte de multiplicar la facturación normal (sin incluir penalizaciones por incumplimiento de la demanda contratada), por 0.90 y dividir este producto por el factor de potencia real del período. (UNE, 2011)

$$\text{Penalización} = \text{Facturación normal} * \frac{(0.9 - \text{F.Pot.Real})}{\text{F.Pot.Real}}$$

$$\text{Bonificación} = \text{Facturación normal} * \frac{(0.92 - \text{F.Pot.Real})}{\text{F.Pot.Real}}$$

Consideraciones.

- Se penalizará con un factor de potencia menor de 0.90.
- Entre 0.90 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, la bonificación se calculará utilizando el valor del factor de potencia hasta 0.96. (UNE, 2011)

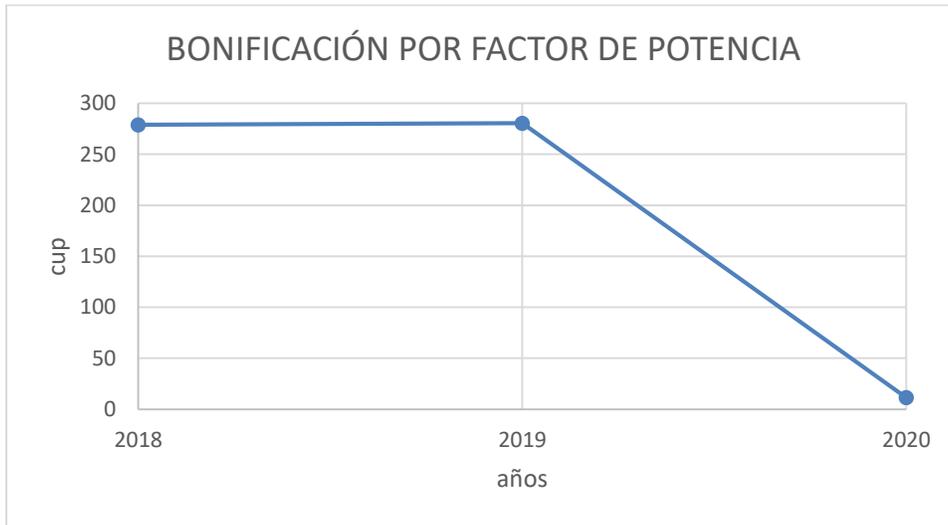


Gráfico 2.3: Bonificaciones del factor de potencia en la Planta

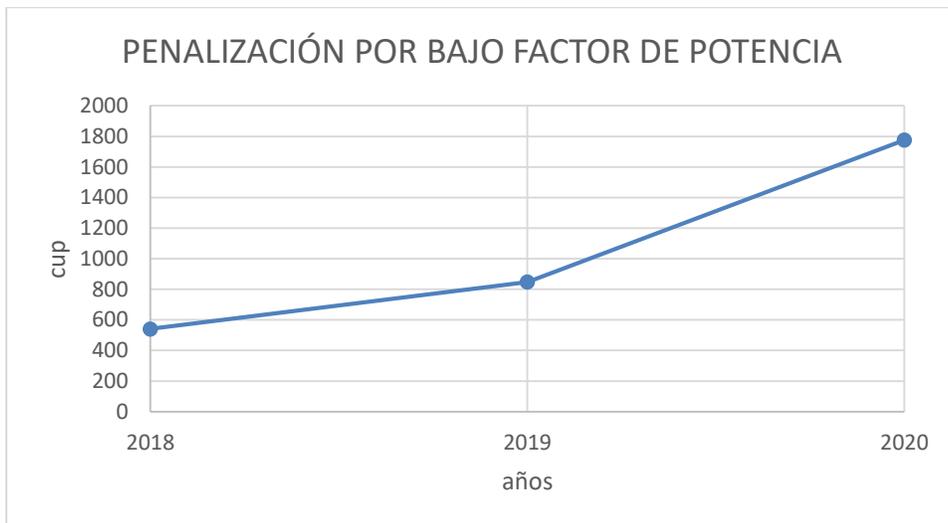


Gráfico 2.4: Penalizaciones del factor de potencia en la Planta

Análisis del comportamiento del factor de potencia por meses en los últimos años, para los dos servicios:

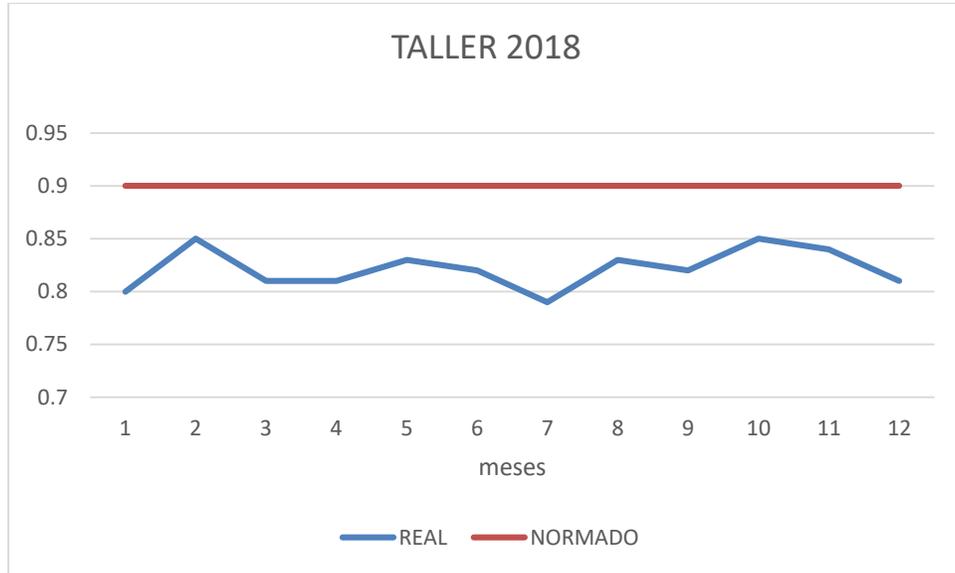


Gráfico 2.5: Comportamiento del factor de potencia en el año 2018 en el Taller

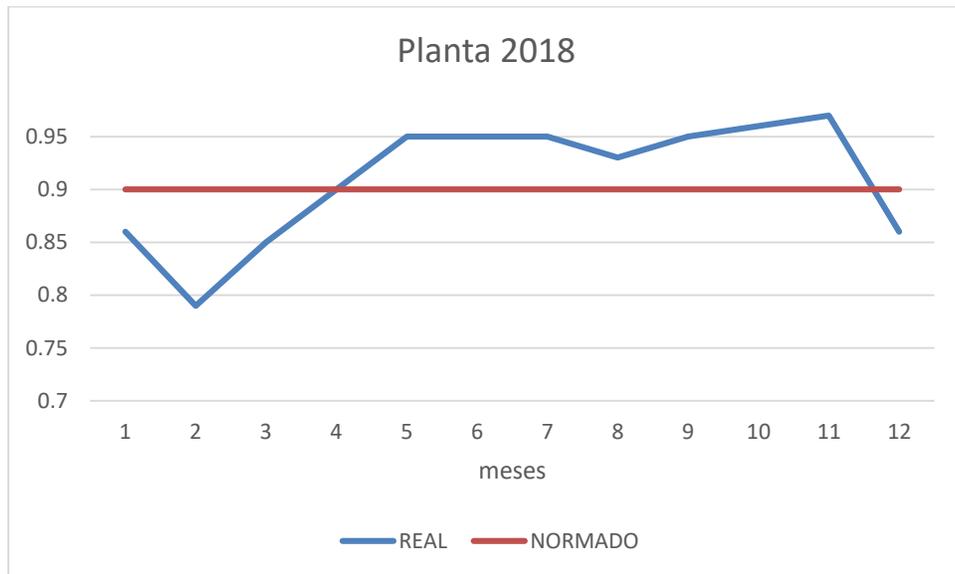


Gráfico 2.6: Comportamiento del factor de potencia en el año 2018 en la Planta

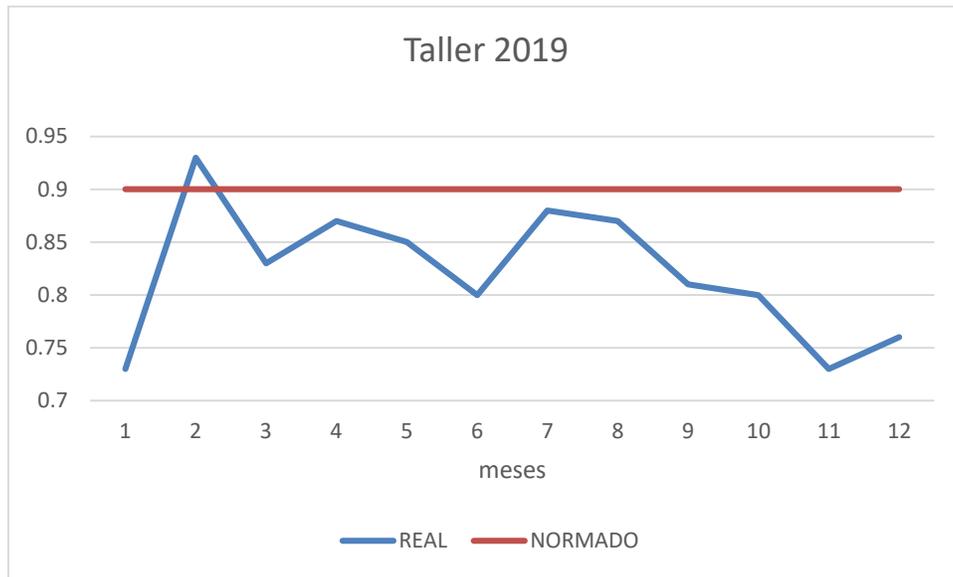


Gráfico 2.7: Comportamiento del factor de potencia en el año 2019 en el Taller

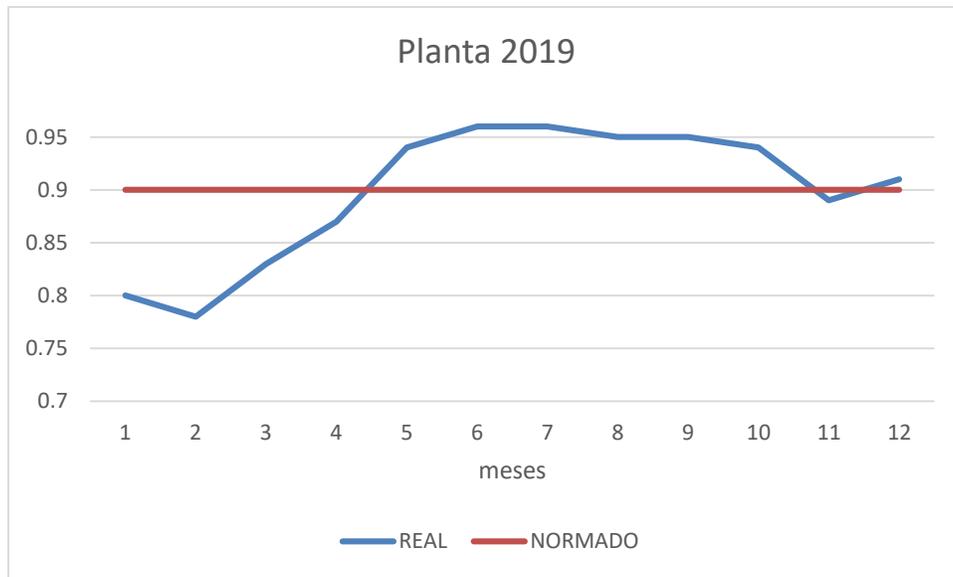


Gráfico 2.8: Comportamiento del factor de potencia en el año 2019 en la Planta

Conclusiones Parciales

1. La electricidad representa el 70 % de los gastos por concepto de portadores energéticos y por ende es el ITEM que mayor atención necesita.
2. A pesar de que la carga eléctrica de la Planta es fundamentalmente trifásica, tiene desconectado un transformador, trabajando el Banco en delta abierta. Lo que aumenta las pérdidas de transformación sobre todo en período de operación de la Planta.
3. La Tarifa M1A con triple registro está diseñada, para entidades que trabajan en régimen continuo de operaciones. La Planta desde hace muchos trabaja en un solo turno.

CAPÍTULO III

CAPITULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Descripción de las mediciones

Se comienzan las mediciones con el analizador de redes desde el día 19 de marzo de 2020 hasta el 27 de marzo de 2020, transcurriendo así 8 días. El equipo se encontraba conectado directamente a la red de la empresa, específicamente en el servicio de la Planta, folio 80 ruta 62 (ver anexo 3.1.1) que es donde se centra el estudio, por tener mayores valores de penalización en cup, en cuanto a factor de potencia, demanda contratada, al igual que es donde se encuentra el mayor consumo de energía de la empresa. Se registraron todos los días, al igual que todas las actividades que se iban realizando paulatinamente, como se arroja en las siguientes descripciones.

Se realiza una descripción equipo a equipo, su desempeño en el trabajo como su labor, los horarios específicos junto en donde arrancan y se detienen al igual, que la sección en que se efectúa dicho proceso.

Descripción de los días de trabajo:

20/3 Arranca Guardiola #1 (Arábico) para molinar de (7:35am-11:17), es decir solo el sinfín y dos elevadores, (solo se llena la tolva y posteriormente se comienza a molinar a partir de que superen el 50 % de su capacidad en un horario comprendido entre (8:20-11:20)), el cosido de sacos se efectúa en horarios de (7:50am-8:45am) y (9:30am-11:40am) por lo tanto se arranca solo el compresor pequeño y también funciona la estera de estiva. Los extractores se prenden de (7:35am-11:22am). El compresor de la pesa trabaja de (7:40am-12:00pm). La mesa tamiz prende de (8:22am-11:21am).

MEDIODIA

Continuaron andando los extractores del techo

TARDE

Solo trabaja la estera de estiva el compresor chiquito y la estera de cocido.

(el resultado del comportamiento de la potencia demandada en distintas horas, como la energía reactiva demandada y el factor de potencia se encuentra en el anexo 3.1.2,3.1.3,3.1.4)

FIN DE SEMANA (No se trabajó) (el resultado del comportamiento de la potencia demandada en distintas horas, como la energía reactiva demandada y el factor de potencia se encuentra en el anexo 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7)

23/3 Se utiliza el compresor pequeño (pesas), estera de estiva y cosedora+ estera.

24/4 Se utiliza la Guardiola # 1, de café arábico comienza de (7:35am-11:17am), los extractores del techo prenden desde las 7:30am, a las 7:45am comienza el compresor de la pesa y luego se cosen los sacos y se estiba al almacén, tira directo.

TARDE

En horarios comprendidos en entre las (12:30pm-3:45pm) se utiliza la mesa tamiz, de (12:30pm-3:45pm) se molina arábico, y en este mismo horario prende

el extractor principal. (el resultado del comportamiento de la potencia demandada en distintas horas, como la energía reactiva demandada y el factor de potencia se encuentra en el anexo 3.1.8,3.1.9,3.1.10)

25/3 Comienza el molino de (7:55 am-11:30am), la Guardiola # 2 de robusta funciona de (8:15am-2:30pm) en conjunto con el cedazo y el horno. Trabaja el extractor principal de (7:55am-11:30am). También funciona la estera a partir de las 8:30am para las estibas.

TARDE

El extractor principal comienza de (12:30pm-3:40pm), se molina arábico de (12:30pm-1:30pm), la mesa tamiz prende de (12:30pm-1:00pm) (el resultado del comportamiento de la potencia demandada en distintas horas, como la energía reactiva demandada y el factor de potencia se encuentra en el anexo 3.1.11, 3.1.12,3.1.13)

26/3 Es el día que se toma como referencia para el estudio debido al gran nivel de actividad de trabajo, tanto como consumo energético (ver capítulo 3.3)

27/3 El molino de arábico comienza de (8:24am-8:30am) y luego de (8:42am-11:20am), La estera comienza su trabajo a partir de las 7:30am, las mesas gravimétricas de (9:42am-9:44am) y luego de (9:50am-11:28am). La mesa tamiz trabaja de (8:23am-11:25am) calor (1h-1:30h), (1% HR), prende a las 8:26).

Se da un segundo pase en las mesas gravimétricas, entre intermedio de mesa gravimétrica y llenado, trabajan los elevadores.

TARDE

Excepto clasificadora, trabajan todos los equipos.

2:10 Ocorre un fallo e energía eléctrica en el centro

3.2 Estratificación de las cargas en el sistema de suministro eléctrico

Se realiza una muestra de los motores de mayor consumo de la entidad, para así su posterior análisis, recopilando los datos de chapa equipo a equipos, y así se conforma la tabla 3.1, con el análisis de potencias de entrada, hasta llegar el conformado de un gráfico de Pareto.

Tabla 3.1: Listado de los motores de mayor capacidad

No.	Motores	Potencias de Entrada	%	Acumulac	% Acumulado
1	Motor eléctrico del Extractor del Molino Línea # 1	33.3	21.41%	33.3	21.41%
2	Motor Molino Línea	25.0	16.12%	25.0	37.53%
3	Motor eléctrico del Molino (repilador) Línea #2	17.7	11.33%	42.7	48.93%
4	Motor eléctrico del ventilador del horno Línea # 1	11.9	7.64%	54.6	56.57%
5	Motor eléctrico azul Compresor	10.6	6.84%	65.2	63.41%
6	Motor eléctrico del Ventilador del horno Línea # 2	9.6	6.18%	74.8	69.59%
7	Motor eléctrico Extractor de polvo #	7.8	5.01%	82.6	74.60%
8	Motor eléctrico de la Zaranda limpiadora	6.8	4.38%	89.4	78.98%
9	Motor eléctrico Cubano Compresor	6.4	4.14%	95.9	83.12%
10	Motor eléctrico Mesa # 2	5.8	3.75%	101.7	86.87%
11	Motor eléctrico Mesa # 1	4.4	2.84%	106.1	89.71%
12	Motor eléctrico del Cedazo Línea # 1	3.8	2.45%	109.9	92.15%
12	Motor eléctrico del Cedazo Línea # 2	3.8	2.45%	113.7	94.60%
14	Motor eléctrico Cedazo del Café Seco Línea # 1	3.4	2.22%	117.1	96.82%
15	Motor eléctrico de la Clasificadora	3.0	1.94%	120.1	98.76%
16	Moto reductor elevador entrada a la Mesa # 1	1.9	1.24%	122.1	100.00%
	TOTAL	155.3	100.00%		

En cuanto a capacidad los principales motores de la planta, aparecen analizados en el gráfico 3.1. Este gráfico de Pareto ordena a los motores según su potencia nominal.

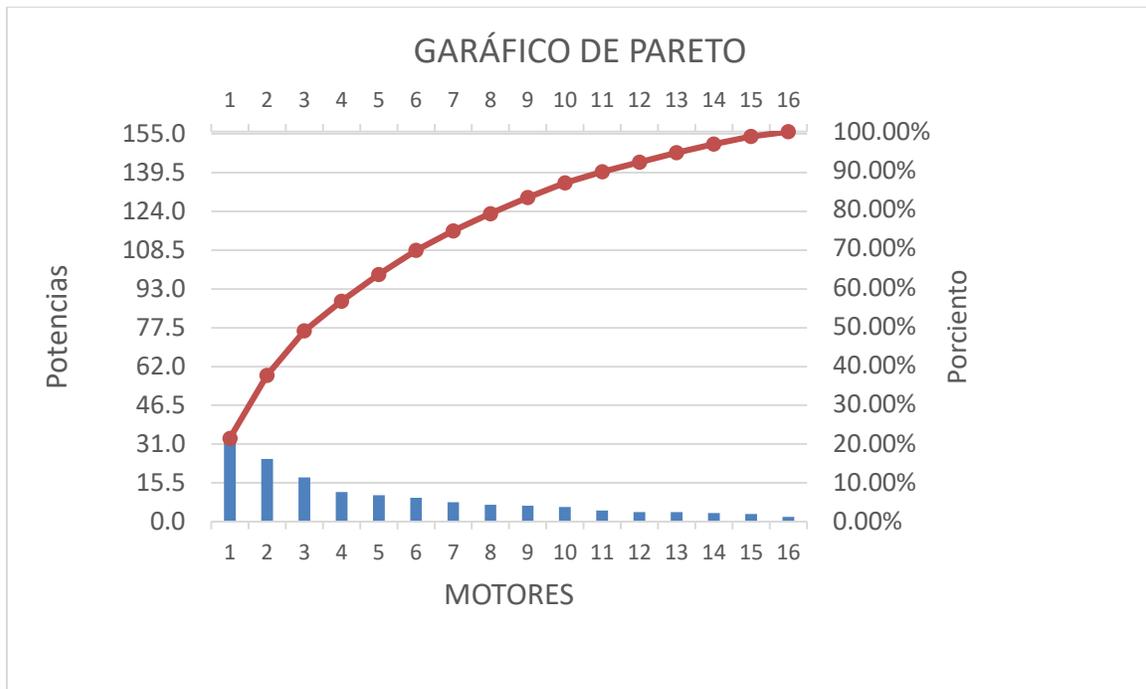


Gráfico 3.1: Gráfico por potencias

En la tabla 3.2 aparece el listado del 20% de los motores eléctricos que consumen el 81% de la energía eléctrica mensual que se utiliza en la planta. En la columna # 1 se encuentra la descripción de los motores identificados por el mecanismo que accionan, en la columna # 2 están los consumos promedio que (kWh) que estos tendrían en un día de trabajo, la columna # 3 porta el % de cada consumo individual respecto al total, la columna # 4 refleja la consumo acumulado equipo-equipo y la columna # 5 el % acumulado, que anteriormente se calculó.

Tabla 3.2: Listado de los motores de mayor consumo de energía

Motores	Consumo	%	Acumulado	% Acumulado
Motor eléctrico Compresor ABC Español -Ventilador-	120	15.75%	120	15.75%
Motor Molino Línea # 1	88	11.55%	208	27.30%
Motor eléctrico del Extractor del Molino Línea # 1	88	11.55%	296	38.85%
Motor eléctrico azul Compresor	72	9.45%	368	48.30%
Motor eléctrico del Molino (repilador) Línea #2	64	8.40%	432	56.70%
Motor eléctrico Extractor de polvo # 1	56	7.35%	488	64.06%
Motor eléctrico del ventilador del horno Línea # 1	44	5.78%	532	69.83%
Motor eléctrico Mesa # 2	44	5.78%	576	75.61%
Motor eléctrico Cubano Compresor	44	5.78%	620	81.38%

A partir de las potencias de los motores de cada mecanismo y del promedio de horas de trabajo en el mes de cada uno de ellos, se estima con bastante exactitud la energía mensual que consumen. Este análisis es de vital importancia para discernir cuales son los mecanismos que consumen el 80 % de la energía de la planta, que según la ley de Pareto deben ser aproximadamente el 20% del total de motores de la planta.

Este estudio permite concentrar esfuerzos en las cargas que más inciden en la factura eléctrica.

Los motores que se encuentran enmarcados en este consumo son: motor eléctrico Compresor ABC Español, motor eléctrico molino línea # 1, motor eléctrico del extractor del de polvo # 1, motor eléctrico compresor azul, motor eléctrico del molino reapilador # 2, motor eléctrico del extractor de polvo # 1, motor eléctrico del ventilador del horno # 1, motor eléctrico de la mesa # 2 y motor eléctrico del compresor cubano. Como se aprecia en el gráfico 3.2.

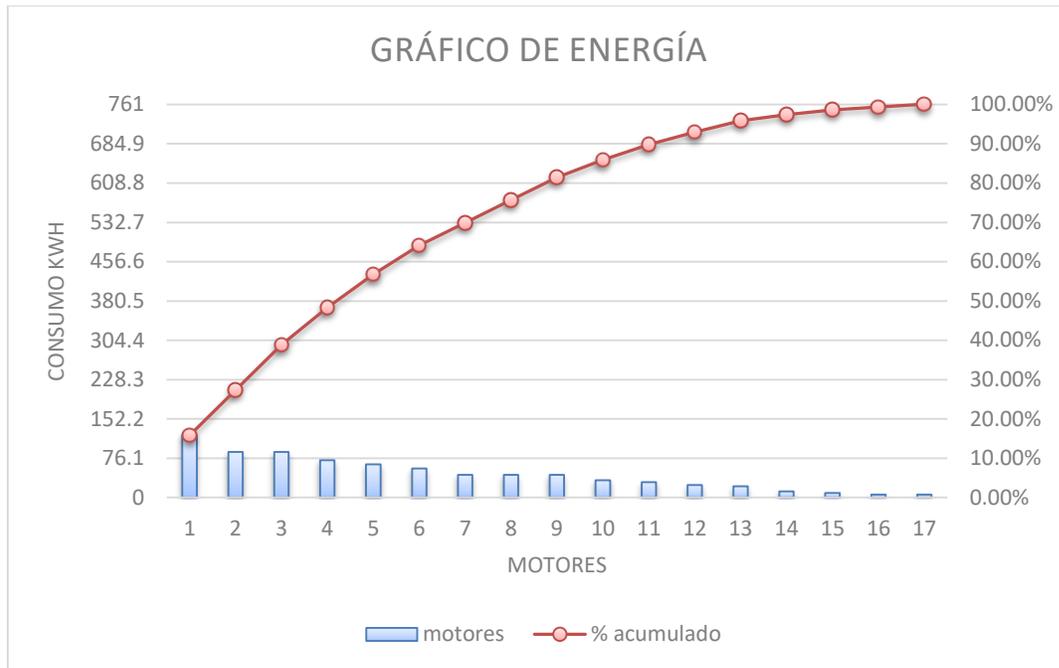


Gráfico 3.2: Gráfico por consumo

3.3 Acciones para disminuir los costos por concepto de factura eléctrica

3.3.1 Demanda contratada

Cerca del 20 % de la factura eléctrica mensual corresponde al ítem de demanda contratada, incluyendo, en algunas ocasiones penalizaciones por sobrepasar la misma. El gráfico 3.3 representa el comportamiento de la demanda máxima durante el 2020 el cual se penaliza durante 4 meses consecutivos, generando gastos adicionales ascendiendo a \$ 420.00 cup. Esta alcanzó un pico máximo de 96 kW en el mes de febrero sobrepasando la demanda contratada en 16 kW, los cuales se pagan al triple del precio normal. A partir de mayo, la demanda máxima está por debajo de la demanda contratada. De este análisis es evidente que:

1. Se necesita contratar dos veces la demanda en el año, en el período de cosecha (90 kW) en noviembre-mayo, y otra para el período de no cosecha (45 kW) en junio-octubre. Solo esta decisión representaría, tomando como vigencia los datos posteriormente mostrados un monto de 1942 cup por año.

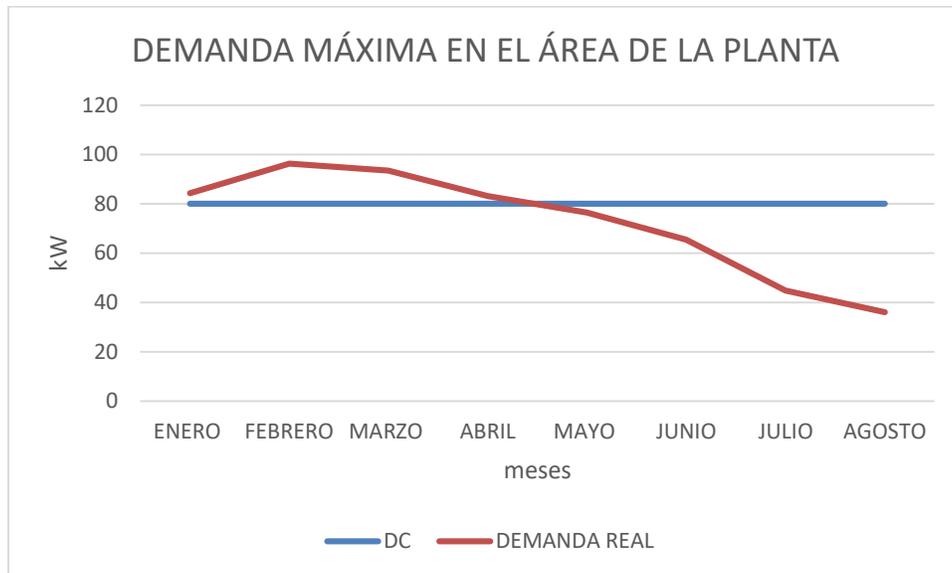


Gráfico 3.3: Comportamiento de la demanda máxima en el 2020

En el gráfico 3.4 se representa el comportamiento de la demanda máxima en el año 2020, se observa que la demanda contratada está muy por encima de la demanda máxima en todos los meses, por lo que esto genera un pago adicional innecesario ascendente a \$ 483.00 cup mensual. De este análisis es evidente que:

1. Se debe recontratar la demanda contratada del taller a (15 kW).

Solo esta decisión representa \$ 5460.00 cup al año dejados de pagar por concepto de factura eléctrica.

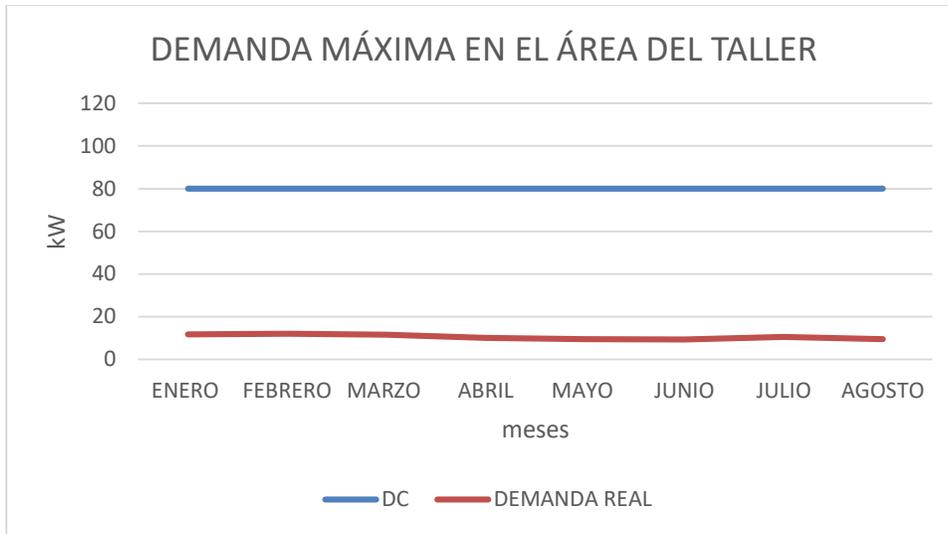


Gráfico 3.4: Comportamiento de la demanda máxima en el 2020

3.3.2 Penalización por bajo factor de potencia

3.3.2.1 Planta Benefactora de Café

Debido a que en la planta los mecanismos son accionados por motores eléctricos, que en algunos casos están sub-cargados el factor de potencia durante la operación de la planta está por debajo de 0.9, lo cual es penalizado por la empresa eléctrica. El gráfico 3.5 muestra el comportamiento del factor de potencia medio pesado durante el 2020 en el área de la planta de beneficio.

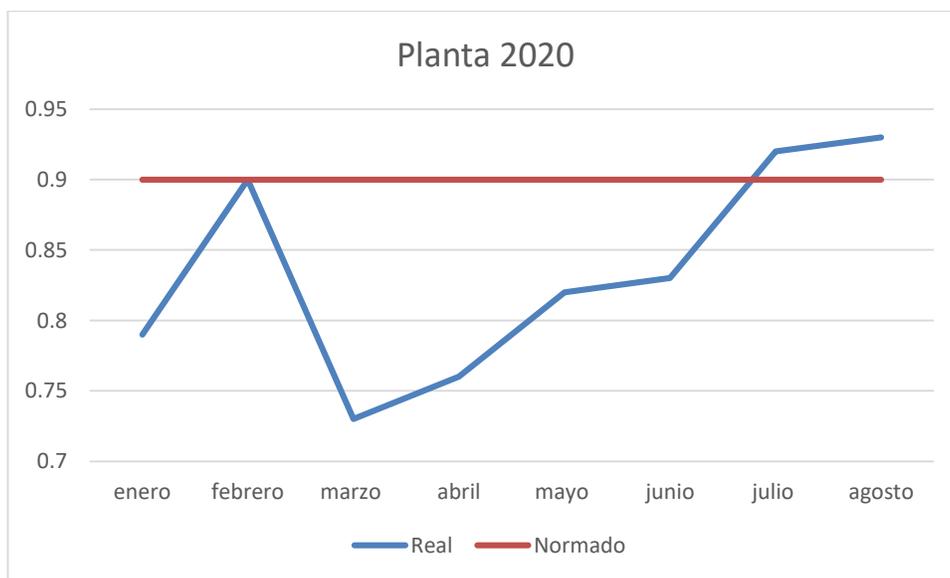


Gráfico 3.5: Comportamiento del factor de potencia

El gráfico 3.6 refleja el comportamiento del consumo de potencia reactiva (Q) durante un día característico de trabajo, sus valores oscilan desde un mínimo de 1.7 kVAr hasta un máximo de 78 kVAr, es evidente que para compensar este reactivo tan variable se necesita un Banco de Capacitores Controlados.

Los Bancos de Capacitores Controlados tienen un alto costo comparado con los bancos fijos, y como la Planta trabaja pocos meses del año la inversión demoraría muchos años en pagarse.

Una solución inicial sin inversión, sería **disminuir los niveles de voltaje** cambiando TAP en los transformadores y organizando el proceso productivo de tal forma que **no trabajen en vacío** los distintos accionamientos (Abreu, 1999) (transportadores, elevadores, molinos, zarandas, extractores, cedazos, etc.).

La anterior sugerencia está sustentada en los resultados de las mediciones realizadas durante ocho días, donde los niveles de voltaje casi siempre están por encima de 240 V.

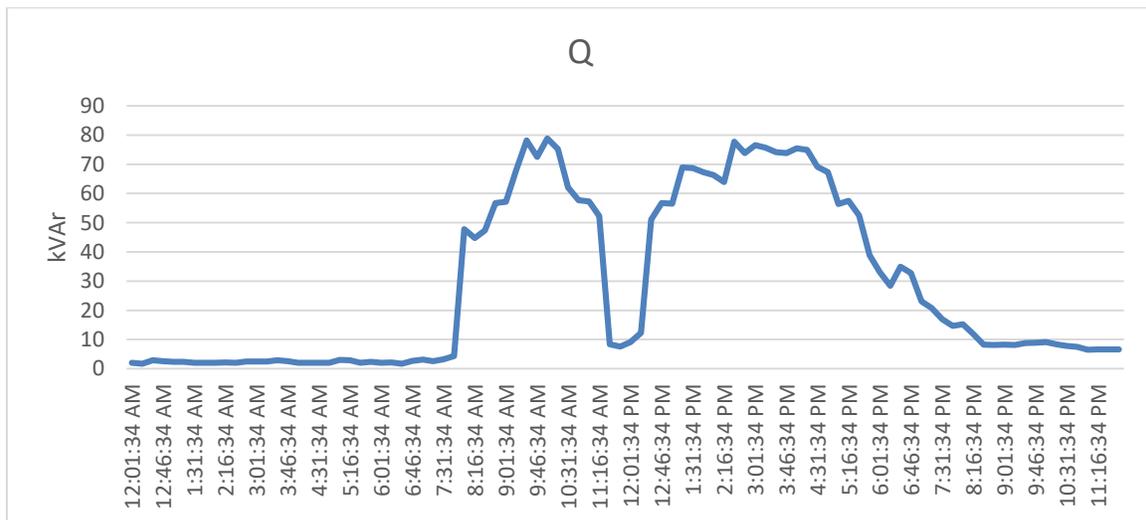


Gráfico 3.6: Comportamiento de la demanda de energía reactiva en el día 26/3

A pesar de que la lectura del contador de energía se realiza por el lado de baja del Banco de Transformadores, el factor de potencia se mantiene todo el tiempo por debajo de 0.9 (Gráfico 3.7). Lo cual es penalizado por la empresa eléctrica. Los valores más críticos ocurren durante el turno de trabajo.

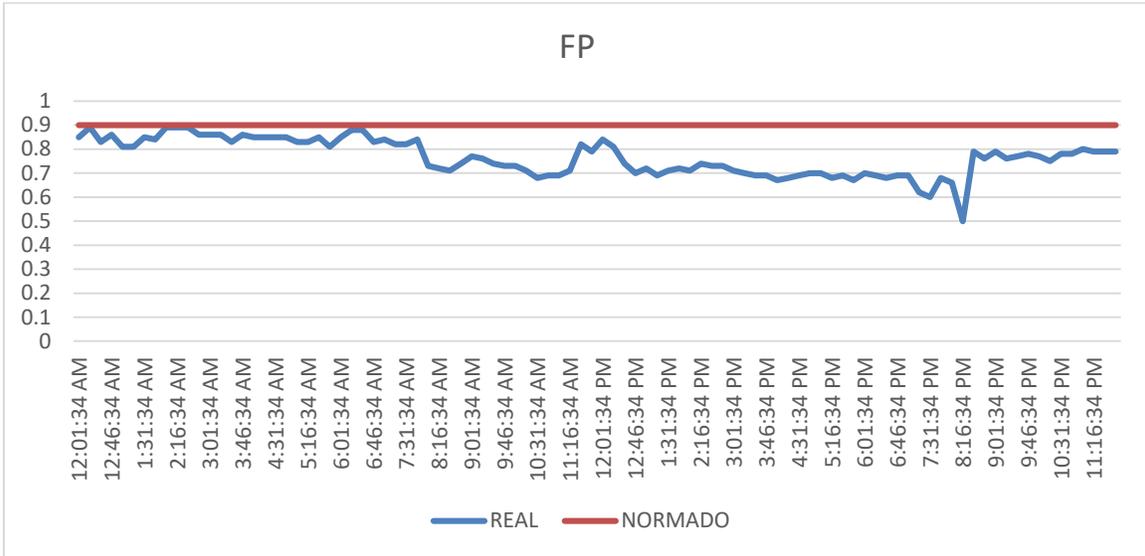


Gráfico 3.7: Comportamiento del factor de potencia medio pesado en el día 26/3

Si se coloca un **Banco de Capacitores de 45 kVAr** (Arteche, 2018) que esté conectado solamente cuando están trabajando los principales mecanismos de la Planta (ver gráfico 3.8 y 3.9).

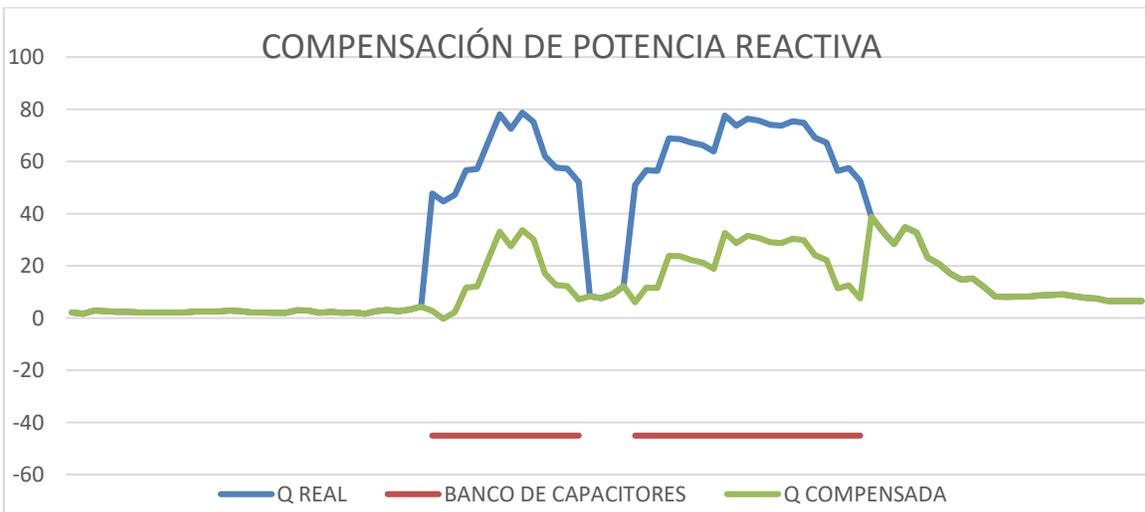


Gráfico 3.8: Energía reactiva compensada

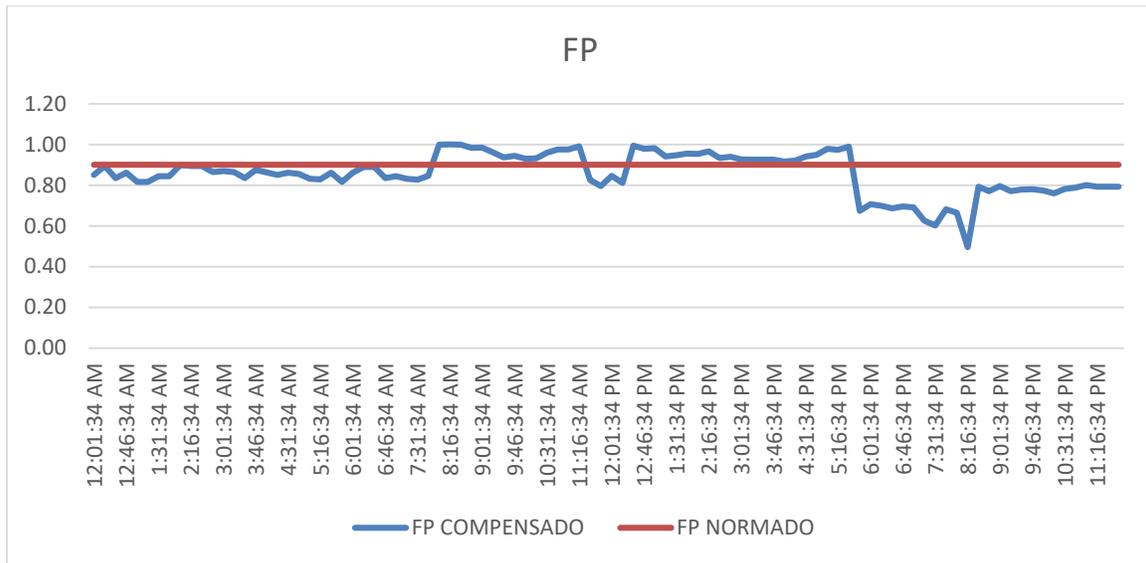


Gráfico 3.9: Factor de potencia después de la compensación

3.3.2.2 Taller y prestación de servicios

El gráfico 3.10 muestra el comportamiento del factor de potencia medio pesado en el 2020 en el área de Taller. En todos los meses se recibe penalizaciones, al encontrarse por debajo de 0.9, es evidente que este servicio necesita de una compensación de reactivo, esta área se alimenta desde el mismo Banco de Transformadores, pero no fue objeto de estudio en esta tesis.



Gráfico 3.10 Comportamiento del factor de potencia

3.4 Comportamiento de la potencia activa en un día característico de trabajo en la Planta

De la muestra total de los días analizados se escoge un día, en el cual hubo mayor demanda de potencias (kW), para así pasar a su posterior análisis.

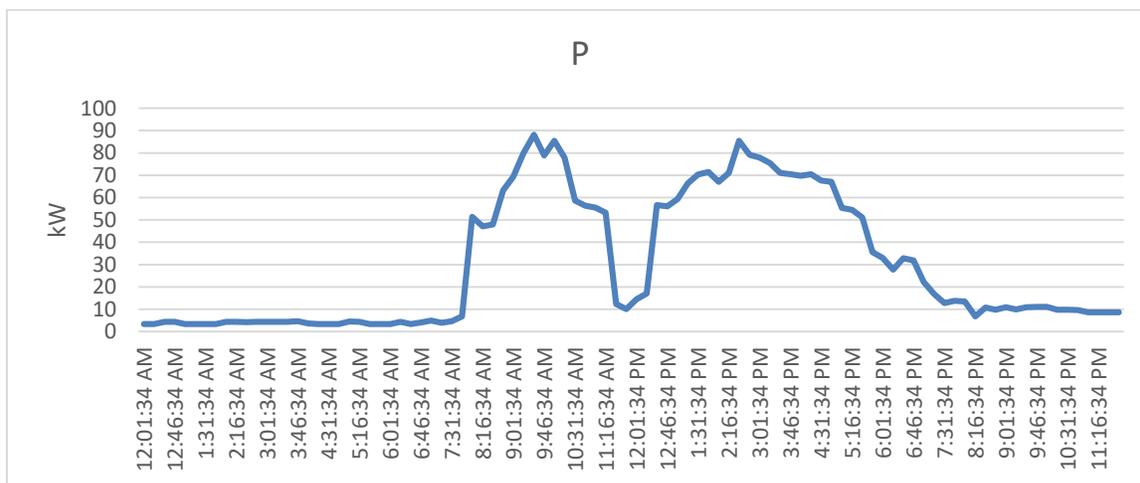


Gráfico 3.11: Comportamiento de la demanda en el día 26/3

Se presta especial atención en el día jueves, 26 de marzo de 2020, en el cual el proceso productivo estuvo funcionando casi en su totalidad, exceptuándose algunos equipos como se describe en los días de proceso. Como fue el caso de la pulidora y el horno de la Guardiola. El día de trabajo comienza a las 7:30 am prendiendo el tambor de la Guardiola con el sinfín para así de esta forma extraer

el café que se encontraba dentro de esta, el cual ya portaba el porcentaje de humedad normado. Luego pasa el cedazo para su limpieza estuvo funcionando hasta las 11:20 am y comienza a través de elevadores el proceso de llenado de las tolvas para su posterior molinada. Luego prende de nuevo a las 12:37 pm hasta horarios de la tarde. El molino de robusta comienza su actividad a las (7:30 am-11:20am) y de (11:25am-6:00 pm). Los compresores arrancan de (9:00 am -11:00am) y de (1:00 pm-6:00 pm), los cuales son necesarios para las selectoras electrónicas y para la báscula de salida. La selectora óptica estuvo funcionando de (1:15pm-9:00pm). La clasificadora operó de (10:17 am-11:20am) y (12:20pm-4:30pm). Los extractores del techo en conjunto con el principal laboraron de (7:30 am-11:20am) y de (12:23pm-6:00pm). De forma general se experimenta un pico de consumo en horarios de la mañana de (7:30 am-11:20am) aproximadamente, donde la mayor demanda se evidencia en horarios de las 9:31 am con 88.2 kW luego se efectúa una parada de descanso de (11:20 am-12:20pm), debido al horario de almuerzo, desconectando todo en la planta, quedando solamente a la red, equipos de oficinas y el servidor profesional del área de informática teniendo un pico máximo de 12.3 kW. En la tarde comienzan a las (12:20pm-9:00pm) como se describe anteriormente con un pico máximo de 77.7 kW a las 2:31 pm, quedando posterior a la red solamente conectada la iluminación exterior, neveras y servidor, experimentando un pico nocturno de 9.1 kW a las 10:00pm, y en horarios de la madrugada un pico de 3 kW a las 6:16 am. El valor mínimo de factor de potencia se expresa en horarios de las 8:16 pm con un valor de 0.5, siendo este inferior a parámetros establecidos de 0.9 en todo el día. Por lo que el consumo de energía reactiva estuvo alto como se aprecia en la tabla anterior, comportándose similar al gráfico de potencias.

Conclusiones parciales

1. Se realizaron mediciones en la subestación principal durante ocho días consecutivos, y se seleccionó el día 26 de marzo como día característico

- para el estudio por ser el día que más estabilidad tuvo el proceso productivo.
2. Se determinaron el 20 % de los mecanismos responsables del 80 % de la energía consumida en la Planta, son nueve los motores que combinan potencia y horas de trabajo.
 3. Una sola demanda (80 kW) contratada durante todo el año, no es consecuente económicamente, se debe contratar una para el período de cosecha (90 kW) y otra para el período de no cosecha (45 kW).
 4. Para el servicio Taller la demanda contratada está sobrevalorada (80 kW), cuando se contrate 15 kW, la entidad se ahorrará mensualmente 455 cup.
 5. Un Banco de Capacitores de 45 kVAr que se conecte en los momentos en que la Planta se encuentre trabajando, garantizará eliminar las penalizaciones por bajo factor de potencia.

CAPÍTULO IV

CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA, DE SUSTITUCIÓN DE MOTORES ESTÁNDAR POR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.

4.1 Selección de los motores a estudiar

Debido a que la Planta fue inaugurada en 1964 el equipamiento de la misma tiene 56 años de explotación, y alto grado de obsolescencia. En este capítulo se pretende evaluar la posibilidad técnico-económica de sustituir algunos motores de fabricación estándar, por motores modernos de alta eficiencia.

La selección del motor a evaluar, responde al criterio de energía eléctrica consumida, lo cual es una combinación de potencia de entrada y horas de trabajo al año. Teniendo en cuenta los aspectos anteriores el motor elegido para el estudio es: el del molino línea # 1, el cual tiene una potencia de 22 kW, 1740 rpm, 220 V-75.3 A, fp 0.89, η 85.9.

Este mecanismo trabaja aproximadamente 288 horas al año, el costo de la energía promedio es de 0.27 \$/kWh. La tasa de descuento (T_{desc}) se consideró de un 12 %. El impuesto sobre las utilidades (TAX) de un 33 %. (Almira, 2014)

Una búsqueda minuciosa de ofertas en el mercado de motores de este tipo se encontró un motor SIEMENS de 22kW, 1775 rpm, 220V-76 A, $\eta=92.4\%$, por un precio de 5216 cup. (Motores siemens, 2018)

Capítulo IV: Evaluación económica, de sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia

Ecuaciones que se utilizaron para dicha operación

$$\mathbf{VAN} = -K + \sum_{i=1}^n \frac{Fci}{\left(1 + \frac{Tdesc}{100}\right)^i} * I \quad (\text{Borroto Nordelo, 2008})$$

Ecuación 4.1: Valor actual neto

$$\mathbf{Fci} = (I - \text{Gastos} - \text{Dep}) \left(1 - \frac{Tax}{100}\right) + \text{Dep}$$

Ecuación 4.2: Factibilidad económica

$$\mathbf{Dep} = \frac{K}{n} \quad n = \text{años}$$

Ecuación 4.3: Depreciación

$$\mathbf{T \text{ abs} = 12 \%} \quad \mathbf{TAX = 33 \%}$$

$$\mathbf{I} = \left(\frac{Psal}{N \text{ standar}} - \frac{Psal}{N \text{ AE}} \right) * (\text{hrs W}) * (\text{CE promedio})$$

Ecuación 4.3: Ingresos

Si $\mathbf{Dep} > \mathbf{I}$

$\mathbf{Fci} = \mathbf{I}$

Se analiza el valor actual neto y se toma como muestra un período de 28 años, dando como resultado como que la inversión no es atractiva, a pesar de la baja eficiencia del motor analizado no es factible comprar uno de alta eficiencia y sustituirlo, puesto que el número de horas de trabajo al año es poco, debido a que la producción de café se encuentra en picos bajos. En el gráfico 3.8 se

Capítulo IV: Evaluación económica, de sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia

muestra el comportamiento del VAN a través de los años, aún con 28 años de explotación el VAN no se ha hecho cero.

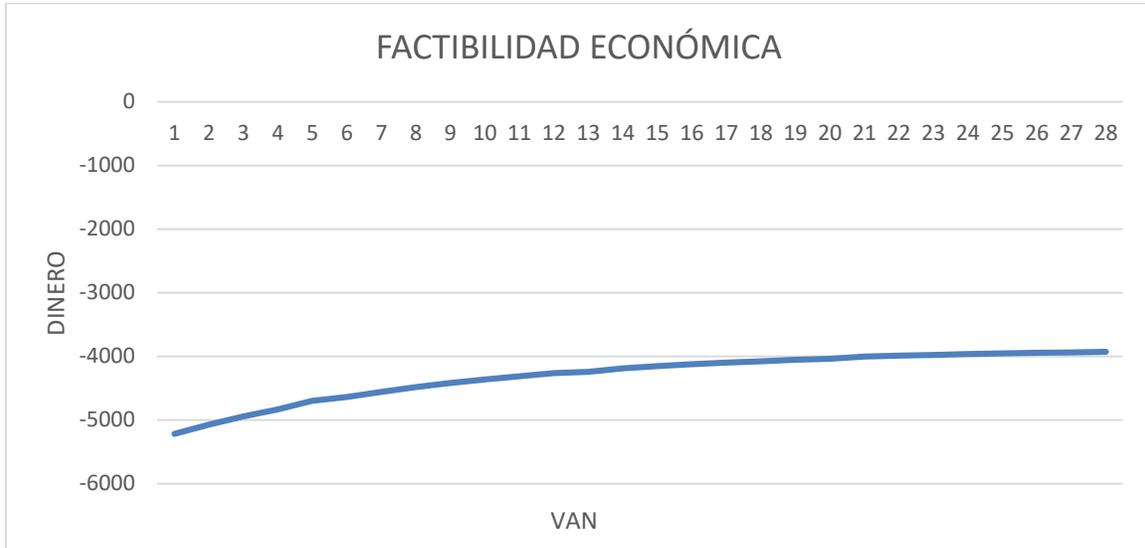


Gráfico 3.8: Factibilidad económica del VAN

De ocurrir un pico alto de café, la planta está concebida para trabajar en régimen continuo. Si fuese ese el caso entonces el VAN del caso antes mencionado quedaría según en gráfico 3.9.



Gráfico 3.9: Factibilidad económica VAN

Como se aprecia en el gráfico aproximadamente en dos años se recuperaría la inversión, siendo atractiva la compra del motor de alta eficiencia.

Conclusiones parciales

1. La sustitución de los motores eléctricos estándar por motores de alta eficiencia, no es atractivo ya que la inversión no llega a pagarse en 28 años, debido a que la Planta no trabaja en régimen continuo actualmente.
2. Si la Planta trabajara en régimen continuo en tan solo dos años se pagaría la inversión de la compra de motores de alta eficiencia para los principales mecanismos.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. El proceso de beneficio seco del café tiene una obsolescencia tecnológica que data a la fundación de la planta en 1964.
2. La electricidad representa el 70 % de los gastos por concepto de portadores energéticos y por ende es el ITEM que mayor atención necesita.
3. A pesar de que la carga eléctrica de la Planta es fundamentalmente trifásica, tiene desconectado un transformador, trabajando el Banco en delta abierta. Lo que aumenta las pérdidas de transformación sobre todo en período de operación de la Planta.
4. La Tarifa M1A con triple registro está diseñada, para entidades que trabajan en régimen continuo de operaciones. La Planta desde hace muchos trabaja en un solo turno.
5. Se realizaron mediciones en la subestación principal durante ocho días consecutivos, y se seleccionó el día 26 de marzo como día característico para el estudio por ser el día que más estabilidad tuvo el proceso productivo.
6. Se determinaron el 20 % de los mecanismos responsables del 80 % de la energía consumida en la Planta, son nueve los motores que combinan potencia y horas de trabajo.
7. Una sola demanda (80 kW) contratada durante todo el año, no es consecuente económicamente, se debe contratar una para el período de cosecha (90 kW) y otra para el período de no cosecha (45 kW).
8. Para el servicio Taller la demanda contratada está sobrevalorada (80 kW), cuando se contrate 15 kW, la entidad se ahorrará mensualmente 455 cup.

9. Un Banco de Capacitores de 45 kVAr que se conecte en los momentos en que la Planta se encuentre trabajando, garantizará eliminar las penalizaciones por bajo factor de potencia.
10. La sustitución de los motores eléctricos estándar por motores de alta eficiencia, no es atractivo ya que la inversión no llega a pagarse en 28 años, debido a que la Planta no trabaja en régimen continuo actualmente.
11. Si la Planta trabajara en régimen continuo en tan solo dos años se pagaría la inversión de la compra de motores de alta eficiencia para los principales mecanismos.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Se recomienda

1. Realizar mediciones motor a motor para tener resultados más exactos de consumo y de eficiencia.
2. Realizar el mismo análisis en el servicio del taller, para disminuir el consumo de energía reactiva de la red y compensar su factor de potencia.
3. Prestar especial atención en los horarios picos de consumo, para no trasladarse a estos y evitar las penalizaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, A. (1999). *"Cargas industriales: Fuentes de problemas de calidad de potencias en el sistema eléctrico*. Porlamar.
- Almira, A. (2014). *Estudio del uso Racional y Eficiente de la energía en la Empresa Militar Industrial "Cor. Francisco Aguilar Rodríguez*.
- Alvarado, A. (2004). Atributos de calidad de la semilla del café de las variedades Colombia y Tabi. *Cenicafé*.
- Arteche. (2018). *Bancos de capacitores. Baja tensión*. Obtenido de <http://www.artech.com>
- Borroto Nordelo, A. (2008). *Gestión Energética Empresarial* . Cienfuegos. Universidad de Cienfuegos .
- Browun Boberi, A. (s.f.). *Corrección del factor de potencia*.
- Delgado Vázquez, L. (2017). *Manual de Procedimientos de Beneficio industrial*. Cienfuegos.
- Delgado Vázquez, L. (2017). *Manual de Procedimientos de Beneficio Industrial Empresa Procesadora de Café Eladio Machín*. Cienfuegos.
- González, C. (2008). *Control de temperatura y caudal de aire para optimizar el secado mecánico del café*. Colombia.
- Manual de Procedimientos de Beneficio Seco. (2015). *Selectoras Ópticas*. Santiago de Cuba.
- Montilla, P., Oliveros, T., & Montoya, R. (2008a). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Cenicafé*.
- Motores siemens. (2018). *Catálogo de motores siemens*. Obtenido de <http://www.motores.siemens.com>
- Oliveros, C., Ramírez , J., & Pañuela , A. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Cenicafé*.
- Puerta, G. (2006). Buenas prácticas agrícolas para el café. *Cenicafé*.

Referencias Bibliográficas

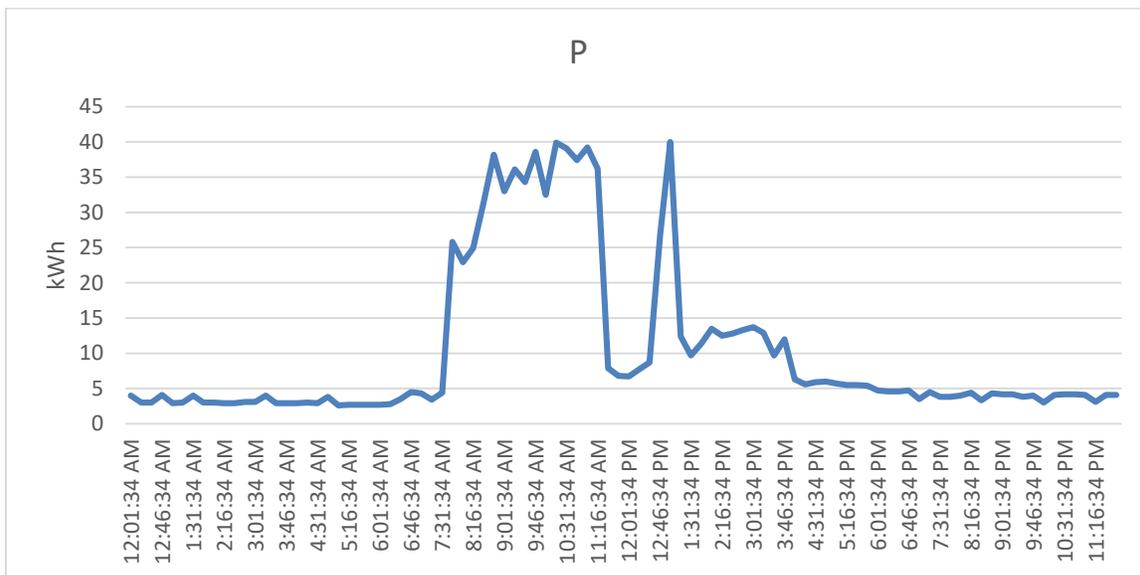
Unión Nacional Electrica, (2011). *Tarifas Eléctricas y su aplicación*.

ANEXOS.

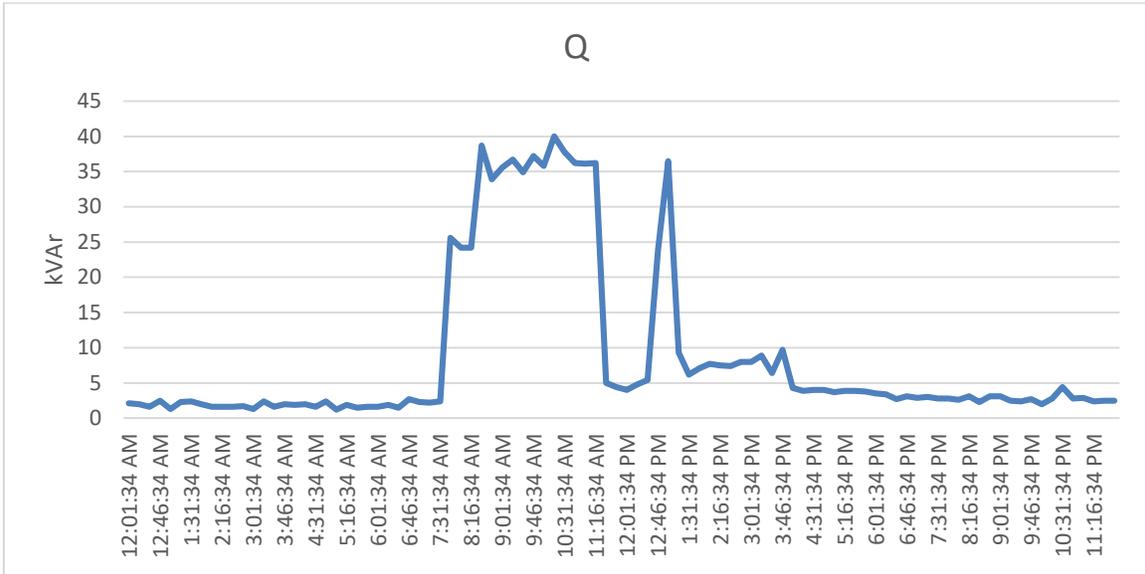
Anexo 3.1.1: Analizador de redes



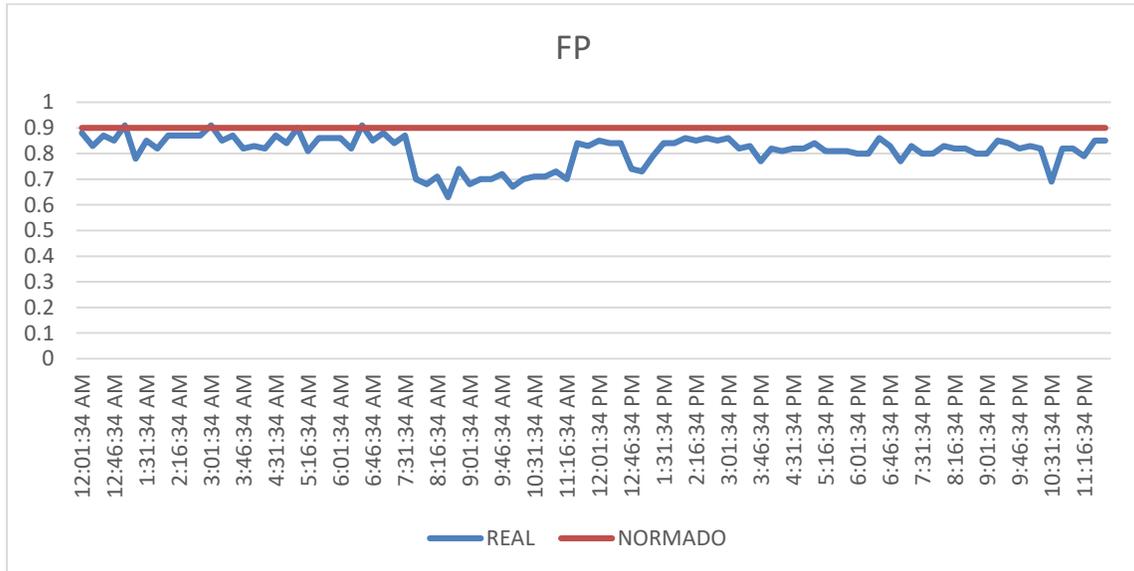
Anexo 3.1.2: Gráfico del comportamiento de la demanda en el día 20/3



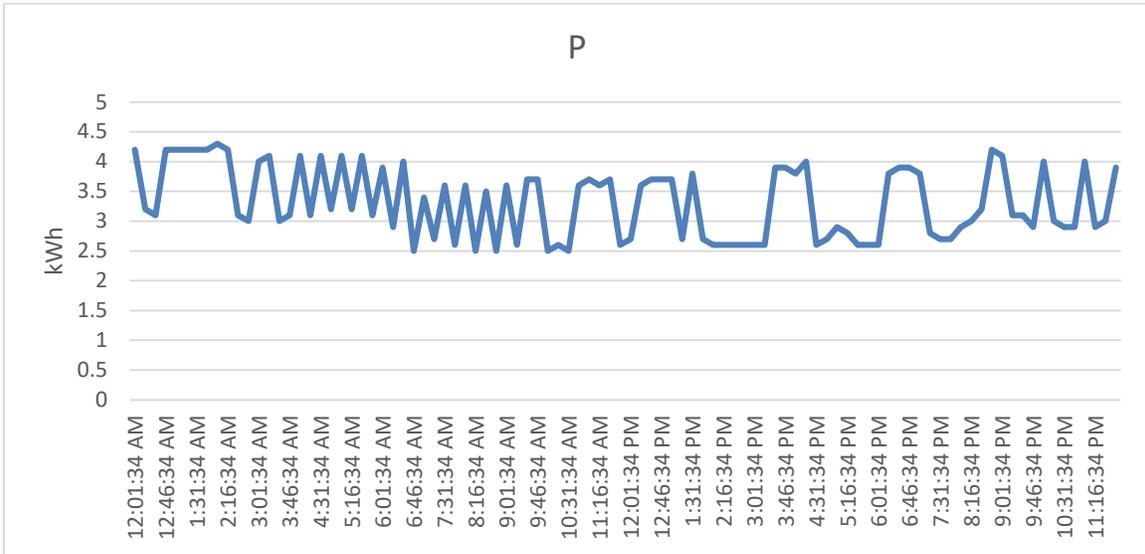
Anexo 3.1.3: Gráfico del comportamiento de la demanda de energía reactiva en el día 20/3



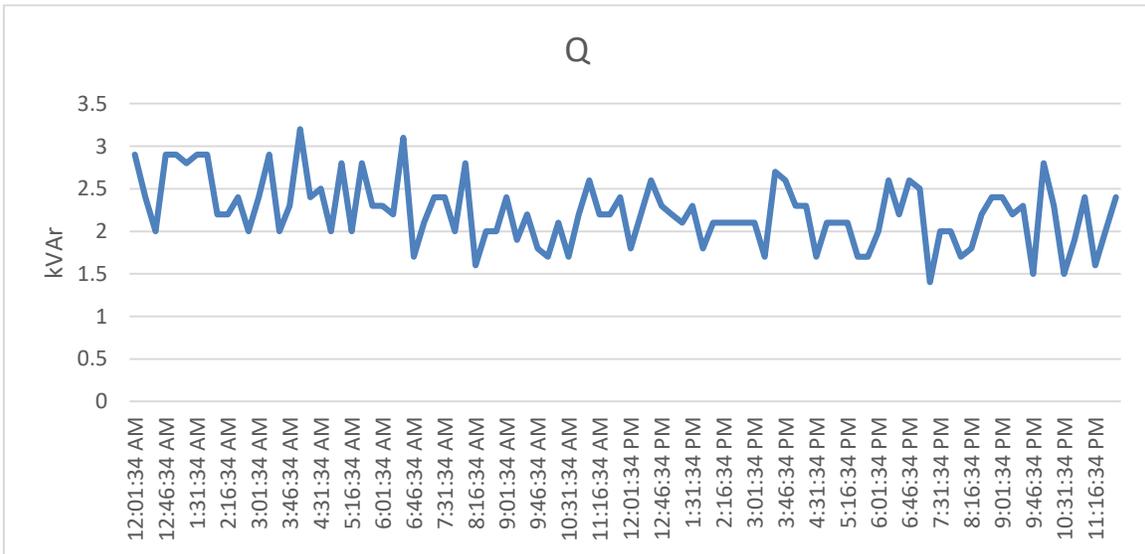
Anexo 3.1.4: Gráfico del comportamiento de factor de potencia medio pesado en el día 20/3



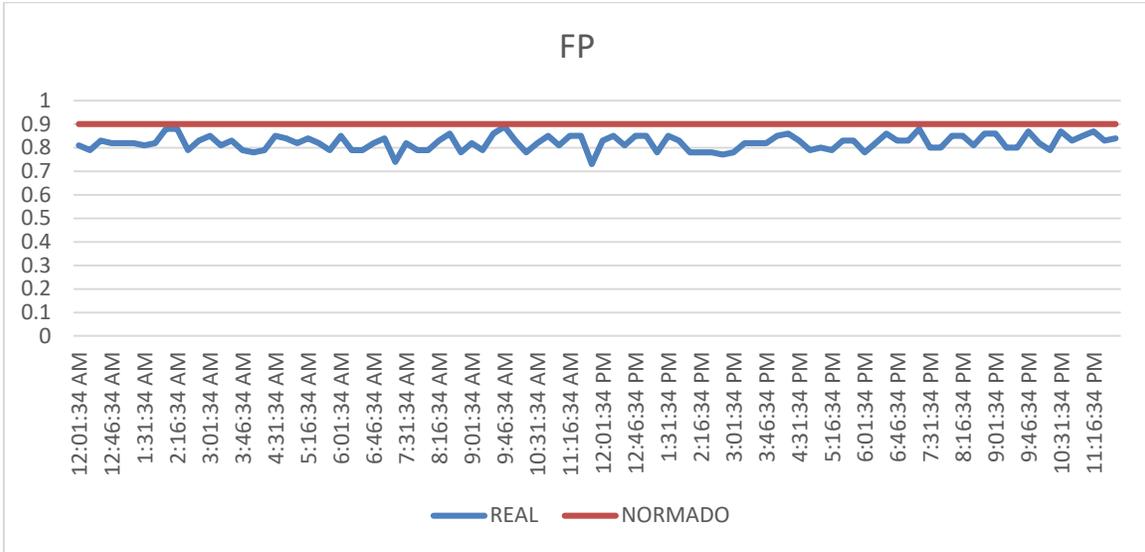
Anexo 3.1.5: Gráfico del comportamiento de la demanda en el día 21/3



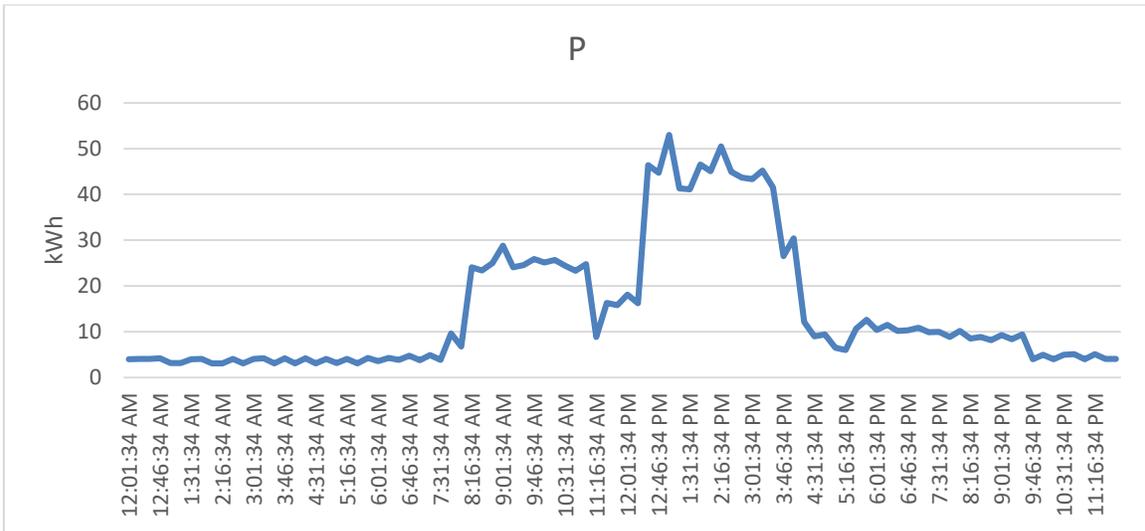
Anexo 3.1.6: Gráfico del comportamiento de la demanda de energía reactiva en el día 21/3



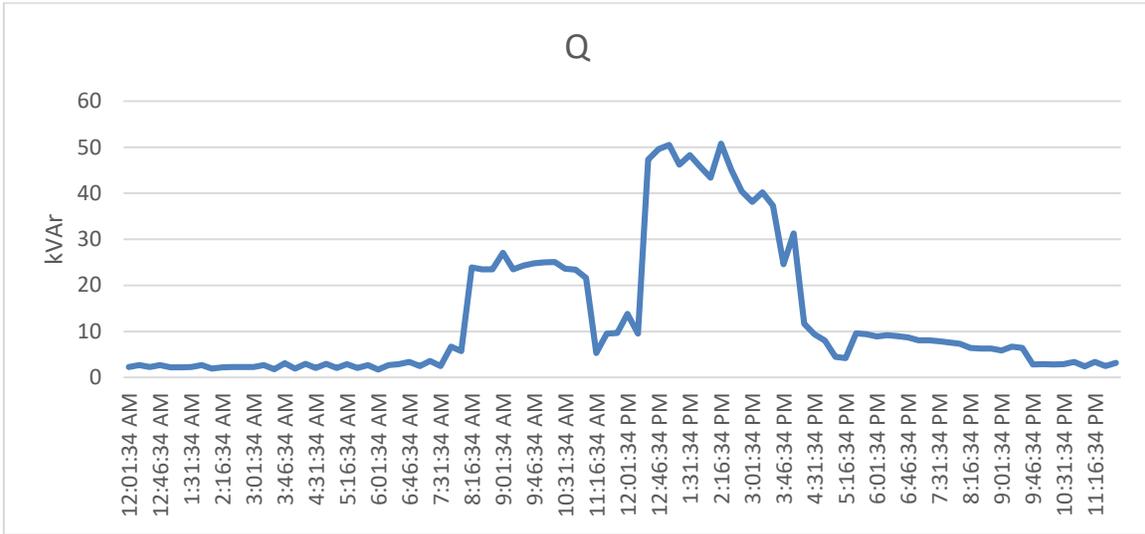
Anexo 3.1.7: Gráfico del comportamiento de factor de potencia medio pesado en el día 21/3



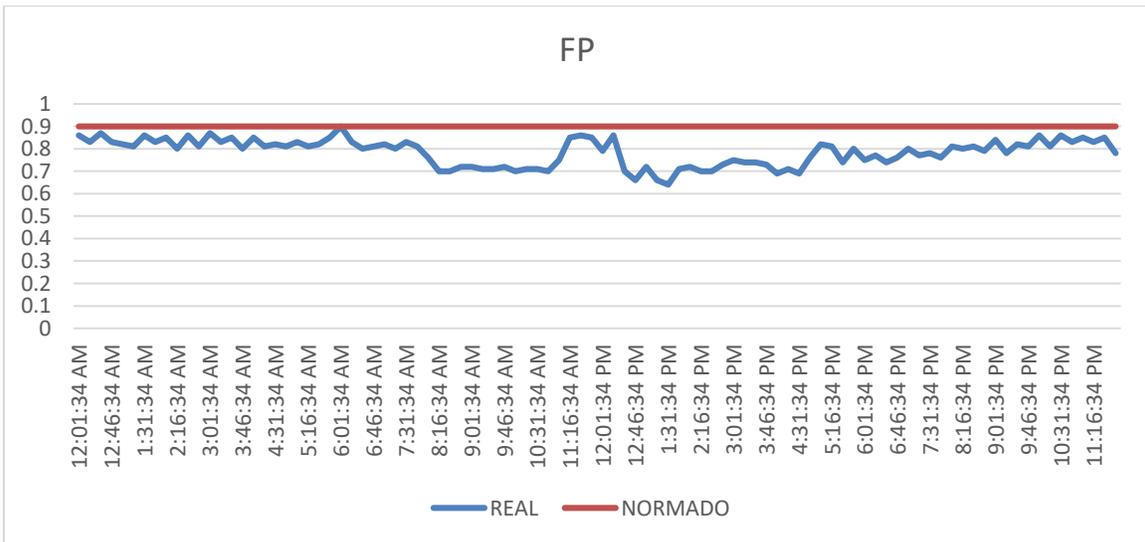
Anexo 3.1.8: Gráfico del comportamiento de la demanda en el día 24/3



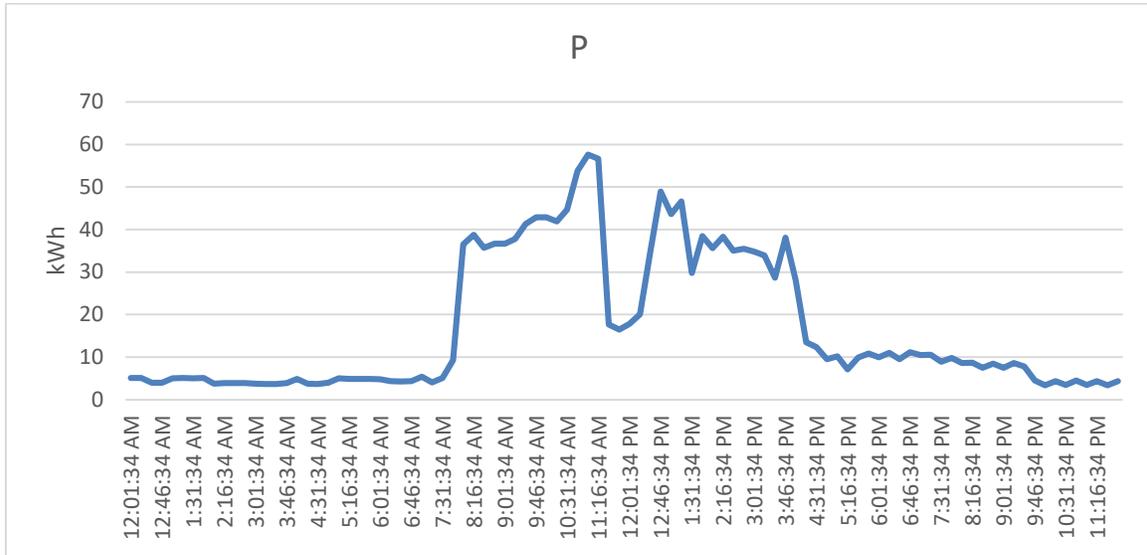
Anexo 3.1.9: Gráfico del comportamiento de la demanda de energía reactiva en el día 24/3



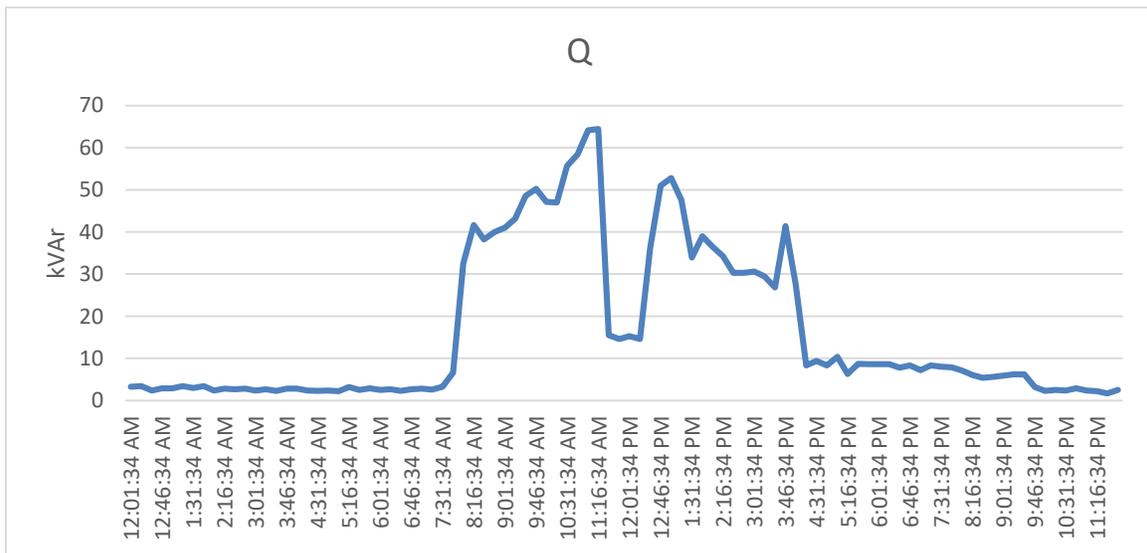
Anexo 3.1.10: Gráfico del comportamiento de factor de potencia medio pesado en el día 24/3



Anexo 3.1.11: Gráfico del comportamiento de la demanda en el día 25/3



Anexo 3.1.12: Gráfico del comportamiento de la demanda de energía reactiva en el día 25/3



Anexo 3.1.13: Gráfico del comportamiento de factor de potencia medio pesado en el día 25/3

