



**Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería Electromecánica**



**Porcina Americana S.A.**

***“Integración de la energía eléctrica generada por biogás de Porcina Americana S.A. (PASA) al nuevo sistema de Generación Distribuida para Auto Consumo de JASEC y estudio de consumos/demandas de energía para su planta en Coris de Cartago”***

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por Título Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura**

**Iván David Segura Rivera**

**Carné 201139848**

**Cartago, Junio, 2017**

**Profesor Guía**

Ing. Lisandro Araya Rodríguez

**Asesor Industrial**

Rolando del Valle Delgado

**Tribunal Examinador**

Greivin Barahona Guzmán

Oswaldo Guerrero Castro

## Información del estudiante y de la empresa

Nombre: Iván David Segura Rivera  
Cédula: 304710379  
Carné TEC: 201139848  
Dirección de residencia en época lectiva: 100 E Ebais de Oreamuno, Cartago  
Dirección de residencia en época no lectiva: 100 E Ebais de Oreamuno, Cartago  
Teléfono en época lectiva +506 8642-4086  
Teléfono en época no lectiva +506 8642-4086  
Email: [ivandanoventaytres@gmail.com](mailto:ivandanoventaytres@gmail.com)  
Fax:

### Información del Proyecto

Nombre del Proyecto: “Integración de la energía eléctrica generada por biogás de Porcina Americana S.A. (PASA) al nuevo sistema de Generación Distribuida para Auto Consumo de JASEC y estudio de consumos/demandas de energía para su planta en Coris de Cartago”

Profesor Asesor: Ing. Lisandro Araya Rodríguez  
Asesor Industrial: Rolando del Valle Delgado  
Horario de trabajo del estudiante: L-V 7:00 am - 5:00 pm

### Información de la Empresa

Nombre: Porcina Americana S.A.  
Zona: Cartago  
Dirección: Coris, Cartago. 3 km O de la Kimberly Clark.  
Teléfono: +506 2573-7781  
Fax:  
Apartado:  
Actividad Principal: Ganadería Porcina

## **Dedicatoria**

---

A Dios, mi familia y todos aquellos quienes han caminado la totalidad o gran parte de este extenso camino en mi compañía para poder acabar esta primera e importante gran etapa de mi vida. Muy especialmente, a mi mamá, por haber sido pilar emocional, afectivo y académico en mi desarrollo personal desde que tengo memoria.

## **Agradecimientos**

---

A Dios, por la salud para desarrollar este proyecto, a la empresa Porcina Americana S.A., y Distribuidora de Carnes Zamora por su extensiva confianza y cooperación para el desarrollo de este proyecto.

# Tabla de Contenidos

---

Resumen .....	12
Abstract .....	13
Acrónimos .....	14
CAPÍTULO 1: Introducción .....	15
1.1 Descripción de la empresa .....	15
1.2 Descripción del proceso productivo .....	16
1.2.1. Descripción del proceso productivo: Crianza de Cerdos .....	17
1.2.2. Descripción del proceso productivo: Fabricación y distribución de alimento.....	19
1.2.3. Descripción del proceso productivo: Recolección de excremento y conversión a metano y cerdaza. ....	21
1.2.4 Estructura Organizacional .....	23
CAPÍTULO 2: Planteamiento del Problema.....	24
2.1 Alcances, limitaciones y restricciones.....	26
CAPÍTULO 3: Objetivos .....	27
3.1 Objetivos Generales .....	27
3.2 Objetivos Específicos.....	27
CAPÍTULO 4: Solución Propuesta .....	28
CAPÍTULO 5: Marco Conceptual .....	31

5.1 Conceptos básicos: Energía Eléctrica. ....	31
5.2 Máquinas eléctricas .....	32
5.3 Máquinas Eléctricas de Corriente Alterna.....	40
5.4 Tipos de sistemas de corriente. ....	43
5.5 Suministro de energía: tipos y generalidades. ....	45
5.6 Demanda y Energía.....	57
CAPÍTULO 6: Resultados.....	59
6.1 Estado Energético Actual.....	59
Estudio de Cargabilidad: Derivación 01. ....	60
Estudio de Cargabilidad: Derivación 02. ....	64
Estudio de Cargabilidad: Derivación 03. ....	69
Estudio de Cargabilidad: Derivación 04. ....	74
Estudio de Cargabilidad: Derivación 05. ....	79
Resultados totales de cargabilidad. ....	83
6.2 Análisis de Generación .....	87
Resultados de Generación.....	89
6.3 Registros de Facturación. ....	105
6.4 Análisis de resultados.....	113
Conclusiones y Recomendaciones .....	122
Conclusiones .....	122

Recomendaciones	123
Anexos .....	124
CAPÍTULO 7: Referencia Bibliográficas .....	136

## Índice de Figuras

---

Figura 1. Cerdo en corte tipo canal .....	15
Figura 2. Distribución de Planta - PASA Coris .....	16
Figura 3. Diagrama de Proceso: Crianza de Cerdos.....	17
Figura 4. Diagrama de Proceso: Fabricación y distribución de alimento.....	19
Figura 5. Diagrama de Proceso: Recolección de excremento y conversión a metano y cerdaza.....	21
Figura 6. Estructura Organizacional PASA – Coris .....	23
Figura 7. Tipos de Energía para Consumo residencial e industrial. ....	31
Figura 8. Diagrama Conversión de Energía en Máquinas Eléctricas .....	32
Figura 9. Núcleo magnético sencillo.....	35
Figura 10. Circuito eléctrico sencillo.....	36
Figura 11. Circuito Magnético Sencillo .....	37
Figura 12. Voltaje inducido por un bobinado conductor de corriente.....	38
Figura 13. Vista frontal y lateral de un rotor de polos no salientes .....	41
Figura 14. Vista lateral de un rotor de polos saliente. ....	42
Figura 15. Representación gráfica de un sistema eléctrico básico.....	43
Figura 16. Diagrama Conceptual de una Red Eléctrica .....	46
Figura 17. Diagrama estructura de conexión de un generador trifásico. ....	48
Figura 18. Diagrama sinusoidal y fasorial de los voltajes en un generador trifásico. ....	50
Figura 19. Conexión estrella de un generador trifásico. ....	51
Figura 20. Conexión delta de un generador trifásico.....	51
Figura 21. Diagrama de tensiones y corrientes en conexiones tipo estrella.....	52
Figura 22. Diagrama de corrientes y tensiones en conexiones delta. ....	53
Figura 23. Diagramas de conexión de transformadores Estrella-Estrella.....	55
Figura 24. Triángulo de Potencias.....	57
Figura 25. Registrador Trifásico FLUKE 434-II.....	60
Figura 26. Vista de Planta PASA- CORIS. Derivación 01 .....	62
Figura 27. Vista de planta PASA-Coris. Derivación 02.....	66
Figura 28. Vista de planta PASA-Coris. Derivación 03.....	71
Figura 29. Vista de planta PASA-Coris. Derivación 04.....	76
Figura 30. Vista de Planta PASA - Coris. Derivación 05 .....	80
Figura 31. Tablero de control de los sistemas de aireación y agitación de las lagunas de tratamiento Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 32. Vista de planta completo - PASA Coris .....	84
Figura 33. Curva de carga total Granja - Coris.....	86
Figura 34. Vista de planta Biodigestor - PASA Coris.....	87
Figura 35. Formulario de solicitud de inclusión del generador de PASA a JASEC. ....	114
Figura 36. Detalle de las protecciones del generador aprobadas por JASEC.....	115
Figura 37. Medidor de generación JASEC PASA Coris .....	116
Figura 38. Transformadores de corriente instalados en secundario de transformación del generador.....	116

Figura 39. Diagrama Unifilar con modificación para instalación de medidor de generación.....	117
Figura 40. Interfaz de la base de datos desarrollada para control de energía, demanda y facturación en granja de Coris.....	121
Figura 41. Página 1. Formulario Solicitud de Interconexión .....	124
Figura 42. Página 2. Formulario solicitud interconexión.....	125
Figura 43. Página 1 Aprobación de inclusión del generador por disponibilidad de potencia.....	126
Figura 44. Página 21 Aprobación de inclusión del generador por disponibilidad de potencia.....	127
Figura 45. Página 3 Aprobación de inclusión del generador por disponibilidad de potencia.....	128
Figura 46. Página 1 Aprobación de Protecciones Generador .....	129
Figura 47. Página 2 Aprobación de protecciones generador .....	130
Figura 48. Página 3 Aprobación de Protecciones generador .....	131
Figura 49. Página 4 Aprobación de protecciones generador. ....	132
Figura 50. Interfaz de inicio .....	133
Figura 51. Histogramas de frecuencia anuales para el generador .....	133
Figura 52. interfaz de control de generación y variables .....	134
Figura 53. Interfaz de control y graficación de facturación para cada año .....	134
Figura 54. Interfaz de desglose de facturación graficación y control.....	135
Figura 55. Interfaz comparativa facturación-generación para cada año.....	135

## Índice de Gráficas

---

Gráfica 1. Curva de Carga derivación 01 .....	63
Gráfica 2. Curva de carga derivación 02. ....	68
Gráfica 3. Curva de Carga Derivación 03.....	73
Gráfica 4. Curva de Carga Derivación 04.....	78
Gráfica 5. Curva de demanda Derivación 05.....	81
Gráfica 6. Histograma de Frecuencias: Potencia de Operación del Generador ....	89
Gráfica 7. Comparativa General de Potencias Promedio de Operación del generador.....	97
Gráfica 8. Comparativa General Promedios Diarios al mes de generación .....	98
Gráfica 9. Comparativa general de Energía Total Mensual generada.....	99
Gráfica 10. Comparativa General de Promedio de Horas Diarias al Mensual de Generación.....	100
Gráfica 11. Comparativa General Porcentual de Potencias Promedio de Operación del Generador .....	101
Gráfica 12. Comparativa General Porcentual Promedios Diarios de Generación	102
Gráfica 13. Comparativa General porcentual de Energía Total Mensual generada .....	103
Gráfica 14. Comparativa general porcentual de promedio de horas diarias al mensual de generación .....	104
Gráfica 15. Comportamiento de facturación PASA Coris año 2015 .....	111
Gráfica 16. Mensuales de energía consumida PASA Coris para el año 2016 ....	113

## Índice de Tablas

---

Tabla 1. Datos banco de transformadores derivación 01.....	61
Tabla 2. Curva de Carga Promedio diaria derivación 01.....	63
Tabla 3. Energía promedio Derivación 01.....	64
Tabla 4. Datos banco de transformadores derivación 01.....	65
Tabla 5. Curva de Carga Promedio diaria derivación 02.....	67
Tabla 6. Promedio de Energía Derivación 02.....	68
Tabla 7. Datos banco de transformadores derivación 01.....	70
Tabla 8. Curva de carga Promedio diaria Derivación 03.....	72
Tabla 9. Promedio de Energía Derivación 03.....	73
Tabla 10. Datos banco de transformadores derivación 04.....	75
Tabla 11. Curva de carga Promedio diaria Derivación 04.....	77
Tabla 12. Promedio de Energía Derivación 04.....	79
Tabla 13. Detalle de demandas y consumos Derivación 05.....	81
Tabla 14. Curva de Carga promedio - Derivación 05.....	82
Tabla 15. Curva de demanda total granja Coris.....	85
Tabla 16. Total energía consumida PASA – Coris.....	86
Tabla 17. Datos Técnicos de Producción del Generador.....	89
Tabla 18. Resumen de Generación año 2014.....	92
Tabla 19. Resumen de Generación Año 2015.....	94
Tabla 20. Resumen de Generación Año 2016.....	96
Tabla 21. Desglose de Facturación Eléctrica Año 2013.....	107
Tabla 22. General de Facturación JASEC-PASA 2013 Fuente;.....	108
Tabla 23. Desglose de facturación eléctrica año 2014.....	110
Tabla 24. Registros de facturación año 2015.....	110
Tabla 25. Registros de facturación PASA Coris año 2016.....	112
Tabla 26. Resumen de energía consumida y tarifas unitarias regulares y en régimen.....	118
Tabla 27. Franja horaria de incapacidad de suplir demanda requerida en granja por el generador.....	119
Tabla 28. Franja horaria de capacidad de suplir demanda requerida en granja por el generador.....	119

## **Resumen**

---

Porcina Americana S.A., empresa criadora y procesadora de carne porcina, es la empresa que posee el generador por bio-digestión más grande del país con una capacidad de 250 kW. Es por esto que, en este proyecto, se pretende llevar al lector a conocer más en detalle los procesos que ahí se realizan y principalmente, conocer el estado energético actual en el cual se encuentra la empresa desde una perspectiva administrativa y de gestión. Se demostrará el consumo real de la planta de proceso así como también sus valores de demanda y las estadísticas de generación de energía para el generador que se posee. Otro de los objetivos que se pretenden mostrar es la mejora en la facturación que implica la inclusión de un sistema de generación al régimen de generación distribuida para auto consumo vigente actualmente, en Costa Rica

### **Palabras Clave**

Consumo, energía, demanda, demanda máxima, bio-digestor, metano-génesis, metano-génicas, potencia, biogás, generador.

## **Abstract**

---

Porcina Americana S.A., a company that breeds and processes pork, is the company that owns the largest bio-digestion generator in the country with a capacity of 250 kW. This is why, in this project, it is intended to bring the reader to know more in detail the processes that are performed there and mainly to know the current energy state in which the company is from an administrative and management perspective. It will demonstrate the actual consumption of the process plant as well as its demand values and energy generation statistics for the generator that is owned. Another of the objectives that are intended to be shown is the improvement in billing that implies the inclusion of a generation system to the regime of distributed generation for self consumption currently in force in Costa Rica

### **Keywords**

Consumption, energy, demand, maximum demand, bio-digestor, methanogenesis, methanogenic, power, biogas, generator.

## **Acrónimos**

---

**ARESEP:** Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

**JASEC:** Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago

**PASA:** Porcina Americana S.A.

**ICE:** Instituto Costarricense de Electricidad

**GDAC:** Generación Distribuida para Autoconsumo

# CAPÍTULO 1: Introducción

---

## 1.1 Descripción de la empresa

Porcina Americana S.A. (PASA), es una organización miembro del grupo corporativo Carnes Zamora de capital costarricense y la cual se dedica al proceso y comercialización de carne de cerdo de alta calidad.

PASA se dedica exclusivamente, a la cría y producción de ganado porcino en su ciclo completo, es decir, incluye su fecundación *in vitro*, gestación, desarrollo, engorde y matanza teniendo como producto final cerdos en canal (con un corte longitudinal completo del cuerpo) tal y como se muestra en la siguiente imagen con fines ilustrativos.



Figura 1. Cerdo en corte tipo canal

Cuenta con una planilla aproximada de 180 empleados distribuidos en dos plantas ubicadas en Coris de Cartago y en Macacona, en Paraíso de Esparza respectivamente. Una distribución de crianza aproximada de 23.000 cerdos en Coris de Cartago y 16.000 en Esparza convierten a PASA en la principal productora de ganado porcino en el país.

## 1.2 Descripción del proceso productivo

El presente trabajo se enfoca de manera directa en la planta de PASA ubicada en Coris de Cartago, de esta se hará un detalle de su proceso productivo.

Para efectos de comprensión del lector es válido decir que en PASA, de manera simultánea, ocurren 3 procesos productivos: crianza de cerdos, fabricación y distribución de alimento y por último el proceso de recolección de materia fecal para su aprovechamiento en la generación de gas metano y cerdaza. Por tanto a continuación se diagraman dichos procesos.



Figura 2. Distribución de Planta - PASA Coris

Fuente: Google Earth/Elaboración Propia

### 1.2.1. Descripción del proceso productivo: Crianza de Cerdos

El proceso productivo que deriva en la entrega del cerdo en canal desde su

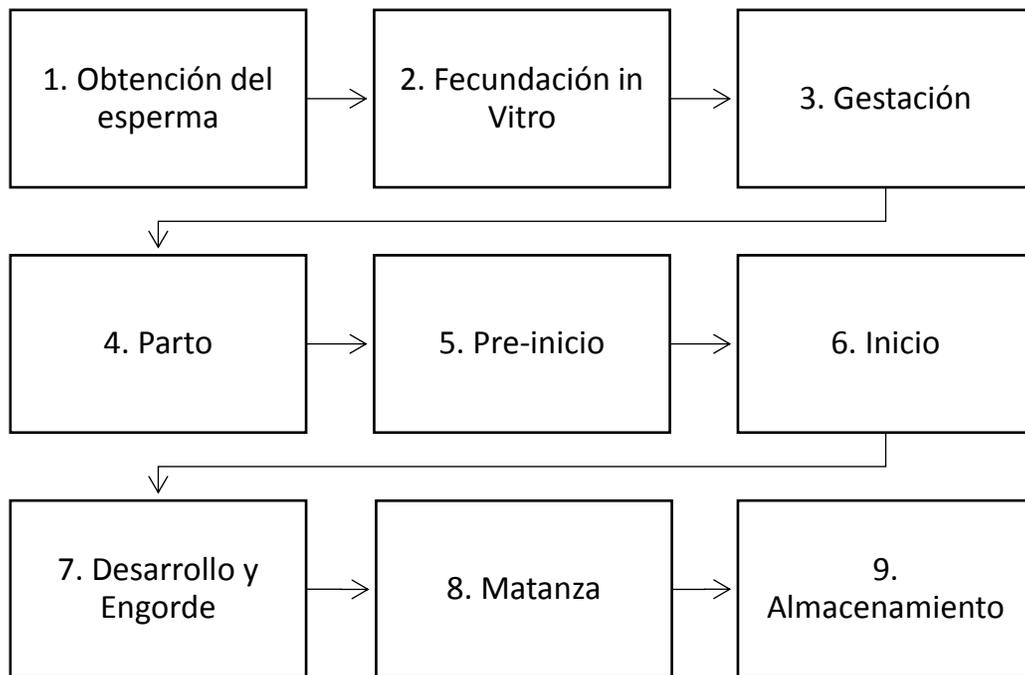


Figura 3. Diagrama de Proceso: Crianza de Cerdos

Fecundación se puede analizar por medio del siguiente diagrama:

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se amplía el proceso mostrado.

1. Obtención del esperma: En el área de engorde existe un sector en el cual se encuentra padrotes a los cuales por medio de un procedimiento veterinario se les extrae el esperma para ser llevado a

al laboratorio veterinario (ubicado al costado este del matadero) y ser analizado y fortalecido.

2. Fecundación In Vitro: Las hembras luego de haber parido tienen un período de descanso de 3 meses para luego ser fecundadas en esta etapa, aquí el espermatozoides de la etapa uno luego de su paso por el laboratorio veterinario. Este proceso se da en el área de gestación.
3. Gestación: Las hembras en gestación permanecen por aproximadamente, 3 meses y 2 semanas en claustros individuales donde sólo pueden levantarse y echarse otra vez. Estas jaulas individuales se denominan *jaulas de gestación*.
4. Parto: De los 3 meses y 3 semanas que tarda el período de gestación de los lechones, las hembras son trasladadas al área de parto en la última semana de este período. Es aquí donde las hembras tienen a sus crías y las mantienen bajo lactancia hasta que se dé la autorización médica para mover los lechones al área de pre-inicio.
5. Pre-inicio: Es aquí donde los lechones llegan recién acabado su período de lactancia y se mantienen en jaulas comunes con calefacción y una dieta especialmente balanceada para su fortalecimiento. Se mantienen en este edificio hasta recibir el alta médica y ser llevado al edificio de Inicio.
6. Inicio: Aquí los cerdos ya con aproximadamente, 1-2 meses de edad se encuentran en jaulas comunes sin calefacción y comienzan a recibir el alimento muy similar al que se da en las áreas de desarrollo y engorde. Se mantienen en este departamento hasta recibir alta médica y pasar a las áreas de engorde.
7. Desarrollo y engorde: Aquí es donde el cerdo es recibido del área de Inicio y se mantiene hasta el momento de ser llevado al matadero. Recibe alimento por medio de un sistema automático de distribución proveniente de la fábrica de alimentos.

8. Matanza: Aquí el cerdo es recibido luego de 6 a 7 meses de engorde y desarrollo. Este proceso se divide en 4 etapas principales: Aturdido, desangrado, pelado y corte. Luego de ocurrir estos 4 procesos ya el cerdo se encuentra en canal, sus vísceras y demás órganos ya han sido seleccionados por lo que la siguiente etapa es el almacenamiento. Se procesan 300 cerdos por día.
9. Almacenamiento: En cámaras de refrigeración se mantiene al cerdo y demás productos de la matanza para ser entregados al comprador al siguiente día en la mañana por el comprador.

#### 1.2.2. Descripción del proceso productivo: Fabricación y distribución de alimento.

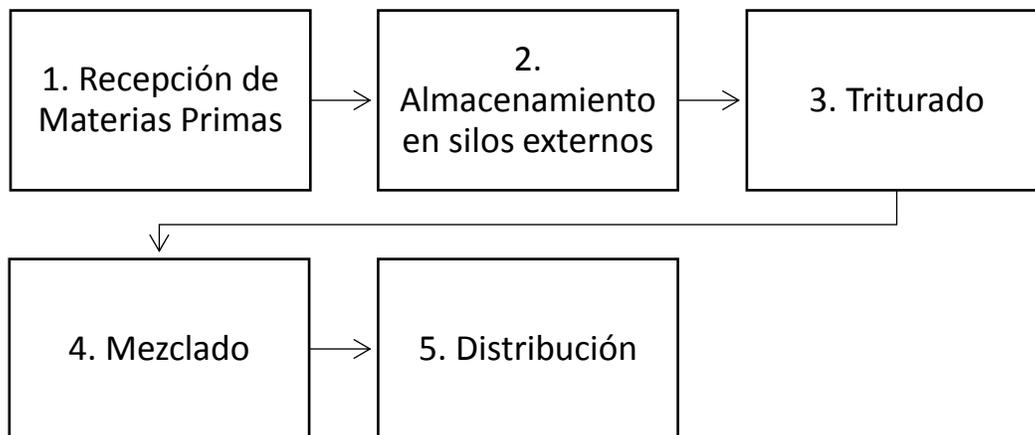


Figura 4. Diagrama de Proceso: Fabricación y distribución de alimento.

Fuente: Elaboración Propia

El proceso de fabricación de alimento es prácticamente, automático y se maneja desde un cuarto de control, este se conforma de 5 etapas distintas las cuales se explican a continuación:

1. Recepción de Materias Primas: En esta etapa se recibe la materia prima para los alimentos, principalmente, maíz, en una tolva principal.
2. Almacenamiento en silos externos: El maíz luego de caer en la tolva es llevado por medio de un transportador de cangilones hasta uno de los 6 silos de almacenamiento. Estos a su vez poseen turbinas que se encargan de mantener el alimento aireado con el fin de mantener sus propiedades.
3. Triturado: Se recibe el maíz desde los silos almacenadores por medio de sistemas de transporte por tornillo sin fin. Este procedimiento es previo a la mezcla y es en el que el maíz por medio de un proceso de doble triturado con finezas distintas, pasa de ser grano a convertirse en un fino polvo.
4. Mezclado: A lo interno de la planta de producción de alimentos existen 7 silos de relativamente, pequeña dimensión donde se almacena un compuesto vitamínico. De estos silos, en conjunto a los silos que poseen el maíz luego del triturado, es que se toman las materias primas para formular el alimento final en tanques mezcladores junto con agua. Son 4 tanques mezcladores cuyas salidas están conectadas a una red de distribución subterránea que se extiende por toda la granja.
5. Distribución: Este es el punto final de la fabricación del alimento y es en el que, por medio de sistemas de bombeo y ductos que se extienden por toda la granja, los cerdos de engorde y desarrollo, así como de pre-inicio reciben su alimento con propiedades líquidas. El resto de la granja recibe el alimento de forma manual y en estado sólido.

1.2.3. Descripción del proceso productivo: Recolección de excremento y conversión a metano y cerdaza.

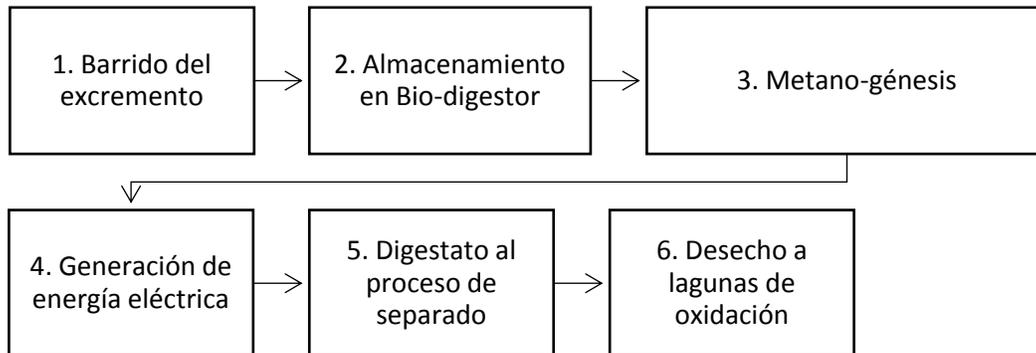


Figura 5. Diagrama de Proceso: Recolección de excremento y conversión a metano y cerdaza.

El proceso de aprovechamiento del excremento tiene 2 grandes fines y son la generación energía eléctrica y la obtención de cerdaza para alimento de ganado bovino. Todo esto ocurre en PASA por medio de 6 etapas:

1. Barrido del excremento: Todos los edificios tienen un sistema de sobrepiso de manera tal que bajo el piso en el que viven los cerdos existe otro que funciona como colector de excremento. Justo en este lugar es donde existen sistemas barredores que se mueven por medio de motores y poleas de manera que llevan todo el excremento a un colector principal existente en cada edificio.
2. Almacenamiento en Bio-digestor: Desde los colectores principales de excremento que posee cada edificio se bombea el excremento por ductos subterráneos hasta un sistema de bio-digestión en el que se almacena el excremento y se le agrega agua, elemento fundamental para la siguiente etapa.

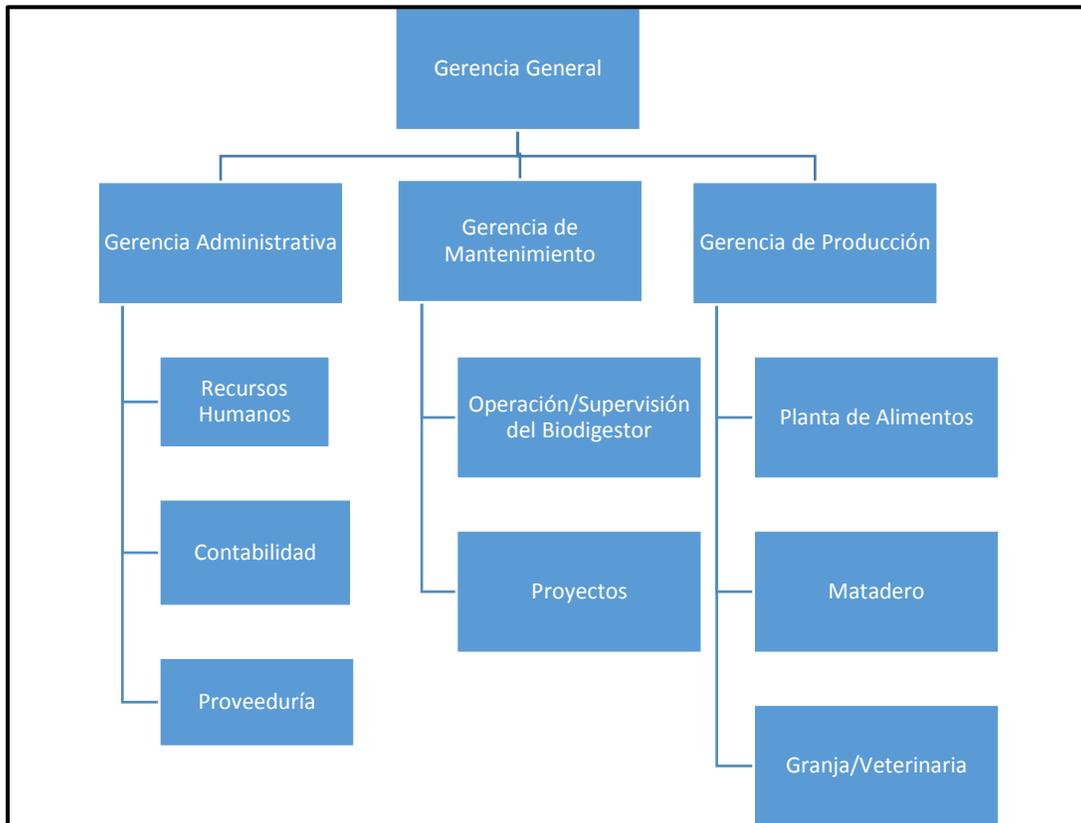
3. **Metano-génesis:** El excremento es ahora el sustrato para la bio-digestión. El agua existente en el bio-digestor por medio de hidrólisis disuelve las cadenas de carbohidratos por medio de enzimas y las convierte en mono-azúcares. De esta manera el excremento es ahora digerible para los microorganismos primarios que convierten los mono-azúcares en productos como ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. Acaba esta fermentación primaria aparecen ahora los microorganismos metano-génicos que toman estos productos y los convierten en gas metano. De este proceso se obtienen 2 productos finales: gas metano y digestato.
4. **Generación de energía eléctrica:** Un sistema generador por combustión, con alimentación de metano, recibe el gas producto de la etapa anterior para generar energía eléctrica con una capacidad de 250 kWh. Brindando así una capacidad aproximada de generación de 180.000 kW mensuales para abastecer el proceso productivo y enviar el excedente hacia la red pública. Este es el generador por bio-digestión con mayor capacidad del país.
5. **Digestato al proceso de separado:** En esta etapa el segundo producto de la metano-génesis es llevado a una máquina separadora que lo que hace es tomar esta sustancia con propiedades semi-sólidas proveniente del bio-digestor y por medio de filtrados y procesos centrífugos se separa el sólido del líquido para ser aprovechado como alimento de ganado bovino. El producto del separado se conoce como *cerdaza*.
6. **Lagunas de oxidación:** El producto líquido del separado es llevado por sistemas de ductos y bombeo hasta las lagunas de oxidación ubicadas en la parte de atrás de la planta en las cuales se almacenan estos líquidos para sufrir un prolongado proceso de sedimentación y reducción de la presencia de partículas de materia fecal a niveles de partículas por millón aprobadas por la ley y así verter el producto a un cuerpo de agua colindante.

#### 1.2.4 Estructura Organizacional

Actualmente, PASA se encuentra en la etapa de formación de la estructura organizacional, esto debido a que en años anteriores no existía mayor jerarquía que los jefes de departamento y una persona que desempeñaba el rol de gerente general. Al comenzar a formar parte del grupo Carnes Zamora se está comenzando a instaurar la estructura correspondiente por lo que la estructura organizacional actual se deriva en el siguiente diagrama.

Figura 6. Estructura Organizacional PASA – Coris

Fuente: Elaboración Propia



## CAPÍTULO 2: Planteamiento del Problema

---

Como respuesta a los esfuerzos en la reducción de la huella de carbono de la empresa PASA se instala en el año 2013 un sistema de generación de energía eléctrica tipo bio-digestor con la cooperación de la firma costarricense INGENYA y el Programa 4E de la Sociedad para la Cooperación Internacional Alemana. (*Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ*)

Con una capacidad de generación de 250 kWh y una proyección de producción diaria de poco más de 16 horas este bio-digestor se convirtió en el más grande de su clase instalado en el país.

Con la creación y publicación del reciente Plan Nacional de Energía 2015-2030 surge el interés de PASA de conectarse a la red de distribución bajo la modalidad de Generación Distribuida para Auto Consumo (GDAC) en su régimen

de neteo sencillo. Este régimen consiste en que el abonado genera su propia energía y en caso de existir algún excedente éste puede ser insertado a la red de distribución bajo los siguientes términos generales referenciados al total de energía producida:

- Un 51% de la energía integrada a la red por un abonado será asumida como propia por parte del proveedor de servicio eléctrico, como parte de los costos que dicha conexión, mantenimiento y distribución conlleva
- El restante 49% estará disponible por un plazo de hasta 12 meses para cuando el abonado requiera energía por parte de la red, y tendrá un costo definido para cada proveedor específico, en el caso de JASEC, el costo de cada kilowatt requerido por el abonado de la energía que éste haya enviado a la red será de prácticamente una quinta parte del costo que tendría un kilowatt consumido por aquellos no inscritos bajo este régimen.

PASA antes de desarrollar este proyecto de generación eléctrica por bio-digestor presentaba una facturación en promedio y aproximada de ¢12.000.000 (Doce millones de colones mensuales). El desarrollo del proyecto tuvo un costo total aproximado de \$1.5 millones. (¢825.000.000, ochocientos veinticinco millones de colones al tipo de cambio actual) y fue financiado por medio un préstamo cuya cuota se aproxima a ¢12.000.000 (Doce millones de colones mensuales). Es decir, con el desarrollo del proyecto PASA esperaba una reducción completa de su dependencia a la energía proporcionada de la red, convertirse en autosuficientes y de esta manera el monto que se cancelaba mensualmente por la facturación eléctrica invertirlo en el pago del financiamiento obtenido para el desarrollo y puesta en operación del bio-digestor.

Desde la fecha de instalación y puesta en operación del bio-digestor, PASA no cuenta con un profesional relacionado al área eléctrica en su planilla lo que ha derivado en una constante variabilidad de las tasas de generación de energía, salidas de operación repentinas del generador y demás fenómenos de índole técnicos operacionales los cuales los cuales no les han permitido convertirse en

autosuficientes y seguir dependiendo de la energía suministrada por la red. Llevando así a un impacto económico alto por motivos de la deuda adquirida y la aún activa facturación por demanda y consumo con JASEC.

## **2.1 Alcances, limitaciones y restricciones.**

### **Alcances:**

- Integración del excedente de energía generada con el bio-digestor a la red industrial de JASEC mediante el régimen de generación distribuida en su modalidad de neteo sencillo.
- Análisis comparativo de generación de energía y facturación de JASEC por el mismo concepto para los años 2014, 2015, 2016.
- Determinación del consumo real y demandas máximas de la planta de PASA en Coris en sus 4 derivaciones principales de baja tensión con la red.
- Proponer una reestructuración del proceso productivo con el fin de reducir la demanda máxima de la planta y reducir el monto facturado por este concepto.

### **Limitaciones:**

- Falta de equipo propio de PASA tipo registrador trifásico de energía para la determinación de los consumos y demandas.
- Dependencia al préstamo y/o arrendamiento de equipo tipo registrador trifásico de energía y la disponibilidad temporal que el tercero proveedor posea.

- Dependencia con JASEC para el avance del procedimiento de conexión la red del generador en el régimen de generación distribuida y las mejoras a la red derivada de media tensión de PASA para su integración al ramal de potencial industrial colindante.

**Restricciones:**

- Todas las mejoras a la red en media tensión, así como la conexión de la planta al ramal trifásico de potencia industrial, se realizarán bajo la coordinación de PASA pero con total ejecución por parte del personal de JASEC.

## **CAPÍTULO 3: Objetivos**

---

### **3.1 Objetivo General**

OG1. Determinar el estado real de consumos, energía eléctrica generada por biogás a entregar a la red y demandas de energía para la planta de PASA en Coris de Cartago.

### **3.2 Objetivos Específicos**

OE1. Obtener una proyección del panorama real de cargabilidad (consumo y demanda) de energía para la planta de PASA en Coris

OE2. Integrar el excedente de energía generado por el bio-digestor al nuevo modelo de interconexión bajo el régimen de GDAC con el fin de reducir en al menos un 15% la facturación por concepto de energía consumida.

OE3. Desarrollar un plan de recomendación para la reestructuración productiva de PASA con el fin de reducir la facturación por concepto de demanda máxima en al menos un 10%.

## CAPÍTULO 4: Solución Propuesta

---

Ante esta realidad, PASA se interesa en la integración del generador a la red de manera que cuando sus índices de producción sean altos el excedente de energía pueda ser integrado a la red y así, cuando el generador salga de línea por cualquier eventualidad, tener acceso a energía por parte de JASEC con un costo reducido bajo el régimen de GDAC en neteo sencillo en relación al costo actual de cada kilowatt consumido.

Luego de analizar la situación ante la cual se ve expuesta la empresa se logra detectar dos grandes factores que, aun teniendo el generador activo, implican de manera directa un incremento en la facturación:

1. La planta, al tener en su proceso productivo gran cantidad de sistemas de bombeo, agitadores, mezcladores, motores para transporte por cangilones

y tornillo sin fin, sistemas barredores de excremento, máquina separadora, aireadores para las lagunas de oxidación, moto-bombas de lavado y demás equipos que necesitan motores, posee una carga inductiva alta (aún no definida, se encuentra en este momento en desarrollo un estudio de calidad de la energía para ser determinada) por lo que se puede inferir que existe un bajo factor de potencia. Al estar conectados al generador no existen multas por este concepto, sin embargo, la salida repentina del generador da paso a una conexión abrupta de la carga inductiva completa de la planta a la red pública y este justamente es uno de los aspectos que vienen detallados en las facturaciones mensuales.

2. Al salir el generador también se incrementa los valores de demanda máxima como efecto de esta conexión abrupta a la red, teniendo impacto directo también en la facturación mensual.

Ante esta realidad se proponen dos soluciones al problema, una considerada a corto plazo y otra que requiere un poco más de tiempo para poder tener los resultados esperados:

- **Solución a corto plazo en dos etapas:** Etapa I. Conexión a la red bajo el régimen de GDAC para aprovechar los lapsos “pico” de generación y luego tener acceso al excedente de energía a bajo costo en comparación a la situación actual. Etapa II. Elaboración de un programa de producción estructura y orientada a la conexión escalonada y no en bloque de las cargas inductivas buscando la reducción del valor de demanda máxima.
- **Solución a largo plazo en dos etapas:** Etapa I. Reestructuración de las tareas operativas de mantenimiento y operación del bio-digestor, capacitación del personal a cargo del mismo, y mejora escalonada de las condiciones operativas del mismo para reducir así, las continuas des-conexiones del mismo. Etapa II. Definir la carga inductiva total de la planta, su factor de potencia y proceder a la instalación de un banco de

capacitores como medida correctiva al factor para así reducir la facturación por este concepto.

Al presentar las soluciones a gerencia se decide llevar a cabo el plan a corto plazo en dos etapas bajo la justificación de que es necesario hacer valer el excedente que actualmente, en vía a la red sin retribución alguna, además que luego de realizado un análisis y documentación de los datos de energía generada y facturada para períodos anteriores, además de ser PASA un productor-consumidor, es de importancia principal el conocer el consumo real de la planta y demandas máximas de la misma.

## CAPÍTULO 5: Marco Conceptual

---

### 5.1 Conceptos básicos: Energía Eléctrica.

La electricidad es una forma de energía que se encuentra presente en casi todas las actividades del hombre de una sociedad desarrollada, ya que gran parte de los aparatos y máquinas que se utilizan funcionan con ella. (Couto)

La electricidad y la energía que consumimos se puede generalizar en el siguiente diagrama:

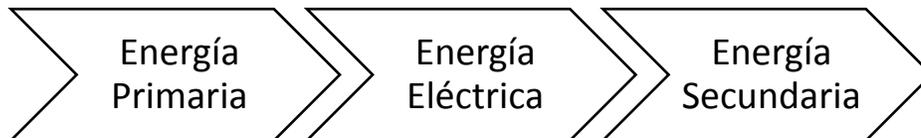


Figura 7. Tipos de Energía para Consumo residencial e industrial.

En términos de consumo a nivel residencial e industrial la energía eléctrica se obtiene a partir de una fuente primaria como lo pueden ser la energía hidráulica, térmica, solar, nuclear, eólica, marina, entre otras.

Estas fuentes de energía primaria son convertidas por medio de generadores en energía eléctrica para posteriormente ser distribuidas hasta el punto de consumo para ser utilizadas y/o transformadas en energías secundarias tales como: Luz, calor, sonido, movimiento, entre otros.) (Couto)

#### Formas de Producción de la energía eléctrica.

Existen tres tipos principales por los cuales puede obtenerse energía eléctrica a partir de una fuente de energía primaria: a partir de reacción química, por inducción electromagnética y a partir de la luz. Para nuestros efectos nos centraremos en la segunda de ellas.

## 5.2 Máquinas eléctricas

Una máquina eléctrica es un dispositivo que puede convertir una energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. (Chapman).

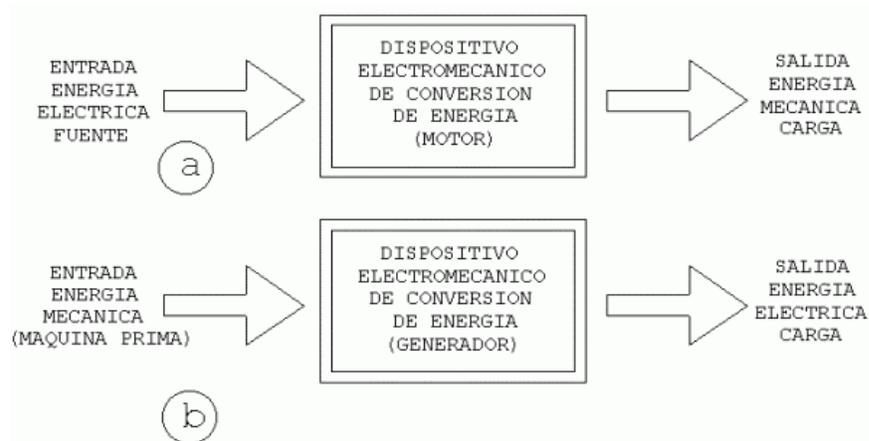


Figura 8. Diagrama Conversión de Energía en Máquinas Eléctricas  
Fuente: Google Images

Dentro de las máquinas eléctricas los motores y los generadores son aquellas que tanto generadores como motores rigen su funcionamiento con base en la inducción electromagnética, para efectos de este proyecto nos enfocaremos en el tema de generadores síncronos pues es el mismo el tipo de generador sobre el cual se ha desarrollado el mismo.

Prácticamente, todos los motores y generadores funcionan por medio de la acción de campos magnéticos y además, son estas máquinas eléctricas en conjuntos con los transformadores de voltaje los principales dispositivos eléctricos con los cuales se puede encontrar en cualquier campo de la vida cotidiana.

Con el fin de establecer una relación entre las máquinas se puede citar entonces que las máquinas eléctricas de tipo generador son aquellas que brindan la energía suficiente para que pueda operar los motores, recibiendo estos la misma por medio de redes de transmisión en las cuales nos podemos encontrar transformadores de voltaje. Todas estas siendo producto de la interacción de campos magnéticos para su operación.

## Campo Magnético

Los campos magnéticos tal y como se ha citado anteriormente son el mecanismo fundamental para convertir energía de corriente alterna (CA) en energía de corriente directa o continua (CC) ya sea en motores, generadores, así como también transformadores (Chapman).

Existen cuatro principios fundamentales que permiten describir la utilización de los campos magnéticos en estos dispositivos eléctricos:

1. Un conductor que porta corriente produce un campo magnético a su alrededor.
2. Un campo magnético variable con el tiempo produce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de ésta (ésta es la base del funcionamiento de un transformador).
3. Un conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza inducida sobre él (ésta es la base de funcionamiento del motor)
4. Un conductor eléctrico que se mueva en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él (ésta es la base del funcionamiento del generador).

## Producción de un campo magnético

La existencia de los campos magnéticos por una corriente es regida por la ley de Ampère:

$$\oint H \cdot dl = I_{net}$$

En la ecuación anterior se define la intensidad de campo magnético en amperes-vuelta por metro producto de la corriente  $I_{net}$ .

La intensidad del campo magnético  $H$  podría definirse como la medida del “esfuerzo” de una corriente por poder establecer un campo magnético.

Un ejemplo clásico para comprender el tema de la creación de campo-magnéticos es el de un núcleo rectangular devanado de  $N$  vueltas de alambre enrollado sobre una de las ramas del núcleo. Si el núcleo sobre el cual se encuentra ubicado el alambre está construido con materiales ferro-magnéticos se puede decir que prácticamente todo el campo magnético producido por la corriente circulante permanecerá dentro del núcleo de modo que el campo de integración en la ley de Ampère es la longitud media del núcleo.

Existe una corriente inducida que pasa por todo el camino de la integración ya denominada como  $Ni$  producto de la corriente circulante  $I_{net}$ . Esto se debe a que la bobina de alambre corta el camino  $N$  veces mientras porta la corriente  $i$ . Por tanto, la ley de Ampère para este caso se expresa como:

$$H I_c = Ni$$

Con  $H$  siendo la magnitud del vector de intensidad de campo magnético **H**. Es así como por medio de un despeje algebraico se obtiene la magnitud de la intensidad definida de campo magnético para el núcleo producto de la corriente aplicada:

$$H = \frac{Ni}{I_c}$$

Dentro del tema de campo magnético es de suma importancia conocer que existen dos valores importantes, correlacionados y dependientes pero que permiten expresa propiedades físicas del mismo: Intensidad del campo magnético (**H**) y la densidad del flujo magnético resultante dentro del material (**B**). Ambas se permiten relacionar mediante la constante de permeabilidad magnética del material con el cual se haya elaborado el núcleo en cuestión. Ambas se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$$

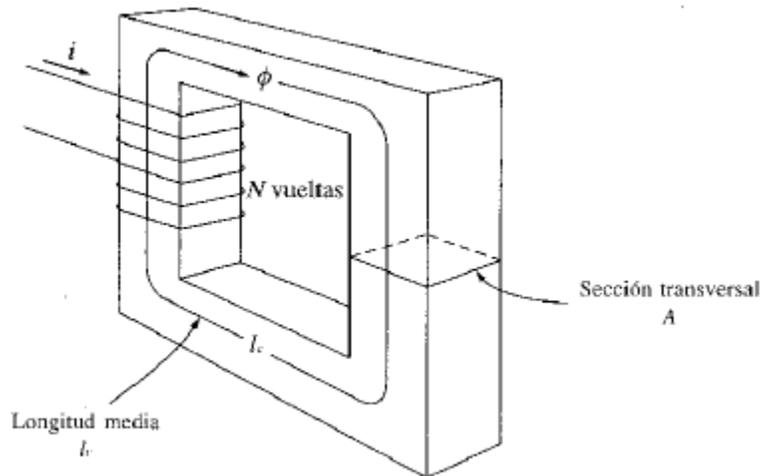


Figura 9. Núcleo magnético sencillo  
Fuente: (Chapman)

Donde:

***B***: intensidad de campo magnético [webers por metro cuadrado] = [teslas]

***μ***: permeabilidad magnética del material [henrys por metro]

***H***: densidad de flujo magnético resultante [ampere – vuelta metro]

Por tanto, y con base en las ecuaciones mostradas anteriormente, para el núcleo mostrado en la Figura 9 la magnitud de la densidad de flujo está definida por:

$$B = \mu H = \frac{\mu Ni}{l_c}$$

Y así se obtiene el flujo magnético total en cierta área del núcleo dada por:

$$\phi = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = BA = \frac{\mu Ni A}{l_c}$$

## Circuitos Magnéticos

Ya se ha dejado claro que la corriente transmitida en una bobina de alambre conductor enrollado alrededor de un núcleo produce un flujo magnético en éste.

Ahora bien, los circuitos magnéticos se permiten ser modelados de manera muy similar a los circuitos eléctricos como el mostrado a continuación:

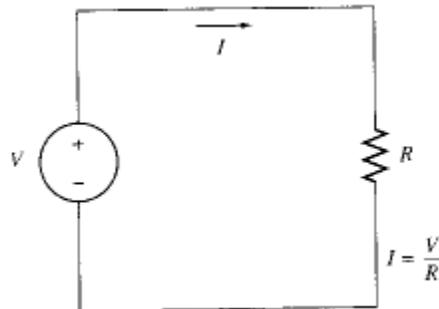


Figura 10. Circuito eléctrico sencillo  
Fuente: (Chapman)

En este caso la fuente de voltaje  $V$  genera una corriente  $I$  a lo largo de la resistencia  $R$  tal y como se conoce a partir de la ley de Ohm. Es decir, en un circuito eléctrico el voltaje o fuerza electromotriz genera un flujo de corriente:

$$V = IR$$

Para el caso análogo de un circuito magnético surge el término de *fuerza magnetomotriz* (*mmf*) y es equivalente al flujo de corriente aplicado sobre el núcleo:

$$F = Ni$$

Con  $F$  siendo la fuerza magnetomotriz y siendo medida en amperes-vuelta.

Otra manera de conocer la fuerza magneto-motriz de un circuito es mediante la relación de la misma con el flujo magnético total de un sistema, para esto, es necesario conocer el término de *Reluctancia*. Esta variable es la homóloga magnética de la resistencia de un circuito eléctrico y se mide en

amperes-vuelta pro weber. De esta forma la ecuación anterior se puede reescribir ahora en términos de fuerza, flujo del circuito y la reluctancia.

$$F = \phi \mathcal{R}$$

Donde

$F$ : fuerza magnetomotriz del circuito

$\phi$ : flujo total del circuito

$\mathcal{R}$ : reluctancia del circuito

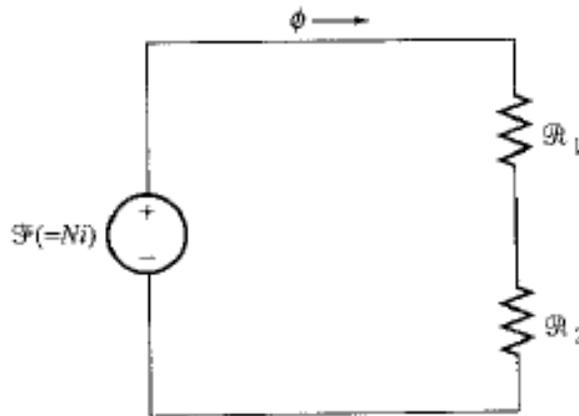


Figura 11. Circuito Magnético Sencillo  
Fuente: (Chapman)

### **Ley de Faraday: Voltaje Inducido por un campo magnético variable.**

Hasta el momento se ha comentado de manera general la producción de un campo magnético y algunas de sus principales propiedades, sin embargo, así como la inducción de corriente tiene efectos magnéticos sobre el núcleo que atraviesa también así el campo magnético tiene un efecto sobre su alrededor. Dicho efecto es la generación de voltaje inducido.

A este concepto se le conoce como la *Ley de Faraday* y es fundamental en el diseño y funcionamiento de las máquinas eléctricas conocidas como

transformadores. Dicha ley establece: “Si un flujo atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en ésta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio del flujo con respecto al tiempo”. Este principio se muestra mediante la siguiente ecuación:

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$$

Es así como se establece la relación diferencial del flujo y tiempo en la generación del voltaje inducido en la espira  $e_{ind}$ . Ahora bien, si se analiza que la mayoría de núcleos, poseen no una sino un valor  $N$  de espiras se tendrá entonces que el voltaje inducido para una bobina será de:

$$e_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

De manera más general se puede decir entonces que si una bobina tiene  $N$  espiras (tal y como se muestra en la imagen adjunta) el voltaje neto inducido en la misma se expresa de la siguiente manera:

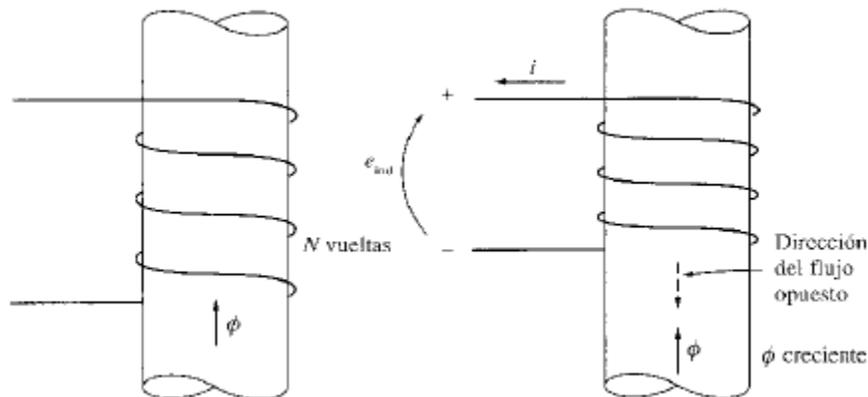


Figura 12. Voltaje inducido por un bobinado conductor de corriente  
Fuente: (Chapman)

## Producción de fuerza inducida en un alambre

Dos de los principales efectos que puede tener un campo magnético sobre sus alrededores son la inducción de un diferencial de potencial y también la producción de una fuerza inducida en el alambre conductor. La magnitud y dirección de esta fuerza resultante surge por medio del producto de la corriente conducida y el producto cruz de la longitud del conductor y el campo al cual se encuentra expuesto el mismo. De manera tal que:

$$F = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

Donde:

*F: Fuerza inducida en el alambre*

*i: magnitud de la corriente en el alambre*

*l: longitud del alambre, con la dirección de l definida como la dirección del flujo de corriente.*

*B: Vector de densidad de flujo magnético*

Para la determinación de la dirección de la fuerza inducida se utiliza la regla de la mano derecha mediante el siguiente procedimiento: si el dedo índice de la mano derecha apunta en la dirección del vector  $l$  y el dedo corazón apunta en la dirección del vector de la densidad de campo  $B$ , entonces el dedo pulgar apuntará en dirección de la fuerza resultante sobre el alambre. Si se utiliza este método para determinar la dirección del vector *Fuerza* entonces la magnitud del mismo se puede encontrar mediante la ecuación:

$$F = ilB \text{ sen } \theta$$

Siendo  $\theta$  el ángulo comprendido entre el alambre y el vector de densidad de flujo en grados.

### **Voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético.**

Existe una tercera forma importante relacionada con la interacción entre un campo magnético y su alrededor, en esta, es en la que un alambre conductor adecuadamente orientado se desplaza a través de un campo magnético uniforme para así poder inducir un voltaje sobre dicho alambre. Por medio de la siguiente ecuación se puede conocer el voltaje inducido en el conductor ante la presencia de un campo magnético:

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

En esta se interrelacionan la velocidad de desplazamiento del alambre, el vector de la densidad de flujo y la longitud del conductor que se encuentra en presencia del campo.

### **5.3 Máquinas Eléctricas de Corriente Alterna**

Las máquinas eléctricas de corriente alterna (AC) son los generadores que convierten la energía mecánica en energía eléctrica AC y los motores que convierten la energía eléctrica AC en energía mecánica. (Chapman)

Dentro de este grupo de máquinas eléctricas existen dos principales clases:

- Máquinas Síncronas
- Máquinas de Inducción

#### **Máquinas Síncronas: Generadores Síncronos**

Este tipo de máquinas también conocidas como *alternadores* son utilizadas para convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica AC.

Dos términos que se utilizan con frecuencia para describir los devanados de una máquina son: *devanados de campo* y *devanados de armadura*. Los primeros son los encargados de crear el campo magnético principal dentro de la máquina

mientras que los segundos serán aquellos en los cuales se da el fenómeno de la inducción de voltaje.

La máquina generadora es esencialmente, un electroimán en que los magnéticos del rotor pueden ser diseñados salientes o no salientes. Siendo este término directamente relacionado con la forma física en que están instalados los polos en la circunferencia del rotor tal y como se muestra en la siguiente imagen.

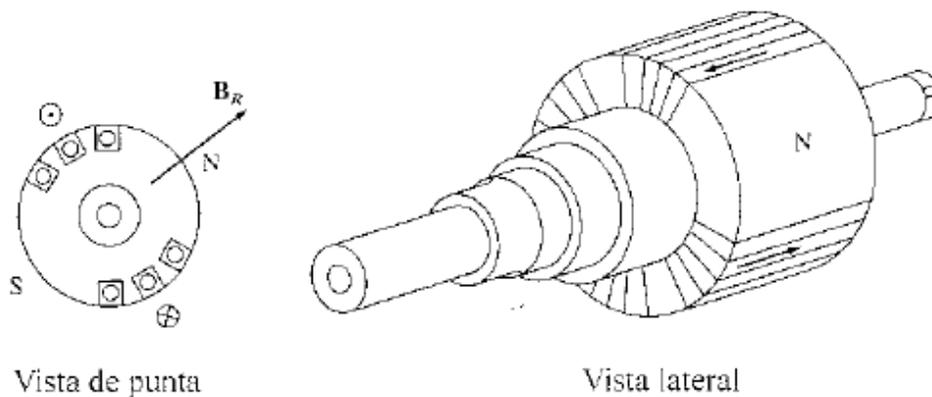


Figura 13. Vista frontal y lateral de un rotor de polos no salientes  
Fuente: (Chapman)

Tal y como se puede observar en la figura 13 el rotor posee los polos magnéticos inscritos dentro de la circunferencia descrita por el mismo mientras que en la figura 14 se puede observar como los polos salientes son aquellos que queda circunscritos a dicha circunferencia.

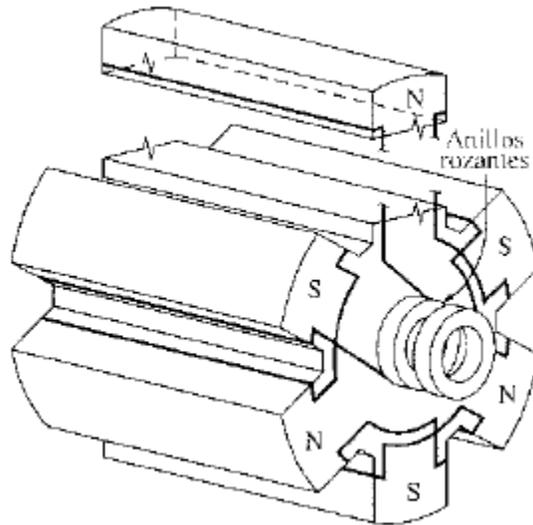


Figura 14. Vista lateral de un rotor de polos saliente.  
Fuente: (Chapman)

### Velocidad de rotación en un generador sincrónico.

Cuando se utiliza la palabra “*sincrónico*” para nombrar a un generador, se hace referencia directa a que la frecuencia eléctrica del mismo se encuentra sincronizada con la tasa mecánica de rotación del generador. Los rotores de generadores síncronos poseen un imán en CD que suministra corriente. Existe una ecuación que muestra la relación entre la cantidad de polos ( $P$ ), frecuencia eléctrica ( $f_e$ ) y la velocidad mecánica del campo magnético del imán en revoluciones por minuto ( $n_m$ ).

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

Por ejemplo, un rotor que opere a una frecuencia de 60 Hz, y que sea de 4 polos se obtendrá el requerimiento de una velocidad mecánica del rotor de 1800 r/min para poder mantener dicho valor de frecuencia eléctrica.

## 5.4 Tipos de sistemas de corriente.

### Conceptos Básicos

Tal y como se conoce respecto a la electricidad y muy específicamente a la corriente eléctrica, la misma surge mediante el movimiento de electrones o cargas negativas dentro de un sistema eléctrico. Están involucrados dentro de lo que podría denominarse “sistema eléctrico” elementos tales como: fuentes o generadores, carga o receptores y líneas de distribución o alimentación. Las mismas se interrelacionan tal y como se muestra en la siguiente imagen:

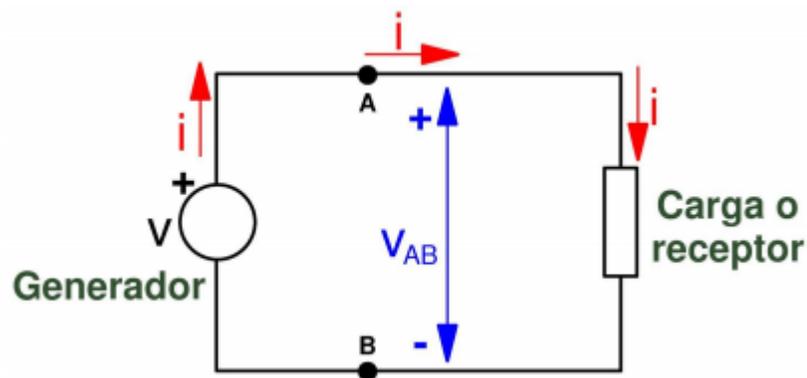


Figura 15. Representación gráfica de un sistema eléctrico básico.  
Fuente: (Pozueta, 2010)

Tal y como se puede observar los elementos interaccionan entre sí y las cargas pueden variar entre resistivas, inductivas o capacitivas. Otro detalle importante de conocer radica en el hecho de que la corriente debe poseer un sentido o dirección de flujo, en este caso y por nomenclatura ya definida siempre se asumen que la corriente posee una dirección en sentido Generador-carga y no de manera contraria.

### Unidades básicas, magnitudes y signos.

De manera muy general se puede mostrar un sistema eléctrico como aquel que posee una fuente o generador y una carga que define la corriente que circulará por dicho sistema, ante esto, se creyó necesario el establecimiento de convenios de signos y se define tal y como se muestra en la figura 15 que:

- En el interior de una carga o receptor la corriente circula del punto de mayor tensión al de menor tensión eléctrica.
- En el interior de un generador la corriente circula desde el punto de menor tensión eléctrica al de mayor tensión eléctrica.

La corriente eléctrica o intensidad de corriente se define como la variación de la carga con el tiempo en la sección transversal de un conductor y posee unidades de Amperios (Pozueta, 2010) de manera tal que:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Así también la tensión o diferencia de potencial entre dos puntos (llámense A y B) se define como el trabajo realizado por el campo eléctrico para mover la unidad de carga positiva desde A hasta B y posee unidades de voltios (Pozueta, 2010):

$$V_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq}$$

### **Ley de Ohm:**

La relación entre la tensión aplicada a un conductor y la intensidad que circula por él se mantiene constante y se conoce como *resistencia del conductor* (Anónimo). Este valor conocido como resistencia posee unidad de Ohmios ( $\Omega$ ) y es la carga definida para circuitos de corriente continua. La ley de Ohm se convierte en valores fasoriales complejos cuando se entra al tema de corriente alterna y el término *resistencia* será sustituido por *impedancia* y tendrá composición variable con su tipo de carga entre resistiva, capacitiva e inductiva.

$$V = I \cdot R$$

### **Potencia Eléctrica:**

La potencia se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo y se define por medio de la siguiente ecuación:

$$P = V \cdot I$$

Donde:

*P: Potencia Eléctrica (W)*

*V: Voltaje o diferencia de potencial (V)*

*I: Intensidad de corriente (A)*

### **Elementos pasivos de los sistemas eléctricos:**

Cuando se hace referencia a elementos pasivos en electricidad se infiere sobre aquellos quienes poseen la capacidad o cualidad de disipar o almacenar energía eléctrica, sin embargo, no poseen la capacidad de generarla por sí mismos. Dichos elementos son todos aquellos quienes cumplen el papel de cargas o receptores en un circuito eléctrico y se conocen los siguientes tipos principales:

- Resistencia: Es un elemento disipador de energía.
- Bobina o inductancia: Es un elemento almacenador de energía magnética.
- Condensador: Es un elemento almacenador de energía eléctrica.

## **5.5 Suministro de energía: tipos y generalidades.**

**Redes Eléctricas:** Existen tres principales elementos de los cuales se compone una red eléctrica de distribución: centrales generadoras, líneas de transmisión y redes de distribución. (Estevenson, 1975)

La manera en las que estos términos se interconectan es mediante la transmisión de la energía eléctrica desde el punto de generación hasta el momento en que son consumidos en algunas de las cargas.

La secuencia en que ocurren las cosas y se interconectan entre se muestra en la siguiente lista:

1. La energía se obtiene mediante los puntos de generación ya sea por medios renovables o no renovables.
2. La energía es llevada a las líneas de transmisión o de transporte y son estas los eslabones centrales de la conexión entre los generadores y las redes de distribución, además son las encargadas de llevar a la energía a otras redes de potencia por medio de interconexiones.
3. La red de distribución es la encargada de conectar las cargas aisladas de una zona determinada con las líneas de transmisión para su correcta alimentación de energía.

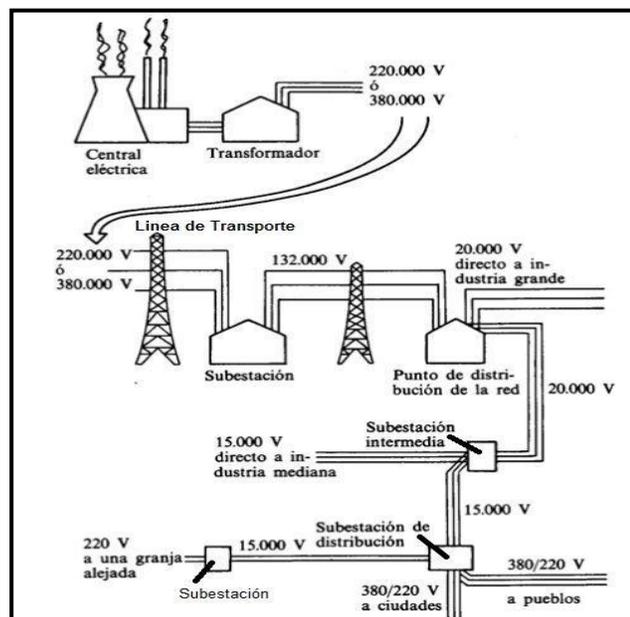


Figura 16. Diagrama Conceptual de una Red Eléctrica  
Fuente: Google Images

#### **5.4 Sistemas de alimentación trifásicos.**

Dos de los principales tipos de suministro de energía, a los cuales se puede tener acceso en la actualidad, es a los sistemas ya sean monofásicos o trifásicos con sus respectivas selecciones de tensión de suministro que se requiera, así como también los tipos de conexión que tengan en la transformación:

Para efectos del presente trabajo nos enfocaremos en el análisis de los sistemas trifásicos de alimentación.

La generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se realiza a través de sistemas trifásicos de corriente alterna y dentro de sus principales ventajas se encuentran las siguientes:

- Ahorro de materiales en equipos, líneas de transmisión y distribución.
- Generación de campos magnéticos en movimientos
- Potencia instantánea constante.

#### **Fuentes de generación trifásicas:**

Un generador trifásico se compone de los siguientes elementos:

- Estator: Constituido por un paquete de placas magnéticas en estructura cilíndrica con una serie de ranuras longitudinales (6 como mínimo), sobre cada par de ranuras opuestas sobre la circunferencia se colocan los principios y finales de los lados de una bobina. Dichas bobinas son constructivamente iguales, con el mismo número de espiras y con una distribución geométrica tal que sus ejes magnéticos forman un ángulo de  $120^\circ$ .
- Rotor: Consiste de un electroimán alimentado con corriente continua, el giro de este elemento proviene de una fuente mecánica externa al generador (motor de combustión, turbinas de vapor, sistemas eólicos, entre otros) y el mismo mantiene una velocidad angular constante.

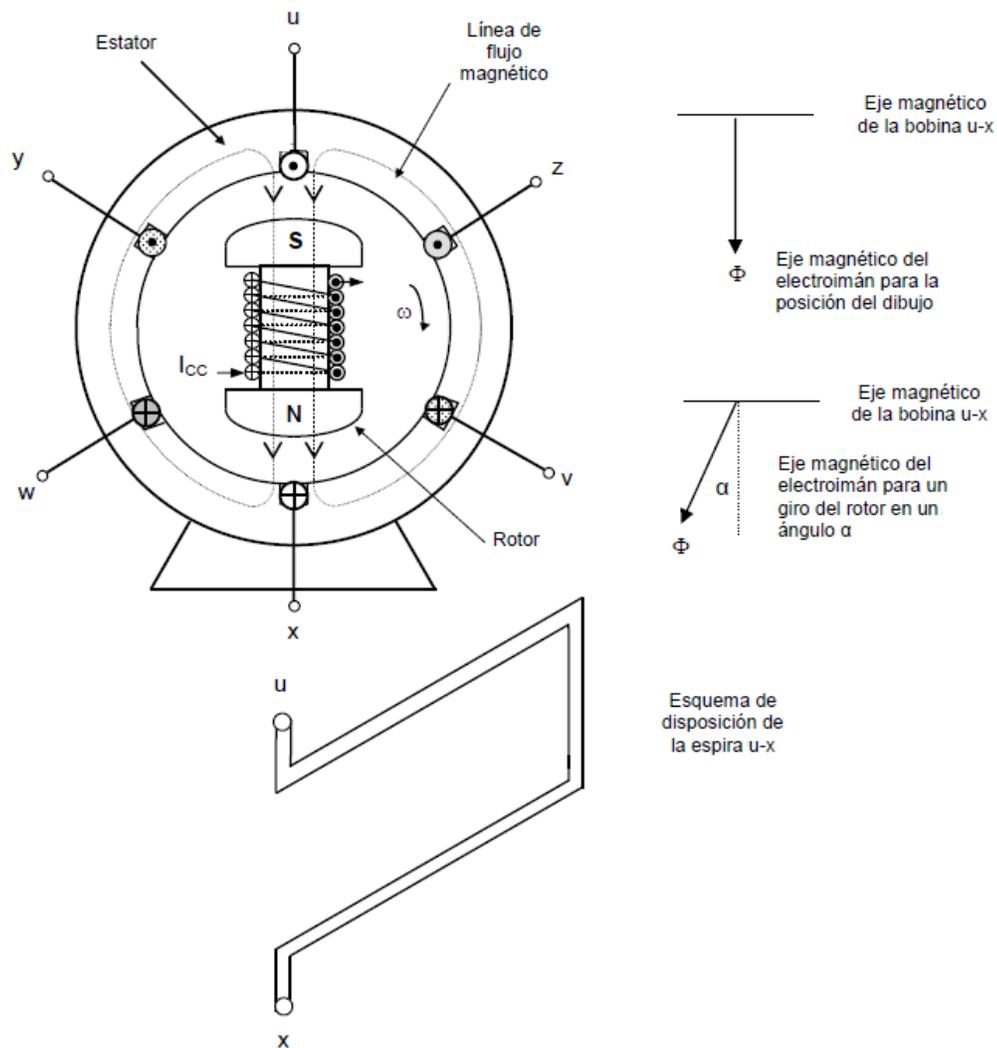


Figura 17. Diagrama estructural de conexión de un generador trifásico.  
Fuente: (Álvarez, 2009)

El electroimán en el rotor al ser alimentado por corriente continua produce un flujo magnético en presencia del campo existente en el estator. Es por esto que las bobinas asociarán un valor de flujo de acuerdo a la posición instantánea del rotor.

Tomando un par de espiras del estator (u-x, y-v, z-w) y siendo “ $\alpha$ ” el ángulo definido entre el eje magnético del electroimán y el eje vertical. Se conoce también que la posición angular de dicho valor es directamente dependiente de la

velocidad angular del mismo definida por  $\alpha = \omega t$ , se puede decir entonces que el flujo inducido para ese instante se define como:

$$\varphi = \phi \text{ sen } \omega t$$

Dicho esto y aplicando el principio de Faraday-Lenz se puede conocer así que la fuerza electromotriz inducida para dicho instante posee un valor aproximado a:

$$e_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt} = N \phi \omega \text{ cos } \omega t$$

Como " $N \phi \omega$ " es conocida ya como  $E_{max}$  (tensión máxima) la ecuación anterior se puede resumir a:

$$e_{ind} = E_{max} \text{ cos } \omega t$$

Al encontrarse los juegos de bobinados con un desfase angular de diseño de  $120^\circ$  se determina la corriente inducida en los mismos como:

$$e_{ind} = E_{max} \text{ cos } \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \text{ y } e_{ind} = E_{max} \text{ cos } \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

La segunda ecuación concierne a la tensión inducida del bobinado a  $240^\circ$  del primer par.

Dichas tensiones en una representación gráfica y fasorial se pueden observar de la siguiente manera:

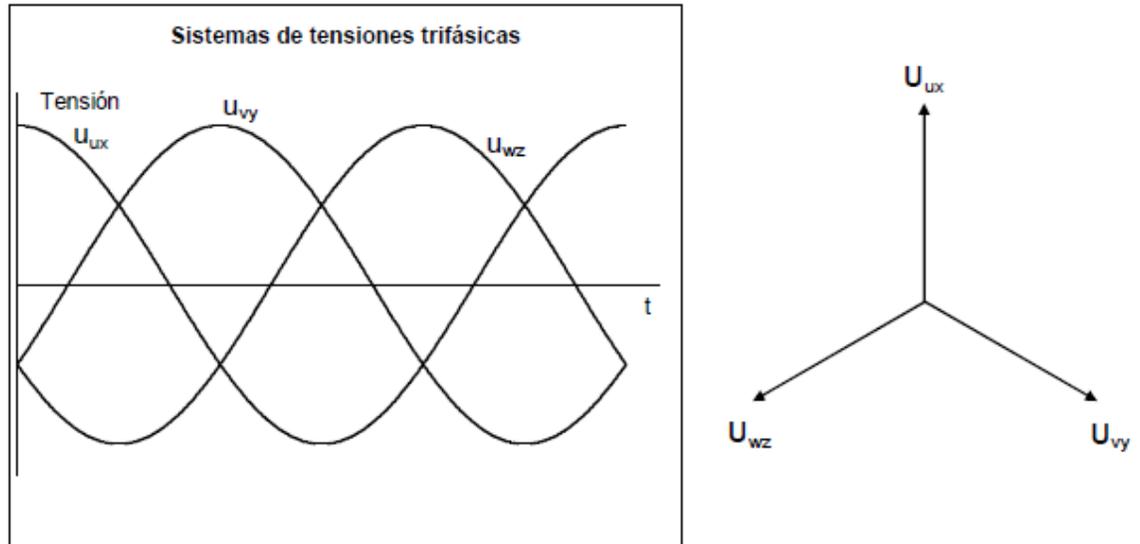


Figura 18. Diagrama sinusoidal y fasorial de los voltajes en un generador trifásico.  
Fuente: (Álvarez, 2009)

## Tipos de conexión en generación y transformación

### Conexiones del generador:

- **Conexión Estrella:** Este tipo de conexión se puede considerar como la unión en un punto común de tres generadores monofásicos cuyas tensiones se encuentran desfasadas  $120^\circ$ , los principios de cada uno de los bobinados se conectan a las cargas a alimentar.

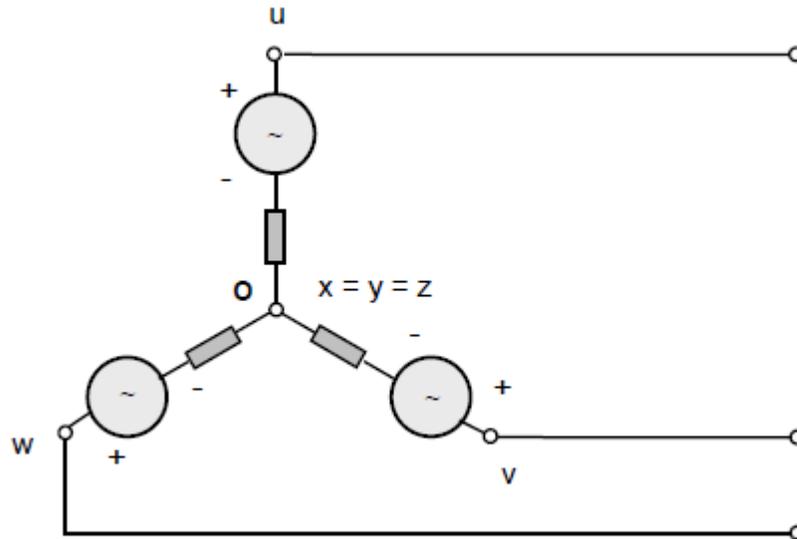


Figura 19. Conexión estrella de un generador trifásico.  
Fuente: (Álvarez, 2009)

- Conexión Delta o Triángulo:** En este caso los bobinados de cada fase se conectan de manera tal que se forme una serie, el punto común entre cada par de bobinas será aquel que se conecte a las líneas de transmisión o la carga en cuestión.

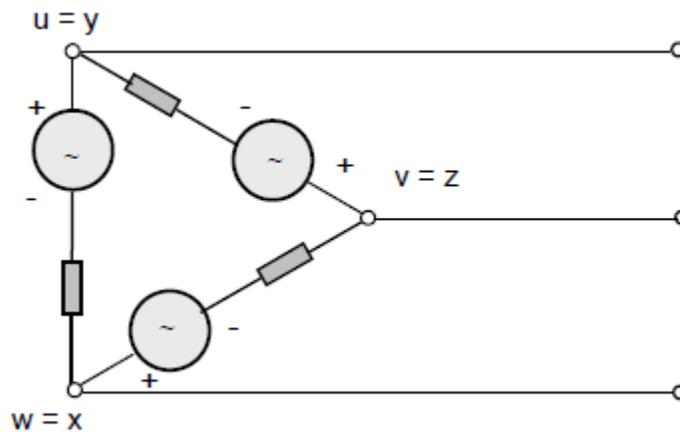


Figura 20. Conexión delta de un generador trifásico.  
Fuente: (Álvarez, 2009)

## Tensiones y corrientes en sistemas trifásicos de generación y consumo.

Los sistemas de alimentación y consumos trifásicos poseen tensiones y corriente de línea y fase respectivamente. La tensión de fase es aquella que se mide entre una línea y el neutro del sistema. Poseen las siguientes características según la conexión empleada:

- Conexión Estrella: En este tipo de conexión las tensiones de fase y línea son distintas mientras que las corrientes de línea y fase son idénticas

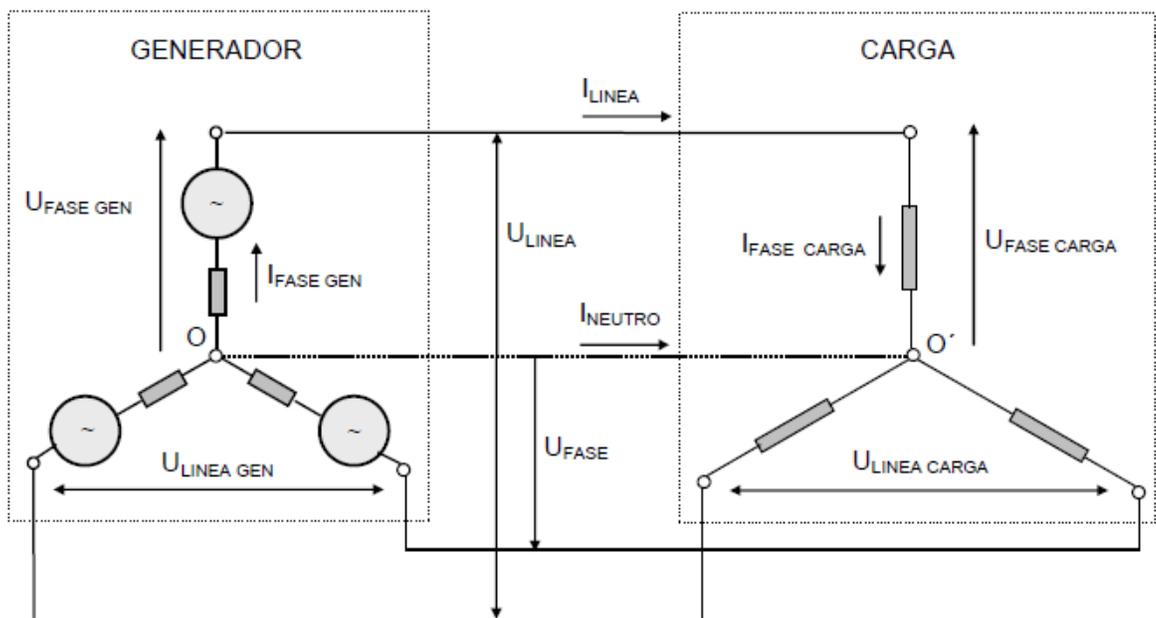


Figura 21. Diagrama de tensiones y corrientes en conexiones tipo estrella.  
Fuente: (Álvarez, 2009)

Las diferencias de tensiones en este tipo de sistemas están definidas mediante:

$$V_L = \sqrt{3} V_F$$

- Conexión Delta: Las tensiones de fase y línea son iguales mientras que las corrientes de línea y fase son diferentes.

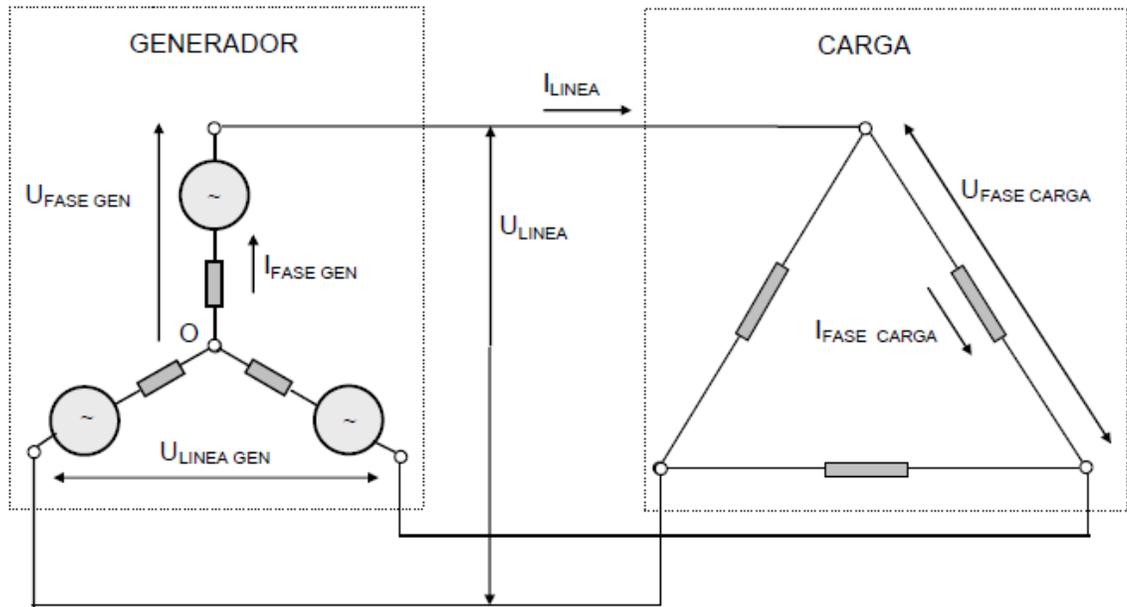


Figura 22. Diagrama de corrientes y tensiones en conexiones delta.  
Fuente: (Álvarez, 2009)

### Transformadores trifásicos.

Un transformador trifásico consta de 3 transformadores, separado o combinados, sobre un núcleo o en su efecto un arreglo de 3 transformadores monofásicos para suplir una carga. Las diferentes conexiones con las cuales uno puede configurar un banco de transformadores trifásicos:

1. Estrella – Estrella (Y-Y)
2. Estrella-Delta (Y-Δ)
3. Delta – Estrella (Δ-Y)
4. Delta – Delta (Δ- Δ)

1. Estrella- Estrella: Para todas las conexiones referentes a transformación aplica la igualdad de:

$$V_L = \sqrt{3} V_F$$

Donde la tensión de línea es aproximadamente 1,732 la tensión de fase tanto en el primario como en el secundario. Por tanto, la relación de transformación “a” (cociente entre voltaje de línea primario y secundario) se define como:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{FP}}{\sqrt{3} V_{FS}} = a$$

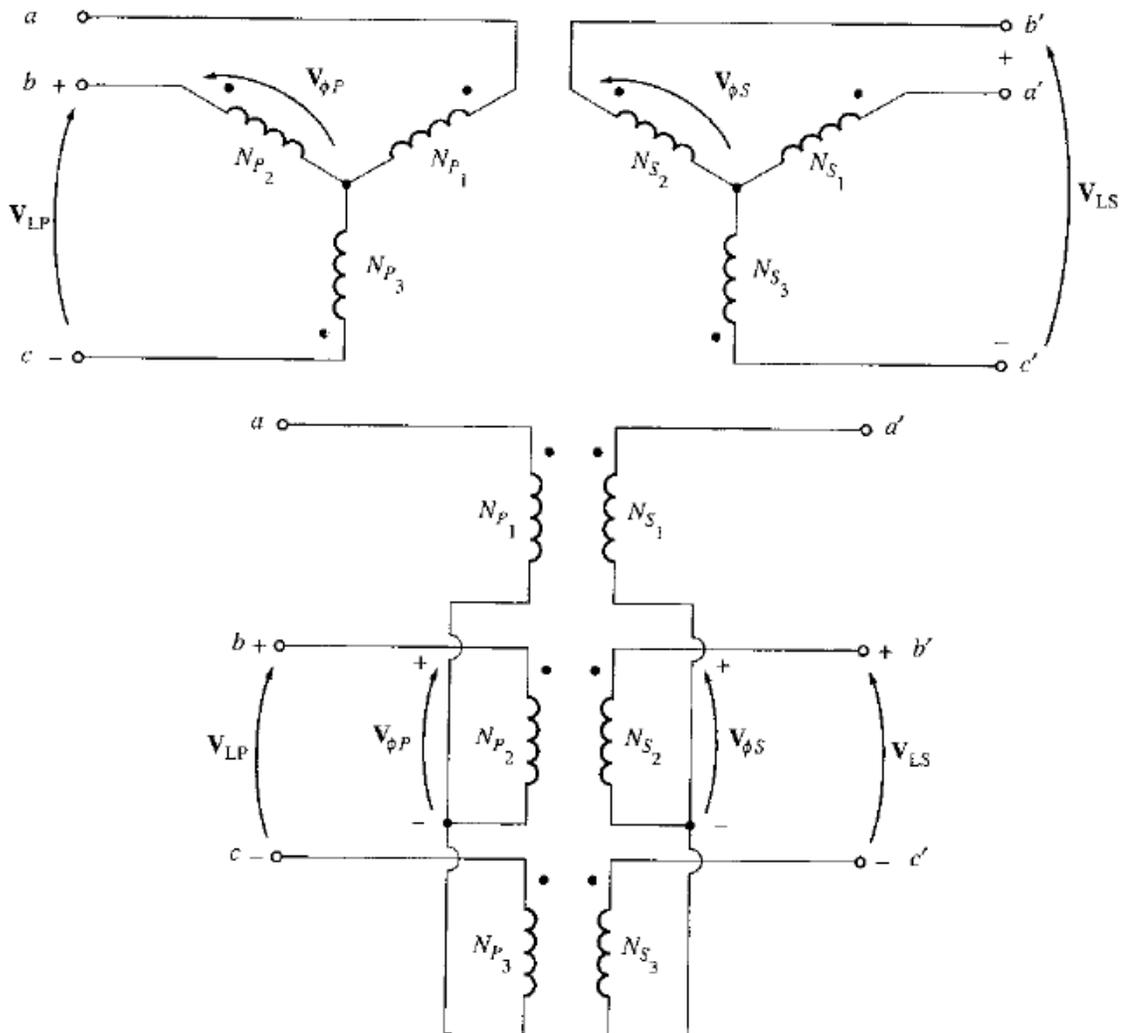


Figura 23. Diagramas de conexión de transformadores Estrella-Estrella.  
Fuente: (Chapman)

Este tipo de conexión posee dos grandes desventajas y es que un alto desbalance de las cargas puede implicar desbalances de las tensiones de fase y también que los voltajes en las terceras armónicas pueden ser grandes.

2. Estrella- Delta: En este tipo de conexión la constante de transformación se define como:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} V_{FP}}{V_{FS}} = a$$

Al tener el secundario en conexión delta se dice con certeza que la tensión de fase y línea son las mismas en la carga por lo que no se requiere de la utilización de la relación de 1,732 veces la tensión de fase.

3. Delta – Estrella: Para conocer la relación de transformación en este tipo de conexión se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{\sqrt{3} V_{FS}} = a$$

Se observa que, similar al caso anterior sólo que ahora del lado primario, las tensiones de fase y línea son las mismas del lado de la conexión delta por lo que no es necesario utilizar la relación.

4. Delta – Delta: En este caso específico las tensiones de fase y línea primarias son idénticas y lo mismo ocurre del lado secundario mas no son iguales entre sí en ambos lados de la transformación. Por tanto, la relación de transformación puede ser encontrada de la siguiente manera:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}} = a$$

### **Transformación trifásica utilizando dos transformadores.**

Existen diversas situaciones que pueden dar paso a la implementación de una conexión mediante la cual se pueda suplir en el secundario una carga trifásica completa aunque en el primario solamente se tenga dos disponibles o en su efecto, que uno de los transformadores del banco se vea obligado a ser desconectado por alguna avería o mantenimiento. En este caso la mayor contrariedad que presenta esta conexión a la red es que de la potencia total disponible en el banco ahora se podrá utilizar solamente un 66.7% de la misma. Limitando así la capacidad total de carga que se puede aplicar en ese banco en específico. Otro de los principales problemas que puede acarrear esta conexión

radica en el hecho de que el sistema se ve obligado a tener mucha corriente de retorno por el neutro del primario.

Dentro de las conexiones más comunes se encuentran las siguientes:

1. Conexión en delta abierta.
2. Conexión en estrella abierta – delta abierta
3. Conexión Scott – T
4. Conexión trifásica en T

## 5.6 Demanda y Energía.

### Demanda

En sistemas de potencia y energía existe un término conocido como Demanda. Este término no es sino el conjunto de potencia que necesiten los equipos o cargas a suplir en alguna instalación. La potencia a su vez, tal y como se comentó anteriormente, es elementalmente, el producto de la intensidad de corriente por la tensión. Todas las potencias existente se interrelacionan entre sí por el *triángulo de potencias*.

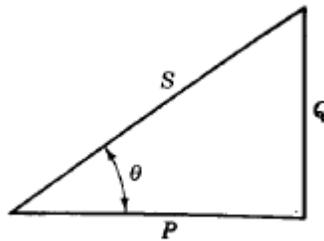


Figura 24. Triángulo de Potencias.  
Fuente: (Estevenson, 1975)

Existen tres tipos distintos de potencias que se interrelacionan entre sí:

1. Potencia Aparente (S), posee unidades del voltio-amperios y se obtiene de la siguientes manera:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

2. Potencia Activa (P), posee unidades de Watt y se expresa de la siguiente manera:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta$$

Siendo el último término el factor de potencia y el cual hace referencia directa al ángulo de desfase existente entre la potencia aparente y la activa y el cual existe por las componentes reactivas del sistema.

3. Potencia Reactiva (Q), esta potencia es la que se define por las cargas reactivas de sistema ya sea de carácter inductivo o capacitivo. Es la responsable directa de la existencia del factor de potencia y es usualmente inductiva en la industria. Como medio de corrección del factor de potencia se utiliza la instalación de bancos capacitivos pues a nivel industrial las cargas implementadas en procesos productivos son considerablemente resistivas e inductivas.

La potencia aparente se posee unidades de voltios-amperios reactivos y su ecuación es:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sen \theta$$

**Energía.** La energía es el término utilizado para representar y cuantificar la demanda en función del tiempo, es decir, existe energía activa, reactiva y aparente y es esta la que define el consumo eléctrico de una industria o consumo determinado para la generación de las facturaciones mensuales.

## CAPÍTULO 6: Resultados

---

### 6.1 Estado Energético Actual

#### **Demanda y Consumo.**

Porcina Americana se encuentra servida actualmente, en media tensión, específicamente a 34,5 kV por parte de la Junta Administradora de los Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC). En sus instalaciones en Coris de Cartago posee 6 puntos de transformación distintos: 5 de consumo y 1 de generación.

Actualmente, la empresa no cuenta con equipos propios de registro o medición de los consumo reales de energía de todas sus derivaciones en baja tensión por lo que se requirió de la realización de un préstamo de un registrador trifásico de energía por medio de la Agencia de Cooperación Internacional Alemana (GIZ). Se recibió un equipo **FLUKE MOD. 434-II** con pinzas CAT III / CAT IV para 1000 V y 600 V respectivamente.



Figura 25. Registrador Trifásico FLUKE 434-II

En términos de demanda y consumo la empresa no registraba ningún dato que permitiera dar pie a algún análisis, sin embargo, se cuenta con un relativo buen sistema de registro de energía generada así como también de las facturaciones canceladas al proveedor por dicho concepto. Se realizó una detallada recopilación de toda esta información y a continuación se muestran los resultados obtenidos para dicho análisis.

### **Estudio de Cargabilidad: Derivación 01.**

Esta es la primera derivación de la granja y es la que posee una mayor carga de todas las existentes, a continuación sus datos.

<b>Tipo de Transformación</b>	Trifásica con 3 transformadores de
-------------------------------	------------------------------------

	poste monofásicos.
<b>Tensión Primaria</b>	34,5 kV
<b>Tensión Secundaria</b>	240/120 V
<b>Tipo de Conexión</b>	-Delta pierna alta primario.  -Estrella Secundario
<b>Potencia del Banco</b>	150 kVA

Tabla 1. Datos banco de transformadores derivación 01.  
Fuente: Elaboración Propia

Tal y como se comenta anteriormente, esta derivación es la que posee las cargas más grandes de la granja las cuales son:

- Bomba principal de alimentación de agua potable.
- 3 cámaras de refrigeración de producto terminado.
  - Matadero
- Planta de producción de alimentos.
  - Romana camionera
  - Oficinas de producción.

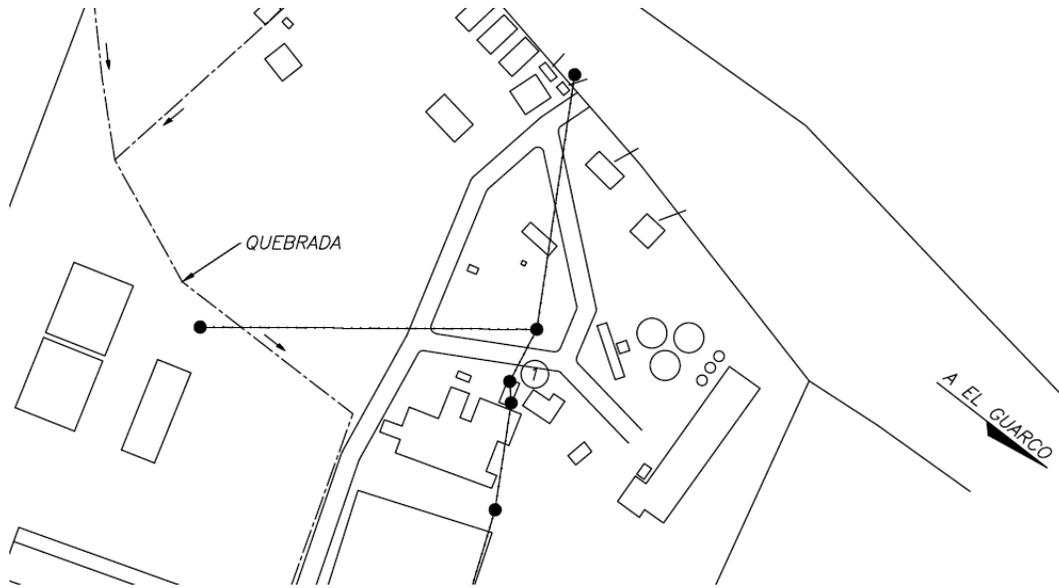
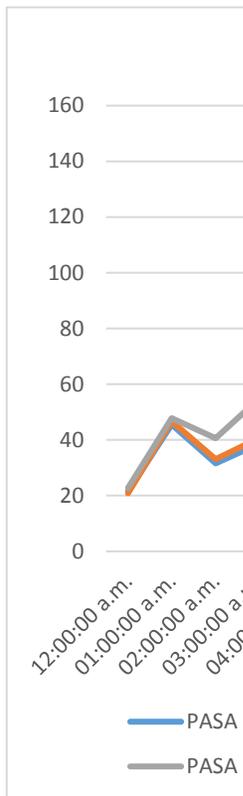


Figura 26. Vista de Planta PASA- CORIS. Derivación 01  
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de analizados los datos obtenidos por el registrador trifásico se obtienen los siguientes datos para la elaboración de la curva de carga correspondiente:



Gráfica 1. Curva de Fuente: Elaboración

Tal y

PASA 01 - PA y Matadero			
Hora	Demanda Mínima (kW)	Demanda Media (kW)	Demanda Máxima (kW)
12:00:00 a. m.	21,51	20,8	22,8
1:00:00 a. m.	45,51	46,71	47,77
2:00:00 a. m.	31,64	33,12	40,58
3:00:00 a. m.	38,64	40,67	54,91
4:00:00 a. m.	20,68	27,95	30
5:00:00 a. m.	44,56	45,36	46,1
6:00:00 a. m.	76,05	81,44	90,81
7:00:00 a. m.	97,55	99,51	101,28
8:00:00 a. m.	78,22	79,67	81,05
9:00:00 a. m.	94,35	97,06	104,15
10:00:00 a. m.	121,23	123,43	125,54
11:00:00 a. m.	132,18	135,8	137,89
12:00:00 p. m.	101,27	104,34	113,05
1:00:00 p. m.	92,82	99,16	101,3
2:00:00 p. m.	96,67	97,84	99,34
3:00:00 p. m.	88,75	95,54	113,76
4:00:00 p. m.	64,24	65,35	66,5
5:00:00 p. m.	43,66	48,46	61,43
6:00:00 p. m.	26,58	33,32	42,99
7:00:00 p. m.	35,6	36,72	38,13
8:00:00 p. m.	19,09	19,77	20,46
9:00:00 p. m.	25,96	26,55	27,3
10:00:00 p. m.	18,56	19,22	20,04
11:00:00 p. m.	17,28	17,3	17,32

Tabla 2. Curva de Carga Promedio diaria derivación 01. Fuente: Elaboración Propia

Carga derivación 01 propia

como se puede

observar en los resultados obtenidos, existe un incremento en la demanda en este punto para la franja horaria que va de las 7:00 am a las 3:00 pm. Es en este período en que se da la alimentación automática a la granja de cerdos por completo y a pesar de que en esta derivación se incluye el matadero que inicia operaciones a las 4:00 am se puede observar como no hay un incremento significativo del consumo. Las cámaras de refrigeración si operan de manera constante las 24 horas del día pues por cuestiones de calidad e inocuidad no se pueden apagar, aunque esto implique que la demanda no caiga más allá de los 17 Kw.

Esta es una de las derivaciones que más aporta consumo de energía a la granja, con un total promedio de 1511,0 kWh/día su consumo alcanza hasta los 45 330 kWh/mes tal y como se muestra en el siguiente cuadro resumen.

PASA 01 - PA y Matadero (Energía)								
Activa Máxima 00:00 (kWh)	Reactiva Máxima 00:00 (kVArh)	Aparente Máxima 00:00 (kVAh)	Activa Máxima 23:59 (kWh)	Reactiva Máxima 23:59 (kVArh)	Aparente Máxima 23:59 (kVAh)	Activa Máxima Día (kWh)	Reactiva Máxima Día (kVArh)	Aparente Máxima Día (kVAh)
6683,00	4591,00	9098,00	8194,00	5662,00	11176,00	1511,00	1071,00	2078,00
TOTALES AL MES						45330	30202,2	58599,6

Tabla 3. Energía promedio Derivación 01  
Fuente: Elaboración propia

### Estudio de Cargabilidad: Derivación 02.

Esta es la segunda derivación existente en la granja y es la que menor cantidad de carga posee asociada a su transformación, se encuentra inmediata al norte de la derivación 03 tal y como se muestra en la figura 28. Dentro de sus cargas posee:

- Contenedor de frío para almacenamiento de animales muertos.
  - Edificio de desarrollo engorde 07
  - Edificio de desarrollo engorde 08
  - Pre-Inicio de los cuartos 1 al 5
    - Edificio de Engorde 06
    - Edificio de Engorde 05
    - Edificio de Engorde 04
    - Edificio de Engorde 03
      - Reemplazo 01
      - Gestación 4

Los edificios de engorde son aquellos los cuales no poseen mayor consumos que de 5 a 10 luminarias cada uno, así como también sistemas de barrido automático que operan 2 veces al día. El detalle de carga monofásica y trifásica en baja tensión no se encuentra dentro de los alcances de este informe por lo que no fueron cubiertos en el estudio.

<b>Tipo de Transformación</b>	Trifásica con 3 transformadores de poste monofásicos.
<b>Tensión Primaria</b>	34,5/19,9 kV
<b>Tensión Secundaria</b>	240/120 V
<b>Tipo de Conexión</b>	-Estrella Primario  -Estrella Secundario
<b>Potencia del Banco</b>	100 kVA

Tabla 4. Datos banco de transformadores derivación 01.  
Fuente: Elaboración Propia

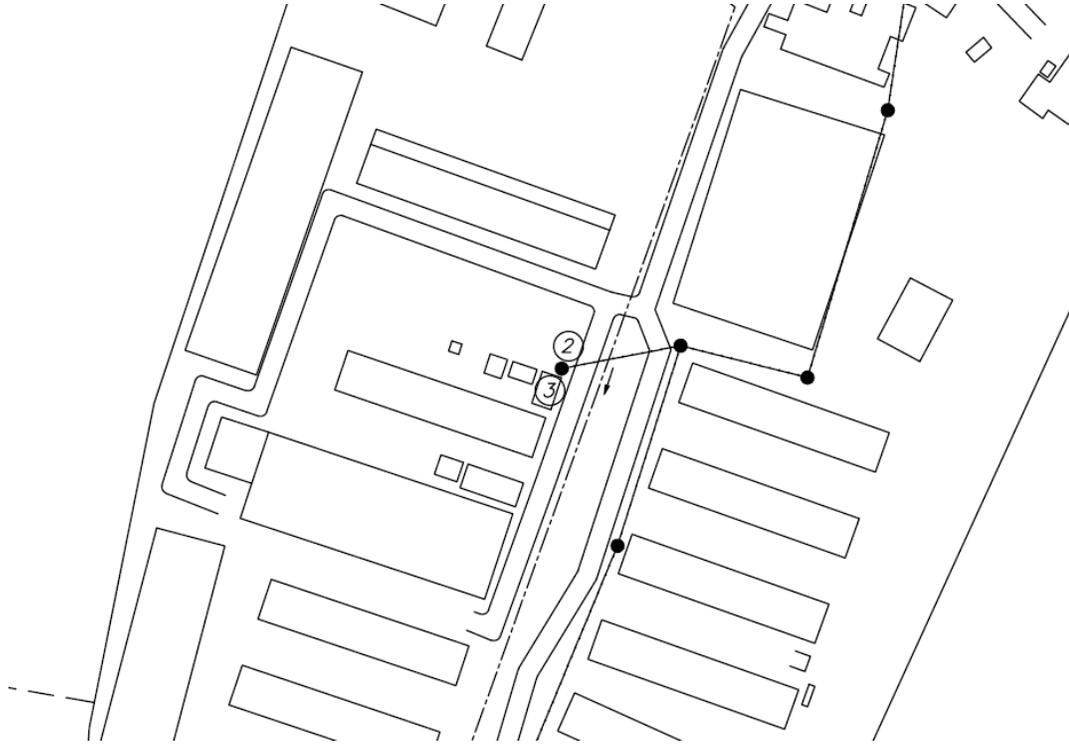
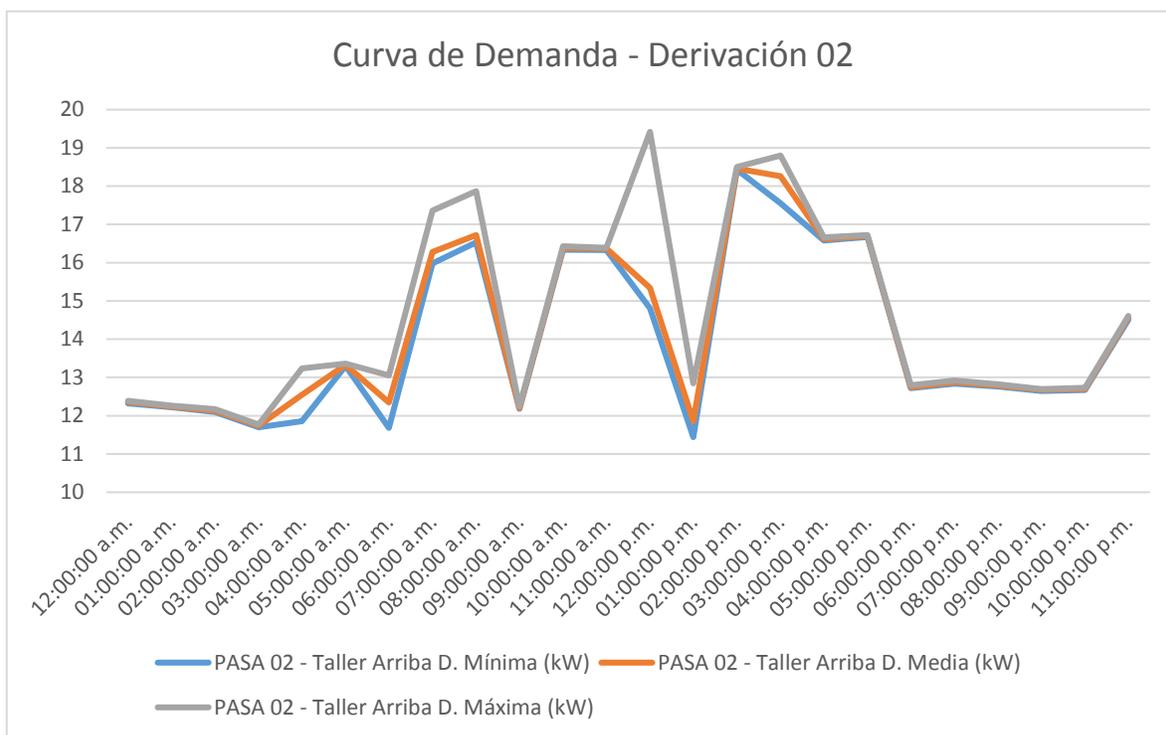


Figura 27. Vista de planta PASA-Coris. Derivación 02  
Fuente: Elaboración propia

Luego de analizados los datos obtenidos por el registrador trifásico se obtienen los siguientes datos para la elaboración de la curva de carga correspondiente:

PASA 02 - Taller Arriba			
Hora	D. Mínima (kW)	D. Media (kW)	D. Máxima (kW)
12:00:00 a. m.	12,32	12,36	12,39
1:00:00 a. m.	12,22	12,24	12,26
2:00:00 a. m.	12,1	12,13	12,17
3:00:00 a. m.	11,7	11,74	11,77
4:00:00 a. m.	11,86	12,55	13,24
5:00:00 a. m.	13,3	13,33	13,36
6:00:00 a. m.	11,68	12,35	13,05
7:00:00 a. m.	15,98	16,28	17,36
8:00:00 a. m.	16,53	16,72	17,87
9:00:00 a. m.	12,18	12,2	12,24
10:00:00 a. m.	16,34	16,38	16,43
11:00:00 a. m.	16,33	16,37	16,39
12:00:00 p. m.	14,81	15,34	19,42
1:00:00 p. m.	11,44	11,86	12,85
2:00:00 p. m.	18,43	18,46	18,5
3:00:00 p. m.	17,55	18,26	18,8
4:00:00 p. m.	16,58	16,62	16,66
5:00:00 p. m.	16,67	16,7	16,72
6:00:00 p. m.	12,72	12,75	12,8
7:00:00 p. m.	12,84	12,88	12,92
8:00:00 p. m.	12,76	12,79	12,82
9:00:00 p. m.	12,65	12,68	12,7
10:00:00 p. m.	12,67	12,7	12,73
11:00:00 p. m.	14,51	14,57	14,61

Tabla 5. Curva de Carga Promedio diaria derivación 02.  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 2. Curva de carga derivación 02.  
Fuente: Elaboración propia.

En este caso la carga es un poco más que la derivación, sin embargo, tal y como se puede observar no llega a superar los 20 kW de consumo en ningún punto del día. Para efectos de esta derivación se muestra a continuación su tabulación de energía consumida:

PASA Derivación 02									
Activa Máxima 00:00 (kWh)	Reactiva Máxima 00:00 (kVArh)	Aparente Máxima 00:00 (kVAh)	Activa Máxima 23:59 (kWh)	Reactiva Máxima 23:59 (kVArh)	Aparente Máxima 23:59 (kVAh)	Activa Máxima Día (kWh)	Reactiva Máxima Día (kVArh)	Aparente Máxima Día (kVAh)	
3 199,00	1137,00	3 440,00	3 536,00	1 287,00	3815,00	337,00	150,00	375,00	
						MES	10 110	4 230	10 575

Tabla 6. Promedio de Energía Derivación 02  
Fuente: Elaboración propia.

Con un consumo diario de 337,00 kWh y una demandan no mayor a los 20 kW esta derivación posee un peso porcentual sobre el total de apenas un 8% en términos de consumo de energía. Al tener un banco de 100 kVA y tener en uso

solamente un 20% de su capacidad total sería de esta una de las derivaciones de las cuales se recomienda crecer en caso de requerir un mayor desarrollo de infraestructura de producción.

### **Estudio de Cargabilidad: Derivación 03.**

Esta es la segunda derivación de menor consumo existente en la granja, Se encuentra inmediata al sur de la derivación 02 y posee las siguientes cargas:

- Taller de Mantenimiento
- Bomba secundaria de agua potable de la granja
  - Laboratorio de Inseminación
  - Taller de Mantenimiento Eléctrico.
- Edificio Desarrollo engorde 10 A y 10 B
  - Edificio Desarrollo engorde 11
  - Edificio desarrollo engorde 12
  - Pre-inicio de los cuartos 6 al 10
- Bomba de recirculación de sólidos de 7,5 HP
  - Bomba para lavado de 5 HP

Los edificios de engorde son aquellos los cuales no poseen mayor consumos que de 5 a 10 luminarias cada uno, así como también sistemas de barrido automático que operan 2 veces al día. El detalle de carga monofásica y trifásica en baja tensión no se encuentra dentro de los alcances de este informe por lo que no fueron cubiertos en el estudio.

<b>Tipo de Transformación</b>	Trifásica con 3 transformadores de poste monofásicos.
<b>Tensión Primaria</b>	34,5/19,9 kV
<b>Tensión Secundaria</b>	240/120 V
<b>Tipo de Conexión</b>	-Estrella Primario  -Estrella Secundario
<b>Potencia del Banco</b>	100 kVA

Tabla 7. Datos banco de transformadores derivación 01.  
Fuente: Elaboración Propia

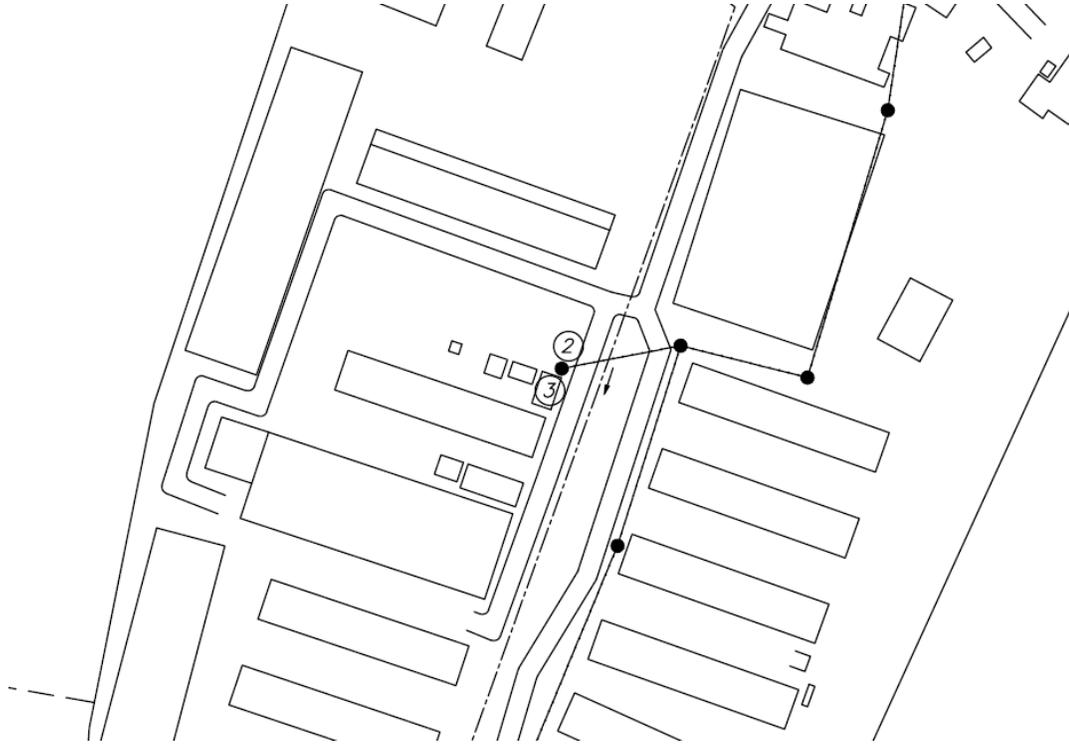
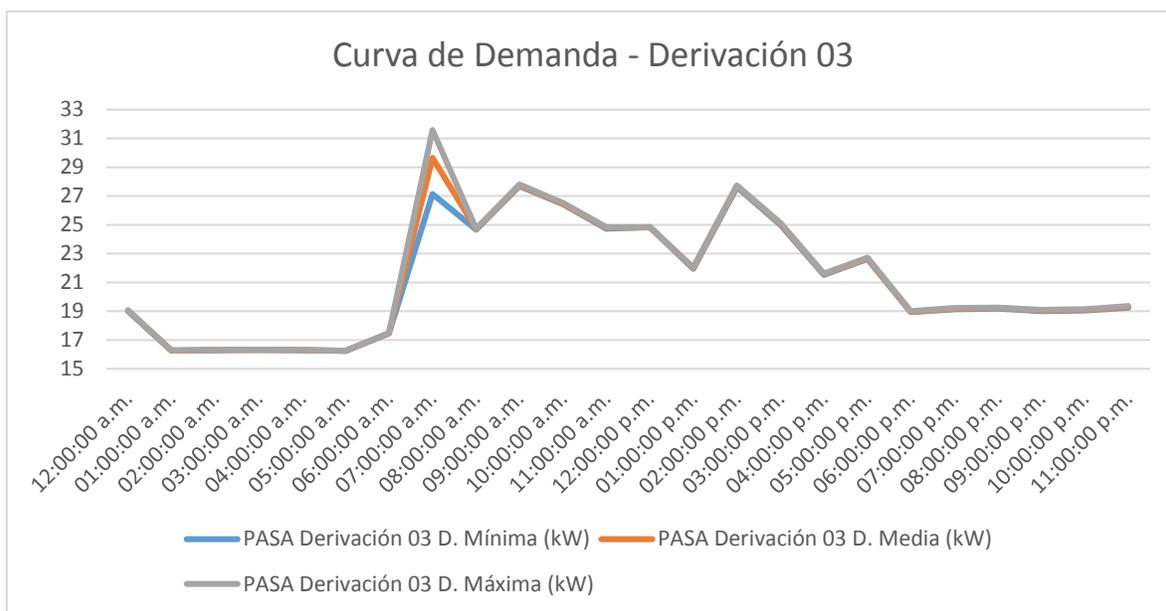


Figura 28. Vista de planta PASA-Coris. Derivación 03  
Fuente: Elaboración propia

Luego de analizados los datos obtenidos por el registrador trifásico se obtienen los siguientes datos para la elaboración de la curva de carga correspondiente:

PASA Derivación 03			
Hora	D. Mínima (kW)	D. Media (kW)	D. Máxima (kW)
12:00:00 a. m.	19,01	19,04	19,08
1:00:00 a. m.	16,26	16,27	16,29
2:00:00 a. m.	16,29	16,31	16,32
3:00:00 a. m.	16,3	16,31	16,33
4:00:00 a. m.	16,29	16,3	16,32
5:00:00 a. m.	16,24	16,25	16,26
6:00:00 a. m.	17,46	17,47	17,48
7:00:00 a. m.	27,14	29,65	31,58
8:00:00 a. m.	24,67	24,7	24,72
9:00:00 a. m.	27,69	27,74	27,81
10:00:00 a. m.	26,43	26,46	26,51
11:00:00 a. m.	24,74	24,79	24,84
12:00:00 p. m.	24,85	24,81	24,85
1:00:00 p. m.	21,95	22,00	22,04
2:00:00 p. m.	27,62	27,68	27,74
3:00:00 p. m.	25	25,07	25,13
4:00:00 p. m.	21,52	21,57	21,61
5:00:00 p. m.	22,62	22,66	22,72
6:00:00 p. m.	18,93	18,96	19
7:00:00 p. m.	19,13	19,17	19,22
8:00:00 p. m.	19,18	19,22	19,25
9:00:00 p. m.	19,01	19,06	19,1
10:00:00 p. m.	19,05	19,09	19,13
11:00:00 p. m.	19,25	19,29	19,35

Tabla 8. Curva de carga Promedio diaria Derivación 03  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3. Curva de Carga Derivación 03  
Fuente: Elaboración propia

Al tener esta derivación mayor carga efectiva que la anterior se puede observar que la demanda alcanza valores de hasta 27 kW, eso producto de que en los edificios de pre-inicio del cuarto 6 al 10 se tienen instaladas aproximadamente 150 luminarias incandescentes y además en la misma derivación se tienen instaladas las 2 bombas de re-circulación tanto de sólidos como de agua potable del centro de la granja.

PASA 03 - Taller Abajo (Energía)									
Activa Máxima 00:00 (kWh)	Reactiva Máxima 00:00 (kVAh)	Aparente Máxima 00:00 (kVAh)	Activa Máxima 23:59 (kWh)	Reactiva Máxima 23:59 (kVAh)	Aparente Máxima 23:59 (kVAh)	Activa Máxima Día (kWh)	Reactiva Máxima Día (kVAh)	Aparente Máxima Día (kVAh)	
0,000	0,000	0,000	511,956	132,560	532,970	511,956	132,560	532,970	
						MES	15358,68	3738,192	15029,754

Tabla 9. Promedio de Energía Derivación 03  
Fuente: Elaboración propia.

Con un consumo diario de 511,956 kWh y una demandan cercana a los 28 kW esta derivación posee un peso porcentual sobre el total aproximada de 12,6% en términos de consumo de energía activa.

## **Estudio de Cargabilidad: Derivación 04.**

Dentro de la lista de cargas que se encuentra conectada en esta derivación se pueden citar los siguientes:

- Edificio Gestación 1
- Edificio Gestación 2
- Edificio Gestación 3
- Edificio Maternidad 1
- Edificio Maternidad 2
- Edificio Maternidad 3
- Equipo separador de cerdaza a partir del digestato proveniente del bio-digestor.

Esta es la segunda derivación con mayor consumo de la granja y su principal problemática radica en el hecho de que los cerdos que allí se encuentran requieren de constante calefacción por medio de luminarias, teniendo así un aproximado de 280 lámparas de 100 Watt de consumo cada una, así como también sistemas de alimentación automática en sitio a diferencia de los demás cuya alimentación proviene con señales desde la planta de alimentos principal ubicada en el sector norte de la granja.

Otro problema importante que posee esta derivación radica en el hecho de que se encuentra con una conexión delta-tenca con fase elevada, lo que implica que se posee solamente dos fases bajantes en el primario de la derivación para brindar trifásico en el secundario. Tal y como se comentó anteriormente, este tipo de derivaciones se recomiendan sólo cuando por motivos de emergencia se debe remover algún transformador o cuando por parte de la empresa encargada del suministro de energía se pierde una fase por un daño mayor o por decisión de la misma.

<b>Tipo de Transformación</b>	Trifásica con 2 transformadores de poste monofásicos.
<b>Tensión Primaria</b>	34,5/19,9 kV
<b>Tensión Secundaria</b>	240/120 V
<b>Tipo de Conexión</b>	-Estrella Abierta Primario  -Delta pierna en alta secundario
<b>Potencia del Banco</b>	100 kVA

Tabla 10. Datos banco de transformadores derivación 04.  
Fuente: Elaboración Propia

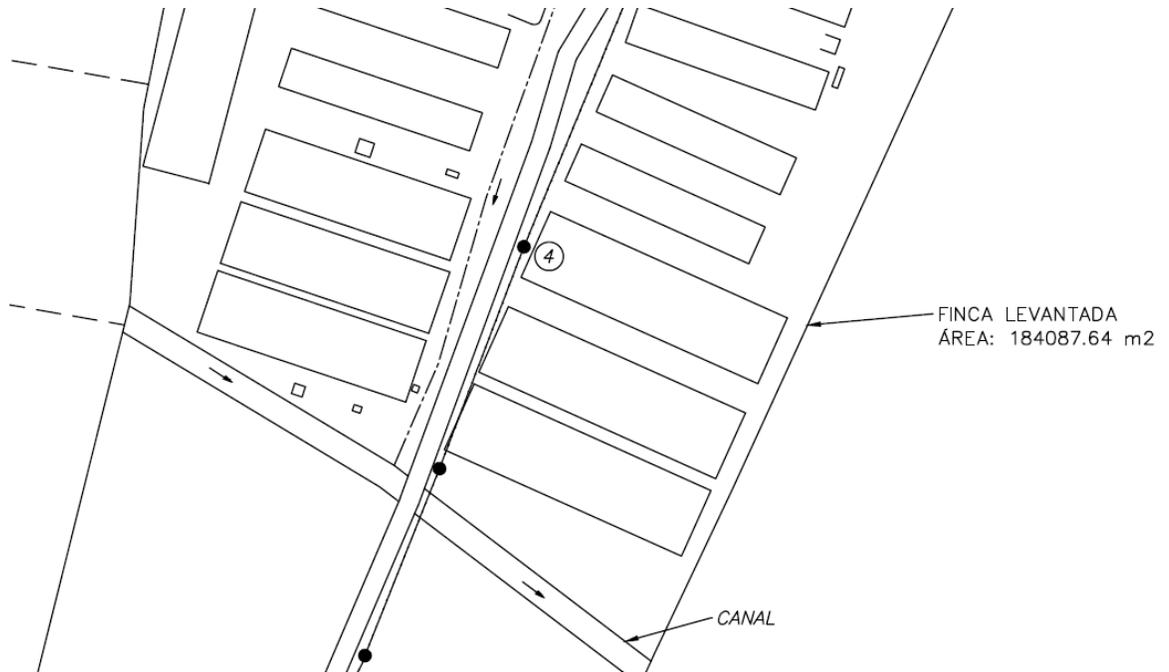
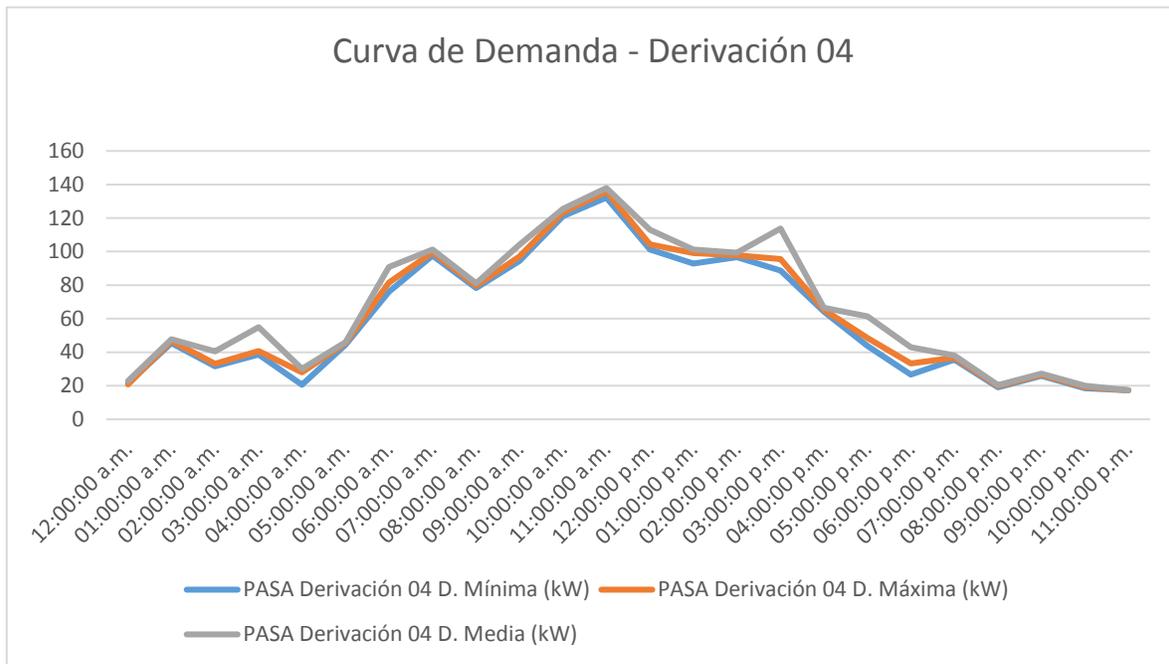


Figura 29. Vista de planta PASA-Coris. Derivación 04  
Fuente: Elaboración propia

Luego de analizados los datos obtenidos por el registrador trifásico se obtienen los siguientes datos para la elaboración de la curva de carga correspondiente:

PASA Derivación 04			
Hora	D. Mínima (kW)	D. Máxima (kW)	D. Media (kW)
12:00:00 a. m.	21,51	20,8	22,8
1:00:00 a. m.	45,51	46,71	47,77
2:00:00 a. m.	31,64	33,12	40,58
3:00:00 a. m.	38,64	40,67	54,91
4:00:00 a. m.	20,68	27,95	30
5:00:00 a. m.	44,56	45,36	46,1
6:00:00 a. m.	76,05	81,44	90,81
7:00:00 a. m.	97,55	99,51	101,28
8:00:00 a. m.	78,22	79,67	81,05
9:00:00 a. m.	94,35	97,06	104,15
10:00:00 a. m.	121,23	123,43	125,54
11:00:00 a. m.	132,18	135,8	137,89
12:00:00 p. m.	101,27	104,34	113,05
1:00:00 p. m.	92,82	99,16	101,3
2:00:00 p. m.	96,67	97,84	99,34
3:00:00 p. m.	88,75	95,54	113,76
4:00:00 p. m.	64,24	65,35	66,5
5:00:00 p. m.	43,66	48,46	61,43
6:00:00 p. m.	26,58	33,32	42,99
7:00:00 p. m.	35,6	36,72	38,13
8:00:00 p. m.	19,09	19,77	20,46
9:00:00 p. m.	25,96	26,55	27,3
10:00:00 p. m.	18,56	19,22	20,04
11:00:00 p. m.	17,28	17,3	17,32

Tabla 11. Curva de carga Promedio diaria Derivación 04  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4. Curva de Carga Derivación 04  
Fuente: Elaboración propia

Esta es una derivación que debe ser analizada con mayor detalle pues como se puede observar, en algunas horas del día el banco debe dar más de lo que está diseñado en términos de potencia aparente y activa.

Se debe tener presente que al tener una conexión de delta renca, la potencia disponible del banco baja en 33.3 % de la total, es decir, el banco con la conexión actual es capaz de soportar cargas de 66,6 kW lo que representa apenas un 50% de la carga que se tiene en horas como lo pueden ser las 10:00 am o 12:00 md. Es decir, en este momento al llegar esas horas se le está exigiendo al banco de transformación que brinde un 200% de su capacidad disponible en la conexión que tiene actualmente.

PASA Derivación 04								
Activa Máxima 00:00 (kWh)	Reactiva Máxima 00:00 (kVArh)	Aparente Máxima 00:00 (kVAh)	Activa Máxima 23:59 (kWh)	Reactiva Máxima 23:59 (kVArh)	Aparente Máxima 23:59 (kVAh)	Activa Máxima Día (kWh)	Reactiva Máxima Día (kVArh)	Aparente Máxima Día (kVAh)
0,00	0,00	0,00	1059,00	182,00	1607,00	1059,00	182,00	1607,00
					MES	31770	5132,4	45317,4

Tabla 12. Promedio de Energía Derivación 04

Fuente: Elaboración propia.

Con un consumo diario de 1059,00 kWh y una demandan cercana a los 135 kW esta derivación posee un peso porcentual sobre el total aproximada de cerca del 25% en términos de consumo de energía activa.

### **Estudio de Cargabilidad: Derivación 05.**

Es en esta derivación donde se encuentra instalado todo lo referente a las bombas de recirculación y aireadores de las lagunas de tratamiento de aguas negras.

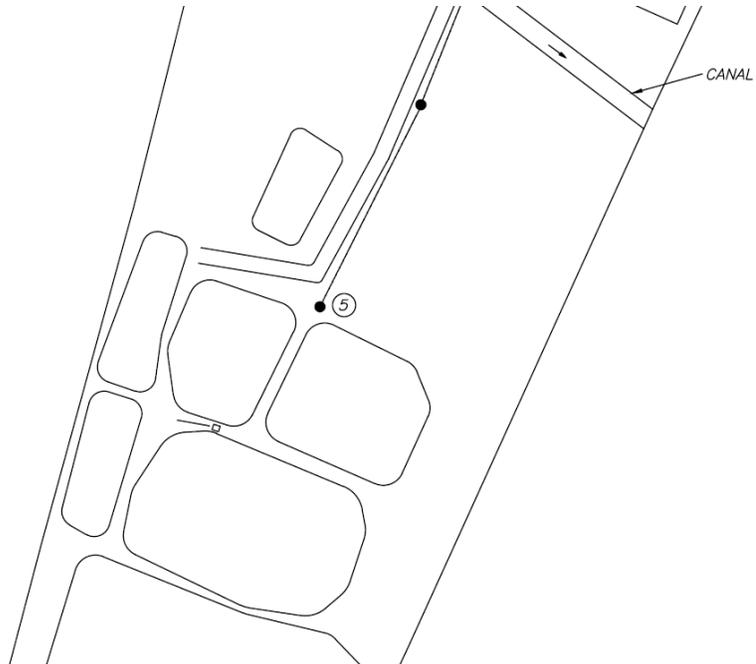


Figura 30. Vista de Planta PASA - Coris. Derivación 05  
Fuente: Elaboración propia

La operación de esta sección no es variable sino más bien se encuentra gobernada con controladores digitales tal y como lo muestra el tablero en la siguiente imagen:

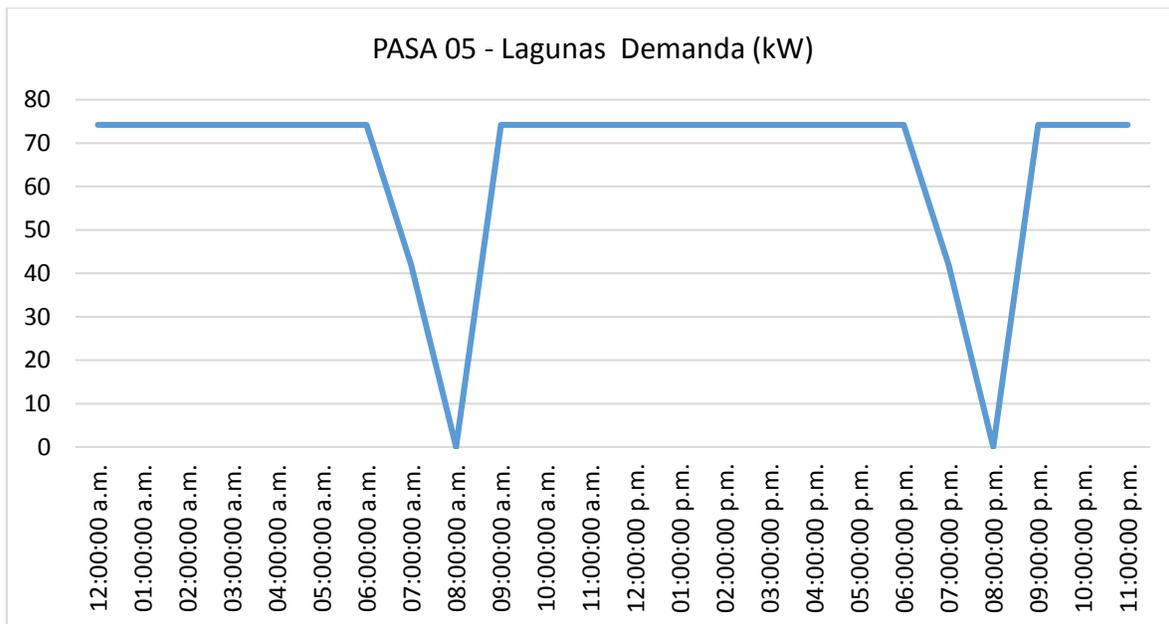


Figura 31. Tablero de control de los sistemas de aireación y agitación de las lagunas de tratamiento Fuente: Elaboración propia

Ante este escenario de operación se realizó la siguiente tabla resumen con los consumos y energías requeridas por los equipos citados.

Estimación de consumo de energía para los equipos instalados en lagunas de tratamiento											
Datos del equipo				Tiempos de trabajo				Potencia y Energía			
Equipo	Potencia HP	F.P.	Corriente Nominal	Encendido	Apagado	Encendido	Apagado	Demanda (kW)	Energía Diaria	Energía Semanal	Energía Mensual
Bomba de Recirculación	10	0,9	28	7:00:00 a. m.	8:00:00 a. m.	7:00:00 p. m.	8:00:00 p. m.	20,95	41,9	293,3	1173,2
Bomba de Recirculación	10	0,9	28	7:00:00 a. m.	8:00:00 a. m.	7:00:00 p. m.	8:00:00 p. m.	20,95	41,9	293,3	1173,2
Sistema Agitador	15	0,9	21	8:00:00 a. m.	6:00:00 p. m.	8:00:00 p. m.	6:00:00 a. m.	15,71	314,2	2199,4	8797,6
Sistema Agitador	15	0,9	21	8:00:00 a. m.	6:00:00 p. m.	8:00:00 p. m.	6:00:00 a. m.	15,71	314,2	2199,4	8797,6
Sistema Agitador	5	0,9	7,6	8:00:00 a. m.	6:00:00 p. m.	8:00:00 p. m.	6:00:00 a. m.	5,68	113,6	795,2	3180,8
								Total	825,8	5780,6	23122,4

Tabla 13. Detalle de demandas y consumos Derivación 05  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 5. Curva de demanda Derivación 05  
Fuente: Elaboración propia.

PASA 05 - Lagunas (Demanda)	
Hora	Demanda (kW)
12:00:00 a. m.	74,21
1:00:00 a. m.	74,21
2:00:00 a. m.	74,21
3:00:00 a. m.	74,21
4:00:00 a. m.	74,21
5:00:00 a. m.	74,21
6:00:00 a. m.	74,21
7:00:00 a. m.	41,9
8:00:00 a. m.	0
9:00:00 a. m.	74,21
10:00:00 a. m.	74,21
11:00:00 a. m.	74,21
12:00:00 p. m.	74,21
1:00:00 p. m.	74,21
2:00:00 p. m.	74,21
3:00:00 p. m.	74,21
4:00:00 p. m.	74,21
5:00:00 p. m.	74,21
6:00:00 p. m.	74,21
7:00:00 p. m.	41,9
8:00:00 p. m.	0
9:00:00 p. m.	74,21
10:00:00 p. m.	74,21
11:00:00 p. m.	74,21

Tabla 14. Curva de Carga promedio - Derivación 05

## **Resultados totales de cargabilidad.**

A continuación se muestran los totales de energía y demanda encontrados con base en las mediciones realizadas, esto con el fin de determinar cuánta energía se consume en la granja aproximadamente, así como también dar pie a la generación de recomendaciones que permitan reducir la demanda máxima en caso de ser necesario.

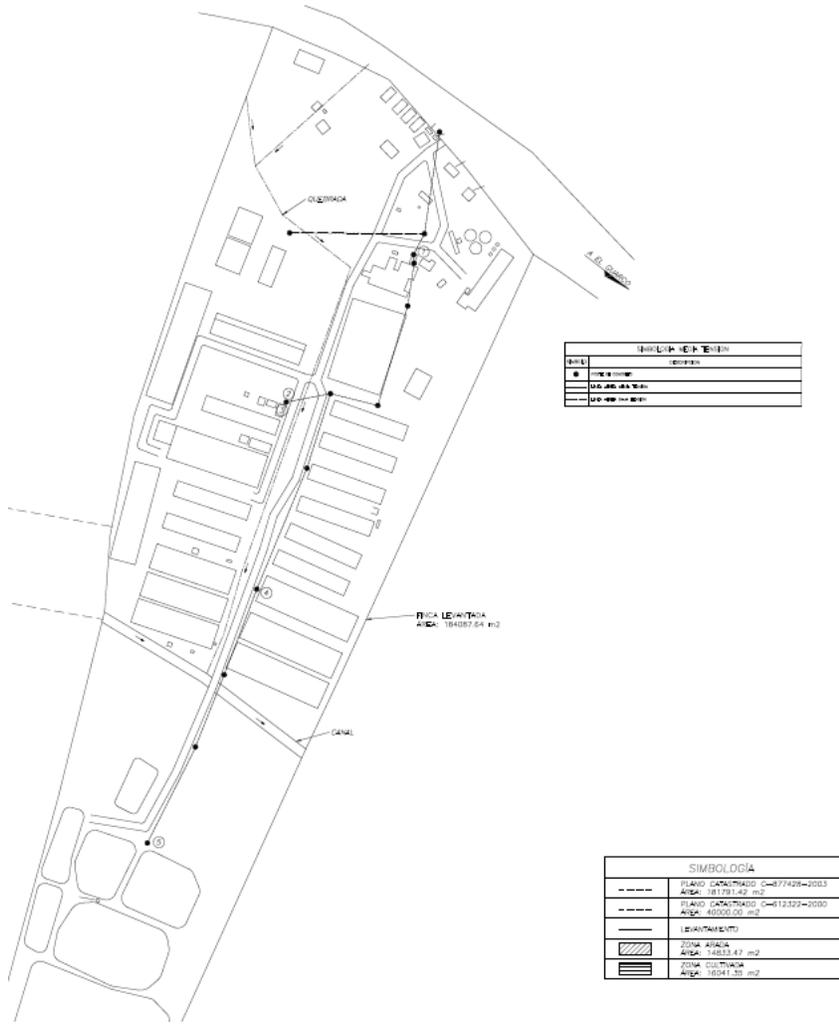


Figura 32. Vista de planta completo - PASA Coris  
Fuente: Elaboración propia.

Demandas Totales			
Hora	D. Mínima (kW)	D. Máxima (kW)	D. Media (kW)
12:00:00 a. m.	148,56	147,21	151,28
1:00:00 a. m.	193,71	196,14	198,3
2:00:00 a. m.	165,88	168,89	183,86
3:00:00 a. m.	179,49	183,6	212,13
4:00:00 a. m.	143,72	158,96	163,77
5:00:00 a. m.	192,87	194,51	196,03
6:00:00 a. m.	255,45	266,91	286,36
7:00:00 a. m.	280,12	286,85	293,4
8:00:00 a. m.	197,64	200,76	204,69
9:00:00 a. m.	302,78	308,27	322,56
10:00:00 a. m.	359,44	363,91	368,23
11:00:00 a. m.	379,64	386,97	391,22
12:00:00 p. m.	316,41	323,04	344,58
1:00:00 p. m.	293,24	306,39	311,7
2:00:00 p. m.	313,6	316,03	319,13
3:00:00 p. m.	294,26	308,62	345,66
4:00:00 p. m.	240,79	243,1	245,48
5:00:00 p. m.	200,82	210,49	236,51
6:00:00 p. m.	159,02	172,56	191,99
7:00:00 p. m.	145,07	147,39	150,3
8:00:00 p. m.	70,12	71,55	72,99
9:00:00 p. m.	157,79	159,05	160,61
10:00:00 p. m.	143,05	144,44	146,15
11:00:00 p. m.	142,53	142,67	142,81

Tabla 15. Curva de demanda total granja Coris

Fuente: Elaboración propia

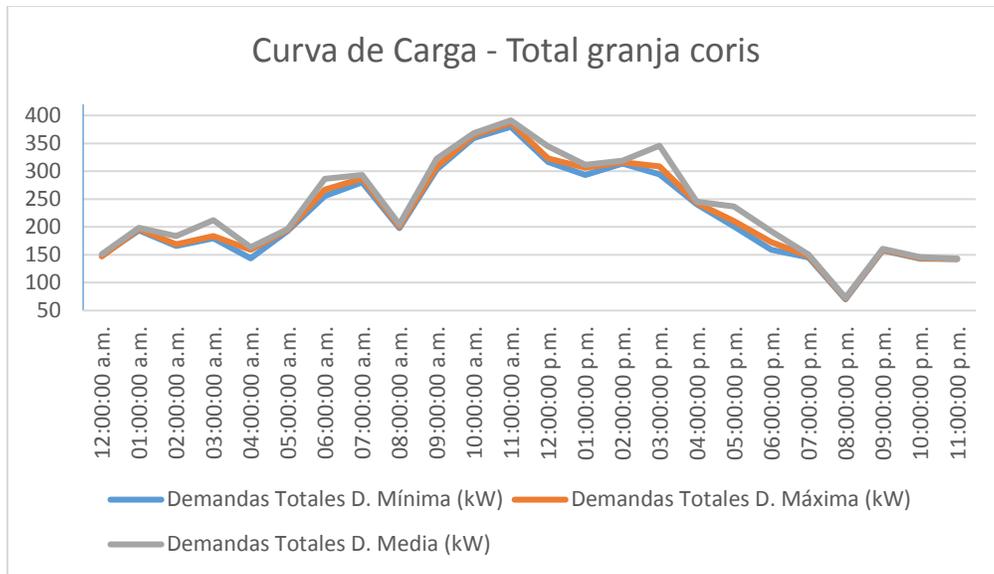


Figura 33. Curva de carga total Granja - Coris

Ubicación	Energía Activa total mensual (kWh)
Derivación 01	45 330,00
Derivación 02	10 110,00
Derivación 03	15 358,68
Derivación 04	31 770,00
Derivación 05	23 122,40
<b>Total</b>	<b>125 691,08</b>

Tabla 16. Total energía consumida PASA – Coris

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Análisis de Generación

Actualmente, PASA posee un sistema de generación por medio de biogás. El sistema bio-digestor se compone principalmente por dos lonas de almacenamiento y generación de biogás tal y como se muestra en la siguiente imagen:

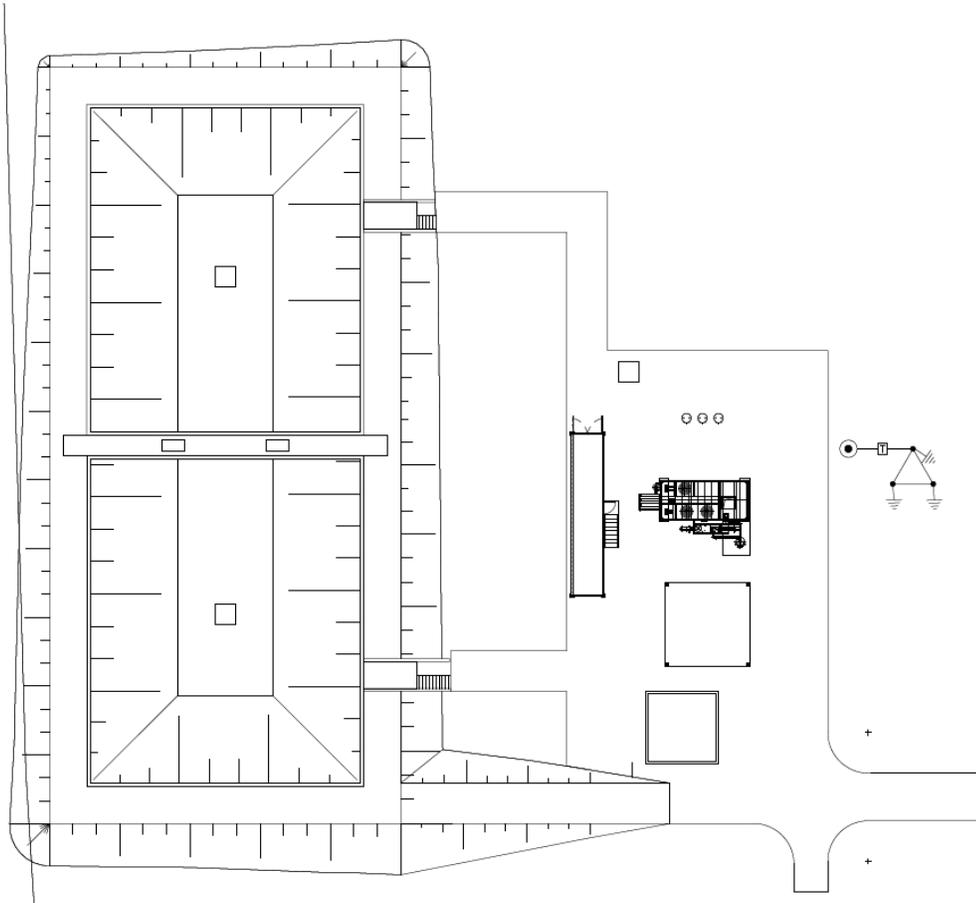


Figura 34. Vista de planta Biodigestor - PASA Coris  
Fuente: Ingenya Consultores

Cada una de las lonas posee una capacidad de hasta  $900 \text{ m}^3$  de almacenamiento de biogás, es decir, se pueden tener almacenados un total de  $1800 \text{ m}^3$  de biogás en el sistema. De ese total un 61% corresponde al metano que utiliza el motor para generar energía que a su vez consume  $125 \text{ m}^3$  de metano por hora para generar  $250 \text{ kW}$ . Es decir, cuando las lonas se encuentran llenas se tiene capacidad para generar por un total de 8,78 horas.

El equipo de generación adquirido por Porcina Americana S.A., es una unidad de cogeneración de potencia y energía (CHP por sus siglas en inglés) del fabricante 2G Energía – Alemania el cual posee las siguientes características:

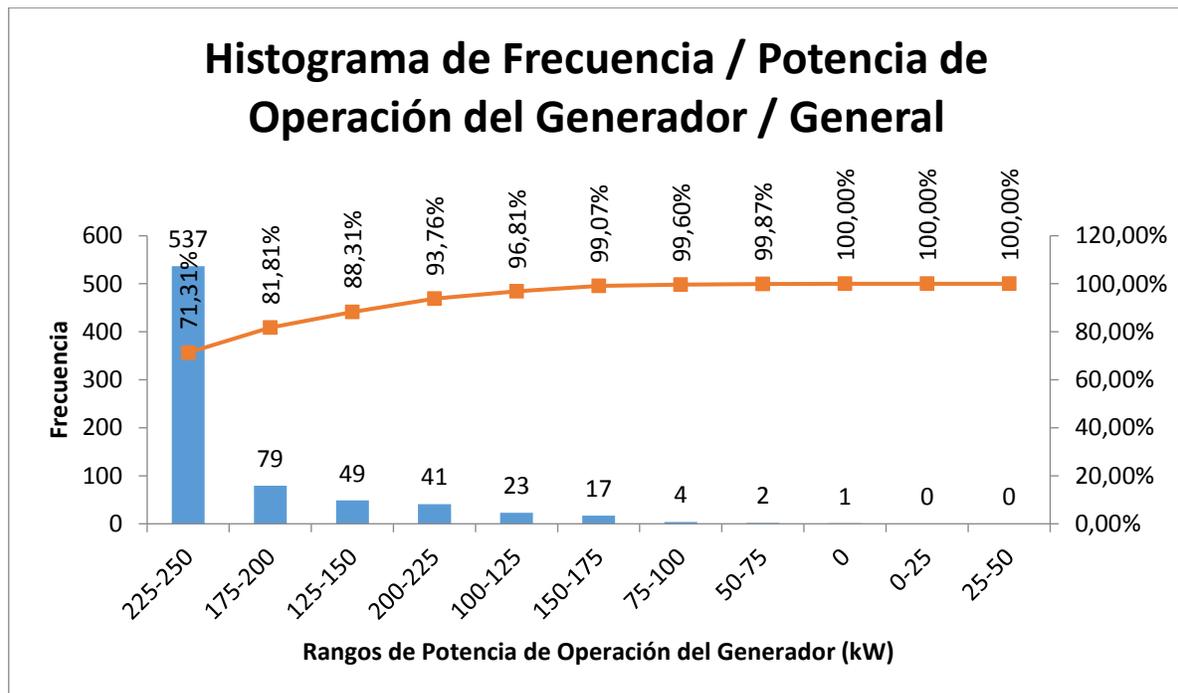
Modelo	<b>BGM250CO</b>
Serie	<b>CO0212C-BMLM-250565</b>
Identificación	<b>G3366</b>
Tipo de Generador	<b>Trifásico 277/480 - Térmico</b>
Combustible	<b>Biogás</b>
Tensión Nominal	<b>277/480</b>
Energía Continua de Salida	<b>250 kW h<sup>-1</sup></b>
Potencia Eléctrica	<b>312 kVA</b>
Energía Térmica	<b>346 kW</b>
Eficiencia Eléctrica	<b>36.20 %</b>
Eficiencia Térmica	<b>51.55 %</b>
Energía Térmica Utilizable en BTU	<b>1 180 601 BTU h<sup>-1</sup></b>
Caudal de agua de calor térmico	<b>16 818 L h<sup>-1</sup></b>
Temperatura de salida de agua	<b>90°C</b>
Temperatura de retorno del agua	<b>70°C</b>
Capacidad horaria de operación por día	<b>24 h</b>
Energía diaria proyectada a generar	<b>6 000 kWh</b>

Energía mensual proyectada a generar	180 000 kWh
--------------------------------------	-------------

Tabla 17. Datos Técnicos de Producción del Generador  
Fuente: 2G Energy Alemania

### Resultados de Generación.

A continuación, se muestran los resultados generales y comparativos obtenidos para el análisis en cuestión para datos de generación y facturación, así como una breve explicación del contenido de cada uno de los gráficos mostrados para una mejor comprensión del lector.



Gráfica 6. Histograma de Frecuencias: Potencia de Operación del Generador  
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 6 muestra un diagrama tipo Pareto respecto a los valores registrados en que ha estado operando el generador del bio-digestor. Es decir, con base en su capacidad límite de 250 kW conocer cuántos días y el peso porcentual sobre el total en rangos de 25 kW cada uno. Es notorio observar que del total de 753 días de operación en que hay registros para el generador más de un 71% de

los mismos se ha operado en valores que oscilan entre los 225-250 kW. Además se muestra que el teorema de Pareto se cumple, alcanzando con un 20 % de las clases totales el 80 % del total de datos.

Otro aspecto relevante es el conocer que el generador ha operado 96 días por debajo de los 150 kW representando así un 26% del total de registros y dando un valor de generación diario de 3600 kWh. Es decir, hubo 96 días en que no se alcanzaron los 5400 kWh promedio diarios de consumo de la planta.

A continuación, se detallan los resultados tabulados y desglosados de generación por meses para los años planteados, cabe resaltar además que existe ciertos vacíos de datos que muestran meses incompletos, faltante de meses completos de registros así como algunos datos que corrigen los registros por motivos de revisión de los especialista de 2G-Alemania al realizar mantenimientos. Al consultar a los encargados de operar el equipo y a la gerencia se aclara que los faltantes son por fallos del equipo por mantenimientos de rutina, mantenimientos correctivos no planificados y una pausa de aproximadamente, 5 meses al cierre del año 2014 e inicios del 2015 por motivos de una reconstrucción completa que sufrió el motor del generador a raíz de un fallo en el cálculo de los filtros de H<sub>2</sub>S (Ácido Sulfhídrico) por parte del proveedor del mismo y cuyo objetivo es el de aumentar la pureza del biogás para la combustión mediante la eliminación de este componente químico cuya presencia en el biogás no debe superar las 150 ppm (partículas por millón).

### Resumen Energía Generador 2014

<b>Mes</b>	Potencia Promedio del Generador 2014 (kW)	Potencia Promedio Porcentual al total del Generador 2014 (kW)	Energía Mensual Generada 2014 (kWh)	Energía Mensual Generada Porcentual al total 2014 (kWh)	Energía Promedio Diaria 2014 (kWh)	Energía Promedio Diaria Porcentual al total 2014 (kWh)	Promedio Horas Mensual 2014	Promedio Horas Mensual Porcentual al total 2014
<i>Enero</i>	147,09	58,83%	40.645,00	22,58%	2.032,25	33,87%	9,75	40,63%
<i>Febrero</i>	204,84	81,94%	87.526,00	48,63%	3.125,93	52,10%	13,50	56,25%
<i>Marzo</i>	213,44	85,38%	142.315,00	79,06%	4.590,81	76,51%	20,10	83,74%
<i>Abril</i>	196,67	78,67%	69.641,00	38,69%	4.642,73	77,38%	21,67	90,28%
<i>Mayo</i>	240,00	96,00%	153.440,00	85,24%	5.114,67	85,24%	21,20	88,33%
<i>Junio</i>	238,00	95,20%	136.810,00	76,01%	4.560,33	76,01%	18,43	76,81%
<i>Julio</i>	226,21	90,48%	131.198,00	72,89%	4.524,07	75,40%	19,72	82,18%
<i>Agosto</i>	202,24	80,90%	119.657,00	66,48%	4.985,71	83,10%	23,54	98,09%
<b>Total</b>	<b>208,56</b>	<b>83,42%</b>	<b>110.154,00</b>	<b>61,20%</b>	<b>4.197,06</b>	<b>69,95%</b>	<b>18,49</b>	<b>77,04%</b>

Tabla 18. Resumen de Generación año 2014  
Fuente: Elaboración propia

Antes de comenzar el análisis de la tabla anterior se debe aclarar que, tal y como se citó anteriormente, el generador estuvo fuera a partir del mes de Setiembre del año en análisis y hasta Enero del 2015 por tanto no existe registro de generación para dicho período.

Como se puede observar en la tabulación existe una tendencia a tener bajos registros de generación para los meses iniciales del año, lo cual es perfectamente atribuible a la curva de aprendizaje y familiarización del personal operador para con el equipo de cogeneración. Para los meses siguientes ya se trabaja muy cerca a los máximos de operación según se muestra en la tabla 1.

Para una mejor comprensión cabe aclarar que los porcentajes mostrados en la tabla 2 corresponden a su correlación con el máximo nominal establecido en la tabla 1 para cada valor en cuestión.

De los años en que ha estado en operación el equipo de generación el que mejor rendimiento ha presentado ha sido el año 2015. Para este se muestran los siguientes resultados:

Resumen Energía 2015								
Mes	Potencia Promedio del Generador 2015 (kW)	Potencia Promedio Porcentual al total del Generador 2015 (kW)	Energía Mensual Generada 2015 (kWh)	Energía Mensual Generada Porcentual al total 2015 (kWh)	Energía Promedio Diaria 2015 (kWh)	Energía Promedio Diaria Porcentual al total 2015 (kWh)	Promedio Horas Mensual 2015	Promedio Horas Mensual Porcentual al total 2015
Enero	221,21	88,48%	113.426,00	63,01%	4.931,57	82,19%	22,95	95,64%
Febrero	216,65	86,66%	166.800,00	92,67%	5.380,65	89,68%	22,74	94,76%
Marzo	249,32	99,73%	163.567,00	90,87%	5.841,68	97,36%	23,46	97,77%
Abril	250,00	100,00%	181.124,00	100,62%	5.842,71	97,38%	23,35	97,31%
Mayo	242,00	96,80%	163.572,00	90,87%	5.452,40	90,87%	22,57	94,03%
Junio	239,73	95,89%	151.745,00	84,30%	5.058,17	84,30%	20,93	87,22%
Julio	238,17	95,27%	164.237,00	91,24%	5.474,57	91,24%	23,13	96,39%
Agosto	237,10	94,84%	163.496,00	90,83%	5.274,06	87,90%	22,26	92,74%
Setiembre	238,08	95,23%	117.731,00	65,41%	4.905,46	81,76%	20,67	86,11%
Octubre	227,00	90,80%	154.902,00	86,06%	5.163,40	86,06%	22,77	94,86%
Noviembre	238,33	95,33%	158.304,00	87,95%	12.177,23	202,95%	58,85	245,19%

Diciembre	240,07	96,03%	169.024,00	93,90%	5.634,13	93,90%	23,40	97,50%
<b>Total</b>	<b>236,47</b>	<b>94,59%</b>	<b>155.660,67</b>	<b>93,90%</b>	<b>5.359,89</b>	<b>89,33%</b>	<b>22,57</b>	<b>94,03%</b>

Tabla 19. Resumen de Generación Año 2015

Fuente: Elaboración propia

Algunos de los principales datos que surgen al analizar la tabla anterior son por ejemplo el hecho de que el generador trabajó 10 meses por encima del 90% de la capacidad nominal de generación y en términos totales dicha valor porcentual no bajó de 86% para todos los meses en análisis. Esto aunado a que al igual que el caso anterior en 10 del total de meses el generador operó por encima del 90 % del total de horas del día (arriba de 21,6 horas), se obtiene altos valores de energía total generada al mes yendo desde los 113.426,00 hasta los 181.124,00 kWh, Siendo este último valor mayor a los 180.000 kWh proyectados al mes para el generador (Tabla 1).

En la tabla anterior además cabe resaltar que existen valores marcados con otro color, los cuales son correcciones realizadas por los técnicos de 2-G por mantenimiento y demás tareas realizadas al generador. Dichos valores no fueron tomados para la obtención de los promedios generales ni porcentuales.

Resumen Energía 2016								
Mes	Potencia Promedio del Generador 2016 (kW)	Potencia Promedio Porcentual al total del Generador 2016 (kW)	Energía Mensual Generada 2016 (kWh)	Energía Mensual Generada Porcentual al total 2016 (kWh)	Energía Promedio Diaria 2016 (kWh)	Energía Promedio Diaria Porcentual al total 2016 (kWh)	Promedio Horas Mensual 2016	Promedio Horas Mensual Porcentual al total 2016
Enero	241,61	96,65%	175.068,00	97,26%	5.647,35	94,12%	23,19	96,64%
Febrero	241,55	96,62%	162.049,00	90,03%	5.587,90	93,13%	22,93	95,55%
Marzo	250,00		14.341,00		4.780,33		19,00	
Abril	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mayo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Junio	245,75	98,30%	106.743,00	59,30%	5.337,15	88,95%	22,05	91,88%
Julio	247,17	98,87%	156.609,00	87,01%	5.220,30	87,01%	21,27	88,61%
Agosto	239,13	95,65%	162.718,00	90,40%	5.248,97	87,48%	21,42	89,25%
Setiembre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Octubre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Noviembre	137,23	54,89%	97.790,00	54,33%	3.154,52	52,58%	22,97	95,70%
Diciembre	192,57	77,03%	129.305,00	71,84%	4.310,17	71,84%	22,70	94,58%
<b>Total</b>	<b>224,38</b>	<b>88,29%</b>	<b>125.577,88</b>	<b>78,59%</b>	<b>5.314,61</b>	<b>82,16%</b>	<b>21,94</b>	<b>93,17%</b>

Tabla 20. Resumen de Generación Año 2016  
Fuente: Elaboración propia

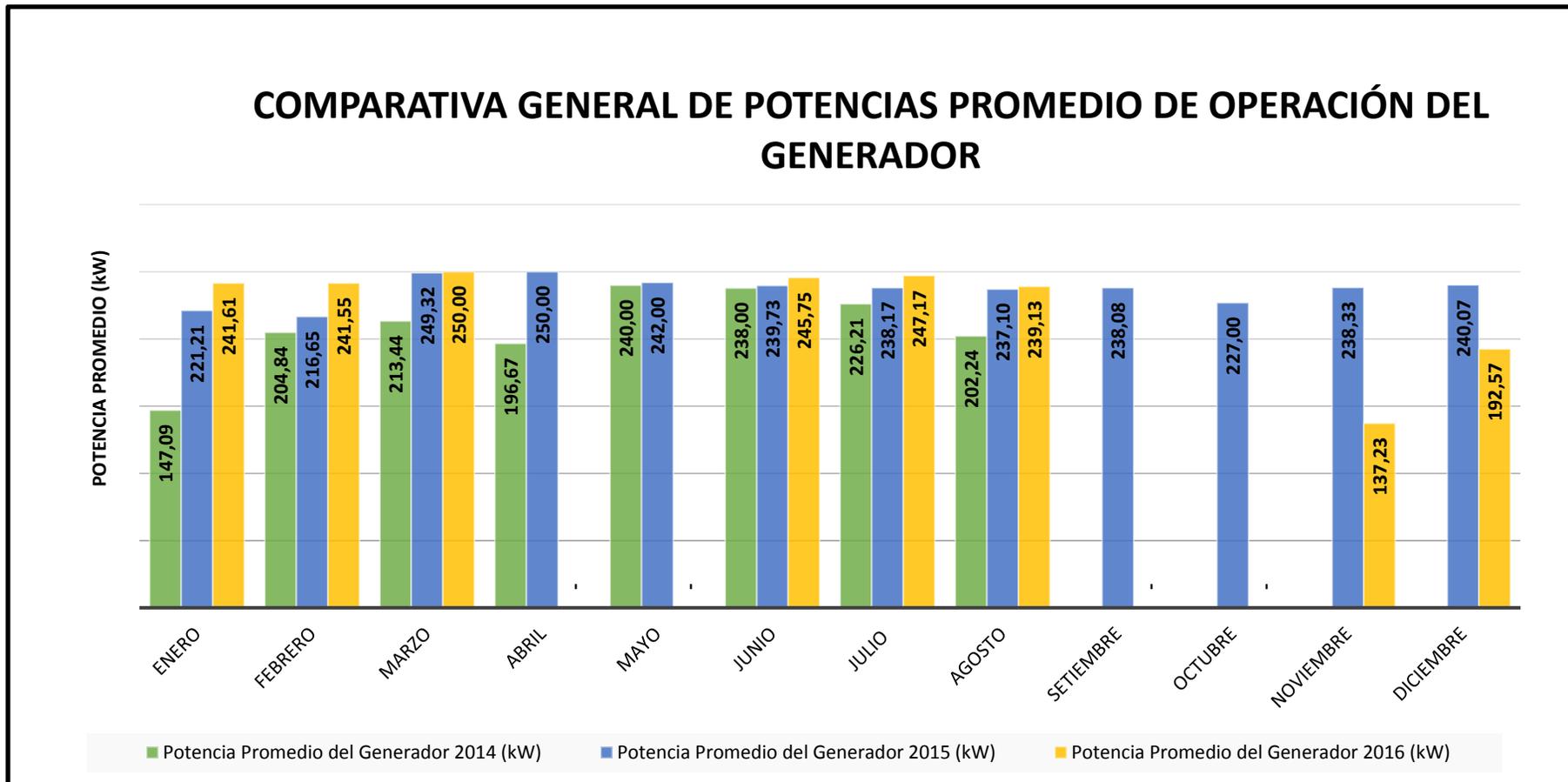
Para el año 2016 los registros de generación no permitieron la trazabilidad deseada del estado real del generador. Esto debido a que existen meses con registros incompletos, así como también registros nulos los cuales se muestran con diferente color. La falta de datos en cuestión se atribuye a la falta de registros por parte de los operadores del generador y/o por fallos del equipo que dieran paso a la salida de operación del mismo para los períodos citados.

Sin embargo, existe un 50% de del total de meses para los cuales el registro si encuentra completo para todas las variables analizadas.

De estos datos que si se encuentran registrados se puede concluir que, en término generales, hubo una disminución porcentual de la capacidad de generación en comparación al año 2015. Por ejemplo, para el mes de noviembre el generador en promedio estuvo operando a tan solo un 54,89 % de su capacidad nominal (aproximadamente 137 kW). El efecto de estas disminuciones en los valores de operación del generador se puede observar en el promedio porcentual de generación de energía mensual el cuál pasa de un 93,90% en el 2015 a un 78,59 % en el 2016, representando así una disminución de más del 10% en el promedio de los totales de generación mensual. Sin embargo, estos totales se ven afectados por la capacidad nominal del generador y no por las horas de operación del mismo pues las mismas se mantienen cercanas al 94% logrado en el 2015 y presentan solamente una disminución del 1% (0,24 horas ~ 15 minutos) lo cual permite asumir que las horas de operación fueron las mismas para ambos años (2015-2016).

A continuación, se muestran una serie de gráficas comparativas para los registros de generación en los períodos analizados.

Gráficas comparativas para registros de generación:

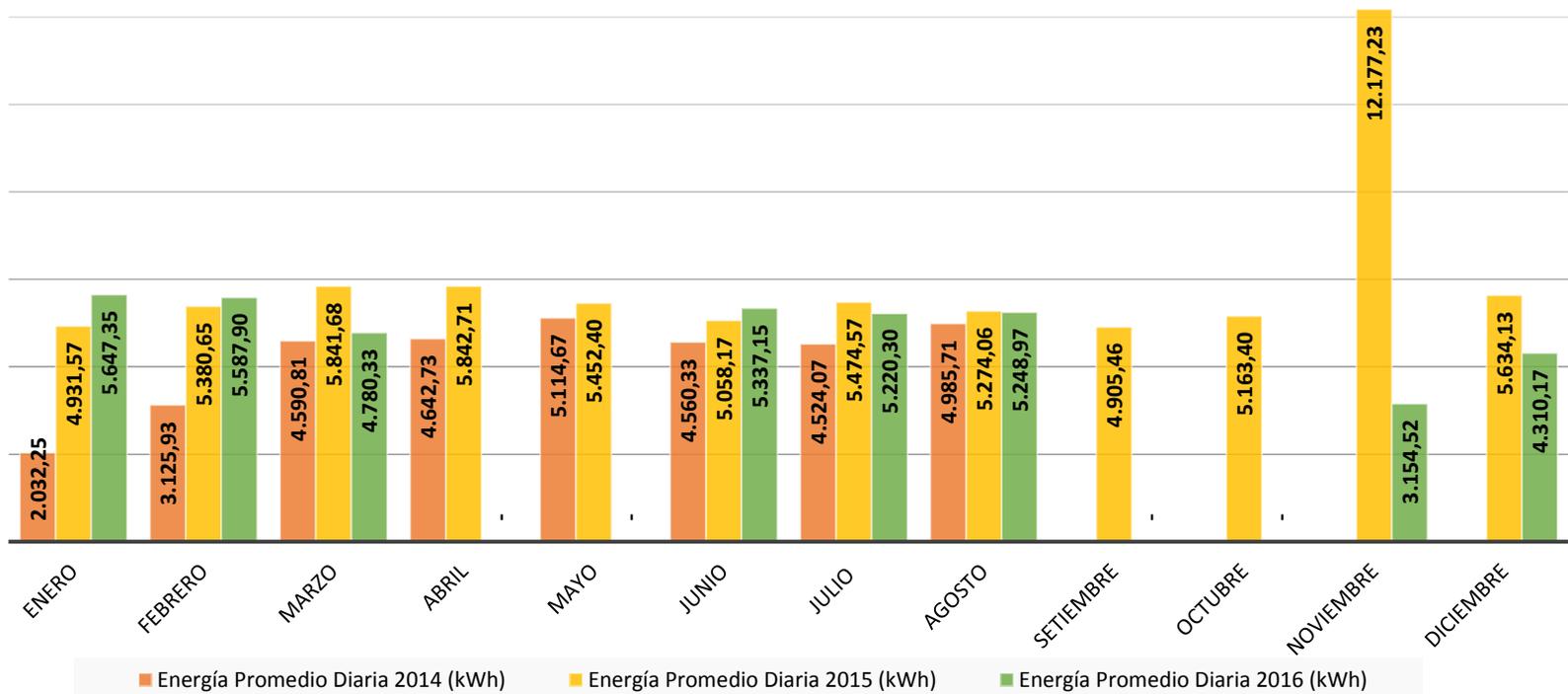


Gráfica 7. Comparativa General de Potencias Promedio de Operación del generador.

Fuente: Elaboración propia

## COMPARATIVA GENERAL PROMEDIOS DIARIOS POR MES DE GENERACIÓN

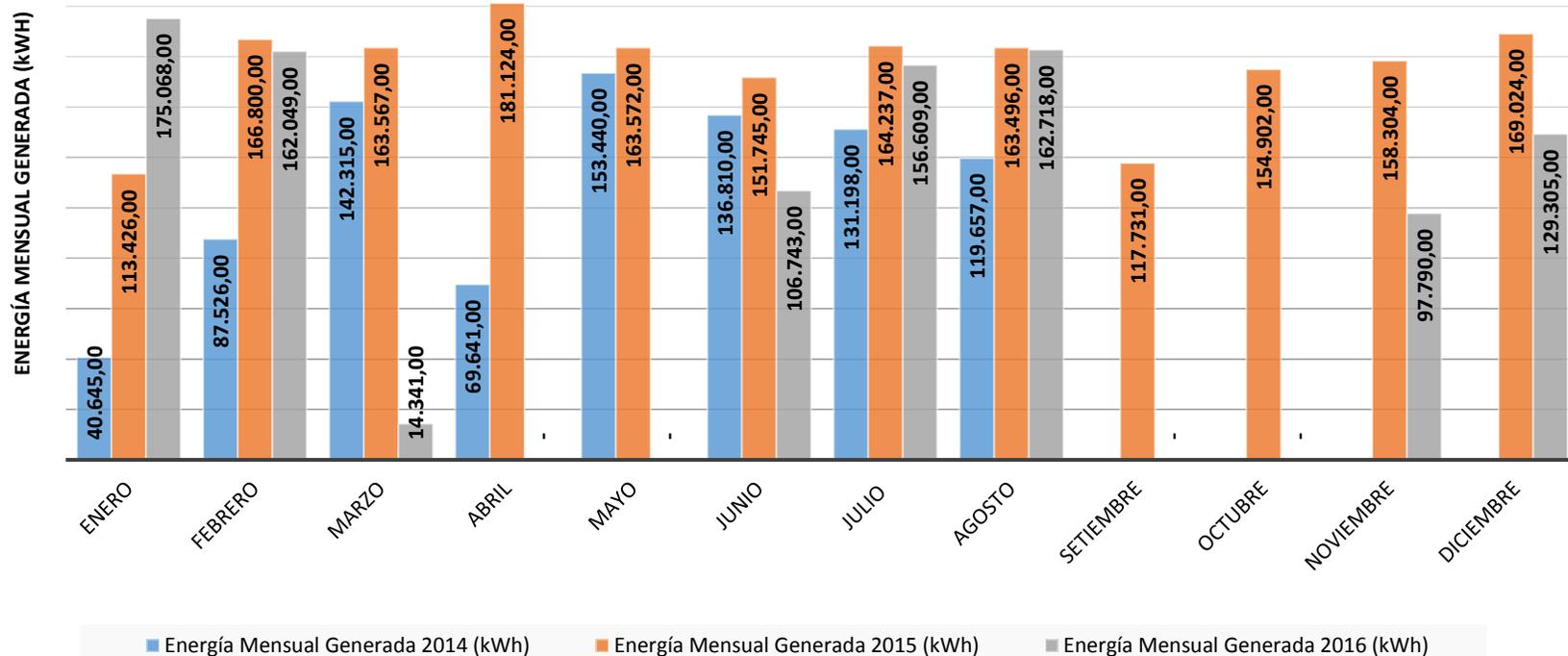
ENERGÍA PROMEDIO (kWh)



Gráfica 8. Comparativa General Promedios Diarios al mes de generación

Fuente: Elaboración propia

## COMPARATIVA GENERAL DE ENERGÍA TOTAL MENSUAL GENERADA

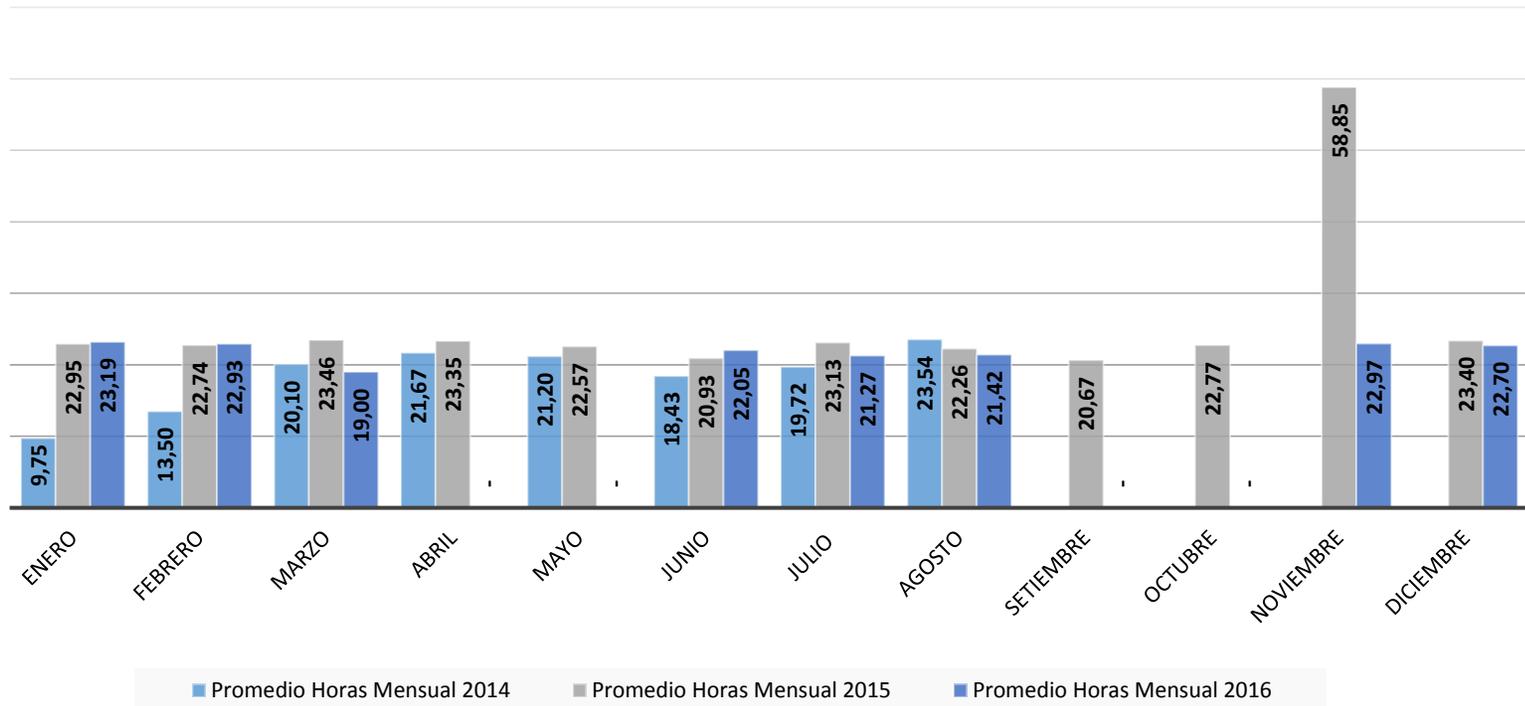


Gráfica 9. Comparativa general de Energía Total Mensual generada

Fuente: Elaboración propia

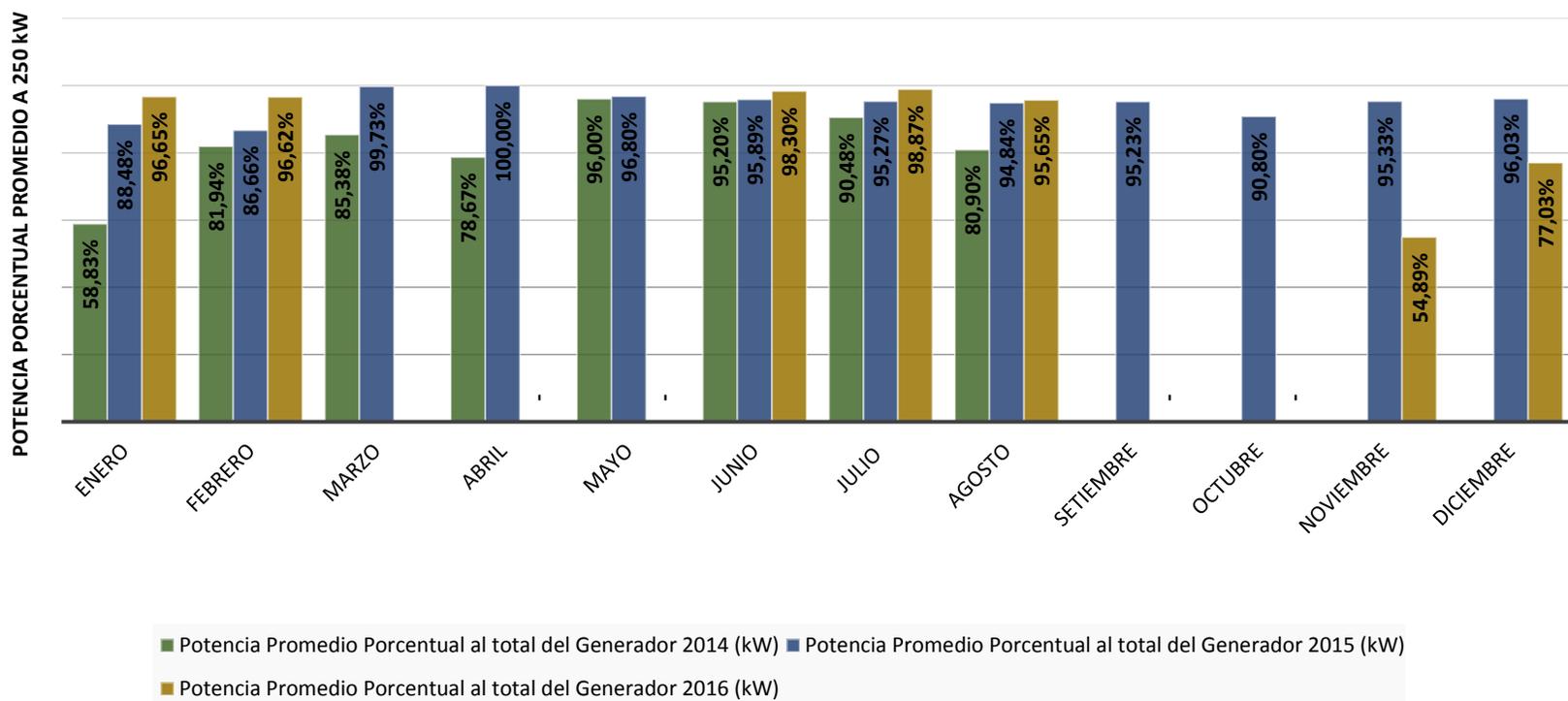
## COMPARATIVA GENERAL DE PROMEDIO DE HORAS DIARIAS AL MENSUAL DE GENERACIÓN

PROMEDIO DE HORAS DIARIAS



Gráfica 10. Comparativa General de Promedio de Horas Diarias al Mensual de Generación  
Fuente: Elaboración propia

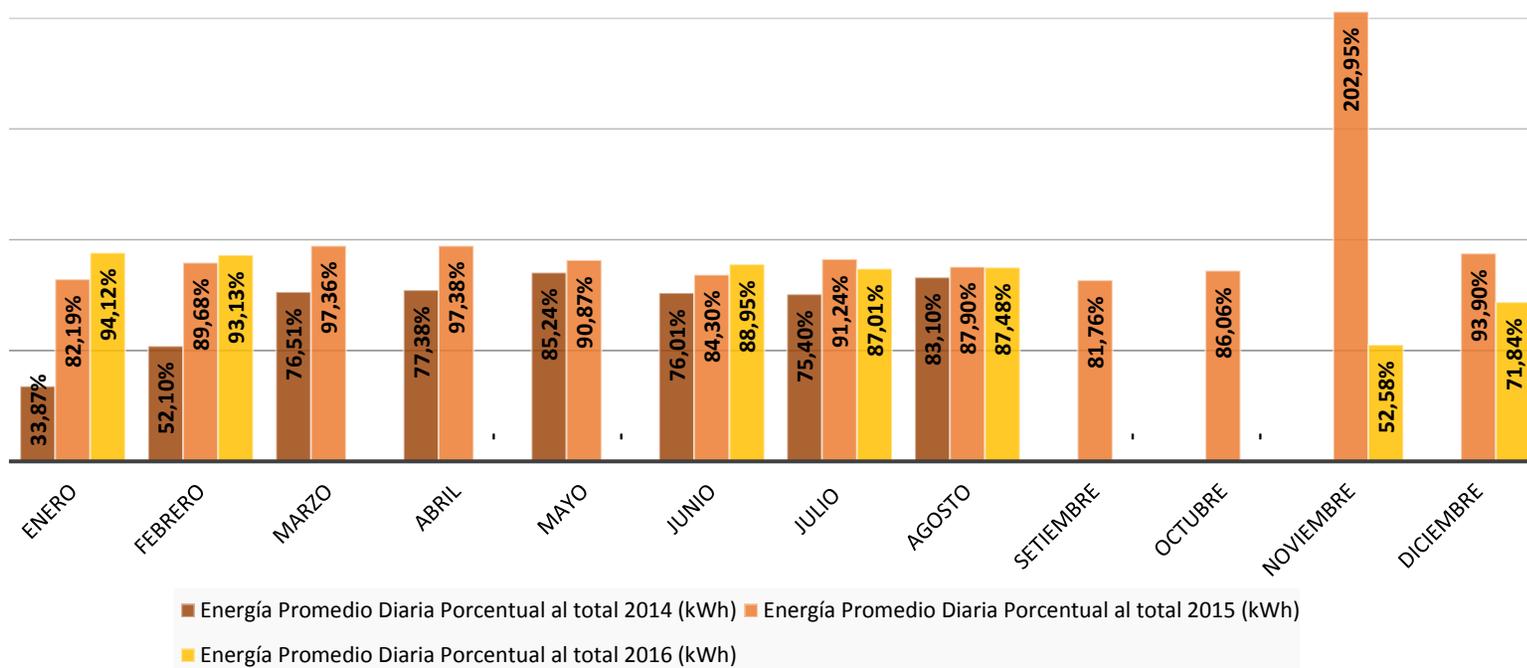
## COMPARATIVA GENERAL PORCENTUAL DE POTENCIAS PROMEDIO DE OPERACIÓN DEL GENERADOR



Gráfica 11. Comparativa General Porcentual de Potencias Promedio de Operación del Generador  
Fuente: Elaboración propia

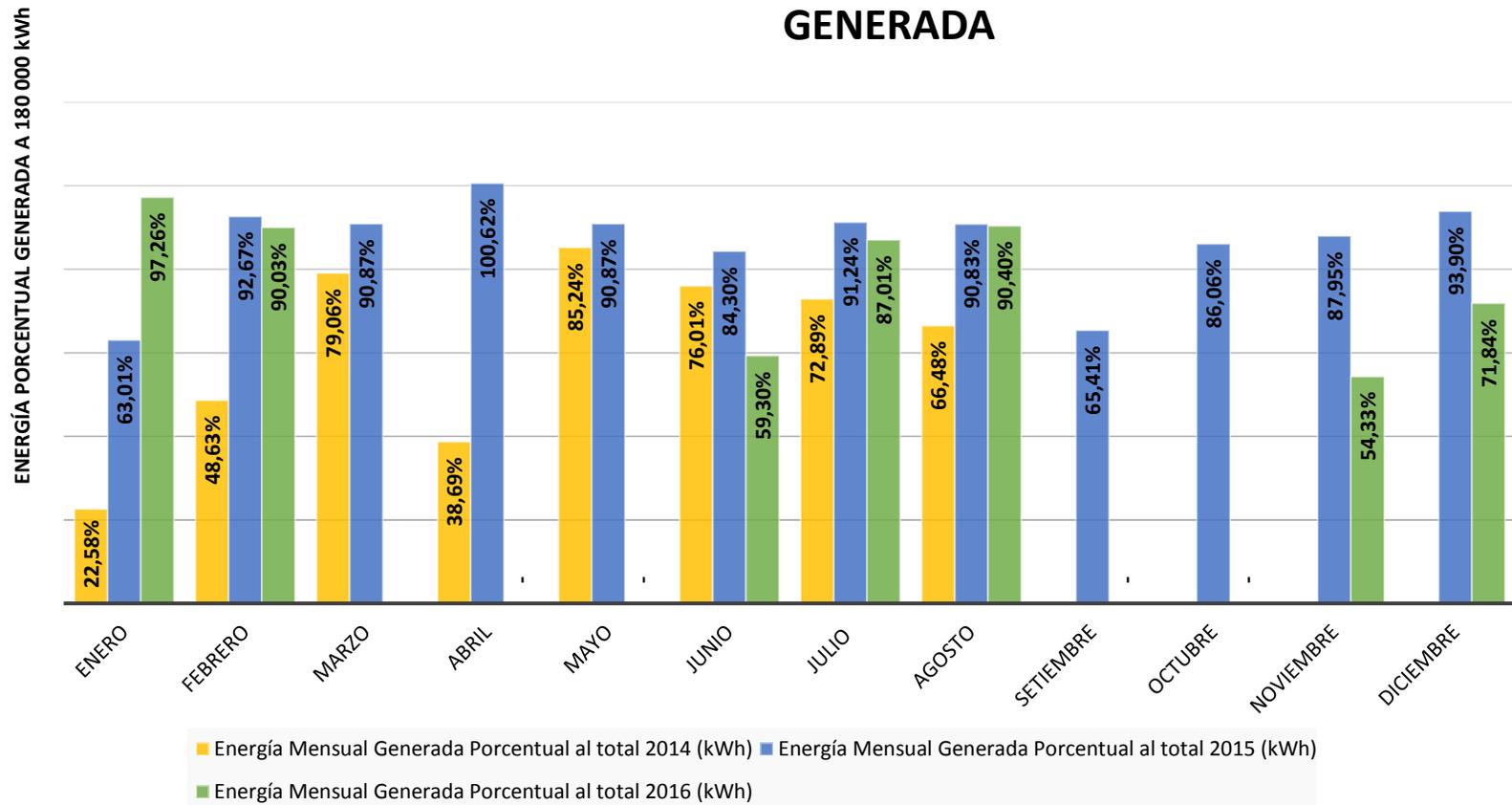
## COMPARATIVA GENERAL PORCENTUAL PROMEDIOS DIARIOS DE GENERACIÓN

ENERGÍA PORCENTUAL DIARIA A 6000 kWh/d



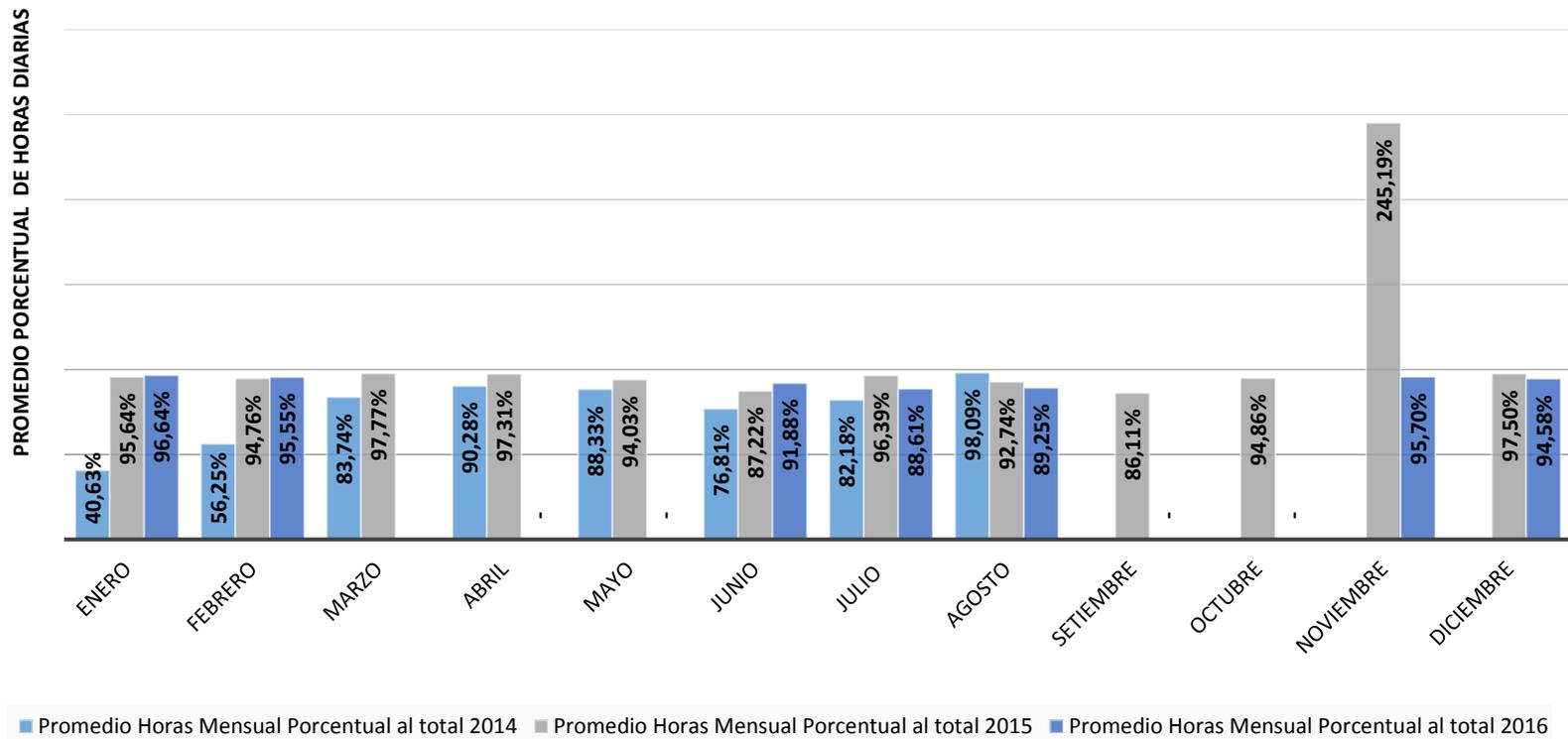
Gráfica 12. Comparativa General Porcentual Promedios Diarios de Generación  
Fuente: Elaboración Propia

## COMPARATIVA GENERAL PORCENTUAL DE ENERGÍA TOTAL MENSUAL GENERADA



Gráfica 13. Comparativa General porcentual de Energía Total Mensual generada  
Fuente: Elaboración propia

## COMPARATIVA GENERAL PORCENTUAL DE PROMEDIO DE HORAS DIARIAS AL MENSUAL DE GENERACIÓN



Gráfica 14. Comparativa general porcentual de promedio de horas diarias al mensual de generación  
Fuente: Elaboración propia

### 6.3 Registros de Facturación.

De la misma manera en que se desarrolló la recopilación de información para los registros de generación se procedió a desarrollar un análisis detallado de la facturación mensual para el mismo período de análisis. Como principal detalle se tiene el hecho de que se obtuvo las tarifas energéticas para cada uno de los meses en estudio para así ejecutar un desglose por conceptos de demanda (kW), energía (kWh) y multa por bajo factor de potencia con base en la fórmula emitida por la ARESEP en su resolución No. RRG-3112-2003 del 16 de mayo 2003:

$$\text{C.B.F.P} = \left[ \frac{\text{fpr}}{\text{fpr}} - 1 \right] \times \text{M.D.M}$$

C.B.F.P= Cargo por bajo factor de potencia.

fpr= Factor de potencia normado para el rango de demanda correspondiente.

fpr= Factor de potencia registrado en el intervalo de máxima demanda.

M.D.M= Monto del importe de la Demanda Máxima.

\* por periodo  
( Punta, Valle y Nocturno )  
si aplica.

Ilustración 5. Cálculo para multa por bajo factor de potencia

A continuación, se muestran los resultados del análisis y desglose en facturación para los 4 años completos más recientes y en los cuales ha habido constante operación del sistema generador.

Facturación 2013								
Mes	Monto por Energía 2013 (colones)	Relativo porcentual energía al total 2013	Monto por Demanda Máxima 2013 (colones)	Relativo porcentual demanda máxima al total 2013	Monto por factor de Potencia (colones)	Relativo porcentual factor de potencia al total 2013	Representativo porcentual al total facturado sin cargas sociales	Monto Total Facturado por JASEC (colones)
Enero	₡ 5.569.200,00	64,30%	₡ 2.092.979,00	24,17%	₡ -	0,00%	88,47%	₡ 8.661.117,75
Febrero	₡ 5.350.800,00	61,98%	₡ 2.149.546,00	24,90%	₡ -	0,00%	86,88%	₡ 8.633.043,50
Marzo	₡ 5.278.000,00	61,73%	₡ 2.149.546,00	25,14%	₡ -	0,00%	86,86%	₡ 8.550.779,50
Abril	₡ 6.333.000,00	64,67%	₡ 2.478.567,00	25,31%	₡ 56.331,07	0,58%	90,56%	₡ 9.792.539,00
Mayo	₡ 6.577.200,00	63,00%	₡ 2.422.728,00	23,21%	₡ 112.685,02	1,08%	87,28%	₡ 10.440.411,75
Junio	₡ 4.384.800,00	55,35%	₡ 2.486.484,00	31,39%	₡ -	0,00%	86,73%	₡ 7.922.387,25
Julio	₡ 8.946.000,00	68,32%	₡ 2.625.560,00	20,05%	₡ -	0,00%	88,37%	₡ 13.094.454,50
Agosto	₡ 7.392.000,00	60,69%	₡ 3.150.672,00	25,87%	₡ 108.643,86	0,89%	87,45%	₡ 12.179.815,00
Setiembre	₡ 7.434.000,00	61,20%	₡ 2.579.864,00	21,24%	₡ 151.756,71	1,25%	83,68%	₡ 12.147.773,00
Octubre	₡ 6.140.400,00	58,36%	₡ 2.953.755,00	28,07%	₡ 67.130,80	0,64%	87,07%	₡ 10.521.547,75
Noviembre	₡ 6.033.300,00	62,02%	-	0,00%	₡ -	0%	62,02%	₡ 9.727.382,50
Diciembre	₡ 5.140.800,00	60,29%	-	0,00%	₡ -	0%	60,29%	₡ 8.526.848,50

<i>Promedios</i>	₡ 6.214.958,33	61,83%	₡ 2.508.970,10	24,93%	₡ 99.309,49	0,44%	87,34%	₡ 10.016.508,3 3
------------------	-------------------	--------	-------------------	--------	----------------	-------	--------	------------------------

Tabla 21. Desglose de Facturación Eléctrica Año 2013  
Fuente: Elaboración propia

Tal y como se puede observar, en promedio para la mayoría de los meses del año 2013 un 60% de la facturación se deriva por concepto de energía consumida, esto se puede observar con mayor claridad en la tabla 6, que muestra la energía en kWh consumida para los meses en cuestión.

Facturación 2013				
Mes	Energía 2013 (kWh)	Demanda 2013 (kW)	Factor de Potencia 2013	Monto 2013 (colones)
Enero	107.100	259	0,90	₡ 8.661.117,75
Febrero	102.900	266	0,90	₡ 8.633.043,50
Marzo	101.500	266	0,90	₡ 8.550.779,50
Abril	109.200	273	0,88	₡ 9.792.539,00
Mayo	113.400	266	0,86	₡ 10.440.411,75
Junio	75.600	273	0,90	₡ 7.922.387,25
Julio	149.100	280	0,91	₡ 13.094.454,50
Agosto	123.200	336	0,87	₡ 12.179.815,00
Setiembre	123.900	322	0,85	₡ 12.147.773,00
Octubre	120.400	315	0,88	₡ 10.521.547,75
Noviembre	118.300	-	-	₡ 9.727.382,50
Diciembre	100.800	-	-	₡ 8.526.848,50
<b>Promedios</b>	<b>112.117</b>	<b>286</b>	<b>0,89</b>	<b>₡ 10.016.508,33</b>

Tabla 22. General de Facturación JASEC-PASA 2013 Fuente; Elaboración propia

Para este año en análisis aún se encontraba en desarrollo y ejecución el proyecto del bio-digestor y la unidad generadora por lo que toda la energía consumida fue comprada a JASEC. Para el año 2014 ya se nota una reducción porcentual del peso de la energía sobre la facturación total para los primero 8 meses de dicho año tal y como se muestra a continuación.

Facturación 2014								
Mes	Monto por Energía 2014 (colones)	Relativo porcentual energía al total 2014	Monto por Demanda Máxima 2014 (colones)	Relativo porcentual demanda máxima al total 2014	Monto por factor de Potencia (colones)	Relativo porcentual factor de potencia al total 201	Representativo porcentual al total facturado sin cargas sociales	Monto Total Facturado por JASEC (colones)
Enero	₡ 4.273.500,00	57,92%	₡ 2.238.537,00	30,34%	₡ 50.875,84	0,69%	88,95%	₡ 7.378.262,25
Febrero	₡ 3.003.000,00	44,89%	₡ 2.722.545,00	40,70%	₡ 61.876,02	0,92%	86,52%	₡ 6.689.410,75
Marzo	₡ 1.270.500,00	31,08%	₡ 2.238.537,00	54,75%	₡ 50.875,84	1,24%	87,07%	₡ 4.088.373,75
Abril	₡ 756.000,00	19,82%	₡ 2.566.746,00	67,30%	₡ 88.508,48	2,32%	89,45%	₡ 3.813.611,50
Mayo	₡ 924.000,00	20,85%	₡ 2.895.816,00	65,35%	₡ 65.814,00	1,49%	87,69%	₡ 4.431.145,00
Junio	₡ 1.554.000,00	30,47%	₡ 2.830.002,00	55,50%	₡ 64.318,23	1,26%	87,23%	₡ 5.099.310,25
Julio	₡ 1.605.800,00	30,95%	₡ 2.839.158,00	54,71%	₡ 132.053,86	2,54%	88,21%	₡ 5.189.000,50
Agosto	₡ 1.953.000,00	35,42%	₡ 2.839.158,00	51,50%	₡ -	0,00%	86,92%	₡ 5.513.427,50
Setiembre	₡ 7.030.800,00	61,39%	₡ 2.906.757,00	25,38%	₡ 66.062,66	0,58%	87,34%	₡ 11.453.381,50
Octubre	₡ 6.658.400,00	60,36%	₡ 2.682.750,00	24,32%	₡ 60.971,59	0,55%	85,24%	₡ 11.030.260,25
Noviembre	₡ 6.699.000,00	61,49%	₡ 2.746.625,00	25,21%	₡ 62.423,30	0,57%	87,28%	₡ 10.893.740,25

Diciembre	₡ 7.795.200,00	61,63%	₡ 3.257.625,00	25,76%	₡ -	0,00%	87,39%	₡ 12.647.528,25
Promedios	₡ 3.626.933,33	43,02%	₡ 2.730.354,67	43,40%	₡ 70.377,98	1,22%	87,50%	₡ 7.352.287,65

Tabla 23. Desglose de facturación eléctrica año 2014.  
Fuente: Elaboración propia

Esta reducción en el monto por energía se produce a raíz de la constante operación del generador, sin embargo, y por un error en el diseño y ejecución de la obra por parte de la empresa encargada del proyecto el generador los filtros de protección contra el H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico), el generador se ve obligado a sufrir una reconstrucción completa en el año 2014, teniendo así una elevación o incremento pronunciado en los montos cancelados para el último cuatrimestre del año en cuestión.

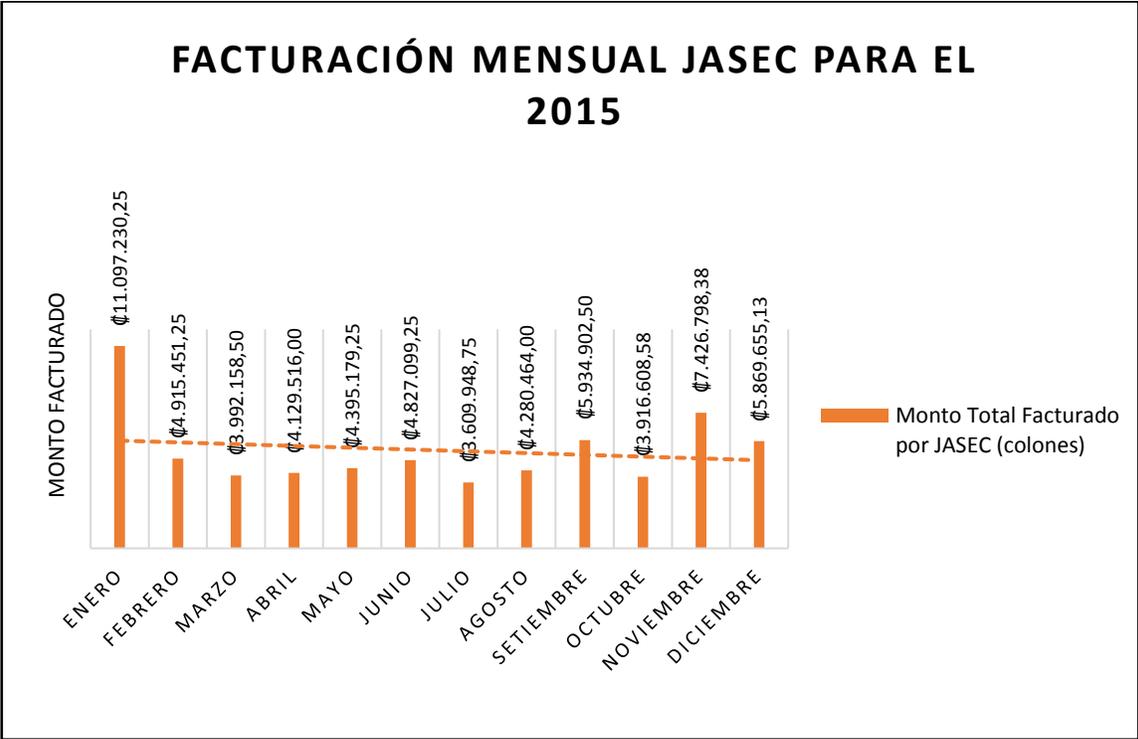
Inclusive el problema se mantiene para principios del año 2015 tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Facturación 2015											
Mes	Energía (kWh)	Monto por Energía (colones)	Relativo porcentual energía al total	Demanda (kW)	Monto por Demanda Máxima (colones)	Relativo porcentual demanda máxima al total	Factor de Potencia	Monto por factor de Potencia (colones)	Relativo porcentual factor de potencia al total	Representativo porcentual al total facturado sin cargas sociales	Monto Total Facturado por JASEC (colones)
Enero	114 100	₡ 6 389 600,00	57,58%	350	₡ 3 041 850,00	27,41%	0,91	₡ -	0%	84,99%	₡ 11 097 230,25
Febrero	18 200	₡ 1 019 200,00	20,73%	364	₡ 3 163 524,00	64,36%	0,90	₡ -	0%	85,09%	₡ 4 915 451,25
Marzo	10 500	₡ 588 000,00	14,73%	322	₡ 2 798 502,00	70,10%	0,90	₡ -	0%	84,83%	₡ 3 992 158,50
Abril	9 800	₡ 490 000,00	11,87%	364	₡ 2 820 272,00	68,30%	0,88	₡ 64 097,09	1,55%	81,71%	₡ 4 129 516,00
Mayo	19 600	₡ 980 000,00	22,30%	350	₡ 2 711 800,00	61,70%	0,89	₡ 30 469,66	0,69%	84,69%	₡ 4 395 179,25
Junio	30 100	₡ 1 505 000,00	31,18%	343	₡ 2 657 564,00	55,06%	0,89	₡ 29 860,27	0,62%	86,85%	₡ 4 827 099,25
Julio	13 300	₡ 636 006,00	17,62%	322	₡ 2 408 978,60	66,73%	0,87	₡ 83 068,23	2,30%	86,65%	₡ 3 609 948,75
Agosto	22 400	₡ 1 071 168,00	25,02%	336	₡ 2 513 716,80	58,73%	0,89	₡ 28 244,01	0,66%	84,41%	₡ 4 280 464,00
Setiembre	52 500	₡ 2 510 550,00	42,30%	329	₡ 2 461 347,70	41,47%	0,89	₡ 27 655,59	0,47%	84,24%	₡ 5 934 902,50
Octubre	14 700	₡ 820 994,36	20,96%	315	₡ 2 752 614,90	70,28%	0,87	₡ 94 917,76	2,42%	93,67%	₡ 3 916 608,58
Noviembre	52 500	₡ 3 109 050,00	41,86%	329	₡ 3 048 563,35	41,05%	0,85	₡ 179 327,26	2,41%	85,33%	₡ 7 426 798,38
Diciembre	28 700	₡ 1 699 614,00	28,96%	336	₡ 3 113 426,40	53,04%	0,88	₡ 70 759,69	1,21%	83,20%	₡ 5 869 655,13
Promedios	32 200	₡ 1 734 931,86	27,93%	338	₡ 2 791 013,31	56,52%	0,89	₡ 67 599,95	1,37%	85,64%	₡ 5 366 250,99

Tabla 24. Registros de facturación año 2015

Fuente: Elaboración propia

Fue para este año el cual en que se lograron las facturaciones más bajas por concepto de energía pues tal y como se mostró en la tabla 20 y a pesar de tener meses incompletos en el registro de generación los meses lograban altos porcentajes de generación en relación a la capacidad máxima de la unidad. Inclusive se muestra en el siguiente gráfico el comportamiento de la facturación para el año en cuestión:



Gráfica 15. Comportamiento de facturación PASA Coris año 2015  
Fuente: Elaboración propia

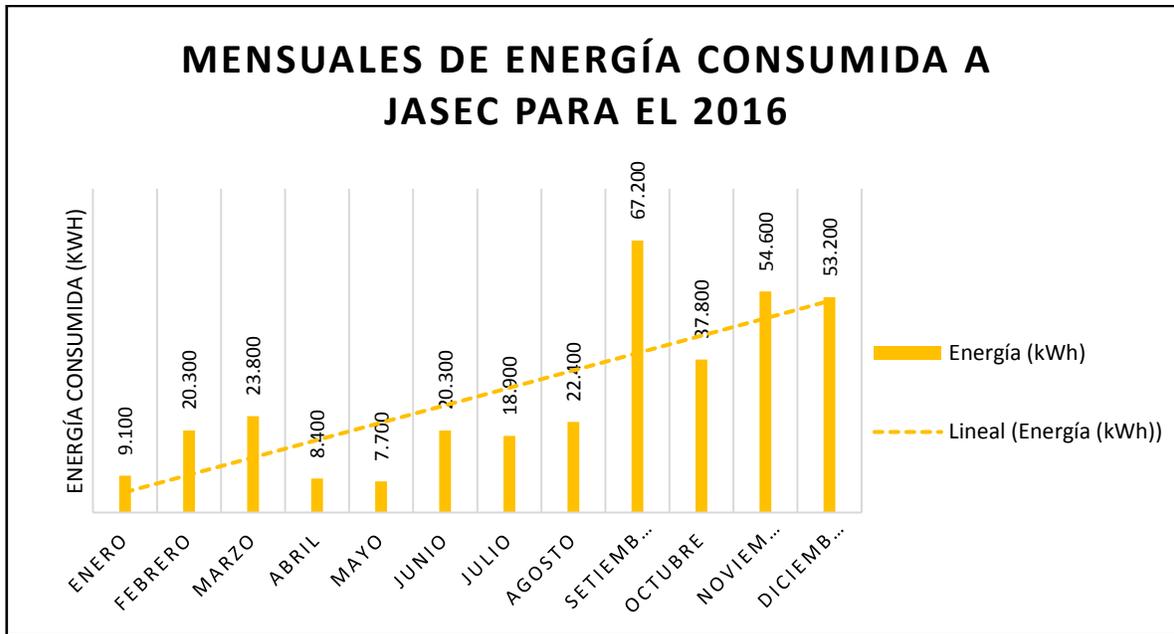
Es notable como las facturaciones se mantuvieron estables e inferiores a los 5 000 000,00 en gran parte del año, podría decirse que en un 66% del año las tarifas fueron inferiores a ese monto.

Para el año 2016 el comportamiento es similar, sin embargo, las tarifas si comenzaron a sufrir un constante incremento. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Facturación 2016											
Mes	Energía (kWh)	Monto por Energía (colones)	Relativo porcentual energía al total	Demanda (kW)	Monto por Demanda Máxima (colones)	Relativo porcentual demanda máxima al total	Factor de Potencia	Monto por factor de Potencia (colones)	Relativo porcentual factor de potencia al total	Representativo porcentual al total facturado sin cargas sociales	Monto Total Facturado por JASEC (colones)
Enero	9 100	₡ 565 110,00	13,04%	-	-	0%	-	-	0%	13,04%	₡ 4 333 692,22
Febrero	20 300	₡ 1 260 630,00	25,11%	-	-	0%	0,86	-	0%	25,11%	₡ 5 020 513,38
Marzo	23 800	₡ 1 477 980,00	26,40%	329	₡ 3 196 310,67	57%	0,87	₡ 110 217,61	1,97%	85,46%	₡ 5 598 517,15
Abril	8 400	₡ 522 144,00	12,91%	294	₡ 2 859 223,50	71%	0,88	₡ 64 982,35	1,61%	85,23%	₡ 4 043 496,39
Mayo	7 700	₡ 478 632,00	12,01%	281,4	₡ 2 736 685,35	69%	0,84	₡ 195 477,53	4,90%	85,57%	₡ 3 985 739,75
Junio	20 300	₡ 1 261 848,00	24,31%	323,4	₡ 3 145 145,85	61%	0,86	₡ 146 285,85	2,82%	87,73%	₡ 5 190 173,98
Julio	18 900	₡ 1 174 824,00	21,33%	343,7	₡ 3 342 568,43	61%	0,87	₡ 115 260,98	2,09%	84,09%	₡ 5 508 913,83
Agosto	22 400	₡ 1 392 384,00	24,51%	331,8	₡ 3 226 837,95	57%	0,87	₡ 111 270,27	1,96%	83,26%	₡ 5 681 840,51
Setiembre	67 200	₡ 4 177 152,00	46,70%	323,4	₡ 3 145 145,85	35%	0,86	₡ 146 285,85	1,64%	83,50%	₡ 8 944 732,52
Octubre	37 800	₡ 2 349 648,00	35,34%	321,3	₡ 3 124 722,83	47%	0,86	₡ 145 335,95	2,19%	84,53%	₡ 6 648 247,44
Noviembre	54 600	₡ 3 393 936,00	44,42%	305,9	₡ 2 974 953,98	39%	0,86	₡ 138 369,95	1,81%	85,16%	₡ 7 641 403,62
Diciembre	53 200	₡ 3 306 912,00	41,80%	338,1	₡ 3 288 107,03	42%	0,86	₡ 152 935,21	1,93%	85,29%	₡ 7 912 117,03
<b>Promedios</b>	<b>28 642</b>	<b>1 780 100</b>	<b>27,32%</b>	<b>319</b>	<b>₡ 3 103 970,14</b>	<b>53,72%</b>	<b>0,86</b>	<b>₡ 132 642,16</b>	<b>2,29%</b>	<b>74,00%</b>	<b>₡ 5 875 782,32</b>

Tabla 25. Registros de facturación PASA Coris año 2016  
Fuente: Elaboración propia

Es notable el incremento en las tarifas canceladas mensualmente, pues al parecer, un cambio en los suministros de limpieza utilizados en la granja dio paso a la reducción de la colonia de bacterias metano-génicas encargadas del proceso biológica para la generación de biogás, inclusive este fenómeno es más notorio cuando se observa la siguiente gráfica.



Gráfica 16. Mensuales de energía consumida PASA Coris para el año 2016  
Fuente: Elaboración propia

Ante esta situación es que se considera necesaria la inclusión del generador al régimen de generación distribuida para autoconsumo.

#### 6.4 Análisis de resultados.

Como objetivo primo en el desarrollo de este proyecto se encontraba la inclusión del generador al nuevo régimen de generación distribuida para autoconsumo de JASEC. Para lograrlo se debe cumplir con una serie de requisitos operacionales y técnicos que permitan la seguridad inclusión a la red del sistema generador. El primero de ellos era realizar la estimación de cuanta energía se pretende intercambiar con la red mensual.

Para eso, desde la gerencia de la empresa se han tomado una serie de decisiones de inversión con el fin de asegurar la operación del generador a los 250 kW que él posee de capacidad para así generar 180 000 kWh al mes. Actualmente, y para los meses de mayo e inicios de junio el generador ha recuperado su capacidad de generación y se ha mantenido en rangos de los 240 a los 250 kW de potencia de generación.

Es así como, a partir del consumo total de la granja mostrado en la Tabla 16 del presente informe y con una proyección de generación que oscile el 85% o superior se dio paso a indicar a JASEC que el intercambio mensual estaría cercano a los 50 000 kWh.

---

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto:	Biodigestor Porcina Americana	Tipo de Persona:	Jurídica
Propietario del inmueble:	Porcina Americana S.A.	Número Cédula:	3-101-032560
Teléfono Celular:		Teléfono Habitación:	
		Teléfono Oficina:	+50625737781
Correo Electrónico:	info@porcinaamericana.com		

---

UBICACIÓN DEL PROYECTO

Provincia:	Cartago	Cantón:	Cartago	Distrito:	Guadalupe
Dirección Exacta:	De la fábrica Nestlé en costado oeste del Parque Industrial de Cartago, 4 km al oeste sobre la carretera a Patarrá.				
Medidor de referencia (JASEC):	200788	Localización (si esta disponible):	7180450004		

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Tipo de Proyecto:	Biomasa	En caso de otro, especificar:	
Potencia Total Proyecto (KW)	250	Proyección de energía mensual producida (KWh):	180000
Tipo de conexión:	Trifásico	Proyección de energía mensual intercambiada (KWh):	50000
Nivel de tensión a interconectar :	Baja tensión	Nivel de tensión normalizada (SUCAL):	277/480 V
Descripción de las obras a realizar. (Incluya todos los datos relevante del proyecto).	La unidad de generación ya se encuentra instalada y en operación desde el año 2013 con todos los permisos correspondientes. Es un equipo marca 2G modelo BGM250CO con capacidad de generación de 250 kW, conexión trifásica y tensión normalizada de 277/480 V. Se estima una capacidad de generación mensual de 180000 kWh y un estimado de energía intercambiada de 50000 kWh para el mismo período de tiempo.		

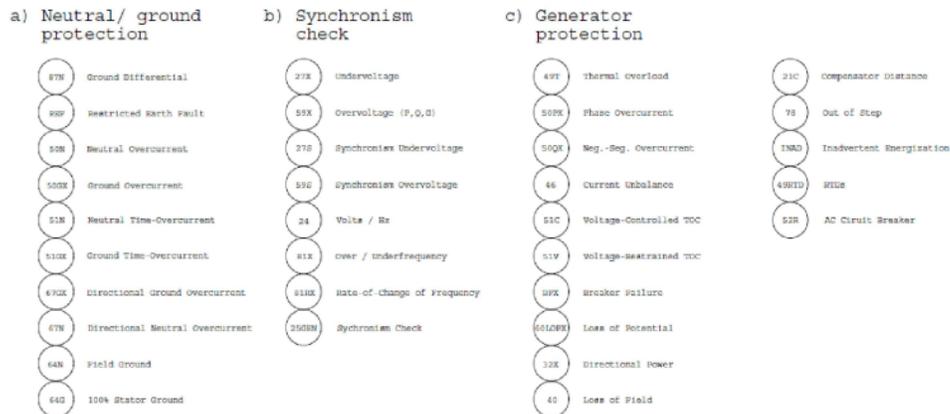
Figura 35. Formulario de solicitud de inclusión del generador de PASA a JASEC.  
Fuente: JASEC

Este estudio de disponibilidad de potencia proyectado (Anexo 1) y aprobado por JASEC da paso a realizar las proyecciones correspondientes en la disminución de la energía y por consiguiente en la facturación por dicho concepto.

JASEC solicita a la empresa demostrar que el generador cumple con una serie de requisitos de protección establecidos por el régimen, para esto, se

realizaron dos visitas por parte del ingeniero encargado del tema a la empresa y se comprobaron las protecciones del mismo según la norma IEEE 1547 (ver anexo 2).

DETALLE DE PROTECCIONES DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN Y SU SINCRONIZACIÓN  
Generator Protection



**Generator Protection**

- 2 x Reverse / Directional power (32)
- 5 x Overload (32)
- 6 x Overcurrent (50/51)
- 2 x Overvoltage (59)
- 3 x Undervoltage (27)
- 3 x Over-/Underfrequency (81)
- Voltage-dependent Overcurrent (51V)
- Current/Voltage Unbalance (60)
- Loss of Excitation/Overexcitation (40/32RV)
- 9 x NEL Groups

**Busbar Protection**

- 3 x Overvoltage (59)
- 4 x Undervoltage (27)
- 3 x Overfrequency (81)
- 4 x Underfrequency (81)
- Voltage Unbalance
- 3 x NEL Groups

**Components / Features included:**

- Ammeter
- Voltmeter
- Frequency Meter
- Wattmeter
- Power Factor Meter
- Electronic Digital Governor Control
- Reverse Power Relay
- Synchronization Relay
- Loss of Excitation / Reverse VAR Relay
- Phase Balance Relay
- Overcurrent Relay
- Ground Fault Relay
- Auxiliary Relays & Timers
- CT (Current Transformer) Function
- PT (Potential Transformer) Function
- Generator Main CB (Circuit Breaker) electronically operated including Indicator Lights installed in its own protected Enclosure Panel
- All Functions per CSA/UL and IEEE 1547 Requirements

Figura 36. Detalle de las protecciones del generador aprobadas por JASEC

Luego de comprobadas las protecciones se dio por aprobada la inclusión del generador al régimen y no fue sino hasta el día martes 20 de Junio del año 2017 que se instaló el medidor oficial de JASEC que permitirá llevar control de la generación eléctrica brindada por PASA.



Figura 37. Medidor de generación JASEC PASA Coris  
Fuente: Elaboración propia



Figura 38. Transformadores de corriente instalados en secundario de transformación del generador.  
Fuente: Elaboración propia

Además, se debió rediseñar los planos de los diagramas de bloque con el fin de indicar el punto en que este medidor sería instalado, dichos cambios fueron realizados y se muestran a continuación.

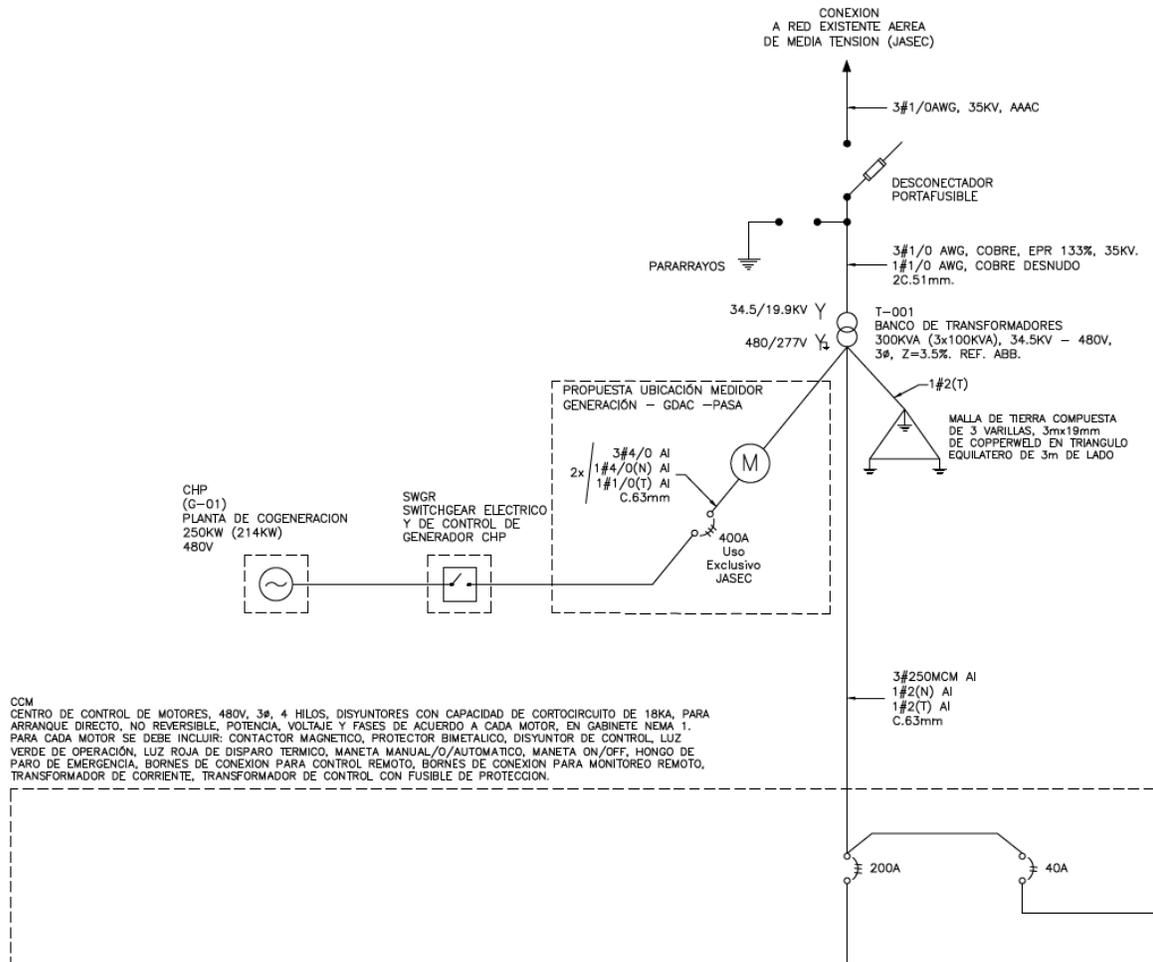


Figura 39. Diagrama Unifilar con modificación para instalación de medidor de generación.  
Fuente: Elaboración propia

## Análisis de la energía a intercambiar mensual.

Consumo Granja kWh	Generado proyectado mínimo (85%) kWh	Generado proyectado máximo (100%) kWh	Diferencia al mínimo generado kWh	Diferencia al máximo generado kWh	Promedio compra actual de energía kWh	Costo kWh Promedio JASEC	Costo kWh en régimen GDAC
125691,08	153000	180000	27308,92	54308,92	27300	₡ 58	₡ 14

Tabla 26. Resumen de energía consumida y tarifas unitarias regulares y en régimen.  
Fuente: Elaboración propia

Por concepto de energía representada como un total en kWh se observa que teóricamente no se debería estar consumiendo energía de la red, sin embargo, al ser la energía una variable dependiente de la demanda presente en la granja se puede ver que, al analizar las curvas de carga totales presentadas en la tabla 15, existe una franja horaria para la cual aunque el generador se encuentre en su valor máximo de 250 kW aun así no se podrá cubrir toda la energía requerida.

En la siguiente tabla se muestra los momentos del día para los cuales la demanda supera la capacidad de generación y la diferencia en kW encontrada.

Hora	Demandas Totales			Diferencia al Generado	Diferencia al Generado
	D. Mínima (kW)	D. Máxima (kW)	D. Media (kW)		
6:00:00 a. m.	255,45	266,91	286,36	36,36	36,36
7:00:00 a. m.	280,12	286,85	293,4	43,4	43,4
9:00:00 a. m.	302,78	308,27	322,56	72,56	72,56
10:00:00 a. m.	359,44	363,91	368,23	118,23	118,23
11:00:00 a. m.	379,64	386,97	391,22	141,22	141,22
12:00:00 p. m.	316,41	323,04	344,58	94,58	94,58
1:00:00 p. m.	293,24	306,39	311,7	61,7	61,7
2:00:00 p. m.	313,6	316,03	319,13	69,13	69,13
3:00:00 p. m.	294,26	308,62	345,66	95,66	95,66
				Total:	732,84

Tabla 27. Franja horaria de incapacidad de suplir demanda requerida en granja por el generador  
Fuente: Elaboración propia

Si asume linealidad en los datos se puede demostrar entonces que habría un déficit por aproximadamente 732,84 kWh al día, representando así un total de 21 985,2 kWh que se estarían consumiendo a la red.

Ahora bien, en el resto de horas que no se muestran en la tabla 27, el generador si posee la capacidad de suplir la energía e inclusive se logra tener excedente que sería el cual nos permita ser intercambiado mes a mes y alcanzar la reducción. Dicho análisis se muestra a continuación:

Demandas Totales				
Hora	D. Mínima (kW)	D. Máxima (kW)	D. Media (kW)	Diferencia al Generado
12:00:00 a. m.	148,56	147,21	151,28	98,72
1:00:00 a. m.	193,71	196,14	198,3	51,7
2:00:00 a. m.	165,88	168,89	183,86	66,14
3:00:00 a. m.	179,49	183,6	212,13	37,87
4:00:00 a. m.	143,72	158,96	163,77	86,23
5:00:00 a. m.	192,87	194,51	196,03	53,97
8:00:00 a. m.	197,64	200,76	204,69	45,31
4:00:00 p. m.	240,79	243,1	245,48	4,52
5:00:00 p. m.	200,82	210,49	236,51	13,49
6:00:00 p. m.	159,02	172,56	191,99	58,01
7:00:00 p. m.	145,07	147,39	150,3	99,7
8:00:00 p. m.	70,12	71,55	72,99	177,01
9:00:00 p. m.	157,79	159,05	160,61	89,39
10:00:00 p. m.	143,05	144,44	146,15	103,85
11:00:00 p. m.	142,53	142,67	142,81	107,19
			Total	1093,1

Tabla 28. Franja horaria de capacidad de suplir demanda requerida en granja por el generador.  
Fuente: Elaboración propia.

Siendo así entonces se tendrá un excedente diario de aproximadamente 1 093,1 kWh, proyectando esto al mes se tendrá un total de 32 793 kWh de excedente.

Es así como entonces, se demuestra que el faltante existente en el transcurso del día si puede ser cubierto por aquellas horas en que el generador tenga capacidad libre. Otro aspecto importante del régimen de GDAC (Generación distribuida para Autoconsumo) es el hecho de que cada kWh enviado a la red se debe pagar al momento de utilizarlo a un monto de ¢ 14 cada uno. Es decir, pasaremos de pagar los kilowatt de excedente en aproximadamente ¢ 60 y tendremos una reducción unitaria de ¢ 46.

Por tanto, al ingresar al régimen de manera oficial y partiendo del hecho de que nuestra energía comprada al mes ronda los 22 000 kWh se logrará una reducción en la facturación de hasta ¢ 1 012 000,00 representando esto, con base en la facturación promedio del año 2016 la cual fue de ¢ 5 875 782,52 una reducción de un 17,22 % en las facturaciones a partir del momento en que se forme parte oficialmente del régimen de generación distribuida.

En cuanto al tema de demanda máxima, el generador por decreto ejecutivo N°39220 de *“Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Neta Sencilla”* no permite una reducción en los montos por concepto de demanda sino solamente por concepto de energía por tanto, para poder lograr una reducción en la demanda máxima se requiere de realizar un estudio a profundidad en cada una de las cargas y puntos de consumo con el fin de desarrollar la coordinación de operación de equipos correspondientes.

Por motivos de tiempo en el desarrollo de este proyecto no fue posible desarrollar el estudio puntual de demandas para desarrollar un plan que permitiera la reducción o al menos el control de entrada de grandes consumidores interno y reducir la facturación por ese concepto.

Actualmente se trabaja en un proyecto de sustitución de 300 luminarias incandescente existentes y activas en la granja por luminarias led que permitirán una reducción aproximada por demanda máxima de hasta 12 kW, sin embargo, se

encuentra en proceso de planificación por parte de la gerencia de energía y electricidad de la corporación.

En el transcurso del proyecto se desarrolló un sistema de base de datos que permite el control de la energía generada, consumida y factura así como también demanda para la granja de PASA en Coris. (Anexo 3)

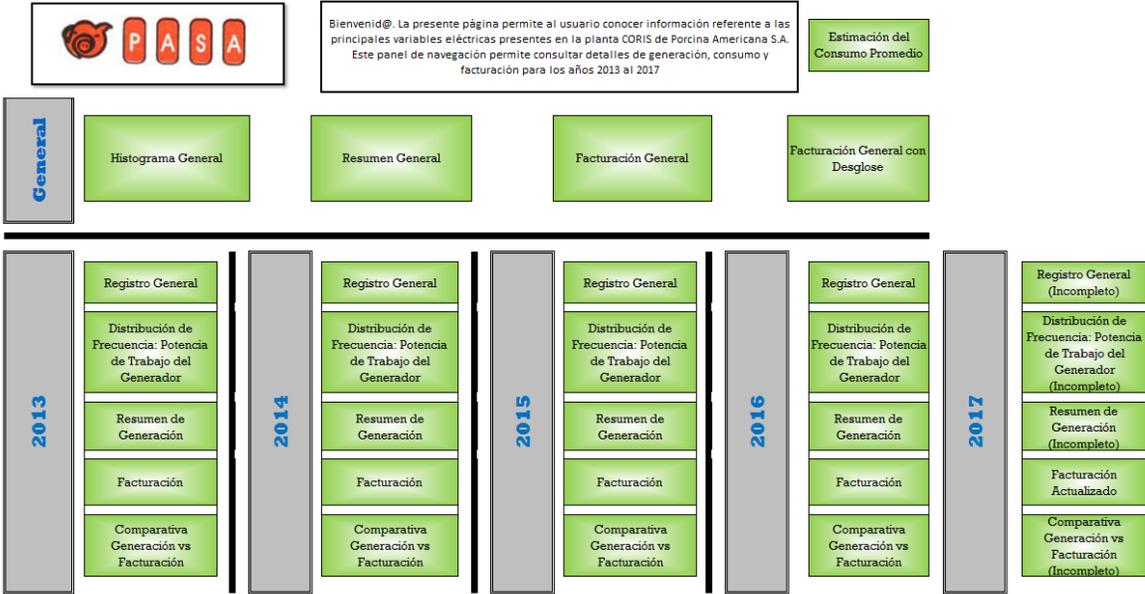


Figura 40. Interfaz de la base de datos desarrollada para control de energía, demanda y facturación en granja de Coris.  
Fuente: Elaboración propia.

# Conclusiones y Recomendaciones

---

## Conclusiones

Del presente proyecto se concluye lo siguiente:

- a) Se logra determinar el estado real de consumo, demanda y generación de energía para la planta de PASA en Coris de Cartago.
- b) Se logra obtener un panorama real de los consumos y demandas para cada uno de los puntos de transformación existentes en la granja.
- c) Se avanza en 95% el procedimiento de integración del excedente de energía generado por PASA a la nueva red de Generación distribuida para Autoconsumo de JASEC, siendo esta integración la de mayor potencia y energía intercambiada de todas conexiones al régimen en la red de JASEC.
- d) Se logra desarrollar un sistema de base de datos que permite el control, graficación y tabulación de la energía-demanda, facturadas y generadas por parte de Porcina Americana S.A.
- e) Se logra determinar los puntos de mayor consumo, así como también las franjas horarias de mayor cargabilidad en la red interna de Porcina Americana S.A.
- f) Se inicia con los procedimientos para el desarrollo y ejecución de proyectos que permitan la reducción en la demanda máxima de la empresa.

## Recomendaciones

Respecto al presente proyecto se recomienda lo siguiente:

- a) Desarrollar un estudio de cargabilidad en los puntos de mayor consumo a lo interno de la granja con el fin de ejecutar un plan de coordinación de cargas.
- b) Realizar un análisis termo-gráfico general de toda la granja con el fin de encontrar puntos calientes, conexiones inestables u otras variables que puedan estar produciendo consumos innecesarios de energía.
- c) Desarrollar e implementar una campaña de capacitación en la cultura del ahorro energético para todos los empleados, de manera personalizada a las tareas que desarrolla cada uno de los departamentos de la misma.
- d) Instalar en las 5 derivaciones a las transformada registradores de energía estacionarios que permitan llevar un control más preciso de los consumos de energía por áreas, departamentos o edificios.
- e) Realizar un estudio de la estabilidad biológica de las bacterias metano-génicas del bio-digestor con el fin de asegurar la colonia y no poner en riesgo la tasa de generación de biogás.

# Anexos

## Anexo 1: Formulario de Solicitud de Conexión – aprobación potencia

JUNTA ADMINISTRATIVA DEL SERVICIO ELECTRICO MUNICIPAL DE CARTAGO Pág. 1 de 3

DP-SGDA-2016 -  ESTUDIO DISPONIBILIDAD DE POTENCIA 

Fecha Solicitud Estudio:

---

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto:  Tipo de Persona:

Propietario del inmueble:  Número Cédula:

Teléfono Celular:  Teléfono Habitación:  Teléfono Oficina:

Correo Electrónico:

---

UBICACIÓN DEL PROYECTO

Provincia:  Cantón:  Distrito:

Dirección Exacta:

Medidor de referencia (JASEC):  Localización (si esta disponible):

---

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Tipo de Proyecto:  En caso de otro, especificar:

Potencia Total Proyecto (KW)  Proyección de energía mensual producida (KWh):

Tipo de conexión:  Proyección de energía mensual intercambiada (KWh):

Nivel de tensión a interconectar:  Nivel de tensión normalizada (SUCAL):

Descripción de las obras a realizar.  
(Incluya todos los datos relevantes del proyecto).

La unidad de generación ya se encuentra instalada y en operación desde el año 2013 con todos los permisos correspondientes.  
Es un equipo marca 2G modelo BGM250CO con capacidad de generación de 250 kW, conexión trifásica y tensión normalizada de 277/480 V.  
Se estima una capacidad de generación mensual de 180000 kWh y un estimado de energía intercambiada de 50000 kWh para el mismo período de tiempo.

---

DATOS DEL PROFESIONAL A CARGO DEL PROYECTO

Figura 41. Página 1. Formulario Solicitud de Interconexión

DATOS DEL SOLICITANTE (Si difiere del Abonado)

Nombre Persona:	Juan Carlos Sáenz Categnaro	Tipo de Persona:	Física		
En calidad de:	Usuario autorizado	Número Cédula:	1-0680-0884		
Teléfono Celular:	8911-0254	Teléfono Habitación:		Teléfono Oficina:	2572-1069
Correo Electrónico:	jsaenz@porcinaamericana.com				

Firma Profesional responsable:		Firma del abonado o usuario:	
--------------------------------	--	------------------------------	--

Figura 42. Página 2. Formulario solicitud interconexión

**JUNTA ADMINISTRATIVA DEL SERVICIO ELECTRICO MUNICIPAL DE CARTAGO  
ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DE POTENCIA (SGDA)**
**Datos Generales del Cliente**

Nombre Cliente:	Porcina Americana S.A	<input checked="" type="radio"/> Abonado de JASEC	<input type="radio"/> Cliente Nuevo
Número Cédula:	3-101-032560	Número de Abonado	03 105015
Dirección Exacta:	De la Fábrica Nestlé al costado Oeste del Paruq Industrial de Cartago, 4 Km al Oeste sobre carretera a Patarra.		
Correo Electrónico:	<a href="mailto:info@porcinaamerica.com">info@porcinaamerica.com</a>	Teléfono Celular:	-
Medidor referencia (JASEC):	200788	Teléfono Habitación:	25737781

**Datos Generales del Proyecto**

Provincia:	Cartago	Canton:	Cartago	Distrito:	Guadalupe
Tipo Proyecto:	Biogas	Tipo de Conexión	Trifásico	Nivel Tensión:	277/480
Potencia Total Proyecto (KW):	250	Proyección Energía Mensual Producida (KWH):	180000		
Proyección Energía Mensual Intercambiada (KWH):	50000	Consumo Promedio (KWH):	24000		
Tipo de actividad a la que se dedica el Inmueble:	Agrícola				

**Datos de la Red a Interconectar  
Circuito a Interconectar - Red Media Tensión**

Disponibilidad líneas a media tensión (Primarias):	Sí	Tensión Disponible Sector:	34500
Configuración de Red Primaria Disponible:	Trifásico	Número Poste Ref:	-
Nombre del Circuito:	Coris-industrial	Nombre Subestación:	Zona franca
Potencia Total (KW):	30000	Máxima Potencia Permitida (KW):	4500
Disponibilidad Actual (KW):	4500	Existe Disponibilidad Potencia:	Sí
Corriente de corto circuito en el lugar solicitado (Kilo-Amperes simétricos):	4690		

**Red Baja Tensión**

Disponibilidad líneas a baja tensión (Secundarias):	Sí	Tensión Disponible Sector:	277/480
Transformador(es) de uso exclusivo:	Particular	Número Poste Ref:	-
Capacidad nominal del transformador o banco de transformadores (KVA):	300		
Número Transformador:	T1: Privado	T2: Privado	T3: Privado
Potencia nominal por unidad:	KVA: 100	KVA: 100	KVA: 100

**Requerimiento de Modificación a la Red de Distribución**

Por las condiciones específicas del proyecto, la ubicación física y la topológica de la red de distribución en el punto a interconectar, no se requiere ninguna modificación a la red de Distribución.

- 1) No aplica para este estudio

Figura 43. Página 1 Aprobación de inclusión del generador por disponibilidad de potencia



- 2) No aplica para este estudio
- 3) No aplica para este estudio
- 4) No aplica para este estudio

#### Consideraciones Técnicas Finales

Existe disponibilidad de potencia en el circuito para la interconexión:	Sí
Las características propias de la red primaria cumplen con los parámetros técnicos y de seguridad necesarios para la interconexión SGDA:	Sí
Las características propias de la red secundaria cumplen con los parámetros técnicos y de seguridad necesarios para la interconexión del SGDA:	Sí
Basados en los datos aportados por el interesado, el presente estudio de disponibilidad de potencia para la futura interconexión de un sistema de generación distribuida para autoconsumo se da por:	Aprobado
A partir de la aprobación del estudio de disponibilidad de potencia para la interconexión de SGDA, JASEC reservará la capacidad de potencia aprobada para el caso en particular por un lapso de (días):	90

#### Anotaciones relacionadas con el proyecto

<p>El proyecto consiste en la interconexión de un biodigestor marca 2G, modelo BGM250CO con una capacidad nominal de 250 KW, con conexión trifásica a 277/480 V,</p> <p>Se estima una producción mensual de 180,000 KWH y una proyección de intercambio de 50,000 KWH por mes, bajo las condiciones de diseño y capacidad de gas disponible.</p>
--

Figura 44. Página 21 Aprobación de inclusión del generador por disponibilidad de potencia

**Notas:**

Este estudio se basa en la información brindada por el cliente y el profesional responsable de la obra mediante documento DP-SGDA-2016-003, Formulario "Estudio de Disponibilidad de Potencia" para la interconexión a la red de Distribución de Sistema de Generación Distribuida para Autoconsumo. Este estudio es válido solo para las condiciones indicadas previamente por el interesado y el encargado técnico del proyecto en el formulario antes descrito.

La información brindada es responsabilidad del interesado y del encargado de la obra, cualquier error u omisión no será responsabilidad de JASEC.

El cliente acepta y conoce la normativa técnica de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), el decreto ejecutivo N° 39220 "Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables".

Este estudio de disponibilidad de potencia se sustenta en el artículo N° 21 del decreto ejecutivo N° 39220 "Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables".

La reserva de la potencia se registrará bajo lo indicado en artículo N° 22 del decreto ejecutivo N° 39220 "Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables". Si el plazo se vence y no se ha formalizado o cumplido con las responsabilidades del interesado JASEC liberará la potencia reservada y deberá suscribirse un nuevo estudio de disponibilidad, previa cancelación de los costos asociados. Cabe aclarar que la nueva solicitud deberá seguir el procedimiento nuevamente como una solicitud nueva.

Cualquier cambio realizado al diseño posterior a la solicitud de estudio afectará la aprobación de estudio solicitado, los cambios deberán ser comunicados y sometidos a evaluación por parte de JASEC, previa cancelación de los costos asociados.

Los costos asociados al estudio de disponibilidad de potencia pueden variar en función de la complejidad, tamaño y tipo de tecnología a utilizar. Dependiendo de estos factores JASEC comunicará de previo nuevos costos asociados al estudio solicitado.

El interesado podrá solicitar por una única vez y por escrito, la ampliación del plazo otorgado, debidamente justificado. De lo contrario, se liberará la capacidad reservada, sin que esto genere ninguna responsabilidad a JASEC.

En caso de requerirse modificaciones a la red de distribución estas correrán por cuenta del interesado y deberán realizarse acorde a los procedimientos internos previamente establecidos por el Proceso Planificar y Desarrollar la Red. El costo de los estudios de Ingeniería adicionales y el costo de las obras realizar, no están incluidos y deberán ser cancelados de previo por el interesado.

**MARCO  
ANTONIO  
CENTENO  
MASIS (FIRMA)**

Firmado digitalmente  
por MARCO ANTONIO  
CENTENO MASIS  
(FIRMA)  
Fecha: 2017.02.08  
16:59:58 -06'00'

Estudio realizado por:

**Ing. Marco Centeno Masís**  
Coordinador Proceso Servicios Técnicos  
UEN Servicio al Cliente

Fecha de Aprobación de la Disponibilidad de Potencia  
:

**08/02/2016**

Este estudio de Disponibilidad de Potencia es Valido  
Hasta:

**08/05/2016**

Figura 45. Página 3 Aprobación de inclusión del generador por disponibilidad de potencia

## Anexo 2: Formularios Comprobación de Protecciones Generador

Resolución Formulario	JUNTA ADMINISTRATIVA DEL SERVICIO ELECTRICO MUNICIPAL DE CARTAGO	Hoja 1 de 5	
Estudio de disponibilidad de potencia aprobado N° 003-2016			
FI-SGDA-2017-	DATOS GENERALES		
Nombre Completo:	Porcina Americana S.A.	Teléfono Celular:	-
Número Cédula:	3-101-032560	Teléfono Alternativo:	25737781
Número Abonado:	03 1050015	Localización (Recibo):	7180450004
Dirección Exacta:	4 Km al oeste detrás del Parque Industrial, camino a Coris.		
Correo Electrónico:	info@porcinaamericana.com		
<b>DATOS GENERALES DEL PROYECTO CON MAQUINAS ROTATIVAS</b>			
Sistema Conexión:	2. Trifásico	Frecuencia de Red (Hz):	60
Nivel de Tensión (V):	480	Potencia nominal / unidad (KW):	250
Marca del Generador:	2G-Cenergy	Potencia total sistema (KW):	250
Proyección de intercambio de energía con la red de distribución ( mensual) en KWH:	50.000		
Frecuencia de rotación (r.p.m):	1.800	Impedancia a tierra (Ω):	0
<b>GENERADORES SINCRONOS</b>			
Marca:	Leroy-Sommer	Modelo:	LSA47.254
Reactancia Síncrona de eje directo, Xd (p.u.)	1.822	Reactancia Transiente de eje directo, X'd (p.u.)	0.115
Reactancia Subtransiente de eje directo, X''d (p.u.)	0.080	Reactancia Secuencia Negativa, X2 (p.u.)	0.094
Reactancia Secuencia Cero, X0 (p.u.)	0.0047	KVA Base:	313
Voltaje de campo (V):	35		
<b>RELEVADOR DE SINCRONIZACIÓN</b>			
Marca:	DEIF	Modelo:	GPC-3
Diferencia de frecuencia (Hz)	-0.1 min / 0.2 +	Diferencia de tensión (± %)	5
Diferencia angulos de fase (± grados)	10		

Figura 46. Página 1 Aprobación de Protecciones Generador

Nota: para generadores síncronos, aportar el diagrama de bloque (IEEE) del sistema de excitación, del sistema gobernador, y del sistema de estabilización de potencia.

---

**GENERADORES DE INDUCCION**

Marca:	<input type="text"/>	Modelo:	<input type="text"/>
Potencia del motor (KW):	<input type="text"/>	Resistencia del Rotor, Rr (Ω):	<input type="text"/>
I <sup>2</sup> o K ( Constante de tiempo de calentamiento )	<input type="text"/>	Reactancia del Rotor, Xr (Ω):	<input type="text"/>
Reactancia magnética Xm (Ω):	<input type="text"/>	Resistencia del estator, Rr (Ω):	<input type="text"/>
Reactancia de corto circuito, Xd (Ω):	<input type="text"/>	Reactancia del estator, Xr (Ω):	<input type="text"/>
Potencia reactiva requerida, en Vars (sin carga):	<input type="text"/>	Corriente de excitación (A)	<input type="text"/>
Potencia reactiva requerida, Vars (plena carga):	<input type="text"/>	Inercia rotacional, H por KVA base:	<input type="text"/>

---

**DATOS DEL TRANSFORMADOR Ó TRANSFORMADORES (SI APLICA)**

Marca:	<input type="text" value="ERMCO"/>	Modelo:	<input type="text" value="100 kVA"/>
Tipo:	<input type="text" value="1. Monofásico"/>	BIL (KV):	<input type="text" value="150"/>
Potencia (KVA):	<input type="text" value="100"/>	Impedancia R (Ω):	<input type="text" value="1.8 %"/>
		Impedancia X (Ω):	<input type="text" value="1.8 %"/>
		Impedancia Z (Ω):	<input type="text" value="1.8 %"/>
Tensión primaria (KV):	<input type="text" value="34.5KV"/>	Tensión secundaria (KV):	<input type="text" value="480"/>
Conexión primaria :	<input type="text" value="Estrella Multaterrizada"/>	Conexión secundaria :	<input type="text" value="Estrella Multaterrizada"/>
Tipo Enfriamiento :	<input type="text" value="Sumergido en Aceite"/>	Montaje:	<input type="text" value="3. Recinto."/>

Deberá adjuntar las curvas de los fusibles de protección y la hoja de datos técnicos del transformador.

---

**DISPOSITIVO DE INTERCONEXIÓN**

Fabricante:	<input type="text" value="EATON"/>	Modelo:	<input type="text" value="NZM 3-XR"/>
Capacidad nominal (A):	<input type="text" value="600"/>	BIL (KV):	<input type="text" value="NO REGISTRA"/>
Corriente de interrupción en amperios:	<input type="text" value="50 kA"/>	Velocidad disparo en clicos:	<input type="text" value="12.5"/>

---

Figura 47. Página 2 Aprobación de protecciones generador

**RELEVADORES DE PROTECCIÓN**

Hoja 3 de 5

El sistema de generación para la conexión en paralelo mediante ( generadores de inducción (asíncronicos), generadores síncronicos), deberá integrar, como mínimo, con las siguientes funciones de protección de acuerdo a la norma IEEE C37.2 "Standard Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms and Contact Designations" (Estándar de designaciones de contacto, acrónimos y números de función de dispositivos de sistemas eléctricos de potencia)

Sobre corriente (50/51)	<input type="text" value="Cumple"/>	Sincronizador automatico con relé de supervisión (15/25)	<input type="text" value="Cumple"/>
Sobre Tensión (59)	<input type="text" value="Cumple"/>	Esquema de falla a tierra (51N) para sistemas mayores o iguales a 50 KVA	<input type="text" value="Cumple"/>
		Bajo tensión (27)	<input type="text" value="Cumple"/>
Sobre Frecuencia (81U)	<input type="text" value="Cumple"/>	Sobre Frecuencia (81O)	<input type="text" value="Cumple"/>

**TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO (EN CASO DE REQUERIRSE)**

**TRANSFORMADORES DE CORRIENTE**

Fabricante:  Tipo:  Presición/ clase:  Burden:

**TRANSFORMADORES DE POTENCIAL**

Fabricante:  Tipo:  Presición/ clase:  Burden:

Deberá adjuntar las curvas de excitación y de la relación de corrección de los transformadores

**NORMAS TÉCNICAS REQUERIDAS**

Cada interesado tendrá que adjuntar toda la documentación técnica necesaria para demostrar el cumplimiento de las siguientes normas técnicas, incluidas las certificaciones de cumplimiento de equipos:

REFERENCIA	NORMA	CUMPLIMIENTO
Límite de distorsión durante la sincronización	IEEE 1547/4.1.3	<input type="text" value="Cumple"/>
Respuesta a tensiones anormales	IEEE 1547/4.2.3, tabla 1	<input type="text" value="Cumple"/>
Coordinación con reconectores	IEEE 1547/4.2.2	<input type="text" value="Cumple"/>
Respuesta a frecuencias anormales	IEEE 1547/4.2.4, tabla 2	<input type="text" value="Cumple"/>
Reconexión	IEEE 1547/4.2.6	<input type="text" value="Cumple"/>

Figura 48. Página 3 Aprobación de Protecciones generador

NORMAS TÉCNICAS REQUERIDAS

Hoja 4 de 5

REFERENCIA	NORMA	CUMPLIMIENTO
Límite de inyección de corriente directa	IEEE 1547/4.3.1	Cumple
Límite parpadeo	IEEE 1547/4.3.2	Cumple
Límite distorsión armónicas	IEEE 1547/4.3.3/5.1.6 tabla 3 y tabla 6	Cumple
Puesta a tierra	IEEE 1547/4.1.2	Cumple
Dispositivo de aislamiento	IEEE 1547/4.1.7	Cumple
Regulación de tensión	IEEE 1547/4.1.1	Cumple
Monitoreo integrado a la distribuidora	IEEE 1547/4.1.6, $\geq 250\text{KVA}$	Cumple
Protección o inmunidad a interferencia electromagnética	IEEE 1547/4.1.8.1, IEEE C37.90.2-1995	Cumple
Protección o inmunidad a sobretensiones	IEEE 1547/4.1.8.2, IEEE C62.41.2-2002 o IEEE C37.90.1.2002	Cumple
Ajustes de sincronización (tensión, frecuencia, ángulo)	IEEE 1547/5.1.2, tabla 5	Cumple
Procedimientos de pruebas de sincronización, anti-Isa, pérdida de fase, armónicos, respuesta frecuencia y tensión.	IEEE 1547.1	Cumple

Figura 49. Página 4 Aprobación de protecciones generador.

# Anexo 3: Base de datos control de energía.

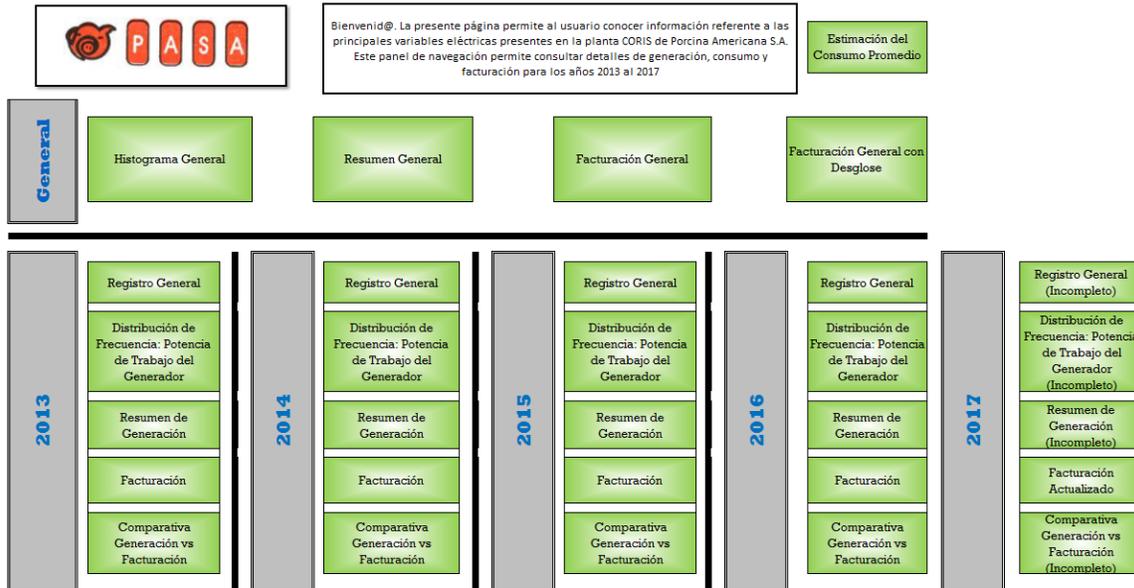


Figura 50. Interfaz de inicio

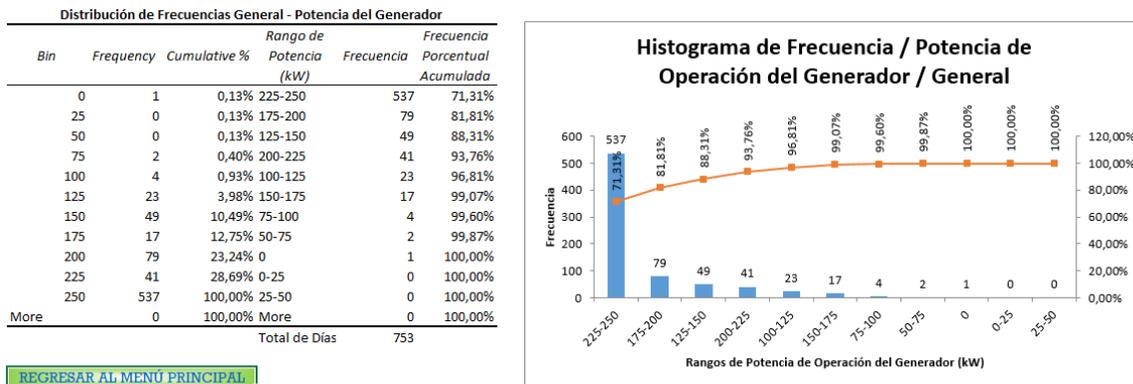


Figura 51. Histogramas de frecuencia anuales para el generador

Resumen Energía Generador 2014									
Mes	Potencia Promedio del Generador 2014 (MW)	Potencia Promedio del Generador 2014 (MW)	Energía Promedio del Generador 2014 (MWh)	Energía Promedio del Generador 2014 (MWh)	Energía Promedio Diaria del Generador 2014 (MWh)	Promedio Horas Mensual 2014			
Enero	147,04	91,372	49,448,00	22,892	2,02,28	22,872	6,79	49,432	
Febrero	204,44	118,662	175,248,00	49,622	3,182,99	56,796	54,286		
Marzo	210,44	105,392	142,216,00	79,962	4,949,41	76,592	20,19	13,742	
Abril	191,41	116,672	144,648,00	33,862	4,462,72	72,208	23,47	49,392	
Mayo	240,00	146,802	183,440,00	18,242	5,744,67	18,242	23,20	63,332	
Junio	223,00	146,202	134,160,00	16,012	4,949,23	76,492	16,43	74,812	
Julio	223,21	104,802	131,968,00	78,302	4,854,97	78,492	19,72	120,802	
Agosto	242,24	110,802	119,427,00	11,412	4,415,71	11,362	22,54	90,802	
<b>Total</b>	<b>1,844,80</b>	<b>1,121,422</b>	<b>1,121,422,00</b>	<b>1,121,422</b>	<b>49,992</b>	<b>49,992</b>	<b>16,49</b>	<b>121,422</b>	

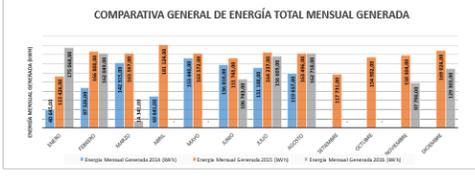


Figura 52. Interfaz de control de generación y variables

Facturación 2013					Facturación 2014					Facturación 2015					Facturación 2016				
Mes	Energía 2013	Demanda 2013	Factor de Potencia 2013	Monto 2013	Mes	Energía 2014	Demanda 2014	Factor de Potencia 2014	Monto 2014	Mes	Energía 2015	Demanda 2015	Factor de Potencia 2015	Monto 2015	Mes	Energía 2016	Demanda 2016	Factor de Potencia 2016	Monto 2016
Enero	259	0,90	0,90	\$1.681.017,75	Enero	27.700	259	0,98	0,98	Enero	14.700	350	0,97	0,97	Enero	3.900	-	-	-
Febrero	292	0,90	0,90	0,90	Febrero	54.600	295	0,95	0,95	Febrero	18.200	354	0,90	0,90	Febrero	4.400	284	0,98	0,98
Marzo	266	0,90	0,90	0,90	Marzo	23.300	293	0,98	0,98	Marzo	10.500	322	0,90	0,90	Marzo	3.200	284	0,98	0,98
Abril	273	0,98	0,98	0,98	Abril	13.600	273	0,97	0,97	Abril	3.800	354	0,98	0,98	Abril	4.400	284	0,98	0,98
Mayo	292	0,98	0,98	0,98	Mayo	15.400	305	0,98	0,98	Mayo	19.600	350	0,98	0,98	Mayo	7.700	284	0,94	0,94
Junio	75.600	273	0,90	0,90	Junio	26.900	301	0,98	0,98	Junio	39.800	343	0,98	0,98	Junio	3.200	284	0,98	0,98
Julio	260	0,91	0,91	0,91	Julio	25.900	294	0,98	0,98	Julio	12.300	322	0,97	0,97	Julio	3.400	284	0,97	0,97
Agosto	316	0,97	0,97	0,97	Agosto	31.500	294	0,93	0,93	Agosto	22.400	336	0,98	0,98	Agosto	3.100	284	0,97	0,97
Septiembre	322	0,95	0,95	0,95	Septiembre	301	301	0,98	0,98	Septiembre	52.500	328	0,98	0,98	Septiembre	3.200	284	0,98	0,98
Octubre	295	0,93	0,93	0,93	Octubre	294	294	0,98	0,98	Octubre	14.700	316	0,97	0,97	Octubre	3.200	284	0,98	0,98
Noviembre	-	-	-	-	Noviembre	301	301	0,98	0,98	Noviembre	52.500	329	0,98	0,98	Noviembre	3.200	284	0,98	0,98
Diciembre	-	-	-	-	Diciembre	397	397	0,91	0,91	Diciembre	38.700	336	0,98	0,98	Diciembre	3.300	284	0,98	0,98
<b>Promedio</b>	<b>286</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>Promedio</b>	<b>296</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>Promedio</b>	<b>239</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>Promedio</b>	<b>319</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>

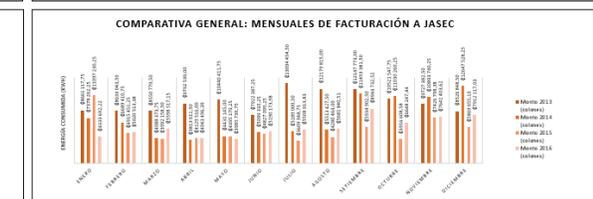
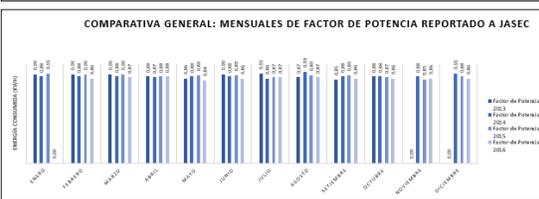
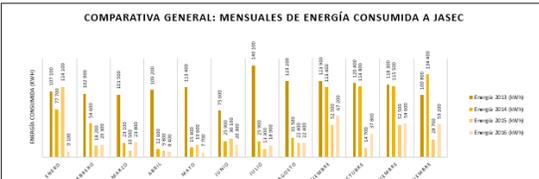


Figura 53. Interfaz de control y graficación de facturación para cada año

REGRESAR AL MENU PRINCIPAL

Facturación 2013					Facturación 2014					Facturación 2015					Facturación 2016					
Mes	Energía 2013	Demanda 2013	Factor de Potencia	Monto 2013 (colones)	Mes	Energía 2014	Demanda 2014	Factor de Potencia	Monto 2014 (colones)	Mes	Energía 2015	Demanda 2015	Factor de Potencia	Monto 2015 (colones)	Mes	Energía 2016	Demanda 2016	Factor de Potencia	Monto 2016 (colones)	
Enero	253	0,90	\$3.661.017,75	#####	Enero	77.700	253	0,88	#####	Enero	114.300	350	0,91	#####	Enero	9.300	-	-	#####	
Febrero	246	0,90	#####	#####	Febrero	54.600	295	0,88	#####	Febrero	10.200	364	0,90	#####	Febrero	###	-	-	0,86	#####
Marzo	286	0,90	#####	#####	Marzo	53.900	288	0,88	#####	Marzo	10.900	322	0,90	#####	Marzo	329	0,97	#####	#####	
Abril	273	0,88	#####	#####	Abril	12.600	273	0,87	\$3.813.611,50	Abril	9.800	364	0,88	#####	Abril	8.400	294	0,88	#####	
Mayo	268	0,88	#####	#####	Mayo	15.400	368	0,89	#####	Mayo	19.600	350	0,89	#####	Mayo	7.700	284	0,84	#####	
Junio	75.600	273	0,90	#####	Junio	25.900	301	0,88	#####	Junio	30.300	343	0,88	#####	Junio	###	323,4	0,88	#####	
Julio	280	0,91	#####	#####	Julio	25.900	294	0,86	#####	Julio	13.200	322	0,87	#####	Julio	###	343,7	0,87	#####	
Agosto	228	0,87	#####	#####	Agosto	37.500	294	0,87	#####	Agosto	22.400	326	0,93	#####	Agosto	###	278,0	0,87	#####	
Septiembre	322	0,85	#####	#####	Septiembre	301	301	0,88	#####	Septiembre	52.500	329	0,88	#####	Septiembre	###	323,4	0,86	#####	
Octubre	395	0,88	#####	#####	Octubre	294	294	0,88	#####	Octubre	14.700	395	0,87	#####	Octubre	###	321,3	0,86	#####	
Noviembre	-	-	#####	#####	Noviembre	301	0,88	#####	#####	#####	52.500	329	0,88	#####	#####	#####	305,3	0,86	#####	
Diciembre	-	-	#####	#####	Diciembre	357	0,91	#####	#####	#####	28.700	336	0,88	#####	Diciembre	###	338,1	0,86	#####	
Promedio	286	0,89	#####	#####	Promedio	296	0,88	#####	#####	#####	338	0,89	#####	#####	Promedio	319	0,86	#####		

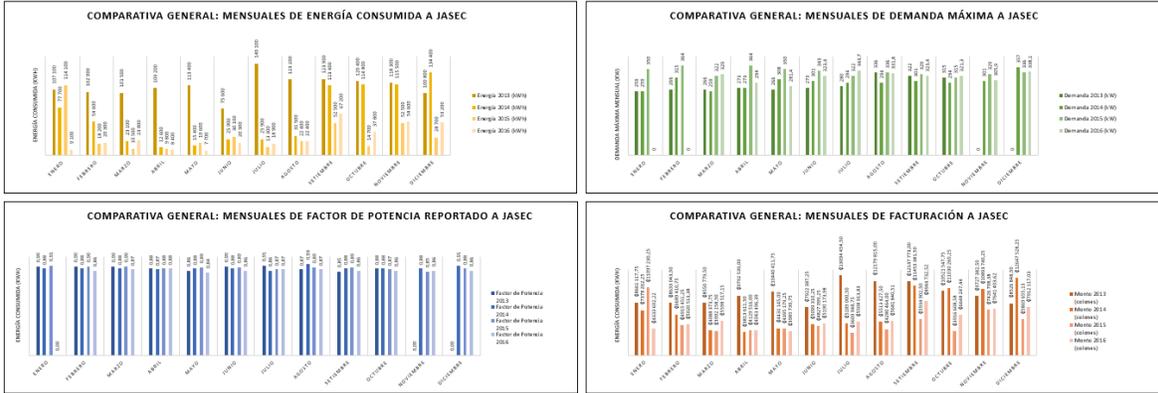


Figura 54. Interfaz de desglose de facturación graficación y control.

Tabla Comparativa Total Consumido 2014						
Mes	Generado BIODIGESTOR (kWh)	Consumido JASEC (kWh)	Total Consumido Reportado (kWh)	Diferencial aproximado a consumo estimado	Porcentaje de Diferencia al Promedio	Suma Total consumos y facturado
Enero	40 645,00	77 700,00	118 345,00	118 345,00	0,99%	118 345,00
Febrero	87 526,00	54 600,00	142 126,00	142 126,00	18,91%	142 126,00
Marzo	142 315,00	23 100,00	165 415,00	119 215,00	0,26%	165 415,00
Abril	69 641,00	12 600,00	82 241,00	82 241,00	31,19%	82 241,00
Mayo	153 440,00	15 400,00	168 840,00	138 040,00	15,49%	168 840,00
Junio	136 810,00	25 900,00	162 710,00	110 910,00	7,21%	162 710,00
Julio	131 198,00	25 900,00	157 098,00	105 298,00	11,90%	157 098,00
Agosto	119 657,00	31 500,00	151 157,00	88 157,00	26,24%	151 157,00
Septiembre	NO REGISTRA	113 400,00	113 400,00	113 400,00	5,12%	NO REGISTRA
Octubre	NO REGISTRA	114 800,00	114 800,00	114 800,00	3,95%	NO REGISTRA
Noviembre	NO REGISTRA	115 500,00	115 500,00	115 500,00	3,37%	NO REGISTRA
Diciembre	NO REGISTRA	134 400,00	134 400,00	134 400,00	12,45%	NO REGISTRA
Promedios	110 154,00	62 066,67	135 502,67	115 202,67	11,42%	143 491,50

Promedio de Consumo (kWh): 119 525,00

■ : COMPRA  
■ : ESTIMADO  
■ : EXCEDENTE

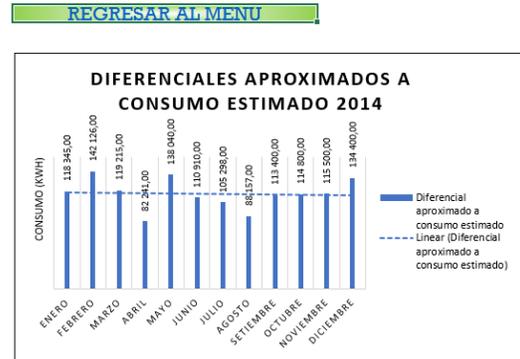


Figura 55. Interfaz comparativa facturación-generación para cada año

## **CAPÍTULO 7: Referencias Bibliográficas**

---

Álvarez, J. (2009). *Sistemas de Corriente Alterna Trifásicos*.

Anónimo. (s.f.). *Prácticas de Física: Medidas en Circuito de Corriente Continua*.

Chapman, S. J. (s.f.). *Máquinas Eléctricas*. MvGrawHill .

Couto, A. O. (s.f.). *La Electricidad: Conceptos, fenómenos y magnitudes eléctricas*.

Obtenido de Xunta de Galicia: Consellería de Cultura, educación e ordenación universitaria: <http://www.edu.xunta.gal>

Estevenson, W. D. (1975). *Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia*. México: McGraw-Hill Book Co., U.S.A.

Pozueta, M. A. (2010). *Corriente alterna mono y trifásica*. España: DEpartamento de Ingeniería EEléctrica y Energética - Universidad de Cantabria .