



La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN LA EMPRESA THE TESALIA
SPRINGS COMPANY S.A.: IMPLEMENTACIÓN Y
ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

JHON JAIRO REINOSO RAMÍREZ
jhon_reinoso@hotmail.com

DIRECTOR: DR. ING. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ
gsalazaryopez@gmail.com

CO-DIRECTOR: DR. ING. JORGE ANDRÉS ROSALES ACOSTA
androsaco@gmail.com

Quito, Febrero 2016

DECLARACIÓN

Yo, Jhon Jairo Reinoso Ramírez declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jhon Jairo Reinoso Ramírez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jhon Jairo Reinoso Ramírez, bajo mi supervisión.

DR. ING. GABRIEL SALAZAR Y.
DIRECTOR DEL PROYECTO

DR. ING. ANDRÉS ROSALES
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar con éxito este nuevo paso y a mi familia por el apoyo constante que me han brindado en cada etapa de mi vida. Ustedes son quienes inspiran cada logro y me motivan a alcanzar nuevas metas.

A mis compañeros de la carrera de Ingeniería Eléctrica, con los que compartí gratas experiencias y ahora los considero valiosos amigos.

A la empresa The Tesalia Springs Company S.A., por el apoyo en la ejecución de las tareas aquí desarrolladas, a los ingenieros Patricio Cunalata y Hernán Taco quienes brindaron su ayuda y permitieron concluir de manera satisfactoria con los objetivos planteados.

Al Doctor Ing. Gabriel Salazar y Doctor Ing. Andrés Rosales por el tiempo que dedicaron, brindando con acertada dirección un camino al desarrollo de este proyecto.

Agradezco a todas las personas que directa e indirectamente han aportado en el desarrollo de este trabajo, que hoy culminó satisfactoriamente, dando así un gran paso en mi vida.

Jhon Reinoso

DEDICATORIA

Por todo el esfuerzo y apoyo constante, dedico este trabajo a mis padres, quienes supieron apoyarme en cada etapa, por sus valiosos consejos y su ejemplo, que inspira cada nuevo paso en mi camino.

Jhon Reinoso

CONTENIDO

RESUMEN	XII
PRESENTACIÓN	XIV
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 ALCANCE Y METAS	4
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
1.6 PROYECTO SISTEMA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA	5
CAPÍTULO 2	9
MARCO TEÓRICO Y DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA FÁBRICA	9
2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA	9
2.2 INDICADORES ENERGÉTICOS	9
2.3 DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO	11
2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA	11
2.4.1 AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LA INDUSTRIA	12
2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	13
2.5.1 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PARA BEBIDAS EN ENVASES RETORNABLES	13
2.5.1.1 Desencajonadora y Banda Transportadora	15
2.5.1.2 Lavado de Botellas	15
2.5.1.3 Mezclado y Control de Calidad de la Bebida	16
2.5.1.4 Llenado y Tapado	16
2.5.1.5 Codificado, Etiquetado y Control del Producto Terminado	17
2.5.1.6 Encajonadora, Empaquetado y Almacenamiento	17

2.5.2	LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PARA BEBIDAS ENVASADAS EN DE PLASTICO PET NO RETORNABLE	18
2.5.2.1	Carga de Preforma en Tolva	19
2.5.2.2	Soplado de Botellas	20
2.5.2.3	Transporte Neumático	20
2.5.2.4	Rinseado, Llenado y Tapado.....	21
2.5.2.5	Codificado y Etiquetado.....	22
2.5.2.6	Inspección de Calidad del Producto.....	23
2.5.2.7	Embalado y Termofijado.....	24
2.5.2.8	Empaquetado y Empaletizado.....	24
2.5.2.9	Control de Calidad del Proceso.....	25
2.6	DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA FÁBRICA.....	25
2.6.1	LEVANTAMIENTO DE CARGA INSTALADA.....	26
2.6.1.1	Transformador TT1 de 750 kVA.....	31
2.6.1.2	Transformador TT2 de 500 kVA.....	35
2.6.1.3	Transformador TT3 de 1500 kVA.....	38
2.6.1.4	Transformador TT4 de 600 kVA.....	41
2.6.1.5	Transformador TT5 de 600 kVA.....	43
2.6.1.6	Transformador TT6 de 1000 kVA.....	46
2.6.1.7	Transformador TT7 de 750 kVA.....	48
2.6.1.8	Transformador TT8 de 1500 kVA.....	49
2.6.1.9	Transformador TT9 de 1500 kVA.....	51
2.6.1.10	Carga Total Instalada en la Fábrica.....	53
2.6.2	ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	54
2.6.2.1	Tipo de Tarifa Eléctrica para la Fábrica	55
2.6.2.2	Consumo de Energía Eléctrica en la Planta Embotelladora.....	56
2.6.2.3	Análisis Energético en la Planta Embotelladora	58
2.6.2.3.1.	Intensidad Energética	61
2.6.2.3.2.	Costo Energético.....	61
2.6.3	CAPACIDAD INSTALADA DE BOMBEO DE AGUA.....	62
2.6.4	CAPACIDAD INSTALADA DE CONSUMO DE CO ₂	63

CAPÍTULO 3	64
DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CONSUMO DE RECURSOS	64
3.1 MEDICIÓN DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS.....	64
3.1.1 TRANSFORMADORES DE MEDIDA	64
3.1.1.1 Definiciones Generales.....	65
3.1.1.2 Transformadores de Corriente	66
3.1.1.2.1 Tipos de Transformadores de Corriente.....	66
3.1.1.2.2 Tipos de Conexión de Transformadores de Corriente	68
3.1.1.3 Transformadores de Potencial	69
3.1.1.3.1 Errores en los Transformadores de Potencial	69
3.1.1.3.2 Tipos de Conexión de Transformadores de Potencial	70
3.1.2 MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	70
3.1.2.1 MEDIDORES DE ENERGÍA DIGITALES.....	71
3.1.2.1.1 Diagrama de Bloques Básico.....	71
3.1.3 MEDICIÓN DE ENERGÍA EN LA FÁBRICA.....	73
3.1.3.1 Diseño del Sistema de Medición Independiente	73
3.1.3.1.1 Medición Independiente en Transformadores	74
3.1.3.1.2 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT1	75
3.1.3.1.3 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT2	76
3.1.3.1.4 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT3	76
3.1.3.1.5 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT5	77
3.1.3.1.6 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT6	77
3.1.3.2 Dimensionamiento de Transformadores de Corriente	77
3.1.3.2.1 Tipos de conexión de los Transformadores de Corriente	79
3.2 MEDICIÓN DE CAUDALES MÁSICOS Y VOLUMÉTRICOS.....	81
3.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEDIDORES DE CAUDAL.....	81
3.2.2 MEDIDORES DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICOS	82
3.2.2.1 Ventajas y Desventajas de los Medidores Electromagnéticos	83
3.2.2.2 Montaje del Sensor de Caudal	83
3.2.2.3 Montaje del Transmisor de Caudal	84
3.2.2.4 Características Requeridas para la Medición de Caudales Volumétricos.....	85
3.2.3 MEDIDORES DE CAUDAL CORIOLIS	86
3.2.3.1 Ventajas y Desventajas de los Medidores Coriolis	87

3.2.3.2	Consideraciones para su Instalación	87
3.2.3.3	Características Requeridas para la Medición de Caudales Másicos de CO ₂	88
CAPÍTULO 4	89
IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS Y PROGRAMACIÓN NECESARIA PARA EL NUEVO SISTEMA DE MONITOREO	89
4.1	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	89
4.2	EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	90
4.2.1	MEDIDOR DE ENERGÍA SENTRON PAC 3200.....	90
4.3	EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL	92
4.3.1	MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO DE CAUDAL VOLUMÉTRICO	92
4.3.1.1	Sensor MAG 1100 Food.....	92
4.3.1.2	Transmisor de Caudal MAG 6000	94
4.3.2	MEDIDOR CORIOLIS DE CAUDAL MÁSIICO	94
4.3.2.1	Sensor Sitrans MASS 2100.....	95
4.3.2.2	Transmisor de Caudal Sitrans FC MASS 6000.....	96
4.4	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.....	97
4.4.1	REQUERIMIENTOS DE PUERTOS DE COMUNICACIÓN.....	97
4.4.1.1	Puertos de Comunicación.....	97
4.4.1.2	Requerimientos de Estandarización.....	97
4.4.2	CONTROLADOR SIMATIC S7-1200.....	98
4.4.2.1	Funcionalidades de la Interfaz Web	99
4.4.2.2	Lógica de Programa Implementada en el PLC S7-1200	100
4.4.2.2.1	Estructura del Programa	100
4.4.2.2.2	Programa Principal.....	101
4.4.2.2.3	Subrutinas de Comunicación con los Medidores	101
4.4.2.2.4	Subrutinas de Comunicación con PLC S7-300	103
4.4.2.2.5	Subrutinas de Creación de Registros Históricos	104
4.4.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE S7-300	106
4.4.3.1	Integración de Buses de Campo	106
4.4.3.2	Lógica de Programa Implementada en el PLC S7-300	108
4.4.3.2.1	Estructura del Programa	108
4.4.3.2.2	Subrutinas de Comunicación con Sensores de Caudal.....	109
4.4.3.2.3	Subrutinas de Comunicación con PLC S7-1200	111

4.5	RED DE COMUNICACIÓN DE MEDIDORES Y CONTROLADORES PROGRAMABLES.....	112
4.6	SISTEMA DE MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE DATOS	113
4.6.1	FUNCIONALIDAD REQUERIDA PARA LA INTERFAZ HMI	113
4.6.2	ESTRUCTURA DE LA INTERFAZ DE OPERADOR HMI.....	114
4.6.2.1	Pantalla Principal	115
4.6.2.2	Pantalla 1 de Medición General de Energía Eléctrica	115
4.6.2.3	Pantalla 2 de Medición General de Energía Eléctrica	116
4.6.2.4	Pantalla Detalle de Parámetros Eléctricos por Transformador	117
4.6.2.5	Pantalla Curva de Potencia por Área Monitoreada.....	118
4.6.2.6	Pantalla Consumo de Energía por Área Monitoreada	118
4.6.2.7	Pantalla Monitoreo de Caudales de Agua y CO ₂	119
4.6.2.8	Pantalla 1 de Medición de Caudales y Totalizador	119
4.6.2.9	Pantalla Consumo de Agua o CO ₂ por Área Monitoreada.....	120
CAPÍTULO 5	121
ANÁLISIS DE DATOS REGISTRADOS Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO	121
5.1	DATOS DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	121
5.1.1	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FÁBRICA	121
5.1.2	ANÁLISIS DE CURVAS DE CARGA EN CADA ÁREA.....	127
5.1.2.1	Máxima Variación de Voltaje Admisible	128
5.1.2.2	Máxima Variación de Factor de Potencia Permitida	128
5.1.2.3	Factor de Utilización y Factor de Carga	129
5.1.3	CURVA DE CARGA DE LA FÁBRICA.....	129
5.1.3.1	Curva de Carga en el Transformador TT1	130
5.1.3.1.1	Valores Recopilados para Cargas conectadas a TT1.....	132
5.1.3.2	Curva de Carga en el Transformador TT2	132
5.1.3.3	Curva de Carga en el Transformador TT3	134
5.1.3.3.1	Valores Recopilados para Cargas conectadas a TT3.....	135
5.1.3.4	Curva de Carga en el Transformador TT4	136
5.1.3.5	Curva de Carga en el Transformador TT5	138
5.1.3.6	Curva de Carga en el Transformador TT6	139
5.1.3.7	Curva de Carga en el Transformador TT8	140
5.1.3.8	Curva de Carga en el Transformador TT9	142

5.2	DATOS DE MEDICIÓN DE CONSUMO DE AGUA.....	144
5.3	DATOS DE MEDICIÓN DE CONSUMO DE CO ₂	145
CAPÍTULO 6.....		147
PRUEBAS Y RESULTADOS		147
6.1	PRUEBAS DEL SISTEMA MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	147
6.1.1	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN Y CONFIGURACIÓN.....	148
6.1.2	PRUEBAS DE VALORES OBTENIDOS POR MEDICIÓN	152
6.1.2.1	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT1	152
6.1.2.2	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT2.....	152
6.1.2.3	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT3.....	153
6.1.2.4	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT4.....	154
6.1.2.5	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT5.....	154
6.1.2.6	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT6.....	155
6.1.2.7	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT8.....	155
6.1.2.8	Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT9.....	156
6.2	PRUEBAS DEL SISTEMA MEDICIÓN DE CAUDAL MÁSIKO Y VOLUMÉTRICO.....	157
6.2.1	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN Y CONFIGURACIÓN.....	157
6.2.2	PRUEBAS DE VALORES OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN.....	158
CAPÍTULO 7.....		160
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		160
7.1	CONCLUSIONES	160
7.2	RECOMENDACIONES.....	162
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		164
ANEXOS.....		167
	ANEXO A: PLIEGO TARIFARIO MAYO DEL 2015 [32].....	168
	ANEXO B: PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TCs	170
	ANEXO C: PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TPs	174
	ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DE MEDIDORES DIGITALES	176
	ANEXO E: CARACTERÍSTICAS DE TCs CAMSCO.....	179
	ANEXO F: CARACTERÍSTICAS DE MEDIDORES SENTRON PAC 3200	181
	ANEXO G: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PLC S7-1200	184

RESUMEN

La fábrica The Tesalia Springs Company ha ido incrementando la capacidad de producción en su planta embotelladora, siendo necesario realizar un monitoreo constante del consumo de recursos como la energía eléctrica, para reducir al mínimo las posibles pérdidas originadas en varias líneas de producción. De acuerdo a políticas de ahorro energético, se busca intervenir en la eficiencia de los procesos, representando un factor importante de ahorro para la empresa.

El presente proyecto trata de la implementación de un sistema inteligente de medición de energía eléctrica, caudal volumétrico de agua y caudal másico de CO₂, a ser instalado en la fábrica The Tesalia Springs Company, con el objetivo de registrar los valores de consumo de energía eléctrica y recursos, requeridos para la elaboración de productos embotellados. Esto permitirá a futuro diagnosticar el nivel de eficiencia respecto a la utilización de recursos en cada proceso productivo.

El desarrollo de este sistema constituye el primer paso para realizar una futura evaluación de posibles mejoras, encaminadas a un óptimo aprovechamiento de la energía eléctrica y demás recursos. Es importante realizar esta medición separando cada una de las líneas de producción, puesto que de esta manera se logrará identificar las áreas o procesos donde se producen las mayores pérdidas.

Previo al desarrollo del diseño propuesto, se realizó un levantamiento de carga para conocer el valor de potencia instalada en la fábrica. En base a esta información y a otros requerimientos de la empresa, se implementó el sistema considerando disponer del monitoreo en ocho transformadores y en cada línea de proceso, de manera independiente.

El sistema de medición está constituido por veintidós medidores digitales de energía, caudalímetros electromagnéticos y coriolis para medir caudal volumétrico y másico respectivamente, controladores programables Siemens S7-1200 y S7-300, además de switches de comunicación utilizados para ampliar la capacidad de la red ethernet industrial. Este sistema permite el monitoreo de parámetros eléctricos y consumo de energía en ocho transformadores, adicional a la medición independiente en diferentes procesos productivos. También se adquiere y registra valores de consumo de agua y CO₂ en varias líneas de producción.

Se implementa una interfaz HMI en una computadora, que permite visualizar y almacenar las mediciones adquiridas de los medidores de energía y caudalímetros, para tener un adecuado manejo de la información del consumo en la fábrica, creando históricos de datos almacenados cada diez minutos.

Luego de la implementación del sistema de medición planteada en este proyecto y en base a las pruebas realizadas, se puede concluir que los objetivos proyectados inicialmente se cumplieron satisfactoriamente.

PRESENTACIÓN

A nivel mundial se busca incrementar la eficiencia energética, es decir, disminuir el consumo de energía, sin que esto reduzca el nivel de confort o la cantidad de productos elaborados. En Ecuador se ha desarrollado programas enfocados al aprovechamiento del potencial de nuevas fuentes de energías, y a su utilización eficiente. Para que estos programas tengan éxito se debe promover un adecuado consumo de los recursos energéticos, principalmente en los sectores industrial, comercial, residencial y de transporte, generando en la sociedad una cultura de ahorro, y conciencia ambiental.

Para optimizar un proceso, es necesario medir sus parámetros. Es muy importante conocer la situación actual de una fábrica y poder monitorearla, para poder intervenir de manera adecuada e incrementar la eficiencia en sus procesos. En base a este concepto se propone el siguiente proyecto, que está orientado al desarrollo del sistema de monitoreo de consumo de energía, así como también consumo de agua y CO₂, realizando mediciones en distintas líneas de producción y centralizando los valores obtenidos que son almacenados en un ordenador.

Este proyecto mediante el cual se desarrolla un sistema de medición inteligente de energía eléctrica, tiene como principal objetivo el implementar los equipos y programación necesaria que permitan el monitoreo y visualización de varias líneas de producción. El desarrollo del proyecto hasta la etapa de implementación y pruebas se encuentra descrito en este documento y organizado en siete capítulos que se resumen a continuación.

El capítulo uno inicia con una introducción del impacto que tiene la eficiencia energética en la economía de un país, y la importancia que se le ha dado a nivel nacional e internacional. A continuación se mencionan los programas impulsados en el Ecuador, con la finalidad de incrementar la eficiencia en el uso de recursos energéticos en sectores productivos. Luego se analiza los objetivos y alcances planteados para este proyecto.

El capítulo dos describe los procesos productivos de la fábrica, analizando mediante un levantamiento de carga, la potencia instalada actualmente. Se relaciona el desarrollo del presente trabajo con definiciones de eficiencia y auditorías energéticas en la industria.

En el capítulo tres, se describen las características técnicas que especifican los equipos requeridos en la implementación del sistema de medición. En este capítulo se realiza un dimensionamiento de los equipos como transformadores de corriente y sensores de caudal, en base a la información recopilada y a las mediciones realizadas en sitio.

En el capítulo cuatro, se describen los equipos utilizados en el nuevo sistema de medición inteligente de energía, además mediante diagramas de flujo, se representa la lógica de programa utilizada para la comunicación entre dispositivos de medición y PLCs. Se describe además la estructura y funcionalidad de la interfaz HMI, que permite la visualización y supervisión de las mediciones adquiridas en varias líneas de proceso.

En el capítulo cinco se realiza un análisis de los datos recopilados en cada área donde se realiza la medición con el nuevo sistema, se presentan los resultados resumidos de parámetros eléctricos y valores de consumo de CO₂ y agua.

En el capítulo seis se detallan las pruebas realizadas para comprobar la fiabilidad de los valores adquiridos desde los medidores de energía y de caudal. Se realizan pruebas de comunicación en cada equipo conectado a la red ethernet industrial, y además se contrastan los valores obtenidos con los medidores instalados y con analizadores de energía conectados durante un período de tiempo específico.

Finalmente en el capítulo siete se presentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo de este proyecto y se dan algunas recomendaciones, para garantizar la adecuada adquisición de señales en la HMI.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un recurso que debe ser aprovechado y utilizado de manera eficiente, es decir, reducir pérdidas para disminuir el consumo, obteniendo el mismo beneficio o alcanzando el mismo nivel de producción. Se busca el mayor rendimiento, sin afectar la calidad del proceso.

El factor económico se distancia de la acepción principal de eficiencia energética, pero es necesaria al momento de justificar el nivel de consumo. Mediante un diagnóstico energético bien estructurado es posible identificar las áreas que son afectadas por la pérdida de energía o mal uso de los recursos existentes, a fin de tener la información necesaria, que permita emprender un estudio de renovación para disminuir o eliminar los consumos innecesarios. El crecimiento económico y desarrollo tecnológico conlleva a una creciente demanda de energía eléctrica, lo cual ha incentivado en los últimos años a promover el uso eficiente de los recursos, a fin de evitar la pérdida injustificada de energía, sin disminuir la calidad de la producción. La mejora en el aspecto de consumo energético se logra a través de la implementación de buenas prácticas de producción, en la operación y mantenimiento, además de la sustitución de tecnología obsoleta e implementación de equipos de alta eficiencia.

En el Ecuador, se está incentivando el desarrollo de programas enfocados al aprovechamiento del potencial de fuentes de energía renovable, sustituyendo la gran dependencia y demanda de combustibles fósiles, con la reestructuración de la matriz energética propuesta en el Plan del Buen Vivir y detallada en el Plan Maestro de Electrificación; generando nuevas alternativas para promover un consumo eficiente de los recursos energéticos, principalmente en los sectores industrial, comercial, residencial y de transporte, con la finalidad de generar en la sociedad una cultura de ahorro, y conciencia ambiental [1].

Se necesita medir, lo que se requiere optimizar. En base a esta premisa se propone el siguiente proyecto, que está orientado al desarrollo del sistema de monitoreo de consumo de energía, así como también de consumo de agua y CO₂, especificando las mediciones por línea de producción. Se considera centralizar los valores de consumo obtenidos en la fábrica y almacenarlos en un ordenador.

El objetivo de diagnosticar el nivel de eficiencia en el consumo de recursos para la elaboración de productos envasados, es promover la mayor productividad en la planta embotelladora THE TESALIA SPRINGS COMPANY S.A. En esta fábrica se envasa productos de marcas como: Tesalia, Güitig, Pure Water, Aqua Bella, Pepsi, Seven Up, Tropical, Manzana, Más, Gallito, Quintuples, 220V, entre otros. Los costos de energía eléctrica constituyen los más significativos dentro de los costos totales de los procesos de producción, por este motivo un consumo adecuado permitirá a la empresa incrementar la eficiencia en la producción.

1.2 ANTECEDENTES

En la actualidad se ha visto la necesidad de optimizar el uso de los recursos, reduciendo el consumo innecesario e innovando los procesos de producción existentes, para incrementar efectivamente la productividad sin afectar la calidad de los productos comercializados o servicios prestados.

En el Ecuador se busca el desarrollo económico y social, minimizando el impacto ambiental y la degradación de recursos que comprometan la definición del Buen Vivir, es por esto que a través del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables se plantea programas que buscan un alto aprovechamiento de los recursos y la eficiencia energética para varios sectores, principalmente el industrial, para lo cual implementó el Proyecto: "Eficiencia Energética para la Industria (EEI)", como una herramienta de desarrollo sostenible, que permita integrar a las empresas sistemas de gestión de energía basados en la norma ISO 50001 (Sistema de Gestión Energética) donde se recalca la importancia de la Eficiencia Energética [2].

The Tesalia Springs Company ha ido incrementando la capacidad de producción en su planta embotelladora, siendo necesario realizar un monitoreo del consumo de recursos, para reducir al mínimo las posibles pérdidas originadas en varias líneas de producción. De acuerdo a políticas de ahorro energético, se está buscando nuevas formas para reducir las pérdidas, que representarían un factor importante en el ahorro de la empresa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de medición de energía eléctrica y consumo de recursos como agua y CO₂, en la empresa TESALIA SPRINGS COMPANY S.A., que permita centralizar y procesar datos, con el objetivo de almacenarlos y acceder a históricos, para analizar los valores de energía eléctrica y caracterizar el consumo de recursos utilizados para la elaboración de productos embotellados.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la selección de equipos como medidores, sensores y PLC, además de su interconexión y comunicación, para centralizar la información obtenida y generar bases de datos en una computadora.
- Desarrollar las aplicaciones requeridas para la comunicación entre equipos, además del procesamiento y almacenamiento de información, obteniendo datos independientes de voltajes, corrientes, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva y consumo de energía para cada línea de producción en la planta embotelladora.
- Implementar una interfaz de usuario que permita monitorear los datos en tiempo real, supervisando el consumo de energía eléctrica, agua y CO₂; a fin de caracterizar el consumo.

1.4 ALCANCE Y METAS

El proyecto cubre los siguientes aspectos:

- Recopilar información respecto a la carga instalada en cada una de las líneas de producción en las que se va a instalar los medidores de energía, además de un estimado de consumo de agua y CO₂, que permita realizar un análisis previo del estado actual de la fábrica.
- Presentar las especificaciones técnicas de los equipos y sensores a utilizarse, además de los diagramas de interconexión, de acuerdo a los requerimientos de la empresa.
- Realizar el montaje, conexión y pruebas de comunicación, además de la programación de los PLCs, parametrización de sensores y configuración de medidores de energía. Desarrollar una interfaz de usuario en una computadora, para visualización de datos de consumo en tiempo real y acceder a históricos.
- Realizar el análisis de las mediciones de consumo de energía eléctrica que serán almacenadas en una base de datos.

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La tendencia mundial ha mostrado un crecimiento de la economía, muy apegada al incremento de la demanda energética, esto se debe a que la economía requiere de la energía para su desarrollo. Por este motivo, el sector energético es estratégico para la economía de cualquier país y tiene a los recursos naturales como la base económica, social y medioambiental del desarrollo sostenible.

En los últimos años se ha dado gran importancia a impulsar la diversificación de la matriz energética en el Ecuador, con grandes proyectos de generación hidroeléctrica como son: Coca Codo Sinclair, Delsitanisagua, Manduriacu, Mazar Dudas, Minas San Francisco, Quijos, Sopladora, Toachi Pilatón y Villonaco [3].

Por consiguiente se busca también un aprovechamiento óptimo de los recursos, en donde se garantice la eficiencia en cada sector de consumo. Para llevar a cabo el desarrollo de un programa de eficiencia energética se requiere establecer estándares nacionales relacionados con sistemas de gestión de energía y optimización en procesos industriales, además de la concientización de las partes involucradas por medio de capacitaciones periódicas.

De acuerdo al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), la industria es el sector productivo que requiere el 31 % del total de energía, además presenta el mayor crecimiento de consumo, correspondiente al 94 % (estadísticas del año 2012), según lo detalla el Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022. Es por este motivo, que las medidas de eficiencia energética deben enfocarse entre otros, a este sector [4].

El uso eficiente de las distintas fuentes de energía constituye una estrategia para preservar los recursos no renovables, es decir, incluir fuentes alternativas de energía que sean aprovechadas de manera adecuada por la industria, incorporando equipos de alta eficiencia, que permitan conservar un estándar de calidad propio, con la finalidad de mejorar su nivel competitivo y a la vez ser amigables con el ambiente, disminuyendo los costos totales de producción de los bienes y servicios entregados.

1.6 PROYECTO SISTEMA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para poder evaluar el nivel de consumo de energía en una industria y establecer un diagnóstico inicial respecto al aprovechamiento de los recursos, es necesario realizar mediciones de parámetros eléctricos y utilización de otros recursos, que permitan desarrollar un sistema de gestión que plantee medidas orientadas a la eficiencia energética en cada uno de los procesos, evaluando los puntos donde se lograría mejoras significativas.

De acuerdo al alcance planteado para este proyecto, se propone la implementación de un sistema de medición que integre un SCADA de monitoreo, mediante el cual se visualice en tiempo real el consumo de energía eléctrica, así como también el de agua y CO₂, generando datos históricos que contribuyan a un análisis enfocado al aprovechamiento eficiente de energía, que lo podría realizar la empresa en cualquier momento. La estructura del sistema de medición desarrollado considera arquitecturas de comunicación industrial compatibles a los existentes en la fábrica.

Para garantizar la sustentabilidad de las medidas adoptadas al momento de mejorar la eficiencia de la cadena de producción, es necesario realizar un monitoreo constante que colabore en las etapas complementarias al proyecto planteado, mismas que corresponden a: estimación de potencial de ahorro, factibilidad técnica y económica e implementación.

Los dispositivos de medición de energía eléctrica a utilizarse en la fábrica son Sentron PAC 3200 marca Siemens, equipos que garantizan un adecuado rendimiento, seguridad, medición fiable y cumplen con los requerimientos solicitados en instalaciones industriales modernas. Con la implementación de estos equipos de manera independiente en los tableros principales de cada línea de producción, se podrá monitorear de manera efectiva parámetros eléctricos e identificar las cargas con alto consumo energético, permitiendo optimizar el mantenimiento. Los protocolos de comunicación con los cuales el Sentron PAC es compatible son Profibus DP (Periferia Descentralizada) que se aplica sobre un bus de comunicación de campo y Modbus TCP (Protocolo de Control de Transmisión) que se aplica sobre ethernet industrial.

Los sensores y transmisores utilizados para medición de caudales de agua y CO₂ son Sitrans FM marca Siemens, equipos que permiten tener gran compatibilidad con controladores utilizados en la fábrica, cumplen con estándares internacionales que garantizan una medición fiable. Se considera además que los mismos deben ser calibrados de manera periódica para asegurar que los datos adquiridos son los reales.

Los puntos en donde se realizará la medición de caudal, se dejan a criterio de la empresa, sin embargo estos permitirán la identificación de consumo para cada línea de producción. Se podrán monitorear de manera efectiva parámetros como caudal y valor totalizado. Los protocolos de comunicación con los cuales los transmisores reportan los datos al PLC son Profibus DP y Profibus PA (Automatización de Procesos). Estos protocolos se los utiliza ampliamente para buses de campo, es decir equipos descentralizados e instrumentación de proceso.

En la interfaz HMI, se podrán visualizar los parámetros de energía eléctrica, generándose bases de datos con los valores de corrientes, tensiones, potencias, factor de potencia y energía consumida. Estos históricos se crean para cada una de las líneas de producción, permitiendo así la elaboración del perfil de consumo para realizar a futuro un diagnóstico energético detallado. Se considera también como requerimiento la fiabilidad del monitoreo y adquisición de datos, que facilite la detección de los puntos de mayor consumo en toda la fábrica, además de la integración a un sistema de control o gestión energética.

Los equipos que representan el mayor porcentaje de carga son: motores eléctricos y compresores. La eficiencia de motores en las industrias, es un campo muy amplio con grandes oportunidades en el ahorro de energía. Se considera este aspecto al momento de determinar los puntos que requieren un monitoreo especial.

En la Figura 1.1 se esquematiza la interconexión de equipos, especificando los buses de comunicación utilizados de acuerdo a las características de los módulos suministrados para el proyecto. En el caso de la medición de caudal volumétrico de agua (litros/minuto), los 9 dispositivos se comunican a través Profibus PA, requiriendo un módulo conversor de protocolo a Profibus DP.

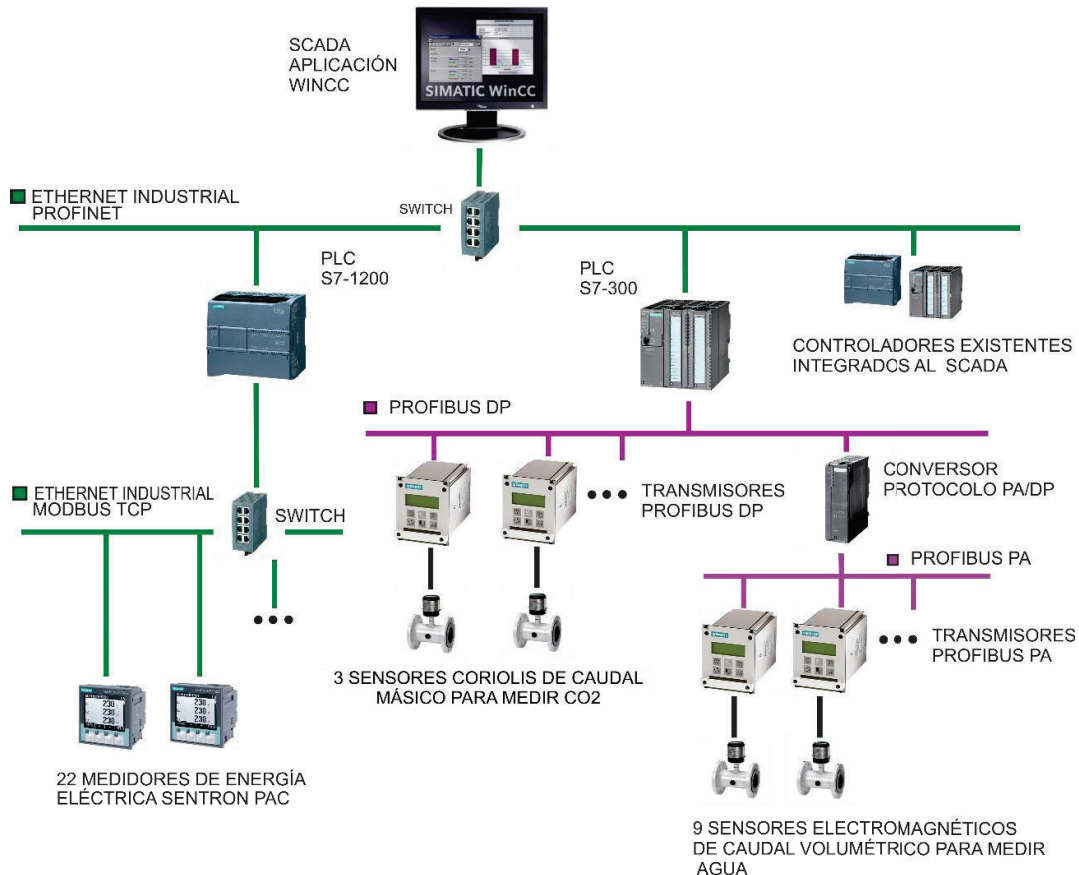


Figura 1.1 Esquema de comunicaciones utilizado para el sistema de medición de energía eléctrica y caudal

Para la medición de caudal másico de CO₂ (kilogramo/minuto), los 3 transmisores se conectan al bus Profibus DP, al cual se enlaza el controlador programable marca Siemens S7-300. Para la medición de energía eléctrica se tiene una red ethernet industrial, en la cual se enlazan los 22 medidores Sentron PAC 3200 al PLC S7-1200 bajo protocolo modbus TCP. En este controlador se centraliza la información entregada por los 22 medidores.

En la red ethernet industrial con protocolo de comunicación profinet se conectan los controladores programables propuestos en este proyecto, además de los existentes en varias máquinas. Los parámetros de caudal y energía eléctrica, adicional a otros correspondientes a procesos ya existentes, se monitorean y almacenan en una interfaz HMI desarrollada en WINCC e implementada en una computadora.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA FÁBRICA

2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

A nivel mundial crece la demanda de recursos energéticos, que en gran porcentaje son no renovables, y esto provoca que a lo largo de los años comiencen a escasear. Con este antecedente, la eficiencia energética plantea mejoras del lado de la oferta (SSM Supply Side Management) así como de la demanda (DSM Demand Side Management) [5].

Para la oferta se busca nuevas fuentes de generación de energía, que garanticen sostenibilidad siendo amigables con el medio ambiente. Por parte de la demanda se tiene como objetivo principal reducir el consumo de energía sin afectar la calidad del producto o servicio, esto se logra disminuyendo las pérdidas en los procesos de producción. Este ahorro de energía permite minimizar el impacto ambiental y reducir los costos de elaboración, lo que representa para la empresa una mayor competitividad.

La eficiencia energética en el lado del consumidor, es el complemento requerido para garantizar un óptimo resultado en la utilización de fuentes de energía renovables. En base a esto, las políticas de eficiencia adoptadas hace varios años en países de Europa, América del Norte y Asia, se han enfocado en la conservación de energía desde el lado de la demanda, por ser aquel sector el que requiere una renovación tecnológica que vaya acorde con la realidad mundial actual [6].

2.2 INDICADORES ENERGÉTICOS

Los indicadores energéticos son medidas que cuantifican el grado de aprovechamiento de energía utilizada a niveles finales de consumo y permiten evaluar las tendencias a nivel macroeconómico y sectorial. Estos indicadores deben ser basados en balances energéticos fiables y se pueden clasificar en económicos y técnico-económicos. Los indicadores energéticos económicos relacionan el consumo energético primario o final, respecto a una variable económica, como el Producto Interno Bruto (PIB). Por lo tanto, este es un indicador de productividad de la energía más que de eficiencia desde un punto de vista técnico. Los indicadores más empleados son eficiencia, consumo e intensidad energética, que se utilizan para abarcar la totalidad de una economía o sector. Para el análisis con estos datos se requiere obtener los balances de energía regionales que en el caso de países latinoamericanos los realiza la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Los indicadores energéticos técnico-económicos como el consumo unitario, describe la relación entre la energía utilizada respecto a las unidades de producto elaborado o unidad económica generada. Estos indicadores permiten comparar el nivel de consumo con relación a otras empresas del sector y están vinculados al análisis de emisión de gases de efecto invernadero u otros contaminantes y al agotamiento de recursos energéticos [7].

No existen acuerdos internacionales específicos respecto a la reducción de estos indicadores, sin embargo los convenios enfocados a la disminución de emisiones de CO₂ al ambiente, como el Protocolo de Kyoto, ratificado hasta 2020 en Doha (Qatar), en la XVIII Cumbre Climática de la ONU el año 2012, pueden influir en la mejora de la eficiencia y la reducción de la intensidad energética, para un desarrollo sostenible. Muchos países industrializados han mostrado su compromiso con los objetivos planteados, enfatizando su aplicación en industrias de alto consumo energético.

2.3 DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO

De acuerdo al punto en donde se analice el potencial energético de un país, la energía puede ser primaria o final, además, ésta energía puede ser de fuentes renovables o no renovables. Se denomina energía primaria, aquella que se encuentra disponible en la naturaleza (petróleo, carbón, gas natural, entre otros), y requiere ser transformada a otra forma de energía que pueda ser almacenada, transportada y finalmente utilizada.

Se considera como energía final, a la utilizada por los sectores de la economía (residencial, transporte, industrial y servicios). La demanda de esta energía se define como la cantidad requerida por determinado sector de consumo. A su vez el consumo energético es el gasto de energía final que realmente se cuantifica.

Para reducir el consumo energético y cumplir con los objetivos de reducción del impacto ambiental y las emisiones de CO₂, se plantea dos maneras: reducir las actividades de mayor consumo de energía o aumentar la eficiencia en su utilización. Un ejemplo de mejora de la eficiencia energética se aprecia en la sustitución de combustibles fósiles por electricidad.

2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA

La industria para muchos países, es un sector económico representativo, que evoluciona de acuerdo a las condiciones prestadas en cada economía local y a los estándares que regulan la eficiencia. Por tal motivo es importante implementar políticas que busquen el óptimo aprovechamiento de los recursos y la renovación de los procesos deficientes, para reducir pérdidas de energía, que son representadas en un costo monetario para la empresa. La energía que en la actualidad se desperdicia, podría ser aprovechada para suplir las necesidades de otro sector de consumo, o para expandir las actividades productivas de un mismo cliente.

El sector industrial enfatiza mucho en la calidad de la producción, dejando muchas veces de lado la eficiencia con la que se desarrollan sus procesos productivos. Sin embargo, la inversión en eficiencia energética permite tener una mejora sustancial en la calidad, reduciendo al mínimo el impacto ambiental.

Con el objetivo de generar un ahorro potencial e incrementar la eficiencia, se proyectan medidas para ser aplicadas dentro del sector industrial. Como primer paso se requiere la realización de auditorías energéticas, los resultados que se obtengan con este estudio permitirán identificar procesos ineficientes, para desarrollar y aplicar acciones correctivas. Entre las alternativas correctivas puede ser propuesta la renovación de equipos y procesos, mejorando la tecnología obsoleta utilizada. El desarrollo de un sistema de gestión energético permitirá la implantación de mecanismos de control, seguimiento y análisis, que garanticen un mejoramiento continuo de la eficiencia en una fábrica.

2.4.1 AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LA INDUSTRIA

Las auditorías energéticas son informes respecto al estado actual del consumo de energía en una industria, y se las elabora en base a procedimientos, que permiten identificar los subprocesos que generan pérdidas y las posibles áreas de acción donde se pueden aplicar medidas para un potencial mejoramiento y posterior ahorro. Dicho análisis se puede desarrollar únicamente para un diagnóstico o para un estudio detallado de mejoras.

De acuerdo al alcance del análisis planteado, la auditoría energética puede ser preliminar, detallada o especial. La auditoría preliminar se basa en una inspección visual que permita determinar zonas de ineficiente consumo de energía. La auditoría detallada requiere el uso de equipos de medida, para realizar un levantamiento de cargas, generando un registro de las mediciones realizadas durante varias semanas o meses. La auditoría energética especial llega a tomar registros por aparato e incluso al análisis de fallas durante un período determinado [8].

Estas auditorías permitirán cuantificar las posibilidades de mejora y su viabilidad económica, desarrollando medidas que busquen optimizar el uso de recursos naturales y energéticos, además de mejorar sustancialmente los procedimientos productivos y renovar los equipos utilizados por otros de mayor eficiencia.

Los resultados obtenidos, una vez aplicadas las medidas de mejora, se reflejarán a mediano y largo plazo, beneficiando a la fábrica con la reducción de costos y aumento de la vida útil de sus instalaciones, debido a que serán usadas en condiciones de mayor rendimiento. Se reduce también el impacto ambiental, disminuyendo el índice de emisiones equivalentes de CO₂ al ambiente.

2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Los procesos que se llevan a cabo en las distintas líneas de producción dentro de la fábrica de productos envasados, pueden resumirse en dos grandes grupos, elaboración de productos en envases retornables de vidrio y en plástico PET (tereftalato de polietileno).

2.5.1 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PARA BEBIDAS EN ENVASES RETORNABLES

Los productos que se envasan en botellas de vidrio poseen un mayor tiempo de vida útil que el envasado en PET, debido a las porosidades presentes en el polímero que permiten la fuga de gas carbónico al exterior. Por este motivo, las líneas de producción de envasado en vidrio siguen siendo parte fundamental de ésta industria. En vidrio se envasa gaseosas y agua mineral con gas, en las siguientes presentaciones: 200 ml, 234 ml, 237 ml, 300 ml, 330 ml, 700 ml y 1000 ml. En los botellones retornables con capacidad de 20 litros se envasa agua mineral sin gas.

En la Figura 2.1 se describen las etapas para la producción de bebidas en envases retornables, sean botellas de vidrio o botellones, desde que entran a la cadena de proceso hasta su almacenamiento en bodegas.

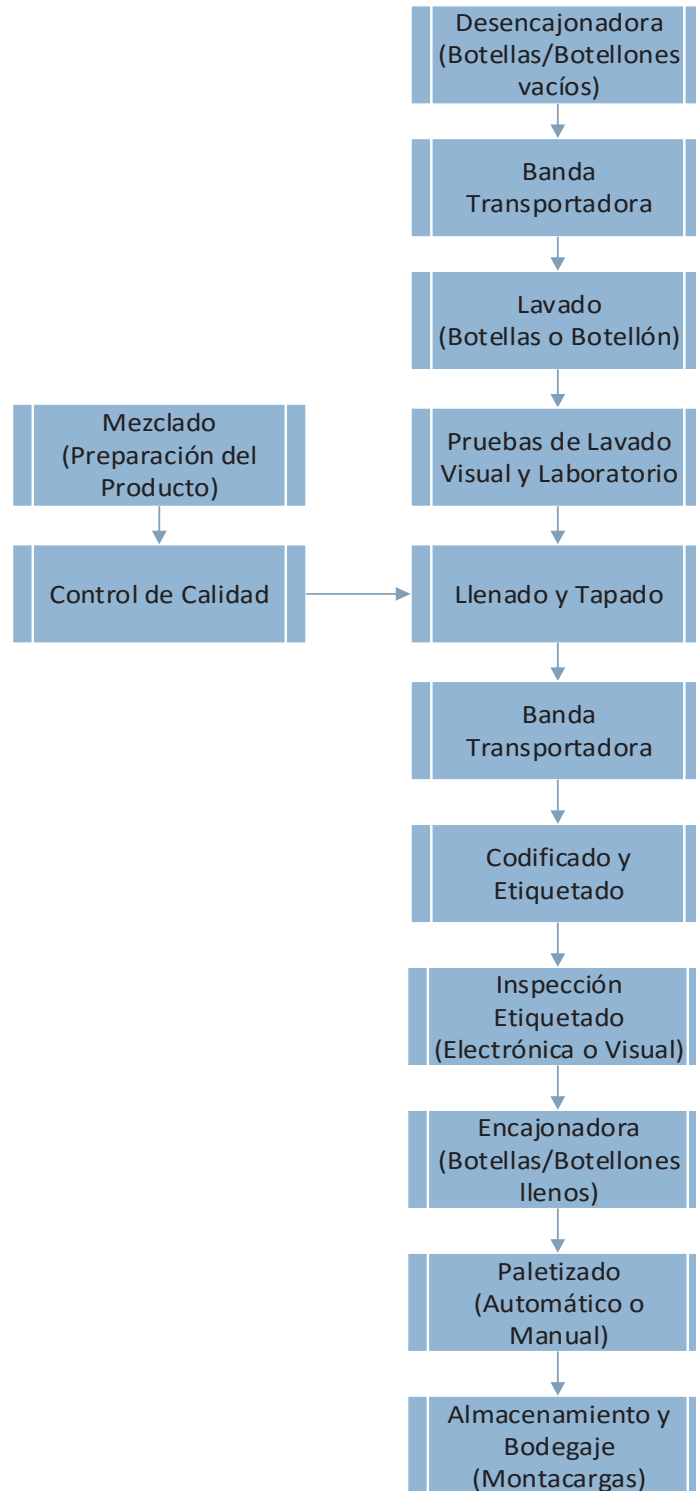


Figura 2.1 Diagrama de producción de bebidas en envases retornables

2.5.1.1 Desencajonadora y Banda Transportadora

En este subproceso, las botellas retornables de vidrio o botellones retornables son retirados de las cajas plásticas y colocados sobre una banda transportadora, que los lleva hasta la mesa de acumulación a la entrada de la lavadora de botellas o botellones.

En el caso de las botellas de vidrio, pasan por un movedor cuya función es alinearlas y repartirlas de manera individual. Por medio de un sistema de pinzas revestidas con plástico, las botellas son empujadas dentro de cavidades que las transportan al interior de la máquina lavadora.

2.5.1.2 Lavado de Botellas

La Figura 2.2 esquematiza el proceso de lavado que inicia con el ingreso de las botellas sucias a la máquina lavadora, donde se someten a una serie de subprocesos que, en gran medida, garantizan una adecuada condición sanitaria para su reutilización. Estos subprocesos son:

- Enjuague con agua y sosa cáustica,
- Períodos de remojo en sosa cáustica caliente, y
- Varios enjuagues internos y externos con agua sanitaria.

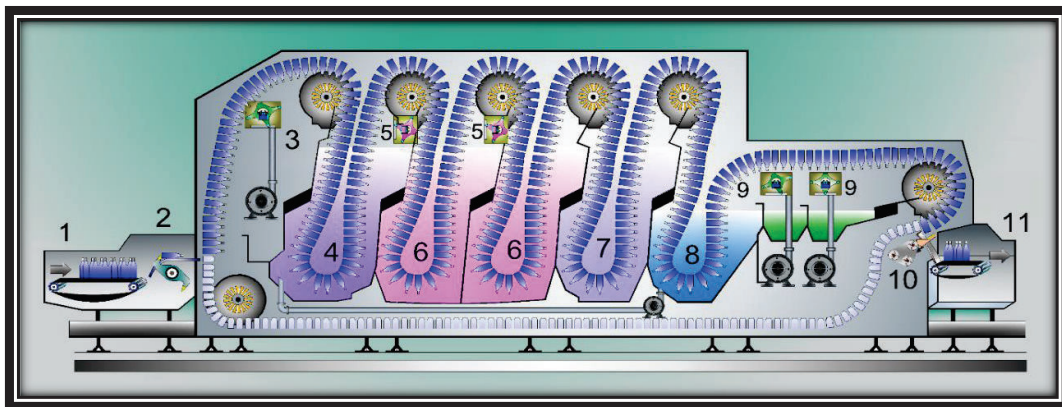


Figura 2.2 Proceso de lavado de botellas de vidrio

Fuente: Citado en línea de lavado de botellas [9]

Las botellas se escurren y, en forma mecánica, salen de las canastillas y se depositan sobre un transportador en la zona de descarga, que las conduce a la zona de inspección de envases vacíos, donde se realizan controles de calidad al lavado.

2.5.1.3 Mezclado y Control de Calidad de la Bebida

En la fábrica se destina una sala para la mezcla del jarabe, que puede ser simple, es decir una solución de azúcar en agua tratada, o simple acidificado, si se le añade algún ácido. Luego se agrega el saborizante, color y preservante. Para este fin se utilizan tanques mezcladores provistos de agitadores mecánicos y tanques de almacenamiento. Después de mezclar todos los ingredientes, se pasa el jarabe por un cernidor fino de acero inoxidable.

Una vez preparado el jarabe se adiciona agua tratada y otros componentes en cantidades específicas, de acuerdo a las recetas configuradas correspondientes a la producción requerida, que es seleccionada por el operador. Después se enfría a 4° C, para poder incorporar el gas carbónico en el carboenfriador.

Para controlar la calidad del producto se determina la densidad del jarabe (grados Baumé), la densidad de la bebida gaseosa (grados Brix) y el grado de carbonatación, utilizando como variables la presión de gas y la temperatura.

2.5.1.4 Llenado y Tapado

El producto elaborado pasa a las máquinas llenadoras para envasarlo en cantidades adecuadas que correspondan a las botellas lavadas que ingresaron al proceso. Los envases son ubicados bajo válvulas que se presionan y presurizan, esto impide que el gas salga del envase durante el proceso de llenado.

Después que el líquido alcanza el nivel de llenado, la válvula reduce la presión en el espacio libre superior y sale de la máquina. Inmediatamente y de manera automática se coloca la tapa a cada envase lleno, garantizando la hermeticidad y calidad del producto envasado.

2.5.1.5 Codificado, Etiquetado y Control del Producto Terminado

La siguiente etapa consiste en la colocación de etiquetas preimpresas de papel autoadherible en las botellas lisas de vidrio, con la información del producto contenido en el envase. Además, mediante un inyector de tinta se registra sobre la tapa, el código del número de lote y la información de fecha de caducidad del producto, tal como se muestra en la Figura 2.3.

Se procede a verificar visualmente si el producto cumple con los requerimientos y estándares de calidad manejados específicamente para este tipo de industria en cuanto al nivel de llenado, correcto tapado y etiquetado. Para finalizar la cadena de producción el producto es llevado a la última fase, utilizando bandas transportadoras.



Figura 2.3 Producto envasado en vidrio, codificado y etiquetado

Fuente: Citado en boletín digital Tesalia CBC [10]

2.5.1.6 Encajonadora, Empaquetizado y Almacenamiento

Los envases llenos, correctamente etiquetados y codificados, son agrupados y colocados dentro de cajas plásticas para varias botellas, utilizando una máquina encajonadora con cabezales de agarre que toman los envases y los ubican en la posición de encajonado. Se utiliza etiquetas para cuantificar el producto terminado.

El paletizado convencional se realiza, colocando y apilando cada caja en la posición adecuada para embalarlas en forma manual. El personal traslada los palets, mediante montacargas para ser almacenados adecuadamente en bodegas cubiertas, que los protegen de radiación solar y los mantienen en las mejores condiciones para ser transportados y distribuidos al mercado.

2.5.2 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PARA BEBIDAS ENVASADAS EN DE PLASTICO PET NO RETORNABLE

Los productos que se envasan en botellas retornables de plástico son gaseosas, agua mineral con gas y sin gas en las siguientes presentaciones: 250 ml, 355 ml, 365 ml, 400 ml, 500 ml, 600 ml, 1000 ml, 1250 ml, 1500 ml, 1600 ml, 1800 ml, 2000 ml, 2250 ml, 2500 ml, 3000 ml, 3785 ml, 6000 ml. En la Figura 2.4 se presentan algunos de estos productos.



Figura 2.4 Producto envasado en PET

Fuente: Citado en revista Ekos Negocios [11]

En la Figura 2.5 se describen los subprocesos requeridos para la producción de bebidas en envases plásticos no retornables, desde el ingreso de las preformas, que son los envases antes de la etapa de soplado, hasta el almacenamiento del producto terminado en bodegas.

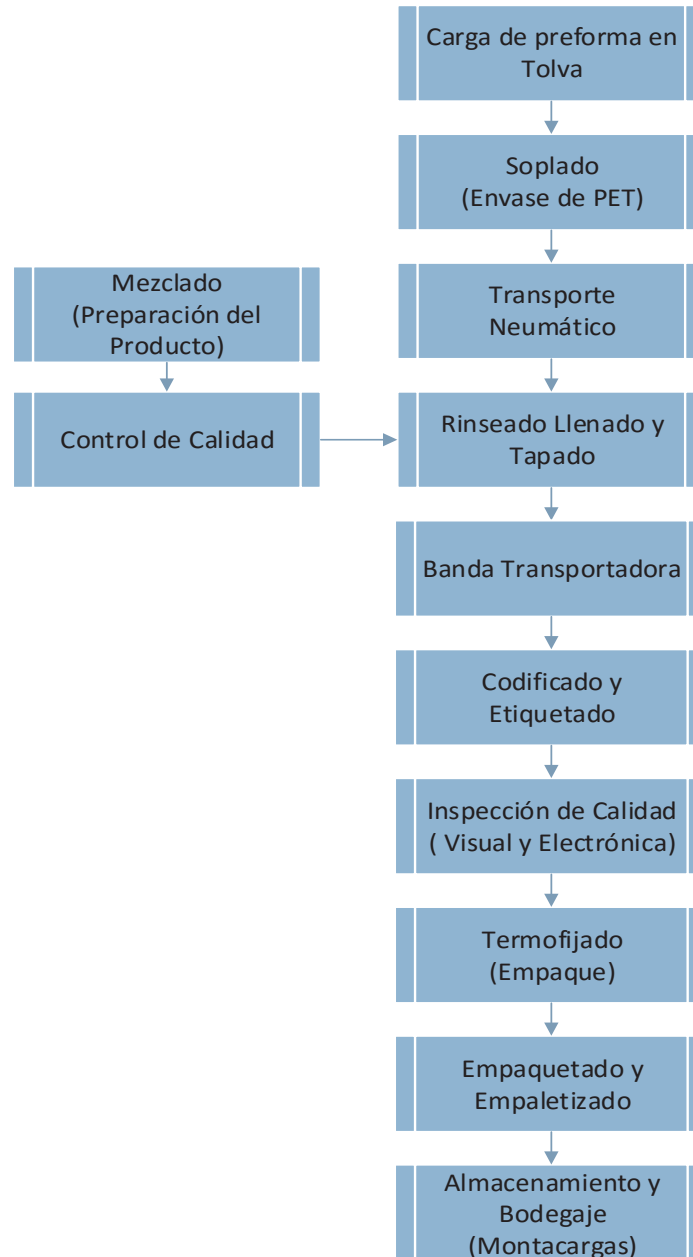


Figura 2.5 Diagrama de producción de bebidas en envases plásticos PET

2.5.2.1 Carga de Preforma en Tolva

El PET es un polímero que se caracteriza por su pureza y alta resistencia química, no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos, resiste al calor y a la humedad. Además el PET no deteriora ni causa efectos de toxicidad a los productos, es por esto que se lo usa en la fabricación de envases de bebidas carbonatadas y de empaques para alimentos.

Por la amplia variedad de productos envasados en PET, la necesidad de un diseño personalizado en las botellas es cada vez mayor, por este motivo se elaboran envases preformados (preformas), que son piezas plásticas semejantes a tubos de ensayo, como se indican en la Figura 2.6. Las preformas son fabricadas por inyección y toman su formato final en el siguiente paso que es el soplado.



Figura 2.6 Preforma o envase preformado PET

Fuente: Citado en Movacolor [12]

2.5.2.2 Soplado de Botellas

Antes de iniciar el soplado de botellas, se colocan los moldes que determinarán el formato de la botella. Posteriormente las preformas ingresan a la máquina de soplado, donde son calentadas, estiradas y sopladas a unos 100 grados aproximadamente. A esta temperatura se logra modificar la forma, altura y diámetro de la preforma hasta que se empareje con el molde. Cuando la pieza se enfría, adquiere la dureza necesaria para que finalmente se pueda abrir el molde, logrando de este modo obtener la botella final para envasar el producto.

2.5.2.3 Transporte Neumático

En la siguiente etapa del proceso, se utiliza un sistema cuya función consiste en aspirar el envase e impulsarlo a altas velocidades a través de carriles de acero inoxidable, llevando de forma segura los diferentes envases desde la máquina sopladora a la siguiente fase del proceso, tal como se muestra en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Transporte neumático de botellas vacías

Fuente: Citado en Filling-machines [13]

2.5.2.4 Rinseado, Llenado y Tapado

En esta etapa, la botella ingresa a una máquina de rinseado, donde se inyecta aire ionizado a presiones de 5 a 20 psi y se absorbe con una bomba de vacío, de esta manera se garantiza una adecuada asepsia en el interior de los envases de plástico. De manera seguida son ubicados bajo una válvula, la misma que se abre y permite la dosificación del producto a envasar de acuerdo a medidas preestablecidas, tal como se indica en la Figura 2.8.

Este mecanismo asegura que las botellas estén en una posición adecuada, evitando el llenado excesivo de la bebida, soltándolas una vez que el envase se encuentre con la cantidad adecuada de producto, para pasar a la fase de tapado.



Figura 2.8 Llenadora de botellas SpectraPak BF3000

Fuente: Citado en Norland Int'l. Inc. [14]

Este proceso consiste en colocar la tapa en la boca de cada envase evitando que el producto se derrame o a su vez se contamine con algún elemento extraño. La tapa es ajustada, dando lugar a un sellado hermético y en esta condición el producto pasa a ser inspeccionado. La Figura 2.9 muestra el transporte del producto a la siguiente fase de proceso.



Figura 2.9 Bandas de transporte de botellas PET llenas

Fuente: Citado en revista Ekos Negocios [15]

2.5.2.5 Codificado y Etiquetado

Esta fase consiste en registrar sobre la tapa o en la botella el número de lote y la fecha de caducidad del producto, mediante un inyector de tinta o un sistema a láser. Este sistema debe funcionar a una velocidad adecuada, acorde a la producción, para reducir tiempos de inactividad imprevistos. En la Figura 2.10 se observa el sistema de impresión comúnmente utilizado para codificar las botellas.



Figura 2.10 Impresora de inyección de tinta LINX 5900BC

Fuente: Citado en MACSA ID [16]

Una vez que el producto atravesó una serie de subprocesos se procede a colocar etiquetas envolventes de plástico, en las cuales se detalla información de interés para el consumidor, tal como se indica en la Figura 2.11. El mecanismo empleado en esta fase cuenta con un módulo de posicionamiento, el cual sujeta el envase y con movimiento rotativo permite asegurar la velocidad adecuada, estabilidad y precisión en el etiquetado.



Figura 2.11 Máquina para colocar etiquetas en botellas PET

Fuente: Citado en Revista Ekos Negocios [17]

2.5.2.6 Inspección de Calidad del Producto

Se procede a verificar visualmente que el producto cumpla con los estándares de calidad exigidos para este tipo de industria. Estos requerimientos son: el nivel de llenado, el correcto tapado y etiquetado.

Para continuar la cadena de producción se utilizan bandas transportadoras que llevan el producto, tal como se indica en la Figura 2.12.



Figura 2.12 Bandas transportadoras para botellas etiquetadas

Fuente: Citado en Archivo El Comercio [18]

2.5.2.7 Embalado y Termofijado

Finalmente el producto pasa a una máquina automática de termofijado para ser empacado en grupos de botellas. Se enrolla alrededor de las botellas agrupadas una lámina plástica, la misma que pasa por un túnel de calor para ser termocontraída. En la Figura 2.13 se muestra, como al salir del túnel son enfriadas a través de ventilación forzada.



Figura 2.13 Embalaje y termofijado

Fuente: Citado en artículo de El Universo [19]

2.5.2.8 Empaquetado y Empaletizado

El sistema de paletizado puede ser de manera convencional, apilando las cajas en forma manual como se indica en la Figura 2.14, o automatizada, donde la maquinaria, mediante bandas transportadoras, cadenas, empujadores y elevadores colocan las cajas de forma individual en la posición adecuada.



Figura 2.14 Empaletizado del producto

Fuente: Citado en revista Líderes [20]

Finalmente el personal traslada los palets llenos de producto, mediante montacargas, a las zonas designadas, para ser almacenados en bodegas cubiertas, que los protejan de radiación solar y los mantengan en condiciones adecuadas hasta que sean transportados a los diferentes destinos.

2.5.2.9 Control de Calidad del Proceso

Durante todo el proceso de embotellado, debe llevarse a cabo diversos controles de calidad, realizando una revisión de los productos intermedios y terminados. Mediante los análisis y las pruebas especificadas para cada subproceso, se puede conocer desde la calidad del lavado del envase hasta la apariencia y conservación del producto final. Adicional se puede determinar el rendimiento y capacidad del proceso productivo, además de garantizar la calidad del producto a ser comercializado en el mercado. En la Figura 2.15 se visualiza como el producto elaborado se somete a un análisis de laboratorio.



Figura 2.15 Control de calidad del proceso y la producción

Fuente: Citada en Pro Ecuador [21]

2.6 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA FÁBRICA

The Tesalia Springs Company es la primera empresa de agua embotellada del Ecuador, reconocida internacionalmente por la calidad de sus productos. En los últimos años, ha ido incrementando la capacidad de producción en su planta embotelladora ubicada en las proximidades de la ciudad de Machachi, con la finalidad de presentar al mercado una gran variedad de productos. Esto conlleva al incremento de varias líneas de producción con nueva maquinaria, más eficiente, con mayor capacidad y velocidad, para lo cual se ha solicitado a la empresa eléctrica nuevos transformadores.

En los últimos cinco años se incrementó 4500 kVA de potencia, con tres transformadores tipo pad-mounted.

2.6.1 LEVANTAMIENTO DE CARGA INSTALADA

El levantamiento de carga instalada permitirá conocer en cada línea de producción, el valor de potencia nominal que representan los equipos o máquinas que utilicen energía eléctrica. En caso de no tener la información de placa requerida, se procede a determinar este valor en base a mediciones. La descripción de cada carga esta agrupada por transformador y por línea de producción.

En las siguientes tablas se presentan las características principales de los transformadores que proveen de energía eléctrica a la fábrica y la carga instalada en cada uno de ellos. Además se especifican los niveles de voltaje con los que se alimentan las cargas que se pretenden monitorear. De esta manera se determinará la potencia que cada equipo representa y el porcentaje de carga en cada transformador.

Los transformadores existentes hasta el año 2010 en la fábrica representan potencia total de 4200 kVA y se encuentran descritos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Transformadores en la fábrica Tesalia Machachi (año 2010)

DESCRIPCIÓN	CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN							
	CÁMARA		CT1		CT3		CT4	
TRANSF. TRIFÁSICO #	TT1	TT2	TT4	TT5	TT6	TT7		
FABRICANTE	INATRA	TRANSUNEL	INATRA	INATRA	INATRA	ECUATRAN		
AÑO DE FABRICACIÓN	2002	1978	2001	2002	2003	1995		
POTENCIA (kVA)	750	500	600	600	1000	750		
VOLTAJE PRIMARIO (kV)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8		
VOLTAJE SECUNDARIO (V)	440	230	440	440	440	440		
CORRIENTE SECUND. (A)	984	1255	787	787	1312	984		
GRUPO	DY5	DYN11	DY5	DY5	DY5	DY5		

Los transformadores TT3, TT8 Y TT9 son del tipo pad-mounted y fueron instalados para ampliar la capacidad de potencia entregada a la fábrica, con un total de 4500 kVA adicional, representa el 51,7% de la capacidad actual instalada.

Las características de estos transformadores se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Nuevos transformadores en la fábrica Tesalia-Machachi

DESCRIPCIÓN	CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN PAD-MOUNTED		
	CT2	CT5	CT6
CÁMARA	CT2	CT5	CT6
TRANSF. TRIFÁSICO #	TT3	TT8	TT9
FABRICANTE	MORETRAN	MORETRAN	PROLEC
AÑO DE FABRICACION	2010	2013	2013
POTENCIA (kVA)	1500	1500	1500
VOLTAJE PRIMARIO (kV)	22,8	22,8	22,8
VOLTAJE SECUNDARIO (V)	440	440	440
CORRIENTE SECUND. (A)	1968	1968	1968
GRUPO	YYN0	YYN0	YYN0

Los nueve transformadores listados anteriormente pertenecen a la empresa eléctrica regional EEQ y se alimentan por el devanado primario a un voltaje de 22,8 kV. Todos los transformadores a excepción del TT2, tienen como voltaje secundario 440 V.

A través del Geoportal del Sector Eléctrico Ecuatoriano, de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, se puede verificar la numeración que identifica a cada transformador y el número de suministro del cliente, como se ilustra en la Figura 2.16.

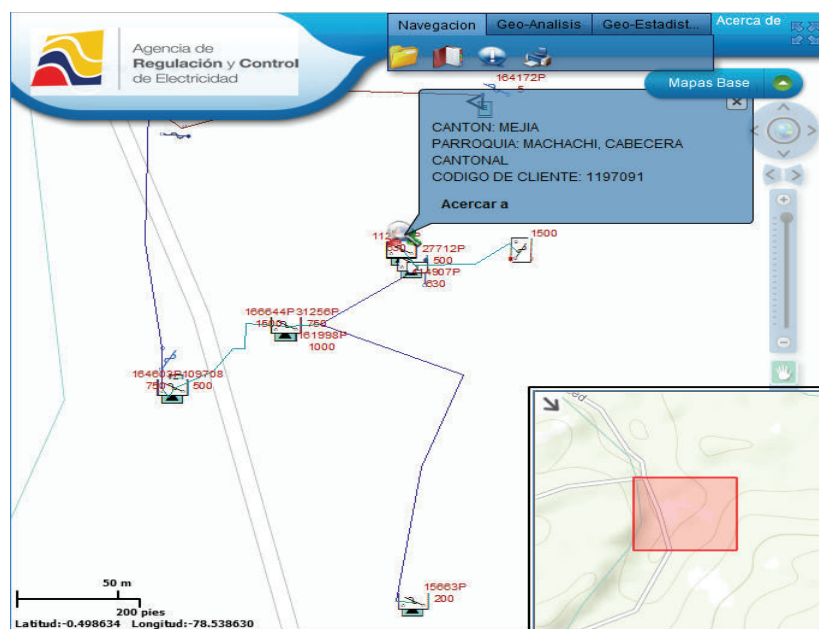


Figura 2.16 Descripción del cliente en el geoportal del ARCONEL

Durante el levantamiento de carga se pudo conocer que el transformador TT7, de marca Ecuatran, que actualmente se encuentra en sitio, está fuera de servicio, debido a mantenimientos en el mismo. Las máquinas que estaban conectadas a este transformador fueron retiradas de la cadena de producción o a su vez reubicadas, tomando actualmente la energía desde otro transformador. Esta información se la puede verificar en el Sistema de Información de Distribución SID de la Empresa Eléctrica Quito, buscando el número de transformador 31256-C.

En los siguientes planos se detalla la conexión de los nueve transformadores, desde la acometida, hasta cada cámara de transformación. En la entrada del alimentador hacia la fábrica, se tiene un disyuntor tripolar de 25 kV nominal, con su respectivo seccionador. A través de una línea trifásica subterránea llega a la primera cámara de transformación CT1, donde se encuentra ubicado el medidor comercial de la Empresa Eléctrica Quito, utilizado para realizar la facturación mensual al cliente.

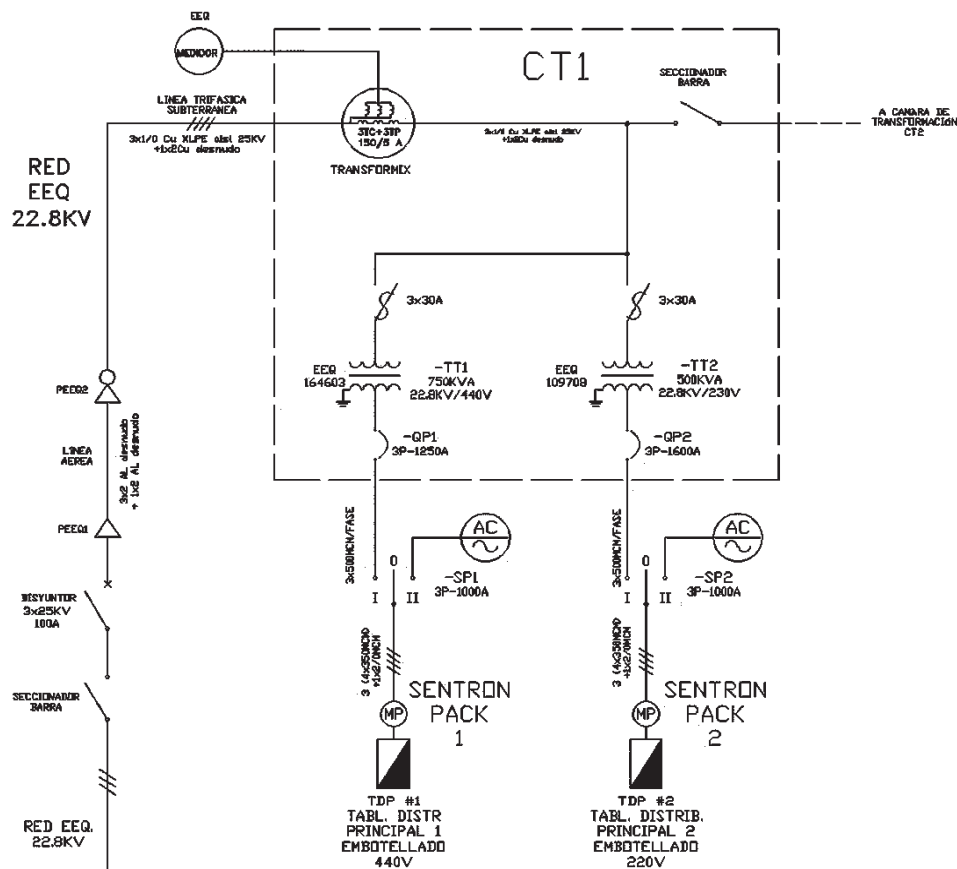


Figura 2.17 Diagrama unifilar de la cámara de transformación CT1

Como se aprecia en la Figura 2.17, la cámara de transformación CT1, tiene dos transformadores, el TT1 de 750 kVA y el TT2 de 500 kVA con sus respectivas protecciones en el lado de alto y bajo voltaje.

Desde el primer transformador TT1 se alimenta al tablero principal TDP1 a un nivel de voltaje de 440 V y partir de éste, a cada una de las líneas de producción antes descritas. Desde el transformador TT2 se alimenta al tablero principal TDP2 a un nivel de 220 V.

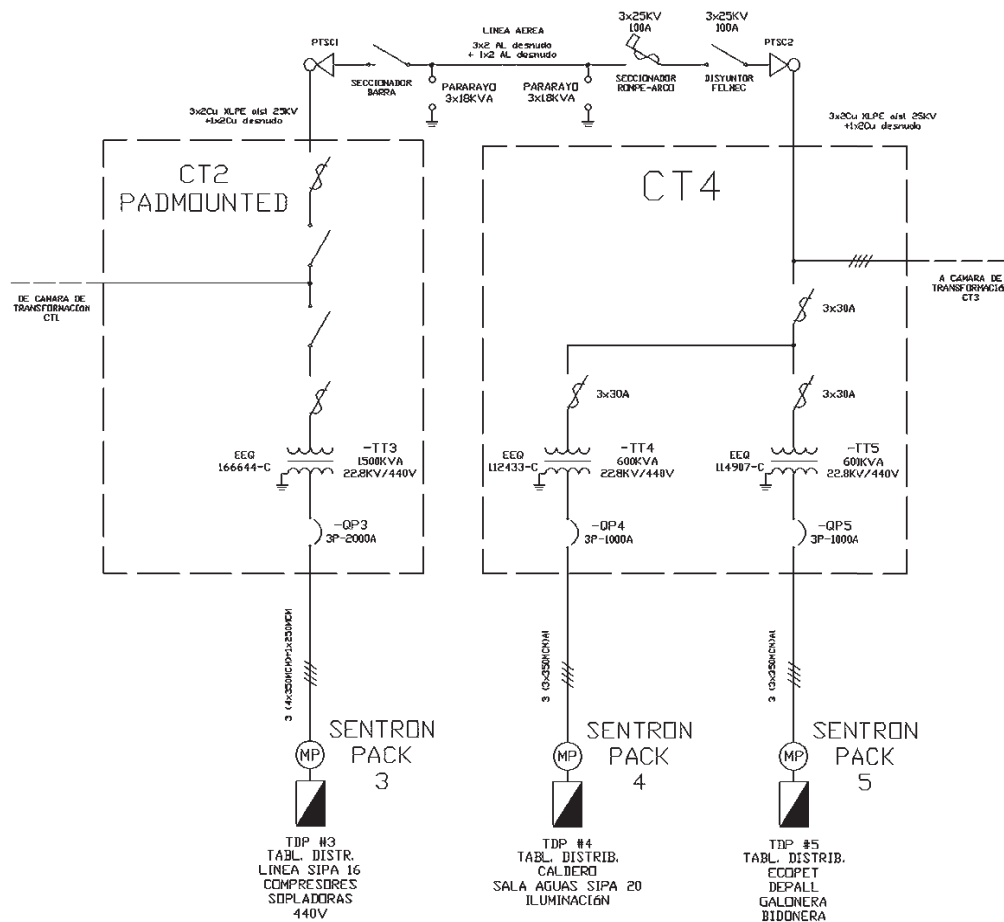


Figura 2.18 Diagrama unifilar de las cámaras de transformación CT2 y CT4

A través de una línea subterránea llega desde la cámara de transformación CT1 hasta la cámara de transformación CT2, que corresponde al transformador TT3 del tipo pad mounted de potencia nominal 1500 kVA. Como se aprecia en la Figura 2.18, este transformador provee de energía eléctrica al tablero de distribución TDP3, correspondiente a línea de Producción Sipa 16, compresores y a las sopladoras de las líneas KHS y Kompas.

Desde el transformador TT3 a través de una línea aérea se alimenta a la cámara de transformación CT4, donde se encuentran los transformadores TT4 y TT5, ambos de 600 kVA potencia nominal. Desde el transformador TT4 se alimenta al tablero TDP4 que corresponde a las cargas: caldero eléctrico, taller de mantenimiento, bombas de agua, tablero de sala de aguas e iluminación de galpones industriales, bodegas y oficinas.

Desde el transformador TT5 se alimenta al tablero TDP5 que corresponde a las líneas de producción Depall, New Amstar, Galonera y Bidonera. Desde la cámara de transformación CT4 se alimenta a la cámara CT3, en donde existen dos transformadores, el TT6 de 1000 kVA y el TT7 de 750 kVA.

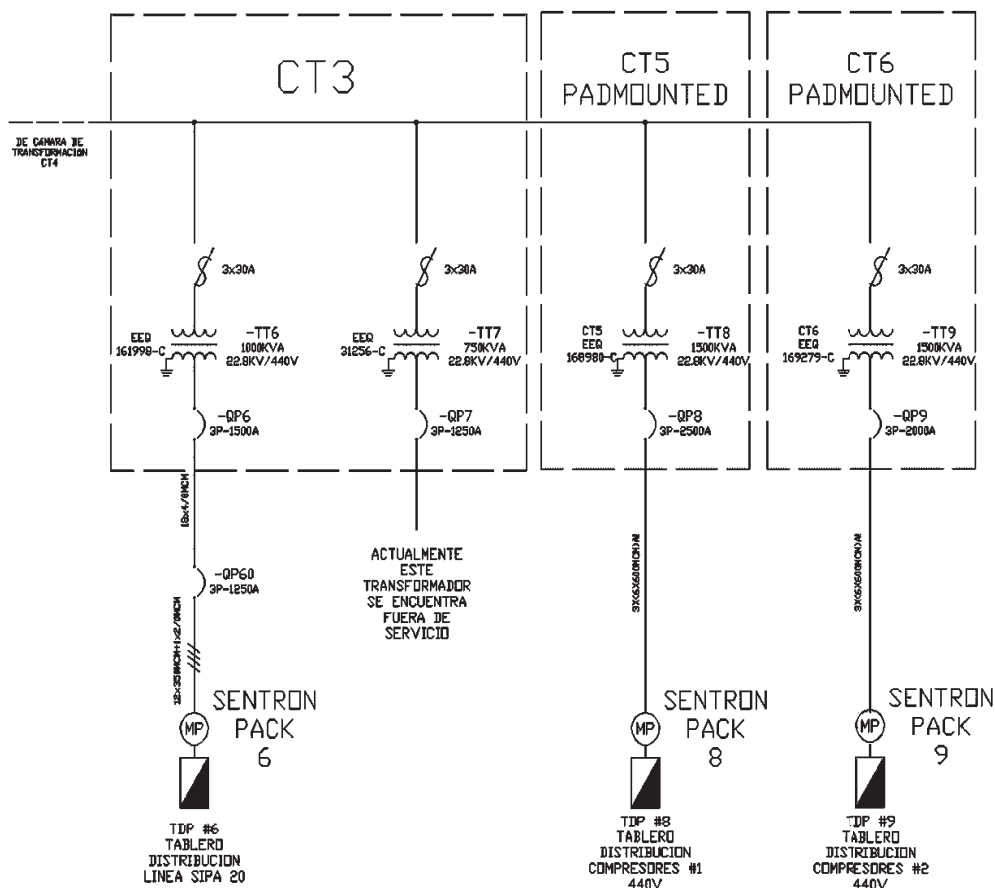


Figura 2.19 Diagrama unifilar de las cámaras de transformación CT3, CT5 y CT6

Como se describe en la Figura 2.19, el transformador TT6 alimenta al tablero de distribución TD6, que corresponde a la línea de producción Sipa 20, incluyendo al soplador de esta línea.

El transformador TT7 actualmente se encuentra fuera de servicio, por tal motivo se realizó una reubicación de los tableros que se alimentaban desde dicho transformador.

Desde la cámara CT3 y con cable subterráneo, se alimenta a los transformadores tipo pad mounted TT8 y TT9, con potencia nominal de 1500 kVA cada uno. Desde el transformador TT8 se energiza al tablero TDP8 que corresponde a los compresores de 40 bares. Desde el transformador TT9, se alimenta al tablero TDP9 que corresponde a los compresores y a las máquinas utilizadas para el proceso de inyección PET.

Adicional a este, se tiene una compensación capacitiva total de 510 kVA, instalada en 4 bancos de capacitores que se conectan en distintos transformadores.

2.6.1.1 Transformador TT1 de 750 kVA

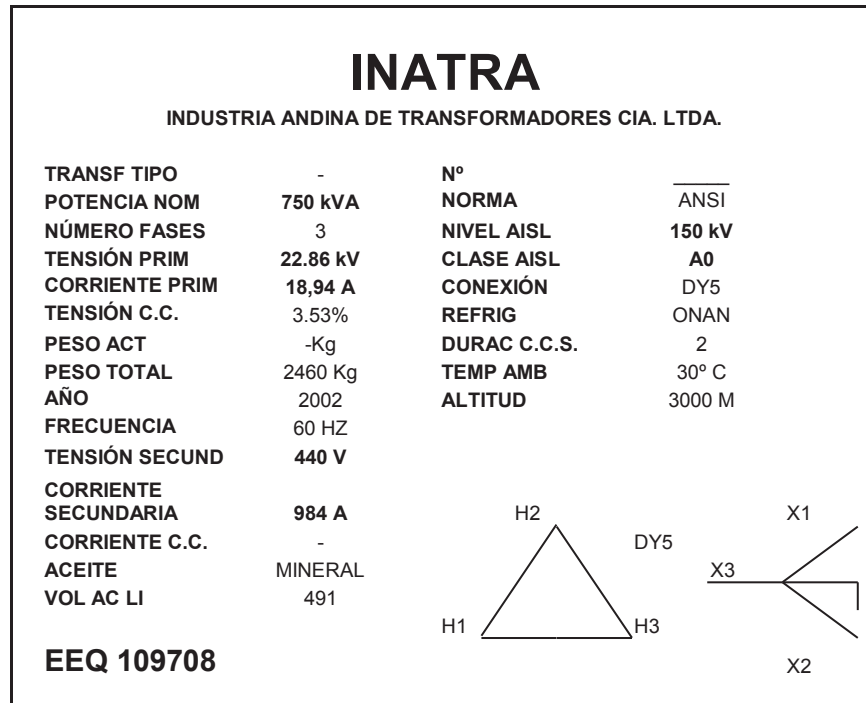


Figura 2.20 Descripción de placa del transformador TT1

La Figura 2.20 describe las características de placa del transformador trifásico denominado TT1, que tiene número de identificación 109708, potencia nominal de 750 kVA y refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. Se encuentra ubicado en la cámara de transformación CT1, junto al transformador TT2. Los equipos que se conectan a este transformador pertenecen a varias líneas de producción, entre las más representativas la línea Carballo, de producción en botellas de vidrio, KHS y Kompass, de producción en botellas PET y sala de máquinas.

En la Tabla 2.3 se describe la carga denominada sala de máquinas, donde se agrupan los siguientes equipos: torres de refrigeración, dos compresores de amoníaco y uno de aire. La carga instalada tiene aproximadamente un valor de 293,1 kW.

Tabla 2.3 Carga Sala de Máquinas conectada al transformador TT1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
SALA DE MÁQUINAS	COMPRESOR AMONIACO VILTER 86TR/76 BHP 1980	100	74,6
SALA DE MÁQUINAS	TORRE DE REFRIGERACIÓN BAC 2010	20	14,9
SALA DE MÁQUINAS	COMPRESOR AMONIACO DE PISTON 139TR/135 BHP	150	111,9
SALA DE MÁQUINAS	TORRE DE REFRIGERACIÓN MARLEY TORRAVAL 2000	20	14,9
SALA DE MÁQUINAS	COMPRESOR AIRE KAESER CSD 100 8 BARES 494 CFM 2007	100	74,6
SALA DE MÁQUINAS	SECADOR KAESER TF 203 2007	3	2,2
POTENCIA TOTAL (kW)			293,1
POTENCIA TOTAL (kVA)			318,6

En la Tabla 2.4 se detallan los equipos que forman parte de la línea de producción KHS y son utilizados para el proceso de envasado en botellas PET, en presentaciones de 1500 ml, 1600 ml, 1800 ml, 2000 ml, 2250 ml, y 3000 ml. La carga instalada tiene aproximadamente un valor de 205 kW.

Tabla 2.4 Carga línea KHS conectada al transformador TT1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
KHS	LLENADORA KHS	4	3
KHS	ETIQUETADORA SACMI	17,4	13
KHS	TERMO GRAMEGNA	107,2	80
KHS	ENJUAGADOR DE BOTELLAS	6,7	5
KHS	TOLVA DE TAPAS - SISTEMA DE TAPADO	0,7	0,5
KHS	INSPECTOR DE BOTELLAS FT SYSTEM	0,7	0,5
KHS	CODIFICADOR KHS	0,7	0,5
KHS	HORNO TERMOFIJADOR	73,7	55
KHS	PROCESADOR DE BEBIDA PARAMIX	53,6	40
KHS	SISTEMA DE LUBRICACION LÍNEA KHS	1,3	1
KHS	CODIFICADOR IMAGE (SISMODE)	0,7	0,5
KHS	TRANSPORTES DE CADENA	8	6
POTENCIA TOTAL (kW)			205
POTENCIA TOTAL (kVA)			222,8

En la Tabla 2.5 se describen los equipos utilizados en cada fase de la línea de producción Carballo, para productos envasados en botellas de vidrio con las siguientes presentaciones: 200 ml, 234 ml, 237 ml, 300 ml, 330 ml, 400 ml, 700 ml y 1000 ml. La carga instalada tiene aproximadamente un valor de 239,5 kW.

Tabla 2.5 Carga línea Carballo conectada al transformador TT1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
CARBALLO	TAPADORA AROL LÍNEA CARBALLO	2,7	2
CARBALLO	TRANSPORTES DE CADENAS	20,1	15
CARBALLO	LAVADORA DE BOTELLAS	112,6	84
CARBALLO	ETIQUETADORA SACMI OPERA 200C	30,8	23
CARBALLO	TABLERO SALA DE JARABES	67	50
CARBALLO	DESECAJONADORA	5,4	4
CARBALLO	CODIFICADOR	0,7	0,5
CARBALLO	VISOR 1 y 2	1,5	1
CARBALLO	LLENADORA	20,1	15
CARBALLO	VISOR 3 y 4	1,5	1
CARBALLO	ENCAJONADORA	5,4	4
CARBALLO	PROCESADOR DE BEBIDA ROBLEMIX	53,6	40
POTENCIA TOTAL (kW)			239,5
POTENCIA TOTAL (kVA)			260,3

En la Tabla 2.6 se describe la carga denominada línea de producción Kompass, donde se agrupan los equipos requeridos en cada fase del proceso de envasado en botellas PET, en presentaciones de 250 ml, 355 ml, 365 ml, 400 ml, 500 ml, 600 ml. La carga instalada tiene aproximadamente un valor de 148,5 kW.

Tabla 2.6 Carga línea Kompass conectada al transformador TT1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
KOMPASS	HORNO TERMOFIJADOR	55	41
KOMPASS	RINSE	6,7	5
KOMPASS	BOMBA DE OZONO	13,4	10
KOMPASS	LLENADORA	4	3
KOMPASS	ETIQUETADORA KARVILLE	20,1	15
KOMPASS	ETIQUETADORA SACMI	17,4	13
KOMPASS	CAPSULADOR (TAPONADORA)	4	3
KOMPASS	TRANSPORTE DE CADENA	9,4	7
KOMPASS	CHILLER DE SOPLADORA SIPA 08	29,5	22
KOMPASS	ENJUAGADOR DE BOTELLAS	4	3
KOMPASS	TRANSPORTE NEUMATICO ENJUAGADORA-LLENADORA	10,7	8
KOMPASS	INSPECTOR DE BOTELLAS	0,7	0,5
KOMPASS	CODIFICADOR NEGRO	0,7	0,5
KOMPASS	CODIFICADOR AMARILLO	0,7	0,5
KOMPASS	PROCESADOR DE BEBIDA CARBOCOOLER	22,8	17
POTENCIA TOTAL (kW)			148,5
POTENCIA TOTAL (kVA)			161,4

En otras líneas de producción se agrupan equipos correspondientes a las resistencias del tanque bunker, bombas de glicol, un CIP para limpieza de tuberías, el sistema de tratamiento de agua, un sistema carbocooler, un codificador para la línea Sipa 16 y el tablero de distribución producirbo, relacionado con el suministro de gas carbónico. La carga instalada se detalla en la Tabla 2.7 y tiene un valor de 132,2 kW.

Tabla 2.7 Otras carga conectada al transformador TT1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
OTROS	RESISTENCIA TANQUE BUNKER 440V CALDERO	20,1	15
OTROS	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRODUCARGO	6,7	5
OTROS	CIP - SISTEMA DE LIMPIEZA	53,6	40
OTROS	FLOMIX - TRATAMIENTO DE AGUA	40,2	30
OTROS	PANEL LAYOUT – PANEL DE OPERADOR	0,7	0,5
OTROS	CODIFICADOR SIPA 16 (220V)	0,7	0,5
OTROS	CARBOCOOLER	40,2	30
OTROS	BOMBAS DE GLICOL 1	7,5	5,6
OTROS	BOMBAS DE GLICOL 2	7,5	5,6
POTENCIA TOTAL (kW)			132,2
POTENCIA TOTAL (kVA)			143,7

En la Tabla 2.8 se resumen los valores de las tablas anteriores, teniendo una carga total instalada en el transformador INATRA TT1 de 1018,3 kW. La potencia aparente total de 1106,8 kVA, se la obtuvo sumando los valores calculados en cada línea de producción, debido a que presentan una variación del factor de potencia en cada una.

Tabla 2.8 Resumen de cargas conectadas al transformador TT1

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA INSTALADA	
	(HP)	(kW)
SALA DE MÁQUINAS	392,9	293,1
KHS	274,8	205
CARBALLO	321	239,5
KOMPASS	199,1	148,5
OTROS	177,2	132,2
POTENCIA TOTAL (kW)	1018,3	
POTENCIA TOTAL (kVA)	1106,8	

Además de los equipos listados, en este transformador se conecta un banco de capacitores de potencia nominal de 30 kVA, para realizar compensación reactiva y elevar el factor de potencia.

2.6.1.2 Transformador TT2 de 500 kVA

A diferencia de los otros transformadores que entregan energía eléctrica a la fábrica, el transformador TT2 es el único que tiene un voltaje secundario de 230 V. Al mismo se conecta una parte de la iluminación de la fábrica, además de compresores y otros tableros de distribución.

TRANSUNEL			
ALSTHOM - UNELEC		SEINE MARITIME - FRANCE	
TRANSFORMADOR	3 FASES	N° SERIE	P. 04920A
POTENCIA NOM	500 kVA	AÑO	1978
FRECUENCIA	60 HZ	NORMA	ASA - IEC
TENSIÓN PRIM	22.86 kV	TIPO	T x H
CORRIENTE PRIM	12,628 A	CLASE AISL	L 150 KV
TENSIÓN SECUND	230 V	CONEXIÓN	DYN1
CORRIENTE SECUND	1255,41 A	IMPEDANCIA	
PESO TOTAL	1910	VOLT	5,50%
		ACEITE	451 KG
EEQ 164603			

Figura 2.21 Descripción de placa del transformador TT2

El transformador trifásico denominado TT2 con número de identificación 164603, tiene una potencia nominal de 500 kVA. Se encuentra ubicado en la cámara de transformación CT1, junto al transformador TT1. Se presenta el detalle de placa en la Figura 2.21.

La carga instalada en iluminación tiene un valor de 84,56 kW, como se lo presenta en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Carga Iluminación total conectada al transformador TT2

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
ILUMINACIÓN	ILUMINACIÓN A 120V	38,8	28,96
ILUMINACIÓN	ILUMINACIÓN A 230V	74,5	55,6
POTENCIA TOTAL (kW)			84,56
POTENCIA TOTAL (kVA)			122

En la fábrica se utilizan varios tipos de lámparas para voltajes de 120 V y 230 V, dependiendo de las actividades que se realizan en cada locación. Se utiliza lámparas fluorescentes tubulares en luminarias para 2 ,4 y 6 tubos, lámparas de techo, focos incandescentes, lámparas de vapor de mercurio en luminarias tipo campana, reflectores industriales, y lámparas para luminaria de alumbrado público. Las lámparas de vapor de mercurio presentan un bajo factor de potencia que llega a ser 0,6; como lo especifican los fabricantes, pero únicamente corresponden al 11 % de la carga instalada en este transformador, por lo que no afecta al factor de potencia total.

A este transformador está conectada la iluminación para cuatro líneas de producción: línea Carballo, línea KHS, línea Kompass y línea Sipa 16, además de la sala de jarabes, lugar donde se prepara y se almacena en silos el jarabe, que es un ingrediente esencial para la elaboración de los distintos productos.

El detalle del tipo de lámparas utilizadas se las presenta en las siguientes tablas, agrupándolas en lámparas a 120 voltios y 220 voltios. Las lámparas que requieren voltaje de 120V representan una potencia instalada de 28,96 kW y se las enumera, por línea de producción en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Carga Iluminación 120 V conectada al transformador TT2

TRANSFORMADOR TT2 CARGA ILUMINACIÓN 120V	NÚMERO DE LÁMPARAS				POTENCIA INSTALADA
	TUBULAR FLUORESCENTE		LÁMPARAS DE TECHO	FOCOS INCANDESCENTES	
	2X40W	6X40W	40W	100W	(kW)
ILUMINACIÓN LLENADO SIPA 16	0	50	8	0	12,32
ILUMINACIÓN LLENADORA, KHS, KOMPASS Y CARBALLO	45	0	0	0	3,60
ILUMINACIÓN OFICINAS Y COMPRESORES BAJA	82	20	22	8	13,04
TOTAL ILUMINACIÓN 120 V	127	70	30	8	28,96

Las lámparas que requieren voltaje de 230V representan una potencia instalada de 55,6 kW y se las presenta, por línea de producción en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Carga Iluminación 230 V conectada al transformador TT2

TRANSFORMADOR TT2 CARGA ILUMINACIÓN 220V	NÚMERO DE LÁMPARAS			POTENCIA INSTALADA
	LÁMPARA VAPOR DE MERCURIO	REFLECTORES INDUSTRIALES	LÁMPARA INDUSTRIAL ALUMBRADO PUBLICO	
	400W	400W	400W	(kW)
ILUMINACIÓN SALA DE JARABES	17	4	0	8,40
ILUMINACIÓN LLENADORA, KHS, KOMPASS Y CARBALLO	94	0	0	37,60
ILUMINACIÓN DE SALA DE AGUAS	4	8	12	9,60
TOTAL ILUMINACIÓN 230 V	115	12	12	55,60

A este transformador se conectan también tres compresores, uno de aire, uno de amoníaco y uno de CO₂, que trabajan a un voltaje de 230 V, además de una torre de secado de CO₂ para quitar la humedad de la misma. La carga instalada en este grupo tiene un valor de 148,3 kW como se lo presenta en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Carga Compresores a 230V conectados al transformador TT2

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
COMPRESORES	COMPRESOR KAESER SK 26 87CFM - 2001	20	14,9
COMPRESORES	COMPRESOR DE CO ₂ WITTERMAN 500LB/H - 1996	60	44,8
COMPRESORES	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 86TR/76 BHP- 2013	100	74,6
COMPRESORES	TORRE DE SECADO DE CO ₂	20	14
POTENCIA TOTAL (kW)			148,3
POTENCIA TOTAL (kVA)			165

En otros se agrupan tableros de distribución para distintas áreas, como por ejemplo: planta de tratamiento, área de caldero, transportes neumáticos para la línea de producción Sipa 16, área de guardianía. La carga instalada se encuentra detallada en la Tabla 2.13 y tiene un valor de 237 kW.

Tabla 2.13 Otras cargas conectadas al transformador TT2

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
OTROS	TABLERO DE DISTRIBUCION ÁREA SALA DE AGUAS	147,5	110
OTROS	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ÁREA CALDERO	20,1	15
OTROS	TRANSPORTES NEUMÁTICOS	100,5	75
OTROS	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ÁREA CARBOGAS	26,8	20
OTROS	OZONIFICADOR	12,1	9
OTROS	TABLERO DE ENFRIAMIENTO CUARTO DE CALDEROS	6,7	5
OTROS	TABLERO DE GUARDIANÍA	4	3
POTENCIA TOTAL (kW)			237
POTENCIA TOTAL (kVA)			257,6

Resumiendo las anteriores tablas, se tiene que la carga total instalada en el transformador TT2 marca Transunel es de 469,86 kW como se lo presenta en la Tabla 2.14. El valor de potencia aparente es de 544,6 kVA.

Tabla 2.14 Resumen de cargas conectadas al transformador TT2

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA INSTALADA	
	(HP)	(kW)
ILUMINACIÓN	113,4	84,56
COMPRESORES	198,8	148,3
OTROS	317,7	237
POTENCIA TOTAL (kW)		469,86
POTENCIA TOTAL (kVA)		544,6

2.6.1.3 Transformador TT3 de 1500 kVA

El transformador trifásico denominado TT3 con número de identificación 166644-C, tiene una potencia nominal de 1500 kVA y es de tipo Pad-Mounted con refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. El detalle de placa se lo presenta en la Figura 2.22.

Los equipos que se conectan a este transformador pertenecen a varias líneas de producción, entre las cuales están: línea de producción Sipa 16, seis compresores y sopladoras de la línea Kompass y KHS.

MORETRAN				
GUAYAQUIL - ECUADOR				
TRANSFORMADOR TRIFÁSICO				
SERIE:	106536	MES / AÑO:	01/10	
		POTENCIA (kVA)	1500	
POSICIÓN DEL CONMUTADOR	V. Prim	V. Sec	Clase: OA Hz: 60 Hz Vcc %: 5,19% Norma: ANSI Grupo: YnynO Fases: 3	
	1	22860		440 / 254
	2	22289		
	3	21717		
	4	21146		
5	20574			
CORRIENTE (A)	I. Prim	I. Sec		
	37,8	1968,2		
PESOS:		Volumen aceite (Lt)	2082	
Parte activa	2230 Kg	Tipo de aceite	Mineral	
Aceite	1874 Kg	Material	Cu/Cu	
Transf completo	5800 Kg	prim/sec	C	
		Operación msnm	3000	
MORETRAN 042-250947				
EEQ 166644-C				

Figura 2.22 Descripción de placa del transformador TT3

En esta carga se agrupan varios compresores, además de un secador o deshumificador y torres de refrigeración para el tratamiento del aire comprimido. La carga instalada se la detalla en la Tabla 2.15 y tiene un valor de 432,5 kW.

Tabla 2.15 Carga Compresores conectados al transformador TT3

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
COMPRESORES	COMPRESORES KAESER BSD 60T	60	44,8
COMPRESORES	COMPRESOR QUINCY	75	56
COMPRESORES	COMPRESOR AIRE KAESER CSD 100 8 BARES	100	74,6
COMPRESORES	SECADOR KAESER TF 203 2007	3	2,2
COMPRESORES	COMPRESOR AMONIACO TORNILLO 104 BHP	125	93,2
COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN 2 TEVADEC	20	14,9
COMPRESORES	COMPRESOR AMONIACO 3 PISTON 135 BHP	150	111,9
COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN 3 MARLEY	20	14,9
COMPRESORES	COMPRESOR ATLAS COPTO ZT18 8.6 BAR	26,8	20
POTENCIA TOTAL (kW)		432,5	
POTENCIA TOTAL (kVA)		490	

A este transformador se conectan las máquinas que realizan el soplado de las preformas PET, para obtener las botellas en presentaciones de 1000 ml, 1800 ml y 3000 ml, en las que se envasa el producto. Existe un soplador para la línea KHS y uno para la línea Kompass, los cuales están descritos en la Tabla 2.16. La carga instalada en este grupo tiene un valor de 566,5 kW.

Tabla 2.16 Carga Sopladores conectada al transformador TT3

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA KHS	SOPLADORA SIDEL 12	388,7	290
LÍNEA KHS	CHILLER SOPLADORA SIDEL 12	60,3	45
LÍNEA KHS	TRANSPORTE NEUMATICO	40,2	30
LÍNEA KHS	EQUIPOS DE VENTILACIÓN	0,7	0,5
LÍNEA KOMPASS	SOPLADORA SIPA 08	209,1	156
LÍNEA KOMPASS	CHILLER DE SOPLADORA SIPA 08	40,2	30
LÍNEA KOMPASS	ENJUAGADOR DE BOTELLAS	6,7	5
LÍNEA KOMPASS	TRANSPORTE NEUMATICO LLENADORA	13,4	10
POTENCIA TOTAL (kW)			566,5
POTENCIA TOTAL (kVA)			615

En la Tabla 2.17 se detalla la carga denominada SIPA 16, donde se agrupan los equipos que conforman la línea de producción de bebidas envasadas en PET, en presentaciones de 355 ml y 500 ml. Aquí se encuentra incluido el soplador para esta cadena de producción. La carga instalada tiene un valor de 407 kW.

Tabla 2.17 Carga línea Sipa 16 conectada al transformador TT3

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA SIPA 16	SOPLADORA SFR 16 LÍNEA SIPA 16	187,7	140
LÍNEA SIPA 16	CHILLER DE SOPLADORA LÍNEA SIPA 16	53,6	40
LÍNEA SIPA 16	BLOQUE DE LLENADO VERSION SINCRONIZADO	13,4	10
LÍNEA SIPA 16	ALIMENTADOR NEUMÁTICO DE TAPAS	6,7	5
LÍNEA SIPA 16	TRANSPORTE DE CADENA Y SECADOR	33,5	25
LÍNEA SIPA 16	PROCESADOR DE BEBIDA PADOVAN	33,5	25
LÍNEA SIPA 16	CIP LÍNEA SIPA 16	6,7	5
LÍNEA SIPA 16	INSPECTOR DE BOTELLAS: TAPA Y NIVEL	1,3	1
LÍNEA SIPA 16	CODIFICADOR LÍNEA SIPA 16	1,3	1
LÍNEA SIPA 16	SECADOR DE BOTELLAS LÍNEA SIPA 16	26,8	20
LÍNEA SIPA 16	ETIQUETADORA LÍNEA SIPA 16	20,1	15
LÍNEA SIPA 16	INSPECTOR DE ETIQUETA LÍNEA SIPA 16	1,3	1
LÍNEA SIPA 16	HORNO TERMOFIJADOR LÍNEA SIPA 16	120,6	90
LÍNEA SIPA 16	DIVISOR DE PAQUETES LÍNEA SIPA 16	2,7	2
LÍNEA SIPA 16	PALETIZADOR AUTOMATICO SIPA-BERCHI	33,5	25
LÍNEA SIPA 16	ENVOLVEDORA AUTOMATICA ROBOPAC	2,7	2
POTENCIA TOTAL (kW)			407
POTENCIA TOTAL (kVA)			442

En la Tabla 2.18 se resume lo indicado en las anteriores tablas, teniendo una carga total instalada en el transformador TT3 marca Transunel de 1406 kW.

Tabla 2.18 Resumen de cargas conectadas al transformador TT3

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA INSTALADA	
	(HP)	(kW)
COMPRESORES	580	432,5
LÍNEA KHS Y LÍNEAS KOMPASS	759	566,5
LÍNEA SIPA 16	546	407
POTENCIA TOTAL (kW)		1406
POTENCIA TOTAL (kVA)		1547

Además de los equipos listados, en este transformador se conecta un banco de capacitores de potencia nominal 120 kVA, con el objetivo de realizar compensación reactiva y elevar el factor de potencia en este transformador.

2.6.1.4 Transformador TT4 de 600 kVA

El transformador trifásico denominado TT4 con número de identificación 122433-C, tiene una potencia nominal de 600 kVA y refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. En la Figura 2.23 se presenta la descripción de la placa del transformador.

INATRA			
INDUSTRIA ANDINA DE TRANSFORMADORES CIA. LTDA.			
TRANSF TIPO	-	N°	10016900
POTENCIA NOM	600 kVA	NORMA	ANSI
NÚMERO FASES	3	NIVEL AISL	150 kV
TENSIÓN PRIM	22.86 kV	CLASE AISL	A0
CORRIENTE PRIM	15.15 A	CONEXIÓN	DY5
TENSIÓN C.C.	3.53%	REFRIG	ONAM
PESO ACT	-Kg	DURAC C.C.S.	2
PESO TOTAL	2080 Kg	TEMP AMB	30° C
AÑO	2001	ALTITUD	3000 M
FRECUENCIA	60 HZ		
TENSIÓN SECUND	440 V		
CORRIENTE SECUND	787 A		
CORRIENTE C.C.	-		
ACEITE	MINERAL		
VOL AC LI	491		
EEQ 112433-C			

Figura 2.23 Descripción de placa del transformador TT4

Al igual que la iluminación conectada al transformador TT2, se tienen lámparas de 120 V y de 220 V. La iluminación utilizada para los galpones industriales consiste principalmente de lámparas de vapor de mercurio, con un factor de potencia aproximado de 0,6; sin embargo representa el 6,7 % de la carga instalada en este transformador, por lo que no afecta al factor de potencia total.

Para conectar las lámparas de 120 V se requiere de un transformador de 440 V a 220 V correspondiente al voltaje entre fases. Estas lámparas representan una potencia instalada de 24,4 kW y se las describe por línea de producción en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 Carga Iluminación 120 V conectada al transformador TT4

TRANSFORMADOR TT4 CARGA ILUMINACIÓN 120V	NÚMERO DE LÁMPARAS			POTENCIA INSTALADA
	TUBULAR FLUORESCENTE		LÁMPARAS DE TECHO	
	2X40W	6X40W	40W	(kW)
ILUMINACIÓN NAVE TROPICAL	0	52	0	12,48
ILUMINACIÓN NAVE SIPA 20	25	25	0	8,00
ILUMINACIÓN OFICINAS	47	0	4	3,92
TOTAL ILUMINACIÓN	72	77	4	24,40

Las lámparas que requieren voltaje de 220 V representan una potencia instalada de 43,47 kW y se las lista, por línea de producción en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20 Carga Iluminación 220 V conectada al transformador TT4

TRANSFORMADOR TT4 CARGA ILUMINACIÓN 220V	NÚMERO DE LÁMPARAS				CARGA INSTALADA
	TIPO CAMPANA LÁMPARA VAPOR DE MERCURIO		TUBULAR FLUORESCENTE	LÁMPARA INDUSTRIAL ALUMBRADO PUBLICO	
	250W	400W	6X60W-120	400W	(kW)
ILUMINACIÓN NAVE SIPA 20	0	50	0	7	22,80
ILUMINACIÓN NAVE INYECCIÓN	0	16	0	0	6,40
ILUMINACIÓN BODEGA DE MANTENIMIENTO	0	2	0	0	0,80
ILUMINACIÓN COMPRESORES	0	0	12	0	4,32
ILUMINACIÓN BODEGA DE MATERIA PRIMA	11	16	0	0	9,15
TOTAL ILUMINACIÓN	11	84	12	7	43,47

Al transformador TT4 se conecta un caldero eléctrico de carga nominal 370 kW que representa el 63 % de la carga instalada. Se conecta también la iluminación correspondiente a seis áreas de la fábrica, como son: línea Tropical, línea Sipa 20, inyección, oficinas, bodega de materia prima y bodega de mantenimiento.

Adicional se conecta un calefactor para el molde de la inyectora, utilizado en la producción de preformas PET. El tablero eléctrico de sala de aguas, representa un conjunto de motores para bombear el agua para ablandados, utilizada en varias líneas de producción de la fábrica. En la Tabla 2.21 se detalla la carga total instalada en TT4, que tiene un valor de 587,87 kW.

Tabla 2.21 Resumen de cargas conectadas al transformador TT4

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
OTROS	TABLERO PINCIPAL CALDERO ELÉCTRICO	276	370
OTROS	TABLERO ELÉCTRICO SALA DE AGUAS SIPA 20	29,8	40
ILUMINACIÓN	ILUMINACIÓN A 120V	18,2	24,4
ILUMINACIÓN	ILUMINACIÓN A 220V	32,4	43,47
BOMBAS	BOMBAS Y TALLER	22,4	30
INYECCIÓN	CALEFACTOR MOLDE DE INYECTORA HUSKY (220V)	59,7	80
POTENCIA TOTAL (kW)			587,87
POTENCIA TOTAL (kVA)			629

2.6.1.5 Transformador TT5 de 600 kVA

El transformador trifásico denominado TT5 con número de identificación 114907-C, tiene una potencia nominal de 600 kVA y refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. Las características de placa del transformador se presentan en la Figura 2.24.

Los equipos que se conectan al transformador TT5, marca INATRA, pertenecen a varias líneas de producción, como son: Línea Depall, New Amstar, Galonera y Bidonera. Al conjunto de estas líneas de producción se denomina Línea Tropical.

INATRA			
INDUSTRIA ANDINA DE TRANSFORMADORES CIA. LTDA.			
TRANSF TIPO	-	N°	04027116
POTENCIA NOM	600 kVA	NORMA	ANSI
NÚMERO FASES	3	NIVEL AISL	150 kV
TENSIÓN PRIM	22.86 kV	CLASE AISL	A0
CORRIENTE PRIM	15.15 A	CONEXIÓN	DY5
TENSIÓN C.C.	3.52%	REFRIG	ONAM
PESO ACT	-Kg	DURAC C.C.S.	2
PESO TOTAL	2080 Kg	TEMP AMB	30° C
AÑO	2002	ALTITUD	3000 M
FRECUENCIA	60 HZ		
TENSIÓN SECUND	440 V		
CORRIENTE SECUND	787 A		
CORRIENTE C.C.	-		
ACEITE	MINERAL		
VOL AC LI	491		
EEQ 114907-C			

Figura 2.24 Descripción de placa del transformador TT5

Actualmente la línea de producción New Amstar no se encuentra operando de manera regular, si bien se lo considera en la carga instalada no representa un consumo significativo en la empresa. En la Tabla 2.22 se detallan los equipos que forman parte de esta línea de producción.

Tabla 2.22 Carga línea New Amstar conectada al transformador TT5

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA NEW AMSTAR	OSMOSIS 2/ILUMINACION	53,6	40
LÍNEA NEW AMSTAR	LLENADORA MONOBLOCK 24kVA	26,8	20
LÍNEA NEW AMSTAR	ETIQUETADORA ASTECH 18 kVA	20,1	15
LÍNEA NEW AMSTAR	TUNEL TERMO 24kVA	26,8	20
LÍNEA NEW AMSTAR	AGRUPADOR 4kVA	4	3
LÍNEA NEW AMSTAR	TABLERO OZONO 1	13,4	10
POTENCIA TOTAL (kW)		108	
POTENCIA TOTAL (kVA)		117,4	

En la carga denominada línea de producción Depall se agrupan todos los equipos requeridos para el proceso de embotellado en envases PET con presentaciones de 500 ml y 3000 ml. Los equipos listados en la Tabla 2.23 realizan el soplado, transporte, llenado, tapado, etiquetado, codificado, termoencogido, entre otras operaciones que permiten la elaboración del producto final en esta línea de producción. La carga instalada en este grupo tiene un valor de 120,5 kW.

Tabla 2.23 Carga línea Depall conectada al transformador TT5

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA DEPALL	TRAFO 440/110 V - BOMBAS OZONO	5,4	4
LÍNEA DEPALL	TRANSPORTES DE CADENA	29,5	22
LÍNEA DEPALL	ENJUAGADOR DE BOTELLAS	12,1	9
LÍNEA DEPALL	LLENADORA	14,7	11
LÍNEA DEPALL	CODIFICADOR DOMINO A300	0,7	0,5
LÍNEA DEPALL	SOPLADOR SECADOR	6,7	5
LÍNEA DEPALL	HORNO TERMOFIJADOR	80,4	60
LÍNEA DEPALL	TRIBLOCK DEPALL (RINSE, LL, TP)	12,1	9
POTENCIA TOTAL (kW)			120,5
POTENCIA TOTAL (kVA)			131

La línea Galonera agrupa las máquinas y equipos requeridos para el embotellado en envases PET con presentaciones de 6000 ml. La carga instalada en esta línea tiene un valor de 163,5 kW, como se describe en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24 Carga línea Galonera conectada al transformador TT5

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA GALONERA	SOPLADORA SIAPI 20	80,4	60
LÍNEA GALONERA	CHILLER DE SOPLADORA SIAPI 20	20,1	15
LÍNEA GALONERA	ETIQUETADORA ASTECH	16,1	12
LÍNEA GALONERA	CODIFICADOR DE TAPAS	1,3	1
LÍNEA GALONERA	HORNO TERMOFIJADOR EDOS	60,3	45
LÍNEA GALONERA	PANTALLA OSMOSIS 1 110V	0,7	0,5
LÍNEA GALONERA	TABLERO OSMOSIS 1 / BOMBA 1	20,1	15
LÍNEA GALONERA	TABLERO OSMOSIS 1 / BOMBA 2	20,1	15
POTENCIA TOTAL (kW)			163,5
POTENCIA TOTAL (kVA)			177,7

La línea Bidonera agrupa las máquinas y equipos para el envase de agua mineral sin gas en botellones de 20 litros de capacidad. Estos envases retornables requieren un proceso de lavado previo, así como también el llenado y sellado del envase. La carga instalada en esta línea de fabricación tiene un valor de 45 kW, que se encuentra detallado en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25 Carga línea Bidonera conectada al transformador TT5

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA BIDONERA	PRELAVADORA DE BOTELLAS DE BIDON	4	3
LÍNEA BIDONERA	TRANSPORTES DE CADENA	8	6
LÍNEA BIDONERA	LAVADORA BIDON	40,2	30
LÍNEA BIDONERA	LLENADORA	6,7	5
LÍNEA BIDONERA	VISOR BOTELLAS	0,7	0,5
LÍNEA BIDONERA	CODIFICADOR IMAGE LÍNEA BIDONERA	0,7	0,5
POTENCIA TOTAL (kW)			45
POTENCIA TOTAL (kVA)			48,9

En la Tabla 2.26 se resumen los resultados de las tablas anteriores, donde se tiene una carga instalada en el transformador TT5 de 437 kW.

Tabla 2.26 Resumen de cargas conectadas al transformador TT5

RESUMEN LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA INSTALADA	
	(HP)	(kW)
LÍNEA NEW AMSTAR	144,8	108
LÍNEA DEPALL	161,5	120,5
LÍNEA GALONERA	219,2	163,5
BIDONERA MAPPER	60,3	45
POTENCIA TOTAL (kW)		437
POTENCIA TOTAL (kVA)		475

2.6.1.6 Transformador TT6 de 1000 kVA

El transformador trifásico denominado TT6 con número de identificación 161998-C, tiene una potencia nominal de 1000 kVA y refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. La Figura 2.25 presenta el detalle de placa del transformador TT6.

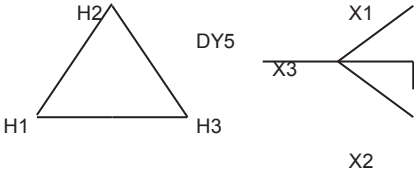
INATRA			
INDUSTRIA ANDINA DE TRANSFORMADORES CIA. LTDA.			
TRANSF TIPO	-	N°	10037859
POTENCIA NOM	1000 kVA	NORMA	ANSI
NÚMERO FASES	3	NIVEL AISL	150 kV
TENSIÓN PRIM	22.86 kV	CLASE AISL	A0
CORRIENTE PRIM	25.26 A	CONEXIÓN	DY5
TENSIÓN C.C.	4.21 %	REFRIG	ONAM
PESO ACT	-Kg	DURAC C.C.S.	2
PESO TOTAL	3100 Kg	TEMP AMB	30° C
AÑO	2003	ALTITUD	3000 M
FRECUENCIA	60 HZ		
TENSIÓN SECUND	440 V		
CORRIENTE SECUND	1312 A		
CORRIENTE C.C.	-		
ACEITE	MINERAL		
VOL AC LI	1292		
EEQ 161998-C			

Figura 2.25 Descripción de placa del transformador TT6

La línea Sipa 20 agrupa las máquinas y equipos requeridos para el para el embotellado en envases PET con presentaciones de 500 ml, 1500 ml, 2000 ml, 2500 ml, 3000 ml. La Tabla 2.27 detalla la carga instalada en esta línea de producción, que tiene un valor de 1006 kW.

Tabla 2.27 Carga línea Sipa 20 conectada al transformador TT6

LÍNEA	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
LÍNEA SIPA 20	SOPLADORA	670	500
LÍNEA SIPA 20	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE CO ₂	38	28
LÍNEA SIPA 20	CHILLER DE SOPLADORA	48	36
LÍNEA SIPA 20	BLOQUE DE LLENADO	37,5	28
LÍNEA SIPA 20	ALIMENTADOR NEUMATICO DE TAPAS	2,7	2
LÍNEA SIPA 20	TRANSPORTE DE CADENA Y SECADOR	80,4	60
LÍNEA SIPA 20	PROCESADOR DE BEBIDA	48,3	36
LÍNEA SIPA 20	CIP	24,1	18
LÍNEA SIPA 20	INSPECTOR DE BOTELLAS Y ETIQUETAS	3,4	2,5
LÍNEA SIPA 20	CODIFICADOR	0,7	0,5
LÍNEA SIPA 20	SECADOR DE BOTELLAS	24,1	18
LÍNEA SIPA 20	ETIQUETADORA	73,7	55
LÍNEA SIPA 20	HORNO TERMOFIJADOR	234,6	175
LÍNEA SIPA 20	DIVISOR DE PAQUETES	2,7	2
LÍNEA SIPA 20	PALETIZADOR AUTOMATICO	46,9	35
LÍNEA SIPA 20	ENVOLVEDORA AUTOMATICA	13,4	10
POTENCIA TOTAL (kW)		1006	
POTENCIA TOTAL (kVA)		1093,5	

En otros se agrupan el tablero de distribución Producarbo, asociado con los tanques de CO₂, el Carbocooler y la resistencia del tanque para caldero. Como se indica en la Tabla 2.28, la carga total instalada tiene un valor de 50 kW.

Tabla 2.28 Otras cargas conectadas al transformador TT6

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA	
		(HP)	(kW)
OTROS	RESISTENCIA PARA CALDERO	20,1	15
OTROS	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRODUCARBO	6,7	5
OTROS	CARBOCOOLER	40,2	30
POTENCIA TOTAL (kW)			50
POTENCIA TOTAL (kVA)			54,3

Resumiendo la descripción de las tablas anteriores, se tiene una carga total instalada en el transformador TT6 igual a 1056 kW, como se detalla en la Tabla 2.29.

Tabla 2.29 Resumen de cargas conectadas al transformador TT6

RESUMEN LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA INSTALADA	
	(HP)	(kW)
LÍNEA SIPA 20	1348,5	1006
OTROS	67,7	50
POTENCIA TOTAL (kW)		1056
POTENCIA TOTAL (kVA)		1147,8

2.6.1.7 Transformador TT7 de 750 kVA

El transformador trifásico denominado TT7 con número de identificación 31256-C, tiene una potencia nominal de 750 kVA y refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. En la Figura 2.26 se presenta el detalle de placa del transformador TT7.

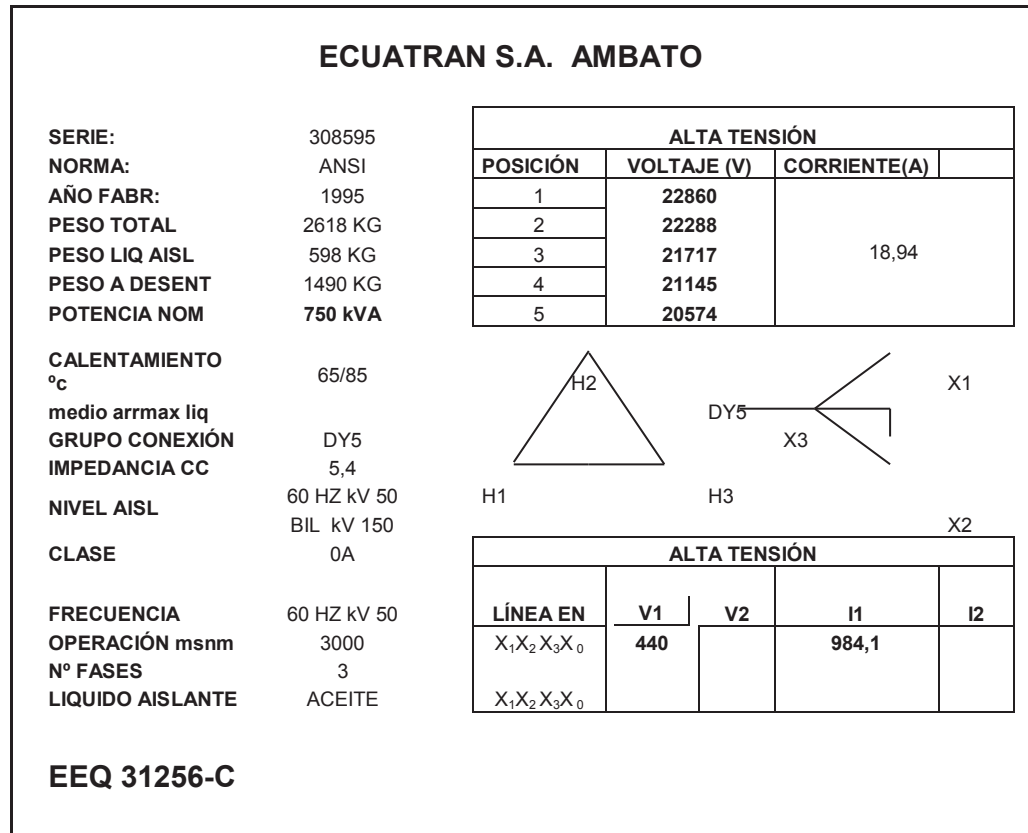


Figura 2.26 Descripción de placa del transformador TT7

Este transformador es tipo pedestal, aislado en aceite. Actualmente se encuentra en sitio, pero no tiene conectada carga alguna, debido a trabajos de mantenimiento y a la reubicación de los tableros que se conectaban a este transformador. El mismo se encuentra disponible para nuevas ampliaciones previstas a futuro.

2.6.1.8 Transformador TT8 de 1500 kVA

El transformador trifásico denominado TT8 con número de identificación 168980-C, tiene una potencia nominal de 1500 kVA y es de tipo pad mounted con refrigeración del tipo ONAN, circulación de aceite y aire natural. Este transformador fue instalado por requerimiento para la ampliación de nuevas líneas de producción durante los últimos 2 años. El detalle de placa se lo presenta en la Figura 2.27.

MORETRAN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO					
SERIE:	111429	MES / AÑO:	02/2013		
ESP:	SBTP0634	POTENCIA (kVA)	1500		
POSICIÓN DEL CONMUTADOR	V. Prim	V. Sec	Refrig:	ONAM	
	1	23370	Hz:	60 Hz	
	2	22800	% Imped	4,84%	
	3	22230	Norma:	ANSI	
	4	21660	Grupo:	YnYnO	
	5	21090	Fases:	3	
			Nivel aisl pr/sec kV	150/30	
CORRIENTE (A)	I. Prim	I. Sec	Calentamiento	65° C	
	37,98	1968,2			
PESOS:					
Parte activa	2283 Kg	Volumen aceite (Lt)	1463		
Aceite	1309 Kg	Tipo de aceite	Mineral		
Transf completo	5360 Kg	Material prim/sec	Cu/Cu		
		Operación msnm	3000		
MORETRAN 042-250947					
EEQ 168980-C					

Figura 2.27 Descripción de placa del transformador TT8

En este transformador se encuentran conectadas las cargas más importantes de la fábrica, que son cinco compresores de alta presión, con su respectivo secador de aire y torre de refrigeración. La mayoría de estos tienen como especificación de placa, una potencia nominal de 230 kW.

Los datos de potencia aparente para cada compresor fueron calculados en base al voltaje y corrientes especificados en placas de cada equipo, están presentados en la Tabla 2.30.

Tabla 2.30 Características de placa de los compresores en TT8

EQUIPO	AÑO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA INSTALADA (kVA)
COMPRESOR DE AIRE #2 SIAD MS3/1442-A3	2002	440	340	0,888	259,1
COMPRESORES DE AIRE #3 ABC 4HA-6-BIS-LT	2004	440	340	0,888	259,1
COMPRESOR DE AIRE #4 ABC 4HA-6-BIS-LT	2001	440	340	0,888	259,1
COMPRESOR DE AIRE #5 SIAD WS3 580-C3	2002	440	202	0,87	153,9
COMPRESOR DE AIRE #7 AF CE680A	2013	440	755	0,869	575,4

La carga total instalada en el transformador TT8 tiene un valor de 1389 kW, como se describe en la Tabla 2.31.

Tabla 2.31 Compresores conectados al transformador TT8

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA		
		(HP)	(kW)	(kVA)
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #2 SIAD MS3	308,3	230	259,1
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #2 M.T.A. SRL HPD 260	13,4	10	10,6
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #2 RWD 250	13,4	10	10,6
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #3 ABC 4HA-6	308,3	230	259,1
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #3 AIRSEC FD-205	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #3 RMA-100	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #4 ABC 4HA-6-BIS	308,3	230	259,1
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #4 AIRSEC FD-205	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #4 RMA-100	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #5 SIAD WS3 580	179,6	134	153,9
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #5 M.T.A. SRL DE 109	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #5 RWD 100	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #7 AF CE680A	670,2	500	575,4
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #7 BAC HPET 11	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #7 BACF100	13,4	10	10,6
POTENCIA TOTAL		1861,8	1389	1575,5

Además de los equipos descritos en el listado, se conecta un banco de capacitores de 180 kVA, para realizar compensación reactiva en dicho transformador, debido a que el factor de potencia en los compresores es bajo, aproximadamente 0,87; de acuerdo a los datos de placa.

2.6.1.9 Transformador TT9 de 1500 kVA

PROLEC - TRANSFORMADOR TRIFÁSICO					
SERIE:	M13G26455	MES / AÑO:	09/2013	POTENCIA (kVA)	1500
POSICIÓN DEL CONMUTADOR	V. Prim	V. Sec	Refrig:	ONAN	
	1/A	24003	Hz:	60 Hz	
	2/B	23431	% Imped	5,94%	
	3/C	22860	Norma:	ANSI	
	4/D	22288	Grupo:	YnYnO	
	5/E	21717	Fases:	3	
			Nivel aisl pr/sec kV	150/30	
CORRIENTE (A)	I. Prim	I. Sec	Calentamiento	65° C	
	37,9	1968,2			
PESOS:					
Parte activa	1536 Kg	Volumen aceite (pounds)	1230		
Aceite	1230 Kg	Tipo de aceite	Tipo 1		
Transf completo	4098 Kg	Material prim/sec	Cu/Cu		
		Operación msnm	3000		
EEQ 169279-C					

Figura 2.28 Descripción de placa del transformador TT9

El transformador trifásico denominado TT9 con número de identificación 169279-C, tiene una potencia nominal de 1500 kVA y es de tipo Pad Mounted con refrigeración ONAN, circulación de aceite y aire natural. Al igual que el transformador TT8, este fue instalado como un requerimiento en ampliaciones de la planta de producción. El detalle de placa se lo presenta en la Figura 2.28.

Los datos de potencia aparente para los compresores fueron calculados en base al voltaje y corrientes especificados en placas que se presenta en la Tabla 2.32.

Tabla 2.32 Características de placa de los compresores en TT9

EQUIPO	AÑO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA INSTALADA (kVA)
COMPRESOR DE AIRE #1 ABC 4HA-6-BIS-LT	2004	440	340	0,888	259,1
COMPRESOR DE AIRE #6 ABC 4HP-4-LT	2009	440	533,5	0,888	406,7

En este transformador se encuentran conectados dos compresores de 40 bares, además de equipos utilizados para la elaboración de preformas PET, como se describen en la Tabla 2.33.

Tabla 2.33 Compresores conectados al transformador TT9

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA		
		(HP)	(kW)	(kVA)
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #1 ABC 4HA-6-BIS-LT - 2001	308,3	230	259,1
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #1 AIRSEC FD-255-W/E - 2001	5,4	4	4,3
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #1 TEVA DECSA RMA-100 - 2001	6,7	5	5,3
SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE #6 ABC 4HP-4-LT - 2009	485,3	362	406,7
SALA COMPRESORES	SECADOR DE AIRE #6 AIRSEC FD-400-WH - 2009	5,4	4	4,3
SALA COMPRESORES	TORRE DE REFRIGERACIÓN #6 TEVA DECSA RMA-140 - 2009	6,7	5	5,3
POTENCIA TOTAL		817,8	610	685

Al transformador TT9 se conectan también equipos que conforman la línea denominada Inyección, con cargas como compresores, resistencias de secado, torres de enfriamiento y bombas de recirculación de agua. Estos equipos se describen en la Tabla 2.34.

Tabla 2.34 Inyección PET conectados al transformador TT9

LÍNEA DE PRODUCCIÓN	EQUIPO	POTENCIA INSTALADA		
		(HP)	(kW)	(kVA)
INYECCIÓN PET	INYECTORA HUSKY GL 300 PET	368,6	275	292,6
INYECCIÓN PET	COMPRESOR KAESER CSD 75	75	56	62,9
INYECCIÓN PET	CHILLER PIOVAN 0062 CHW 900	52,7	39,3	41,8
INYECCIÓN PET	CHILLER PIOVAN RPW 1600	87,1	65	69,1
INYECCIÓN PET	SECADOR PIOVAN DS 526	144,8	108	114,9
INYECCIÓN PET	DESHUMIFICADOR PIOVAN RPA 1800	22,5	16,8	17,9
INYECCIÓN PET	BOMBA DE VACIO PIOVAN F 48/2	12,1	9	10,1
INYECCIÓN PET	SILO PIOVAN T3500IX	13,4	10	10,6
INYECCIÓN PET	RESISTENCIAS SECADOR PIOVAN H64	85,8	64	64
INYECCIÓN PET	BOMBA DE AGUA HELADA PIOVAN #1	40,2	30	33,7
INYECCIÓN PET	BOMBA DE AGUA HELADA PIOVAN #2	40,2	30	33,7
INYECCIÓN PET	TORRE DE REFRIGERACIÓN BAC 15160	40,2	30	31,9
POTENCIA TOTAL		982,6	733,1	783,2

Resumiendo la descripción de carga instalada en las tablas anteriores, se tiene que la suma total en el transformador TT9 es de 1343,1 kW, tal como se detalla en la Tabla 2.35.

Tabla 2.35 Resumen de cargas conectadas al transformador TT9

RESUMEN LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA INSTALADA		
	(HP)	(kW)	(kVA)
SALA COMPRESORES	817,8	610	685
INYECCIÓN PET	982,6	733,1	783,2
POTENCIA TOTAL	1800,4	1343,1	1468,2

Adicional a los equipos descritos en la lista, se conecta un banco de capacitores de 180 kVA, para mejorar el factor de potencia en el transformador TT9.

2.6.1.10 Carga Total Instalada en la Fábrica

Determinados valores de potencia nominal especificados en datos de placa, se encuentran en caballos de fuerza (HP), realizando la conversión respectiva se obtuvo los valores en kilovatios (kW).

En la Tabla 2.36 se sintetizan los valores de carga instalada por transformador, en la fábrica de Tesalia Springs Company – Planta Machachi. Por lo tanto, la carga instalada es 7707,13 kW, repartida en ocho transformadores, de la siguiente forma:

Tabla 2.36 Carga instalada en transformadores EEQ de la fábrica

TRANSF	FABRICANTE	VOLTAJE PRIMARIO/ SECUNDARIO (V)	POTENCIA (kVA)	CARGA INSTALADA (kW)	CARGA INSTALADA (kVA)	FACTOR DE POTENCIA
TT1	INATRA	22860/440	750	1018,30	1106,80	0,92
TT2	TRANSUNEL	22860/230	500	469,86	544,60	0,86
TT3	MORETRAN	22860/440	1500	1406,00	1547,00	0,91
TT4	INATRA	22860/440	600	587,87	629,00	0,93
TT5	INATRA	22860/440	600	437,00	475,00	0,92
TT6	INATRA	22860/440	1000	1056,00	1147,80	0,92
TT7	ECUATRAN	22860/440	750	-----	-----	-----
TT8	MORETRAN	22860/440	1500	1389,00	1575,50	0,88
TT9	PROLEC	22860/440	1500	1343,10	1468,20	0,91
POTENCIA TOTAL			8700	7707,13	8493,90	0,91

Para determinar la carga instalada en kilovoltamperios (kVA), se consideró el factor de potencia obtenido por medición en cada línea de producción o tomando el dato de placa de los motores que representan la mayor parte de la potencia consumida por la máquina.

2.6.2 ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La fábrica embotelladora tiene procesos de producción que se encuentra en operación 22 horas del día, durante 6 días a la semana. Existen también líneas de producción que operan media jornada, esto es 11 horas al día, es por esto que el análisis de horas de funcionamiento se lo realizará por cada línea de producción.

El alcance de este proyecto no contempla el desarrollo de medidas para un ahorro energético, sin embargo es el punto de partida para llegar a implementarlas, conforme a las políticas planteadas actualmente en la empresa. Con esta información se podrá definir, qué procesos representan un mayor consumo, para determinar las áreas críticas donde se pueda elaborar un programa de eficiencia energética.

Se realiza un análisis del consumo de energía eléctrica en la fábrica embotelladora, para lo que se utilizará la planilla un mes, detallando los rubros a pagar, de acuerdo a lo contemplado en el pliego tarifario que se describe en el ANEXO A.

2.6.2.1 Tipo de Tarifa Eléctrica para la Fábrica

La estructura tarifaria refleja los costos originados por los clientes, considerándose aspectos como: estacionalidad, accesibilidad, equidad, racionalidad, proporcionalidad y eficiencia. La tarifa depende del nivel de tensión, potencia, cantidad de energía y uso. Se aplican a clientes industriales, comerciales, entidades oficiales, deportivas y de asistencia social, clasificándose de la siguiente manera:

- Baja tensión con demanda.
- Baja y media tensión con demanda y registrador de demanda máxima.
- Media tensión con demanda y registrador horario.
- Alta tensión con demanda y registrador horario.

La fábrica embotelladora se conecta a través de transformadores de propiedad de la EEQ a 22,8 kV. Se encuentra clasificada con tarifa para cliente en media tensión, realizando la medición comercial a este nivel de voltaje.

La tarifa con categoría B.5.4 se la aplica a consumidores industriales en media tensión, que disponen de un equipo de medición y registro de demanda horaria (MTDH). Con este equipo se obtiene un registro que permite identificar los consumos de energía y el valor de máxima demanda de manera independiente en los horarios de punta, media y base, además de sábados, domingos y feriados [22].

El monto a pagar por la planilla eléctrica consta de varios rubros: un cargo por comercialización independiente del consumo, otro por kW de demanda facturable, con un mínimo valor de pago y otros en función de la energía consumida en cada período.

La demanda mensual facturable es la máxima demanda registrada en el mes por el respectivo medidor y no podrá ser inferior al 60 % del valor de la demanda máxima de los últimos doce meses, incluido el mes de facturación.

En caso de realizarse la medición comercial en el lado de bajo voltaje, la empresa distribuidora cobrará un recargo por pérdidas de energía en el transformador, equivalente al 2 % del monto total de la energía consumida.

2.6.2.2 Consumo de Energía Eléctrica en la Planta Embotelladora

Realizando un análisis de los valores de consumo y demanda máxima durante el período de un año, se puede establecer que la fábrica embotelladora tiene un consumo promedio de 1326,2 MWh-mes y demanda máxima de 3584 kW. Estos datos fueron recopilados de las facturas de energía eléctrica de la empresa regional de distribución y se describen en la Tabla 2.37.

Tabla 2.37 Consumo de energía mensual en la fábrica

MES - AÑO	CONSUMO (MWh)	DEMANDA MÁXIMA (kW)
MAYO 2014	1411,78	3508
JUNIO 2014	1257,10	3435
JULIO 2014	1399,42	3584
AGOSTO 2014	1280,98	3475
SEPTIEMBRE 2014	1306,32	3564
OCTUBRE 2014	1230,82	3567
NOVIEMBRE 2014	1279,50	3396
DICIEMBRE 2014	1444,48	3429
ENERO 2015	1460,47	3564
FEBRERO 2015	1252,60	3326
MARZO 2015	1334,41	3346
ABRIL 2015	1279,67	3402
MAYO 2015	1303,26	3379

En la Figura 2.29 se puede visualizar en un diagrama de barras el consumo mensual de energía eléctrica comprendida entre los meses de mayo del año 2014 y del mes de mayo del 2015.

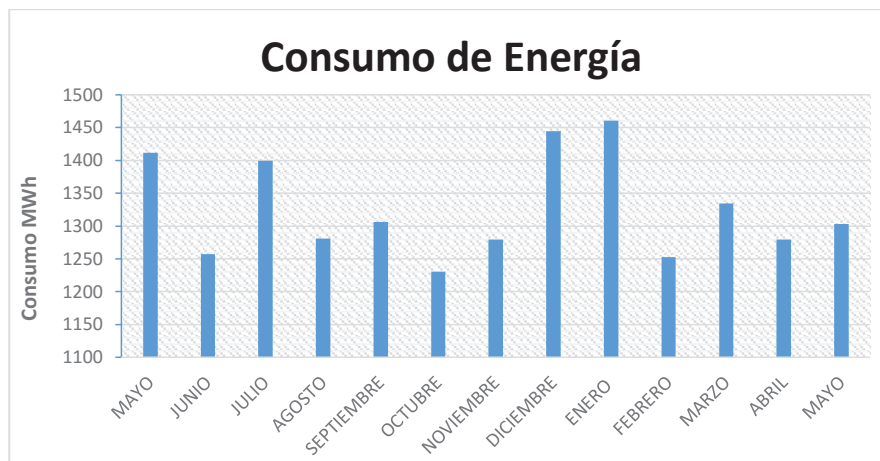


Figura 2.29 Histórico de consumo de energía en la fábrica

Para realizar el análisis de un mes, se toma mayo del 2015 que representa un consumo de energía activa de 1303 MWh. En la Tabla 2.38 se detalla el costo del kilovatio-hora para cada horario de consumo de la fábrica durante este mes, conforme se encuentra definido en los pliegos tarifarios referidos anteriormente.

Tabla 2.38 Costo del kWh en cada período de consumo

DESCRIPCIÓN	CONSUMO	COSTO US\$	UNIDADES	TOTAL US\$
Activa 08h00 - 18h00 (L-V)	473 088	0,078	kWh	36 900,864
Activa 18h00 - 22h00 (L-V)	183 008	0,092	kWh	16 836,736
Activa 22h00 - 08h00 (L-V)	626 287	0,062	kWh	38 829,794
Activa 18h00 - 22h00 (S-D-F)	20 876	0,078	kWh	1 628,328
Reactiva	508 547	0	kVArh	

Adicional al consumo de energía activa que se expresa en unidades de kilovatios hora (kWh), al cliente industrial con registrador de demanda horaria se le cobra un monto correspondiente a la demanda máxima registrada, a la que se le denomina facturable, multiplicada por un factor de corrección, asignado a la relación de demanda en hora pico (DP), con la demanda máxima (DM). Para este caso la relación entre DP/DM es igual a 1, por lo que el factor de corrección es 1,2. En la Tabla 2.39 se describen los valores de demanda máxima horaria y el costo considerando el factor de corrección.

Tabla 2.39 Demanda máxima en cada período de facturación

DESCRIPCIÓN	DEMANDA	DP/DM	COSTO US\$	UNIDADES	TOTAL US\$
Demanda 08h00 - 18h00 (L-V)	3 336	0,99	-	kWh	-
Demanda 18h00 - 22h00 (L-V)	3 379	1,00	-	kWh	-
Demanda 22h00 - 08h00 (L-V)	3 257	0,96	-	kWh	-
Demanda 18h00 - 22h00 (S-D-F)	1 544	0,46	-	kWh	-
Demanda Máxima - Facturable	3 379	-	4,129	kWh	13 951,891
Factor de Corrección (1,2)	-	-	-	-	16 742,269

El valor subtotal de servicio eléctrico (SE) se obtiene sumando los costos antes mencionados, más un costo fijo por comercialización que es común para todas las categorías de clientes de la empresa distribuidora de energía.

En la Tabla 2.40 se indica el valor mensual a pagar, que se obtiene sumado el subtotal cobrado por servicio eléctrico y un valor porcentual correspondiente al alumbrado público.

Tabla 2.40 Costo total SE y AP - mayo del 2015

Valor Consumo	94 195,722	USD \$
Demanda	16 742,269	USD \$
Comercialización	1,414	USD \$
I.V.A. (0%)	0	USD \$
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	110 939,405	USD \$
Alumbrado Público (AP)	6 101,66729	USD \$
Total SE y AP	117 041,072	USD \$

Al valor total cobrado en la factura se debe sumar los valores pendientes y recaudación de terceros (bomberos y tasa de recolección de basura).

2.6.2.3 Análisis Energético en la Planta Embotelladora

Es importante realizar un análisis que relacione el consumo de energía eléctrica de la fábrica, con la producción durante el mismo período. Esto permitirá obtener un índice que relacione la energía actualmente utilizada para la elaboración de una unidad de producto.

Utilizando como referencia el dato de energía facturada en la planilla del mes de mayo del año 2015, se procede a detallar los consumos en cargas especiales y en varias líneas de proceso.

Los datos utilizados en este análisis fueron recopilados por el sistema de medición independiente, instalado en el lado de baja tensión y ubicado en cada una de las líneas de producción y otras cargas especiales.

Existen cargas que no se encuentran monitoreadas de manera independiente, pero figuran en la medición que se realiza en el lado de bajo voltaje en cada transformador.

Tabla 2.41 Consumo detallado por carga en el mes de mayo del 2015

DETALLE DE LA CARGA	CONSUMO (kWh)	PORCENTAJE DE CONSUMO
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	347 892	26,69 %
COMPRESORES DE ALTA PRESIÓN	548 726,2	42,1 %
OTRAS CARGAS EN TT1	48 838,9	3,75 %
ILUMINACIÓN TT2 Y COMPRESORES DE BAJA PRESIÓN	74 548,5	5,72 %
SALA DE AGUAS TT2	19 303,9	1,48 %
ILUMINACIÓN TT4 Y CALDERO ELÉCTRICO	71 116,1	5,46 %
OTRAS CARGAS NO MONITOREADAS Y PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES	192 833,4	14,8 %
TOTAL	1 303 259	100 %

En la Tabla 2.41 se puede visualizar que las líneas de producción corresponden al 26,69 % del total de energía consumida durante el mes que se realizó el análisis. Sin embargo las cargas que mayor consumo representan, son los compresores de alta presión (40 bares), que aportan a todas las líneas de producción. Por este motivo, se presenta un análisis en cada línea de proceso, con su índice equivalente de energía requerida por unidad de producto y un índice global, que abarca a cargas de toda la fábrica, incluyendo iluminación y oficinas.

La Tabla 2.42 recopila el global de producción registrado durante este mes, especificando el número de cajas producidas, que en una misma línea puede corresponder a varias presentaciones y el número total de botellas con producto contabilizadas.

Tabla 2.42 Unidades de producto elaboradas durante un mes

LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	CAJAS FÍSICAS	NÚMERO DE BOTELLAS
LÍNEA KHS	143 809	1 696 668
LÍNEA CARBALLO	48 910	988 548
LÍNEA KOMPASS	183 859	4 412 616
LÍNEA SIPA16	265 037	6 407 022
LÍNEA NEW AMSTAR	-----	-----
LÍNEA DEPALL	6.899	27 596
LÍNEA GALONERA	160 128	640 512
LÍNEA BIDONERA	154 757	154 757
LÍNEA SIPA 20	449 642	7 678 848
TOTAL GENERAL	1 413 041	22 006 567

Para poder realizar una comparación cuantitativa de los productos elaborados en las distintas líneas de proceso, se expresa el total producido con su equivalente a cajas con producto de 8 onzas (235 ml). En la Tabla 2.43, se relaciona la producción equivalente con el valor de energía consumida por línea de proceso.

Tabla 2.43 Unidades de producto elaboradas durante un mes

DESCRIPCIÓN	CONSUMO [kWh]	PRODUCCIÓN EQUIVALENTE CAJA 8 OZ	INDICADOR [kWh / CAJA 8 OZ]
EMBOTELLADO KHS	19 033	527 989	0,066
SOPLADORA KHS	16 031		
CARBALLO	8 283	65 749	0,126
KOMPASS	23 446	310 536	0,155
SOPLADOR KOMPASS	24 586		
SIPA 16	37 217	531 426	0,147
SOPLADOR SIPA 16	41 128		
NEW AMSTAR	0	0	0,000
LÍNEA DEPALL	3 311	18 395	0,180
LÍNEA GALONERA	12 760	676 821	0,034
SOPLADORA GALONERA	10 353		
LÍNEA BIDONERA	20 812	517 845	0,040
LÍNEA SIPA 20	70 892	1 574 549	0,083
SOPLADORA SIPA 20	60 040		
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA EN LA FÁBRICA (Referencia Tabla 2.41)	1 303 259	4 223 310	0,309

2.6.2.3.1. Intensidad Energética

El indicador utilizado [kWh/caja 8 oz], representa el índice de intensidad energética, expresado para cada línea de producción y se lo calcula de la siguiente manera.

$$IE = \frac{\text{Energía Total kWh}}{\text{Unidades Producidas}} = \frac{\text{kWh}}{\text{Unidad}}$$

$$IE = \frac{1\,303\,259 \text{ (kWh)}}{4\,223\,310 \text{ cajas de 8 oz}} = 0,309 \frac{\text{kWh}}{\text{Unidad}}$$

En la Tabla 2.43 se expresa este índice como un indicador global, que considera pérdidas y consumos adicionales. Para la fábrica este índice es 0,309 kWh/caja de 8 onzas.

2.6.2.3.2. Costo Energético

Este indicador nos permite cuantificar el costo de producción equivalente por unidad de producto elaborado. Se lo obtiene de la relación entre el costo de la energía durante un período de análisis, con el número de productos fabricados.

$$C.E. = \frac{\text{Costo de la Energía Total Consumida \$}}{\text{Unidades Producidas}} = \frac{\text{USD}}{\text{Unidad}}$$

$$C.E. = \frac{117\,041,072 \text{ USD \$}}{4\,223\,310 \text{ cajas de 8 oz}} = 0,0277 \frac{\text{USD}}{\text{Unidad}}$$

Se puede concluir que la fábrica consume actualmente 309 Wh por unidad producida, a un costo de energía eléctrica aproximado de 2,77 centavos de dólar. Aunque el alcance de este proyecto no contempla diseñar estrategias de mejora para incrementar la eficiencia de la fábrica, esta información es el punto de partida, que permitirá evaluar el resultado de las estrategias aplicadas.

2.6.3 CAPACIDAD INSTALADA DE BOMBEO DE AGUA

En la actualidad, a nivel mundial, se promueve minimizar el impacto al medio ambiente con la utilización eficiente de este recurso, cuantificando el consumo para optimizar su uso. Uno de los sectores que demandan gran consumo de agua es el industrial, específicamente la industria alimentaria y de bebidas, puesto que requieren de este elemento para cada uno de sus procesos y subprocesos. Su uso eficiente promueve determinar la cantidad requerida para la elaboración de una unidad, de un producto en específico.

Como un alcance de este proyecto se propuso la instalación de sensores de caudal volumétrico para monitorear el consumo en litros de agua tratada y jarabe hacia las líneas de producción. Los puntos para la instalación de estos sensores fueron las entradas de agua a las líneas de producción KHS, Carballo, Kompass, Sipa 16, Roblemix (para el tratamiento de Agua), Paramix (Tratamiento de Agua), Carbocooler, Agua Ozonificada y Jarabe.

Para la toma de datos iniciales se procedió a realizar cálculos aproximados, con la fórmula de caudal (volumen/tiempo). La medición a obtener fue el caudal promedio, para lo cual se tomó el tiempo en que estuvo encendida determinada máquina y el volumen de agua que se ocupaba. Se realizaba varias veces este procedimiento, para al final promediar los resultados.

La planta actualmente consta de un sistema de bombeo de agua blanda y de agua tratada. El bombeo de agua blanda está formado por 2 bombas de 60 hp y 855 litros por minuto cada una, lo que da un total de 1710 litros por minuto (valor teórico). El bombeo de agua tratada consta de un sistema con una capacidad de 190 litros por minuto. En la Tabla 2.44 se presentan los valores de caudal promedio de agua, expresado en valores teóricos, que determinan la capacidad de la planta y fueron utilizados para la selección de los sensores de caudal correspondientes.

Tabla 2.44 Caudal promedio de agua

UTILIZACIÓN DEL AGUA	CAUDAL PROMEDIO (litros/min)
AGUA ABLANDADA SERVICIOS	1710
AGUA TRATADA	190

2.6.4 CAPACIDAD INSTALADA DE CONSUMO DE CO₂

Para este proyecto se propuso adicionalmente la instalación de sensores de caudal másico para monitorear el consumo de CO₂, hacia las líneas de producción. Los puntos donde se realiza el monitoreo fueron decisión de la empresa, conforme a sus requerimientos. Hasta antes de implementar el sistema de medición, los valores de consumo de CO₂, se estimaban con los valores teóricos, es decir con el valor de consumo requerido para la producción. En la Tabla 2.45 se presenta un promedio de los valores de consumo necesarios para la producción en un día.

Tabla 2.45 Consumo teórico de CO₂

CONSUMO DE CO₂ TEÓRICO (KILOGRAMOS)	
VALOR MÁXIMO	5117
VALOR PROMEDIO	2581
VALOR MÍNIMO	1090

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CONSUMO DE RECURSOS

3.1 MEDICIÓN DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS

La medición de energía eléctrica puede ser directa, semidirecta o indirecta, de acuerdo a la conexión de los instrumentos y transformadores de medida utilizados, sean estos transformadores de tensión, que permite medir la magnitud voltaje o transformadores de corriente, para la medición de la magnitud intensidad de corriente. Si los circuitos son trifásicos se debe considerar la medición de corriente y voltaje para cada una de las fases.

3.1.1 TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Los transformadores de medida son equipos que permiten alimentar con señales de tensión, en caso de ser TPs (transformadores de potencial) o de corriente en caso de ser TCs (transformadores de corriente) a los equipos de medición. Estos valores de corrientes o voltajes que entregan los equipos de medida se encuentran normalizados. En los transformadores de potencial el arrollamiento primario se conecta en paralelo al circuito de potencia y en los de corriente, el arrollamiento primario se conecta en serie con el circuito de potencia a ser medido.

Los transformadores de medida pueden ser del tipo interior o exterior y sus características dependen entre otras, del nivel de voltaje primario para considerar el aislamiento requerido. Para instalaciones de baja y media tensión, hasta 25 kV, se diseña equipos para aplicaciones de tipo interior, con aislamiento en aire o resina sintética. El tipo de transformador de medida utilizado depende también de los requerimientos por mantenimiento.

3.1.1.1 Definiciones Generales

Los siguientes parámetros definen las características más importantes que poseen los transformadores de medición [23]:

- **Burden:** es el valor de potencia máxima que puede conectarse como carga en el secundario de un transformador de medida y se expresa como una impedancia en ohmios (Ω) o en voltamperios (VA), con su respectivo factor de potencia a un valor especificado de frecuencia o corriente.
- **Razón de transformación:** es la relación existente entre las medidas sean voltajes o corrientes efectivas del devanado primario y secundario, para los transformadores de potencial y de corriente respectivamente.
- **Ángulo de fase:** es el ángulo de desfase que existe entre el voltaje o corriente secundario, con el voltaje o corriente primario, para un TP o TC. Es positivo si el secundario adelanta al primario.
- **Clase de precisión:** indica los límites en los que deben permanecer los errores de las señales obtenidas, bajo las condiciones de funcionamiento especificadas.

El valor de razón de transformación dado en placa puede diferir del valor real, lo que conlleva a un error en la medida obtenida en el secundario. Este error se puede presentar en magnitud y fase. Es por tal motivo que se define los siguientes factores de corrección:

- **Factor de corrección de transformación (FCT):** permite corregir los errores por efecto de la relación de transformación que se reflejan en el valor obtenido por el equipo de medición.
- **Factor de corrección de razón (FCR):** es el factor por el cual se debe multiplicar la razón de transformación de la placa para obtener la relación real.

- **Factor de corrección del ángulo de fase (FCAF):** es el coeficiente por el cual se debe multiplicar la lectura de potencia en un medidor conectado al lado del secundario para compensar el desplazamiento angular en este devanado.

3.1.1.2 Transformadores de Corriente

Los transformadores de corriente son dispositivos que permiten tener en condiciones normales, una corriente secundaria proporcional a la corriente primaria, con una diferencia de fases de aproximadamente cero dependiendo de su conexión. La relación de transformación se debe determinar en base a la corriente nominal del sistema calculada a plena carga. Los parámetros de selección de estos equipos se presentan en el ANEXO A.

3.1.1.2.1 Tipos de Transformadores de Corriente

Los transformadores de corriente se clasifican por su aplicación, tipo constructivo y nivel de voltaje. Según su aplicación los TCs pueden ser de medición, de protección, mixtos o combinados.

- Transformadores de medición son aquellos que se utilizan para reproducir en el lado secundario fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente, garantizando su precisión en la medición desde aproximadamente el 10 % del valor nominal hasta un exceso del 20 %.
- Transformadores de protección son los utilizados para obtener una señal de corriente que conserve su fidelidad hasta un valor de veinte a treinta veces la magnitud de la corriente nominal. Esta señal se la utiliza para la operación de equipos de protección de un circuito de fuerza.
- Transformadores mixtos son una combinación de los anteriores, tienen un circuito con el núcleo de alta precisión para medición, y uno o varios circuitos con núcleos adecuados para los circuitos de protección.

Por el nivel de voltaje, los transformadores de corriente (TCs) se clasifican en: para baja tensión, media tensión y alta tensión. De acuerdo a esta característica se determina el aislamiento usado en el equipo.

- Los transformadores para baja tensión generalmente son construidos con aislamiento seco, suponiendo su instalación para interiores menores a 3 kV.
- Los transformadores para media tensión son usados para tensión de 3 a 25 kV son construidos con aislamiento de aceite con envoltorio de porcelana o resina sintética.
- Los transformadores para alta tensión requieren considerar un aislamiento con condiciones dieléctricas adecuadas al nivel de voltaje de la instalación. Generalmente se encuentra aislado con papel dieléctrico, impregnados con aceite y colocados en una envoltorio de porcelana.

Por su tipo constructivo los transformadores de corriente (TCs) pueden ser: núcleo dividido, bobinados, ventana, barra central o bushing para adaptarse a un transformador o disyuntor de potencia. En la Figura 3.1 se describen algunos de estos transformadores de corriente.

- TCs tipo toroidal o ventana: Tiene un devanado secundario totalmente aislado y montado permanentemente sobre el circuito magnético o núcleo laminado y una ventana a través de la cual pasa un conductor que actuará como devanado primario.
- TCs tipo núcleo dividido es similar al tipo ventana, pero emplea núcleos articulados que permite cerrarlos alrededor de un conductor.
- TCs tipo devanado primario se usa cuando se requiere más de una espira en el primario, esto permite mayor precisión para bajas relaciones. Los devanados primarios y secundarios son totalmente aislados y están montados de manera permanente sobre el circuito magnético.

- TCs tipo barra: Este transformador es similar al tipo devanado primario, excepto en que el primario es una barra que pasa por la ventana de un núcleo.

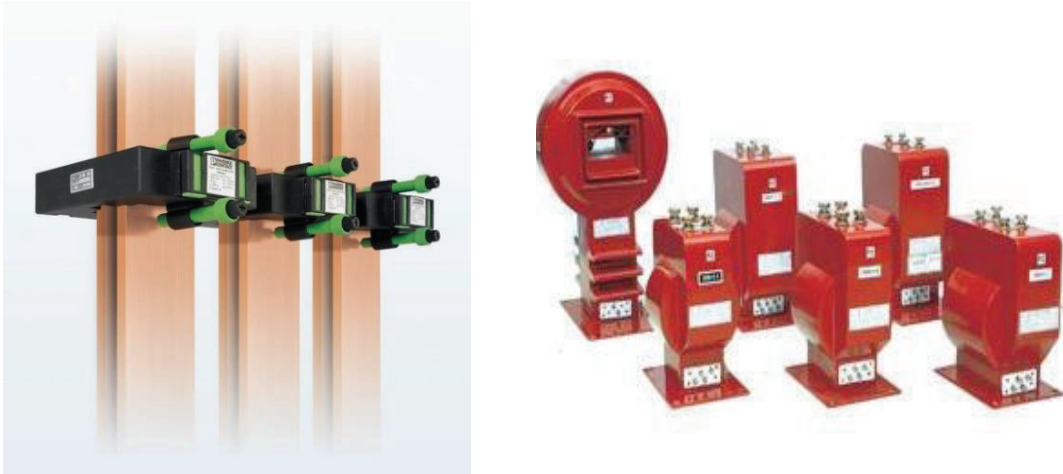


Figura 3.1 Transformadores de corriente toroidal y tipo devanado

Fuente: Citado en catálogo Phoenix Contact [24]

3.1.1.2.2 Tipos de Conexión de Transformadores de Corriente

La forma de conectar un transformador de corriente depende de cómo se van a utilizar las corrientes en el secundario. Existen tres formas en las que normalmente se conectan los secundarios: en estrella, en delta y en delta abierta.

- Conexión en Estrella: En esta conexión se colocan tres transformadores de corriente, uno en cada fase. Se debe cuidar la correcta polaridad al momento de conectarlos, puesto que la inversión de alguna de sus fases provocaría el desbalance de la estrella, entregando señales erróneas en el secundario.
- Conexión en Delta: Como en la conexión en estrella, en esta configuración se utiliza tres transformadores de corriente, pero a diferencia de la anterior, se modifica la relación y el ángulo de la corriente secundaria.
- Conexión en delta abierta. Esta conexión es la misma que la delta pero usando únicamente dos TCs. En esta conexión las corrientes del secundario están en fase con las del primario.

3.1.1.3 Transformadores de Potencial

El transformador de potencial TP es similar a uno de fuerza, es decir transforma voltaje, pero tiene su potencia nominal muy baja. Su objetivo es entregar una señal a los dispositivos correspondientes, que permita el monitoreo y protección del sistema. Conecta su devanado primario en paralelo con el circuito a ser medido y el devanado secundario a los bornes del dispositivo de medida.

Es conveniente instalar fusibles o disyuntores termomagnéticos en el secundario para proteger el devanado correspondiente. Se encuentra definido por la máxima carga en el secundario o burden que puede entregar sin exceder errores de razón y ángulo. Existen transformadores con varios niveles de precisión, para cada aplicación especial. Los parámetros de selección de estos equipos se presentan en el ANEXO B.

3.1.1.3.1 Errores en los Transformadores de Potencial

Los errores en este tipo de transformador se deben al sobredimensionamiento tanto del núcleo magnético como de los devanados. La magnitud de los errores depende de la característica de carga secundaria. En los transformadores de potencial existen 2 tipos de errores que afectan a la precisión de las medidas obtenidas y son:

- Error de relación de transformación: Es la diferencia que existe entre la relación real del voltaje de primario y secundario y la indicada en los datos de placa.
- Error de ángulo: Es la diferencia angular que existe de la tensión aplicada a la carga secundaria y la tensión aplicada al devanado primario, se define como positivo cuando el voltaje secundario adelanta al primario. Este error generalmente es pequeño y se lo expresa en minutos.

3.1.1.3.2 Tipos de Conexión de Transformadores de Potencial

Los tipos de conexión de transformadores de potencial más utilizados son:

- Conexión estrella-estrella: Se utiliza cuando se requiere tener neutro en el secundario.
- Conexión V o en delta abierto: Esta conexión es utilizada cuando no se requiere neutro en el secundario y se puede implementar con solo dos transformadores de potencial.

3.1.2 MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los medidores de energía pueden ser del tipo analógico o digital. Un medidor analógico es aquel cuya salida varia de manera continua, manteniendo relación con la entrada, que corresponde con la magnitud medida. Para su visualización utiliza una aguja que se desplaza por una escala graduada de manera lineal, exponencial o logarítmica. En la Figura 3.2 se ilustran algunos de estos equipos.

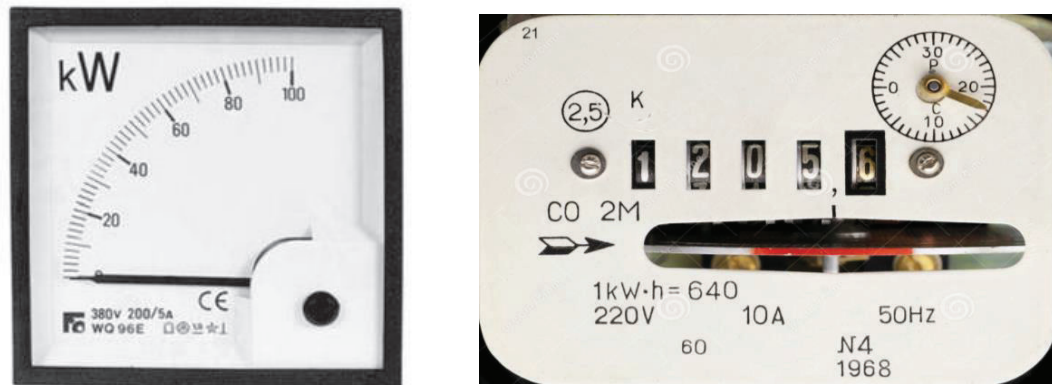


Figura 3.2 Equipos de medición analógicos

En la actualidad, con el desarrollo de la tecnología, se puede con un solo dispositivo, obtener mediciones digitales de corriente, voltaje, potencia, factor de potencia, consumo de energía, entre otras. Sin embargo se sigue utilizando los medidores analógicos en aplicaciones especiales.

3.1.2.1 MEDIDORES DE ENERGÍA DIGITALES

Estos son equipos que permiten visualizar mediante un display y de manera directa, los datos medidos, eliminando errores de lectura que se presentaba en los equipos con principio de medición analógica. Además pueden integrarse a redes industriales o enlazarse con otros dispositivos que permiten el almacenamiento de los datos recopilados, para un manejo adecuado de la información. Las principales características de estos equipos, con respecto a su funcionamiento, sensibilidad y precisión se las presenta en el ANEXO D.

Para digitalizar la medición, estos equipos discretizan la señal analógica a través de un conversor analógico – digital (A/D). Esto se efectúa tomando medidas a intervalos fijos de tiempo, a lo que se denomina muestreo, para posteriormente continuar con la cuantización y codificación de las señales. La frecuencia de muestreo determina la velocidad del aparato de medición. Un dispositivo con un tiempo de muestreo muy grande no será capaz de medir de manera eficiente magnitudes que cambian rápidamente.

La cuantización o nivel de discretización corresponde al incremento más pequeño entre dos niveles adyacentes, esto implica que el nuevo valor se presenta fragmentado en escalones conforme se produce el cambio de la magnitud física medida. Las características de estos escalones discretos le dan el grado de precisión al medidor de energía digital. La señal obtenida es adimensional y se representa en n cantidad de bits. La resolución depende del número de cifras binarias que determinan los niveles que representan la medida digital, por ejemplo 10 bit corresponden a 1024 niveles.

3.1.2.1.1 Diagrama de Bloques Básico

Los equipos digitales se basan en un sistema electrónico integrado, que consta de un microprocesador, que utiliza conversores analógicos/digitales para el procesamiento de señales, además se conectan interfaces como teclado y display, para la interacción con el usuario. Adicionalmente se incluyen puertos de comunicación para interconectarse con otros equipos que permitan la recopilación de datos.

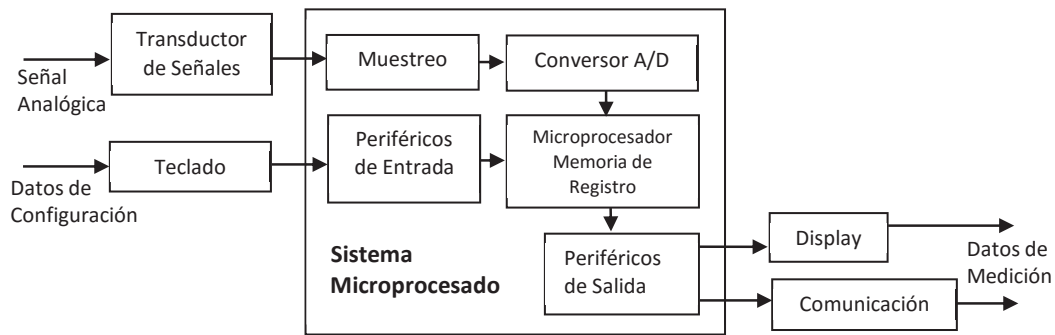


Figura 3.3 Diagrama de bloques genérico de un medidor digital

Fuente: Citado en “Operación y mantenimiento de medidores”, 2005 [25]

Algunos bloques representados en la Figura 3.3 podrían no estar presentes en determinados medidores, conforme al diseño de cada fabricante. En base a esto se pueden distinguir tres categorías de instrumentos, que se detallan a continuación:

- **Instrumentos básicos:** Estos dispositivos únicamente miden el valor de una variable eléctrica que se visualiza en un display. Este tipo de instrumentos no tienen la capacidad de comunicación, ni de almacenamiento de registros de valores medidos.
- **Instrumentos con registro:** Estos equipos pueden medir más de una variable y adquieren otras por cálculo interno. Se puede registrar ciertos datos dentro de un determinado período que puede ser ajustable. La configuración de este medidor se realiza a través de un teclado integrado ya que no dispone de comunicaciones.
- **Instrumentos con registro y comunicaciones integradas:** Estos equipos poseen una mayor capacidad de procesamiento y la posibilidad de crear registros de datos, cuentan con un teclado y un display que permiten configurar parámetros de manera directa y visualizar las medidas adquiridas, además de una interfaz de comunicación para su integración a sistemas de control que permitan un adecuado procesamiento de la información.

3.1.3 MEDICIÓN DE ENERGÍA EN LA FÁBRICA

La medición de energía en la fábrica por parte de la empresa eléctrica regional, se la realiza a nivel de medio voltaje, requiriendo utilizar transformadores de potencial y corriente de las características descritas en la Figura 3.4.

SCHAFFNER S.A			
EQUIPO COMPACTO DE MEDIDA			
TIPO	ECM	Nº	68666
HZ	60	AÑO	2007
KV BIL	150	PESO	314 KG
		ACEITE	114 LTS
TRANS POTENCIAL		TRANS CORRIENTE	
CANTIDAD	3	CANTIDAD	3
CONEXIÓN	YyODL	A PRIMARIO	150-200
V PRIMARIO	13200 V	A SECUNDARIO	5 A
V SECUNDARIO	110 V	PRECISION	0.2 IEC
PRECISION	0.2 IEC	BURDEN	15 VA
BURDEN	50 VA		
RAZON/CONECTAR		NIVEL ACEITE A 6	
200/5	R1-S1-T1/S	CM DE LA TAPA	
150/5	R2-S2-T2/S	3000 M. S. N. M.	

Figura 3.4 Transformadores de medición utilizados en la fábrica

La medición obtenida se la utiliza con fines de facturación comercial, de acuerdo a la tarifa correspondiente para la fábrica, que se la especifica en el capítulo anterior.

3.1.3.1 Diseño del Sistema de Medición Independiente

Para poder realizar un análisis más profundo se requiere de una medición más selectiva, que permita monitorear el consumo de energía eléctrica de manera independiente, adquiriendo los datos por cada carga representativa en la fábrica. En base a este criterio se desarrolló la propuesta de este proyecto, donde se considera que los equipos utilizados para la medición permanente serán digitales y se ubicarán en los tableros de distribución principales que son alimentados desde cada transformador y adicionalmente un medidor por cada línea de producción o en determinadas cargas que requieran ser monitoreadas. Esto permite realizar una lectura en sitio de parámetros eléctricos, tales como voltajes, corrientes, factor de potencia, potencias en cada fase y total, además del totalizador de consumo de energía.

La medición de voltaje se la realizará en el lado de baja tensión, es decir conectando la entrada de voltaje al medidor de manera directa, permitiendo prescindir de los transformadores de potencial para adquirir estos valores. La medición de corriente será indirecta, esto es utilizando transformadores de corriente. La Figura 3.5 presenta el esquema denominado medición semidirecta.

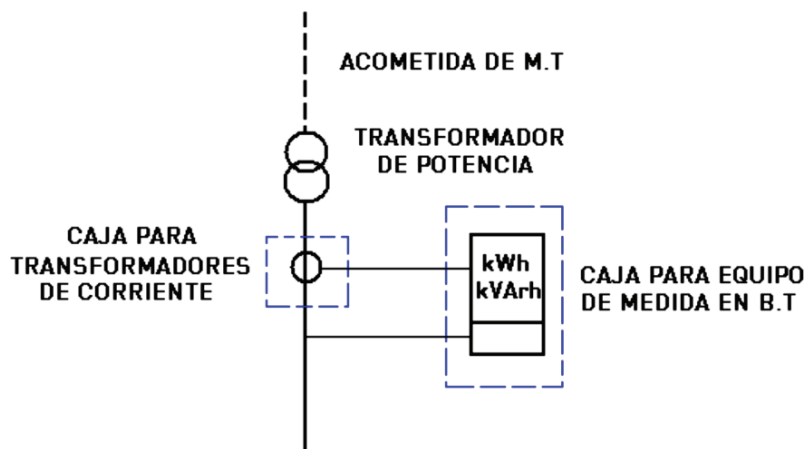


Figura 3.5 Equipo de medida en BT, medición semidirecta

Para el esquema propuesto se requiere dimensionar los transformadores de corriente (TCs) en base al valor nominal en cada punto donde va a realizarse el monitoreo de parámetros eléctricos.

Inicialmente se propuso la instalación de medidores de energía eléctrica en los tableros principales de la fábrica, que son nueve y corresponden a uno por cada transformador existente. Después de realizar el levantamiento de carga y conocer que el transformador 7 en la actualidad no tiene carga instalada, se deja a criterio de la empresa la instalación de un medidor en este punto, sin embargo no se lo considera en el diseño.

3.1.3.1.1 Medición Independiente en Transformadores

Para el diseño del sistema de medición, se procede a realizar un análisis de las principales características eléctricas en cada punto donde se plantea instalar medidores de energía independientes. En la Tabla 3.1 se presentan los datos de potencia nominal, nivel de voltaje, corriente nominal, calibre y cantidad de conductores utilizados por fase en cada tablero de distribución principal.

Estos datos son requeridos para el correcto dimensionamiento de los transformadores de corriente y la adecuada selección de los equipos de medición. Para este fin, se debe considerar la corriente nominal y el diámetro adecuado de la ventana del TC, asegurando que sea el correcto para el calibre y número de cables existentes para cada caso.

Tabla 3.1 Características nominales de los transformadores en la fábrica

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	POTENCIA NOMINAL	VOLTAJE NOMINAL SECUNDARIO	CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIO	CALIBRE DEL CONDUCTOR POR FASE
1	TRANSFORMADOR TT1	750 kVA	440 V	984 A	3X350MCM
2	TRANSFORMADOR TT2	500 kVA	230 V	1255,41 A	4X350MCM
3	TRANSFORMADOR TT3	1500 kVA	440 V	1968,2 A	5X600MCM
4	TRANSFORMADOR TT4	600 kVA	440 V	787,3 A	3X350MCM
5	TRANSFORMADOR TT5	600 kVA	440 V	787,3 A	3X350MCM
6	TRANSFORMADOR TT6	1000 kVA	440 V	1312,2 A	4X350MCM
7	TRANSFORMADOR TT7	750 kVA	440 V	984,1 A	-----
8	TRANSFORMADOR TT8	1500 kVA	440 V	1968,2 A	5x600MCM
9	TRANSFORMADOR TT9	1500 kVA	440 V	1968,2 A	5x600MCM

Los valores de corriente que constan en la tabla anterior, fueron recopilados en sitio del dato de placa de cada transformador, adicional a la información de cada tablero principal de distribución.

3.1.3.1.2 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT1

Adicional a la medición propuesta en cada transformador y por requerimientos de la fábrica, se diseña el sistema de medición con la capacidad de adquirir los datos en cada línea de producción. De esta manera, en el transformador TT1 se consideró realizar el monitoreo independiente en las siguientes líneas de producción: Carballo, KHS, Sala de Máquinas y Kompass.

Los valores de corriente para la selección de los transformadores adecuados, se calcularon utilizando el dato de potencia nominal obtenido en el levantamiento de carga, tal como se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Características en líneas de producción del transformador TT1

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN TRANSFORMADOR TT1	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIO	CALIBRE DEL CONDUCTOR POR FASE
1.1	LÍNEA CARBALLO	239,5 kW	260,3 kVA	341,6 A	500MCM
1.2	LÍNEA KHS (EXCEPTO SOPLADOR)	205 kW	222,8 kVA	292,3 A	500MCM
1.3	SALA DE MÁQUINAS	293,1 kW	318,6 kVA	418,8 A	2X2/0 AWG
1.4	LÍNEA KOMPASS (EXCEPTO SOPLADOR)	148,5 kW	161,4 kVA	211,8 A	2X2/0 AWG

3.1.3.1.3 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT2

Del mismo modo, para el transformador TT2 que tiene voltaje secundario nominal de 230 V, se consideró realizar un monitoreo adicional en la carga denominada Sala de Aguas. Los datos recopilados se resumen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Características en líneas de producción del transformador TT2

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN TRANSFORMADOR TT2	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIO	CALIBRE DEL CONDUCTOR POR FASE
2.1	SALA DE AGUAS	110 kW	128 kVA	321 A	2X3/0MCM

3.1.3.1.4 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT3

Para el transformador TT3 se realizará el monitoreo en las siguientes líneas de producción: Sipa 16 y en los sopladores de las líneas Kompass, KHS, y Sipa 16. Las características de estas máquinas se sintetizan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características en líneas de producción del transformador TT3

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN TRANSFORMADOR TT3	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIO	CALIBRE DEL CONDUCTOR POR FASE
3.1	SOPLADOR KOMPASS	201 kW	218 kVA	286,1 A	250 MCM
3.2	SOPLADOR KHS	365,5 kW	397 kVA	520,9 A	2X250MCM
3.3	SOPLADOR SIPA 16	180 kW	195 kVA	256 A	4/0AWG
3.4	LÍNEA SIPA 16 (EXCEPTO SOPLADOR)	227 kW	247 kVA	324,1 A	2X3/0 AWG

3.1.3.1.5 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT5

Para el transformador TT5 se instalará medidores independientes en las siguientes líneas de producción: Galonera, Soplador Galonera, Depall y New Amstar. Las características de estas líneas de producción se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Características en líneas de producción del transformador TT5

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN TRANSFORMADOR TT5	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIO	CALIBRE DEL CONDUCTOR POR FASE
5.1	SOPLADORA GALONERA	75 kW	81,5 kVA	107 A	2AWG
5.2	LÍNEA GALONERA	88,5 kW	96,2 kVA	126,2 A	2/0AWG
5.3	NEW AMSTAR	108 kW	117 kVA	154 A	2/0 AWG
5.4	LÍNEA DEPALL	120,5 kW	131 kVA	172 A	2/0 AWG

3.1.3.1.6 Cargas Adicionales Monitoreadas en el Transformador TT6

Para el transformador TT6 se consideró realizar el monitoreo en el soplador de la línea Sipa 20, que tiene las características descritas en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Características en líneas de producción del transformador TT6

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN TRANSFORMADOR TT5	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL SECUNDARIO	CALIBRE DEL CONDUCTOR POR FASE
6.1	SOPLADOR SIPA 20	500 kW	545 kVA	715,1 A	3x250MCM

3.1.3.2 Dimensionamiento de Transformadores de Corriente

Para la implementación del sistema, se decide realizar la medición de voltajes de manera directa, es decir, sin utilizar TPs y la medición de corrientes, utilizando TCs con las características descritas en el ANEXO E. Para su dimensionamiento, se toma como datos iniciales, la corriente nominal en cada uno de los tableros, considerando además el calibre del conductor existente o características de la barra, para determinar el radio interno del transformador tipo ventana, como se presenta en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Transformadores de corriente seleccionados

No	EQUIPO	CARGA INSTALADA	CORRIENTE NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR CONDUCTOR THHN	CAPACIDAD MÁXIMA DE CORRIENTE POR FASE	CTs	
1	TRANSF. TT1	750 kVA	984 A	3X350MCM	1050 A	1000/5	CFS-103
1.1	LÍNEA CARBALLO	260,3 kVA	341,6 A	500MCM	430 A	400/5	CFS-43
1.2	LÍNEA KHS (EXC. SOP)	222,8 kVA	292,3 A	500MCM	430 A	400/5	CFS-43
1.3	SALA DE MÁQUINAS	318,6 kVA	418,8 A	2X2/0AWG	390 A	400/5	CFS-43
1.4	LÍNEA KOMPASS (EXC. SOP.)	161,4 kVA	211,8 A	2X2/0AWG	390 A	300/5	CFS-43
2	TRANSF. TT2	500 kVA	1255,41 A	4X350MCM	1400 A	1500/5	CFS-123
2.1	SALA DE AGUAS	128 kVA	321 A	2X3/0AWG	450 A	400/5	CFS-43
3	TRANSF. TT3	1500 kVA	1968,2 A	5X600MCM	2375	2000/5	MFO-100
3.1	SOPLADOR KOMPASS	218 kVA	286,1 A	250 MCM	290	300/5	CFS-43
3.2	SOPLADOR KHS	397 kVA	520,9 A	2X250MCM	580	600/5	CFS-63
3.3	SOPLADOR SIPA 16	195 kVA	256 A	4/0AWG	260	300/5	CFS-43
3.4	SIPA 16 (EXC. SOP.)	247 kVA	324,1 A	2X3/0AWG	450	500/5	CFS-63
4	TRANSF. TT4	600 kVA	787,3 A	3X300MCM	960	800/5	CFS-63
5	TRANSF. TT5	600 kVA	787,3 A	3X300MCM	960	800/5	CFS-63
5.1	SOPLADORA GALONERA	81,5 kVA	107 A	2AWG	130	150/5	CFS-33
5.2	LÍNEA GALONERA	96,2 kVA	126,2 A	2/0AWG	195	150/5	CFS-33
5.3	NEW AMSTAR	117 kVA	154 A	2/0 AWG	195	300/5	CFS-43
5.4	LÍNEA DEPALL	131 kVA	172 A	2/0 AWG	195	200/5	CFS-43
6	TRANSF. TT6 - SIPA 20	1000 kVA	1312,2 A	4X350MCM	1400	1500/5	CFS-103
6.1	SOPLADOR SIPA 20	545 kVA	715,1 A	3x250MCM	870	800/5	CFS-63
7	TRANSF. TT7	750 kVA	984,1 A	-----	-----	-----	-----
8	TRANSF. TT8	1500 kVA	1968,2 A	5x600MCM	2375	2000/5	MFQ-100
9	TRANSF. TT9	1500 kVA	1968,2 A	5x600MCM	2375	2000/5	MFQ-100

Se escogen los TCs en base a la corriente nominal del secundario de los transformadores de potencia. Para la medición independiente en líneas de producción se consideró además el calibre del conductor existente, para asegurar la adecuada medición de corriente en el caso de un incremento de la carga instalada.

3.1.3.2.1 Tipos de conexión de los Transformadores de Corriente

Como se presenta en la Tabla 3.8, para conectar los transformadores de corriente se tienen cinco posibles conexiones que dependen de la topología de la red, si son de dos, tres o cuatro conductores y del tipo de carga, que puede ser simétrica (balanceada) o asimétrica (desbalanceada).

Tabla 3.8 Tipo de conexión de TCs hacia el medidor de energía

CONEXIÓN	NÚMERO DE FASES	NÚMERO DE CONDUCTORES	TIPO DE CARGA
3P4W	3 FASES	4 CONDUCTORES	CARGA DESBALANCEADA
3P3W	3 FASES	3 CONDUCTORES	CARGA DESBALANCEADA
3P4WB	3 FASES	4 CONDUCTORES	CARGA BALANCEADA
3P3WB	3 FASES	3 CONDUCTORES	CARGA BALANCEADA
1P2W	1 FASE	2 CONDUCTORES	-----

Para este proyecto y considerando que las cargas no se encuentran balanceadas se escoge la conexión 3P4W (tres fases a cuatro hilos), que permite la medición trifásica, sin transformadores de potencial, utilizando únicamente tres transformadores de corriente conectados en estrella. Debe preverse el uso de fusibles en cada entrada de voltaje para proteger al equipo de medición, adicional a la protección del circuito de alimentación, como se indica en la Figura 3.6.

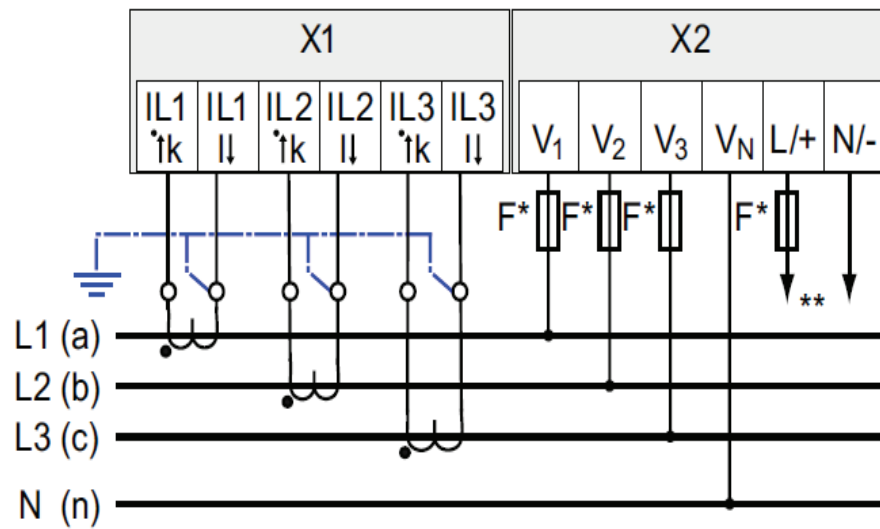


Figura 3.6 Conexión para medir cargas trifásicas desbalanceadas

En la Figura 3.7 se presenta un ejemplo del conexionado utilizado para los circuitos de corriente y voltaje hacia el medidor digital de energía. Este esquema se lo considera en cada uno de los tableros donde se realiza la medición independiente de consumo de energía.



Figura 3.7 Instalación de TCs y fusibles para señales de voltaje

3.2 MEDICIÓN DE CAUDALES MÁSICOS Y VOLUMÉTRICOS

El caudalímetro o medidor de caudal es un instrumento que permite la medición del caudal volumétrico o caudal másico de un fluido que puede ser líquido o gas. La variación de la medición podría ser no lineal, de acuerdo a las características físicas del fluido. Dependiendo de su principio de funcionamiento, los medidores de caudal pueden determinar el volumen o masa de forma directa mediante dispositivos de desplazamiento positivo o indirecta a través de sensores de presión diferencial, velocidad o fuerza del flujo.

Los tipos de sensores existentes son: de presión diferencial, de accionamiento mecánico, electromagnéticos, ultrasónicos, vórtice o con principio de medición coriolis.

Para la mayoría de aplicaciones y dependiendo del fluido que se desea medir, no se recomienda el uso de sensores con accionamientos mecánicos, debido al desgaste que sufren las piezas móviles al estar en contacto permanente con el líquido o gas medido, limitando de esta manera su vida útil.

3.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEDIDORES DE CAUDAL

Para seleccionar un medidor de caudal se deben considerar ciertos aspectos que se listan a continuación:

- **Tipo de medición**, si es de caudal másico kg/s o volumétrico m³/s.
- **Disposición física para el montaje**, accesibilidad o facilidad de montaje, diámetro, materiales y posición de la tubería.
- **Características del fluido**, como viscosidad, densidad, rangos de temperatura, nivel de corrosividad y conductividad eléctrica.
- **Condiciones hidráulicas del flujo**, caudales de trabajo, velocidades y presiones.

Además el medidor se especifica en base a sus características respecto a precisión, sensibilidad, repetibilidad, rango dinámico, principio de funcionamiento, protección y tiempo de vida útil. Estos aspectos determinan el costo final del medidor, además del nivel de dificultad en su instalación y calibración.

Para la medición de caudales volumétricos se escogió caudalímetros con principio de medición electromagnético y para la medición de caudales másicos se escogió medidores coriolis.

3.2.2 MEDIDORES DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICOS

El caudalímetro electromagnético utiliza la fuerza electromotriz que genera un líquido conductor, cuando circula por una tubería aislada, donde se ubican dos electrodos opuestos diametralmente. Para obtener las medidas de caudal, se genera una corriente pulsante que magnetiza las bobinas o electrodos.

La corriente que se genera, es vigilada y corregida permanentemente, detectando de este modo la aparición de errores o fallas en el cable. En la Figura 3.8 se presenta el esquema general de un medidor electromagnético. A través de los electrodos, se obtiene una señal de voltaje directamente proporcional a la velocidad media del fluido, que se encuentra en el orden de los milivoltios. Se requieren circuitos adicionales para amplificar y un procesador digital para convertir la señal analógica, en una señal digital, eliminando los ruidos del electrodo mediante un filtro digital.

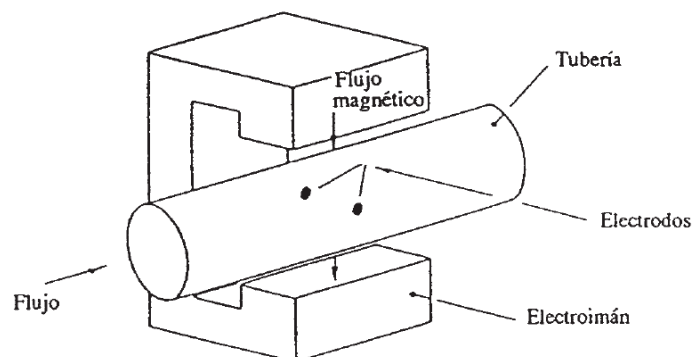


Figura 3.8 Esquema general de un medidor electromagnético

Durante la medición, el fluido estará en contacto con el material de los electrodos, por este motivo se requiere conocer las propiedades químicas del fluido que va a circular por este tipo de sensores. Entre los materiales más utilizados para los caudalímetros están: acero inoxidable no magnético, platino-iridio, monel, hasteloy, titanio, y circonio.

3.2.2.1 Ventajas y Desventajas de los Medidores Electromagnéticos

Este tipo de caudalímetro presenta grandes ventajas, entre las más importantes se pueden mencionar:

- Este sensor no es intrusivo, por lo que no altera el flujo normal del proceso, disminuyendo la pérdida de presión y permitiendo la medida de todo tipo de suspensiones y fluidos de gran viscosidad o gran densidad. Además puede medir caudal en ambas direcciones y totalizarlo de manera independiente.
- Dentro de ciertos límites, son mínimamente afectados por variaciones en el flujo, densidad, viscosidad, presión y temperatura, manteniendo una señal de salida lineal.
- Puede ser instalado en trayectos de tubería vertical. Requiere muy poco mantenimiento al no tener partes móviles.

Una limitación de este dispositivo es el monitoreo del caudal realizado únicamente para líquidos desde un mínimo nivel conductividad eléctrica, aproximadamente 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La energía que es disipada por los electrodos puede producir calentamiento en el sensor.

3.2.2.2 Montaje del Sensor de Caudal

Por diseño constructivo y principio de medición, la instalación de un sensor electromagnético, debe ser en serie a la tubería donde se va a tomar los datos, como se presenta en la Figura 3.9. Existen distintos tipos de montaje que permiten utilizar bridas o abrazaderas para fijar mecánicamente al sensor en su sitio.

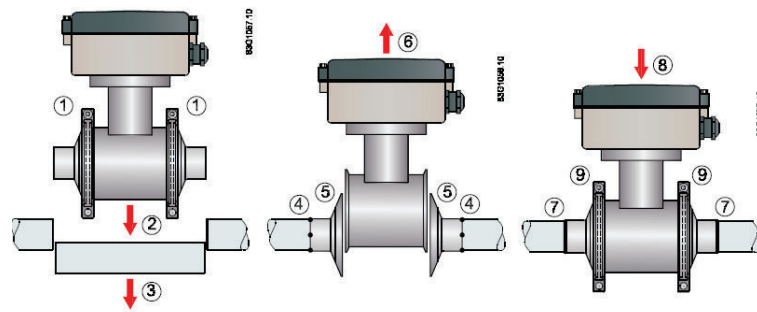


Figura 3.9 Montaje del sensor en la tubería

Fuente: Citado en manual de Sitrans F, 2012 [26]

La disposición física de la tubería donde se realiza el montaje de este sensor, debe cumplir con ciertos requerimientos, para poder garantizar la adecuada medición y el mínimo error en los valores obtenidos. El sensor no puede ser instalado después de un cambio brusco de dirección del sentido de la tubería, se recomienda como mínimo una distancia igual a 5 veces el diámetro de la misma, antes del sensor o 3 veces el diámetro, después de la ubicación del sensor, conforme lo indica la Figura 3.10.

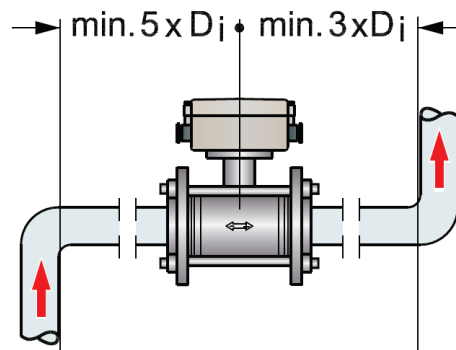


Figura 3.10 Disposición física recomendada para la tubería

Fuente: Citado en Manual de Sitrans F, 2012 [26]

3.2.2.3 Montaje del Transmisor de Caudal

El transmisor es aquel dispositivo, parte del caudalímetro, que recibe las señales del sensor y las convierte, entregando señales proporcionales al caudal medido, para que puedan enviarse a otros equipos. En la Figura 3.11 se presenta la conexión de un transmisor a través de una instalación remota, es decir separado del sensor.

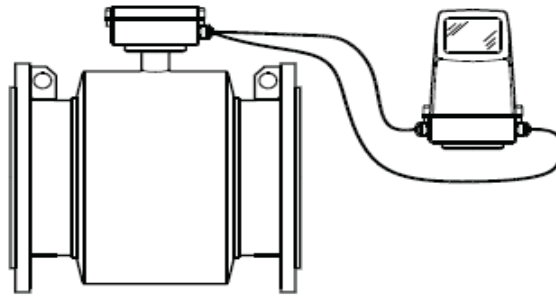


Figura 3.11 Instalación remota del transmisor

Fuente: Citado en manual de Sitrans F, 2012 [26]

Según el modelo de caudalímetro, se puede utilizar una fuente de corriente AC o DC cada una con un valor especificado de 115 a 230 VAC o 12 a 24 V AC/DC, respectivamente.

3.2.2.4 Características Requeridas para la Medición de Caudales Volumétricos

La medición de caudal de agua se especifica en unidades de volumen por tiempo transcurrido. El consumo de agua en la fábrica se registra en litros por proceso productivo, es por este motivo, que el caudal para un instante determinado, es medido en litros por minuto.

En las líneas de producción: KHS, Carballo, Kompass, Sipa, además del procesador de bebidas Paramix, se especifican los parámetros descritos en la Tabla 3.9 como rango de caudal, temperatura y diámetro de la tubería, que determinan las características de los caudalímetro requeridos.

Tabla 3.9 Datos para la medición de caudal de agua

LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	RANGO DE CAUDAL	RANGO DE TEMPERATURA	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA
LÍNEA KHS	10 - 200 [litros/minuto]	0 - 30 °C	DN50 - 2"
LÍNEA CARBALLO	10 - 200 [litros/minuto]	0 - 30 °C	DN50 - 2"
PARAMIX	10 - 200 [litros/minuto]	0 - 30 °C	DN50 - 2"
LÍNEA KOMPASS	10 - 800 [litros/minuto]	0 - 30 °C	DN50 - 2"
LÍNEA SIPA	10 - 800 [litros/minuto]	0 - 30 °C	DN50 - 2"

3.2.3 MEDIDORES DE CAUDAL CORIOLIS

Este caudalímetro utiliza el principio del efecto coriolis para medir directamente la masa de un fluido. Su medición no se ve afectada con variaciones de presión, temperatura, viscosidad, velocidad o densidad del fluido.

La fuerza coriolis es aquella que experimenta todo cuerpo con una masa definida que se mueve a través de un sistema de referencia oscilatorio o en rotación.

Este efecto se induce en el caudalímetro a través de una bobina electromagnética que genera una vibración constante a frecuencia natural del tubo medidor. Si a través de esta tubería pasa un fluido, en la entrada la fuerza coriolis tiende a desacelerar el movimiento de oscilación, mientras que en la salida, tiende a acelerarlo; es decir genera un cambio de fase a lo largo del tubo, como se lo presenta en la Figura 3.12. El flujo de masa se lo puede medir, determinando este cambio de fase.

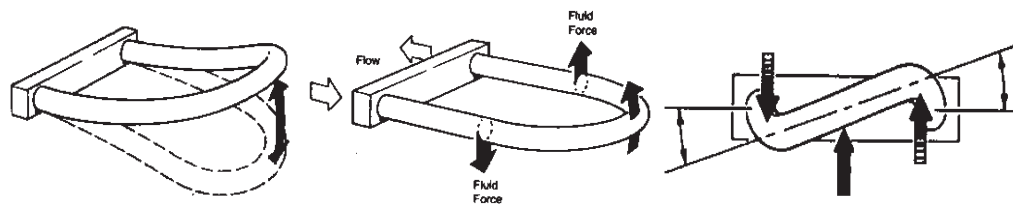


Figura 3.12 Efecto coriolis en el tubo del caudalímetro

Fuente: Citado en medidores industriales COHORTE, 2012 [27]

Este tipo de sensores no son intrusivos, puesto que no poseen partes móviles. Se los utiliza para la medición de caudales máxicos en líquidos o gases a altas temperaturas, altas presiones, líquidos con cualquier grado de viscosidad o conductividad. No requiere de consideraciones especiales para su instalación en la tubería y puede tener cualquier orientación. Poseen una exactitud alrededor del $\pm 0.2\%$ de la escala completa con una repetibilidad de $\pm 0.05\%$.

3.2.3.1 Ventajas y Desventajas de los Medidores Coriolis

Por el principio de funcionamiento, este caudalímetro no altera su precisión en la medida adquirida, debido a variaciones de presión, de temperatura, características del fluido, corrosión o recubrimiento del sensor. Adicional a esto presenta otras ventajas como:

- Es de fácil instalación y requiere poco mantenimiento.
- Pueden medir densidad del fluido, con una gran exactitud.
- Permite además la medición en aplicaciones con flujo pulsante.

Este caudalímetro presenta las siguientes desventajas:

- Las vibraciones que genera el caudalímetro, podrían provocar una ruptura en la soldadura del lazo.
- Su utilización no está especificada para la medición de flujo en tuberías de gran diámetro.
- Son muy costosos, por lo que generalmente se los usa en aplicaciones que se requiera gran exactitud de la cantidad de masa del fluido.

3.2.3.2 Consideraciones para su Instalación

La medición del instrumento no depende de la velocidad del fluido, es decir no requiere ser instalado en tramos rectos. Si se colocan varios instrumentos en serie, éstos deben separarse 15 diámetros como mínimo. No hay limitación en cuanto a la orientación del lazo; sin embargo, se recomienda orientarlo de forma tal que las burbujas de los gases o sedimentos no se acumulen en la región de medición del instrumento. Generalmente se instala el lazo por debajo de la tubería para líquidos y por encima para gases. El diámetro del instrumento debe ser igual o menor que el diámetro de la tubería. No es recomendable instalar el instrumento con un diámetro mayor.

Se recomienda el uso de sensores de Hastelloy C para el caso de fluidos corrosivos, además de la instalación de una válvula de bloqueo de cierre hermético lo más cerca posible del instrumento (aguas abajo), para la calibración del cero.

3.2.3.3 Características Requeridas para la Medición de Caudales Másicos de CO₂

La medición de caudal de CO₂ se especifica en unidades de masa por tiempo transcurrido. El consumo de CO₂ se registra en kilogramos utilizados por proceso productivo, es por este motivo, que el caudal para un instante determinado, es medido en kilogramos por minuto.

Para las líneas de producción: Línea Carballo, KHS y Kompass, se especifican los parámetros descritos en la Tabla 3.10, que son rango de caudal, temperatura y diámetro de la tubería. Estos determinan las características de los sensores de caudal requeridos.

Tabla 3.10 Datos para la medición de caudal de CO₂

LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	RANGO DE CAUDAL	RANGO DE TEMPERATURA	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA
LÍNEA CARBALLO	2 - 800 [kg/minuto]	0 - 30 °C	DN15 – 1/2"
LÍNEA KHS	10 - 1000 [kg/minuto]	0 - 30 °C	DN25 – 1"
LÍNEA KOMPASS	10 - 800 [kg/minuto]	0 - 30 °C	DN15 – 1/2"

Es necesario mencionar, que el monitoreo se está ampliando a todas las líneas de producción de la fábrica. Se está realizando un estudio previo para incrementar el número de medidores de caudal másicos y volumétricos. Todos estos sensores se integrarán al sistema de control y monitoreo desarrollado con este proyecto.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS Y PROGRAMACIÓN NECESARIA PARA EL NUEVO SISTEMA DE MONITOREO

En este capítulo se describen las características de los dispositivos requeridos para implementar el sistema de medición permanente de energía, caudal de agua y CO₂, y demás equipos utilizados en la conformación de la red industrial. Además se esquematiza, mediante diagramas de flujo, la programación desarrollada en los PLCs para la centralización de valores en bases de datos.

4.1 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

El monitoreo constante del consumo de energía eléctrica, de agua y CO₂, nace como un requerimiento de la empresa, para poder registrar, controlar y disminuir las pérdidas, con el objetivo de optimizar el manejo de recursos utilizados en la elaboración de productos embotellados. Por este motivo se propone el desarrollo del proyecto de un sistema de medición inteligente, que cubre el primer punto de la necesidad existente en la fábrica, que es registrar los consumos de manera automática, creando bases de datos, que permitan su posterior análisis.

El sistema de medición inteligente está constituido por dos controladores lógicos programables (PLCs), encargados de centralizar los datos provenientes de los medidores de energía y los transmisores de caudal. Para esto se utiliza una red ethernet con protocolo de comunicación Modbus TCP, que es utilizado para la medición de energía eléctrica. Para la medición de caudal se implementó un bus de comunicación Profibus, con variantes de periferia descentralizada (DP) y de automatización de proceso (PA).

El sistema consta además de una Interfaz Hombre Máquina (HMI), implementada en una computadora, para permitir el monitoreo constante de valores medidos, además del almacenamiento de datos históricos, que se acceden a través de la aplicación desarrollada en WinCC.

En la Figura 4.1 se ilustra un diagrama de bloques con el esquema general del sistema de medición propuesto.

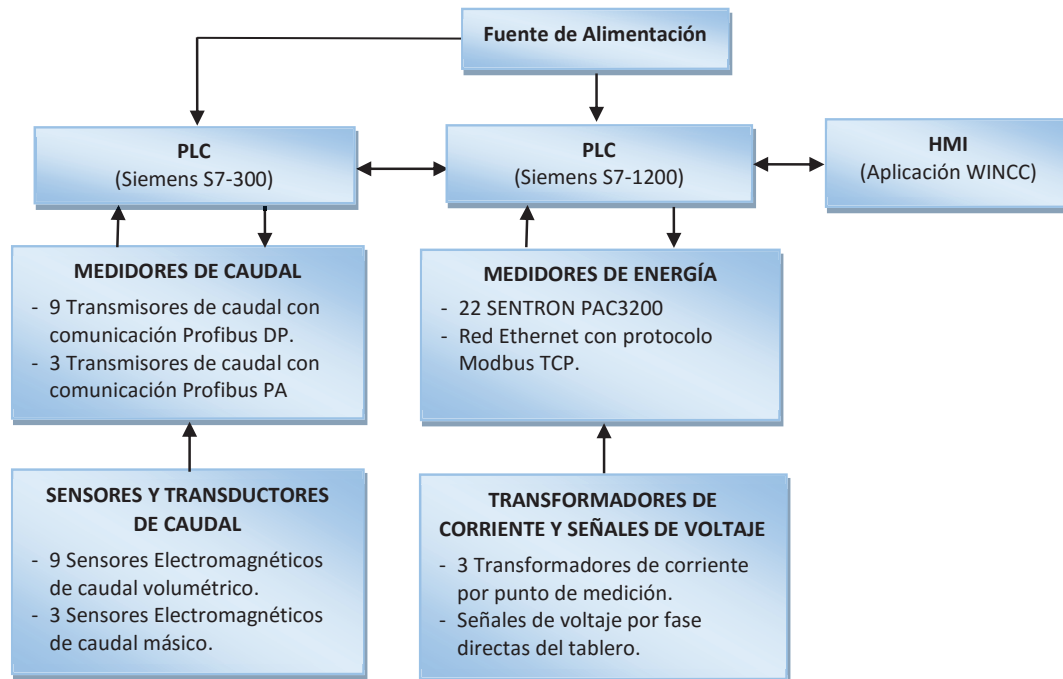


Figura 4.1 Esquema general del sistema de medición inteligente

4.2 EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los equipos que realizarán la medición de manera permanente se ubicarán en cada uno de los tableros, permitiendo realizar una lectura en sitio de parámetros eléctricos. Adicional se instalará controladores lógicos programables para centralizar los datos obtenidos de todos los medidores instalados y llevarlos a un sistema de monitoreo y adquisición de datos, con una interfaz de usuario para su adecuado manejo y análisis.

4.2.1 MEDIDOR DE ENERGÍA SENTRON PAC 3200

El medidor de energía Sentron PAC 3200 está diseñado para monitorear el consumo de energía eléctrica (activa, reactiva y aparente) en ambientes industriales, permitiendo visualizar en un display LCD gráfico los datos medidos.

Este dispositivo permite adquirir valores de potencia y energía en los cuatro cuadrantes, totalizando el valor de energía que entrega y recibe el sistema. En la Figura 4.2 se presenta un medidor digital de energía Sentron PAC 3200.



Figura 4.2 Medidor digital de energía Sentron PAC3200

Fuente: Citado en manual multímetro Sentron PAC3200, 2008 [28]

El Sentron PAC 3200 puede medir voltajes, intensidades de la corriente, potencias, valores de la energía eléctrica, frecuencia, factor de potencia, simetría y distorsión armónica (THD) en cada una de las fases.

Además del valor de medida actual, es posible configurar el equipo para la adquisición de los valores mínimos, máximos y el cálculo de los valores medios de potencia del último intervalo de medición, para generar perfiles de carga utilizando software adicional. El período de demanda programable es de 1 a 60 minutos. Las características técnicas se presentan en el ANEXO F.

El medidor Sentron PAC tiene una interfaz ethernet integrada, para conector RJ45 que permite la conexión a una PC o una red de área local. Es posible parametrizar cada dispositivo de manera directa, a través de un teclado integrado o utilizando un cable de comunicación. Para su configuración se tiene restricción de acceso por clave.

Para facilitar la exportación de datos y analizarlos en un sistema de gestión, se enlaza el medidor a redes industriales. Esto permite visualizar de mejor manera, el consumo de energía y la evolución de la carga.

4.3 EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL

Para este proyecto se escogió caudalímetros con principio de medición electromagnético Sitrans FM para el caudal volumétrico y coriolis Sitrans FC, para el caudal másico. Se los instala en la tubería realizando las adecuaciones mecánicas necesarias para su montaje. Están diseñados para entornos industriales generales, con una caja de acero inoxidable resistente a la corrosión, materiales de revestimiento para soportar las condiciones de trabajo.

Es posible adicionar módulos de comunicación Hart, Profibus PA/DP, Modbus RTU, RS 485, Foundation Fieldbus H1, o Devicenet.

4.3.1 MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO DE CAUDAL VOLUMÉTRICO

Los caudalímetros Sitrans FM son apropiados para medir la mayoría de líquidos con determinado grado de conductividad. Puede ser usado en todos los sectores industriales. Son ampliamente utilizados en la industria química, farmacéutica, alimenticia y de bebidas o en sectores de manejo y tratamiento de aguas.

Para especificar un caudalímetro completo, se debe seleccionar el sensor y un transmisor de caudal que sea compatible con el primero. Transmisores marca Siemens, como el MAG 5000 y 6000 son diseñados para ofrecer un alto rendimiento y fácil mantenimiento. Los transmisores evalúan las señales de los sensores Sitrans de los tipos MAG 1100, MAG 1100 F, MAG 3100, MAG 3100 P y MAG 5100 W.

4.3.1.1 Sensor MAG 1100 Food

El sensor Sitrans MAG 1100 F (Food) está diseñado especialmente para aplicaciones en la industria alimenticia y de bebidas.

Las especificaciones de conexión, garantizan un proceso bajo condiciones higiénicas, satisfaciendo todas las exigencias sanitarias y de homologación. En la Figura 4.3 se presentan algunos de los sensores instalados en la fábrica.



Figura 4.3 Sensor Mag1100 Food

En base a las características del proceso y utilizando un software disponible de manera gratuita se puede especificar o calcular el tipo de caudalímetro requerido en base a las características del proceso, tal como se ilustra en la Figura 4.4.

Programa de dimensionamiento SITRANS F M - Siemens A/S, Flow Instruments

Calculando MAG1100 Ceramic DN 50 / 2" sensor

SIEMENS

[Atrás](#) [Imprimir tabla](#)

Seleccionar el rango de caudal

Caudal actual [l/min]	Velocidad del caudal [m/s]	Error máx. *) [% de caudal]
10	0,08	
142	1,20	± 0,48
273	2,32	± 0,44
405	3,44	± 0,43
537	4,56	± 0,42
668	5,67	± 0,42
800	6,79	± 0,41

Bajo rango de caudal

Caudal actual [l/min]	Velocidad del caudal [m/s]	Error máx. *) [% de caudal]
12	0,10	± 1,40
20	0,17	± 1,00
118	1,00	± 0,50

Caudal mínimo

Caudal actual [l/min]	Velocidad del caudal [m/s]	Error máx. *) [% de caudal]
1.178	10,00	± 0,41

Seleccionar la función de caudal: Enfocado en todo el rango de la curva (lineal)

Precisión: 0,4% ± 1,0 mm/s

Los siguientes datos se emplean para el cálculo.
 Opción del convertidor: MAG5000
 Elección del sensor: MAG1100 Ceramic
 Caudal mínimo: 10 l/min
 Caudal máximo: 800 l/min

© Copyright 2002 Siemens A/S, Flow Instruments
 Siemens y el logotipo Siemens son marcas registradas de Siemens AG. Reservados todos los derechos

Figura 4.4 Características del sensor MAG1100 F

4.3.1.2 Transmisor de Caudal MAG 6000

El transmisor MAG 6000 es un transmisor de medida que opera en base a un microprocesador. Posee un indicador alfanumérico integrado que permite visualizar en sitio las lecturas de caudal y totalizadores. Este transmisor evalúa las señales recibidas por parte de los sensores electromagnéticos correspondientes y además sirve de fuente de alimentación para los electrodos del sensor que requieren corriente constante. Se especifica una precisión de caudal de $\pm 0,2 \%$. Tiene la opción de añadir tarjetas adicionales para la conexión a buses de comunicación industrial.

Se puede escoger la combinación sensor – transmisor para instalarlo como un solo dispositivo compacto o separado para conectarlo por medio de un cable. Tiene la opción de detectar tubería vacía si se requiere y una alta precisión a bajos caudales.

La configuración interna del transmisor permite cambiar las unidades de medida de caudal presentadas. Además tiene un contador de caudal neto o unidireccional. Se lo puede conseguir con una protección máxima IP67 para el equipo con montaje compacto o en pared.

4.3.2 MEDIDOR CORIOLIS DE CAUDAL MÁSIKO

Los caudalímetros másicos tienen principio de funcionamiento basado en el efecto coriolis. Los sensores Sitrans FC permiten medir parámetros como: caudal másico, volumétrico, densidad y temperatura de diferentes líquidos y gases.

Al igual que el caudalímetro electromagnético, este medidor es ampliamente utilizado en industrias alimenticias, de bebidas e incluso farmacéuticas. Posee gran precisión en una amplia variedad de líquidos y gases. En la Figura 4.5 se ilustran varios caudalímetros con este principio de medición.



Figura 4.5 Caudalímetro de efecto coriolis

Fuente: Citado en manual Sitrans FC Massflo, 2000 [29]

4.3.2.1 Sensor Sitrans MASS 2100

El sensor Sitrans MASS 2100 es adecuado para la medición de flujo a bajos caudales, permite medir desde 30 kg/h hasta unos pocos g/h con una precisión de al menos el 0,1 % del caudal másico.

En la Figura 4.6 se presenta el diseño constructivo de este sensor, que pueden ser principalmente de acero inoxidable o de hastelloy, para resistir ambientes de gran corrosión.



Figura 4.6 Sensor MASS 2100 y caudalímetro Sitrans FC MASS

Fuente: Citado en manual Sitrans FC Massflo, 2000 [29]

En base a las características del proceso y utilizando un software gratuito se puede determinar el tipo de caudalímetro requerido en base a las características del proceso, tal como se ilustra en la Figura 4.7.

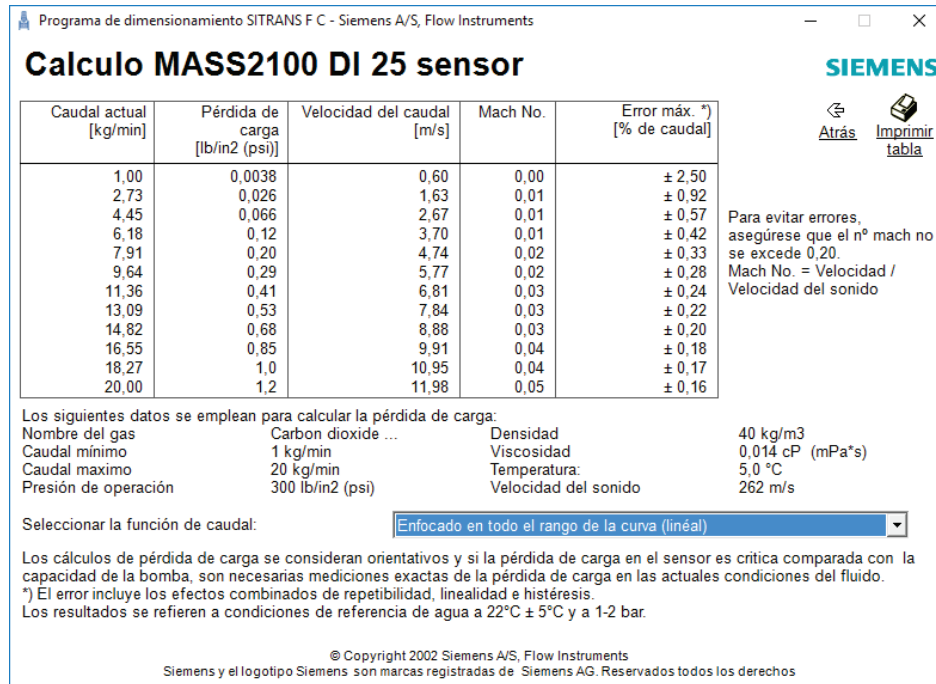


Figura 4.7 Características del sensor MASS 2100

4.3.2.2 Transmisor de Caudal Sitrans FC MASS 6000

El transmisor Sitrans FC MASS 6000 ha sido desarrollado para un procesamiento digital de señales con breves tiempos de respuesta, alta inmunidad a las perturbaciones por ruidos de proceso, además de fácil montaje, puesta en marcha y mantenimiento. Este transmisor permite tener mediciones de multiparámetros reales de densidad, caudal de masa y temperatura. La Figura 4.8 ilustra varios transmisores de este tipo.



Figura 4.8 Transmisor de caudal Sitrans FC MASS 6000

Fuente: Citado en manual Sitrans FC Massflo, 2000 [29]

El caudalímetro completo se compone de un transmisor de caudal Sitrans FC MASS 6000 y un sensor de la serie MASS. Su diseño de tubo continuo sin soldaduras, sin reducciones de sección, ni distribuidores de flujo ofrece una máxima higiene, seguridad y limpieza, por tal motivo es adecuado para aplicaciones en la industria de alimentos y bebidas. El caudalímetro Sitrans MASS es utilizado por su calidad y gran precisión a caudales bajos en líquidos y gases.

4.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Para poder seleccionar los controladores lógicos programables requeridos, se procede a especificar las características de los dispositivos que se van a comunicar. Los medidores de energía Sentron PAC, poseen un puerto ethernet, y se comunican a través del protocolo Modbus TCP. En cambio los sensores de caudal de agua poseen un puerto profibus PA y los de caudal de CO₂ un puerto profibus DP.

4.4.1 REQUERIMIENTOS DE PUERTOS DE COMUNICACIÓN

4.4.1.1 Puertos de Comunicación

- Un canal de comunicación ethernet para el enlace del PLC, con otros controladores, con los medidores de energía y con el HMI.
- Un canal de comunicación profibus DP y uno profibus PA, para los sensores de caudal.

4.4.1.2 Requerimientos de Estandarización

La planta embotelladora Tesalia en los últimos años ha estandarizado los dispositivos de automatización que utiliza y actualmente en su mayoría son marca Siemens. Por esta razón cuenta con varios repuestos en bodega, para sustituirlos en caso de presentarse algún daño en estos equipos.

Para este proyecto se consideró utilizar dos PLCs marca Siemens que garanticen la compatibilidad entre sí y con los demás equipos conectados en la red. De acuerdo con lo especificado se procede a describir las principales características de los equipos utilizados para este proyecto.

4.4.2 CONTROLADOR SIMATIC S7-1200

En la Figura 4.9 se presenta al PLC S7-1200, utilizado en una amplia gama de aplicaciones referentes a microautomatización. En base a lo requerido se dispone de distintas CPUs (1211C / 1212C / 1214C / 1215C / 1217C), que permiten tener una mayor adaptación y fácil manejo. Las características técnicas de este equipo se presentan en el ANEXO G.



Figura 4.9 CPU Simatic S7-1200

Fuente: Citado en manual Simatic S7-1200, 2012 [30]

Para su programación se utiliza el software TIA Portal V13, considerando el tipo y versión de CPU que se desea programar. Este PLC permite acceder a diversas funciones de seguridad con contraseñas que evitan accesos no deseados.

Para la configuración del puerto ethernet se requiere asignar una dirección IP, conservando el ID de red, como se indica en la Figura 4.10. Es posible utilizar switches de comunicación para incrementar el número de puntos de conexión.

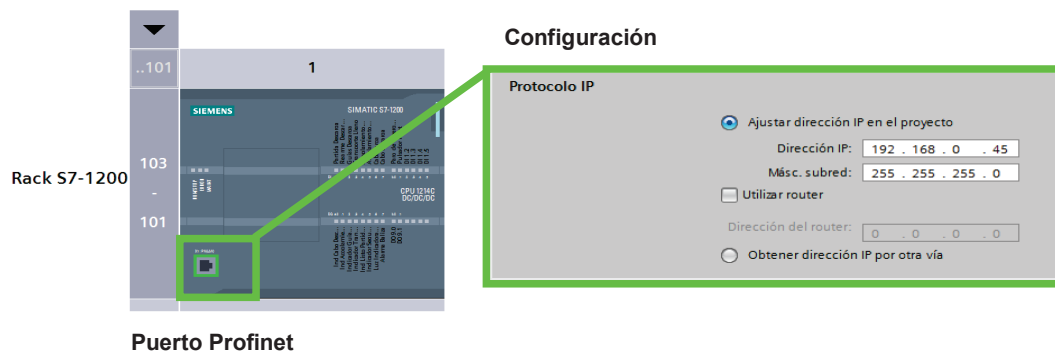


Figura 4.10 Configuración del puerto de comunicación Profinet

Fuente: Citado en línea de lavado de botellas [9]

4.4.2.1 Funcionalidades de la Interfaz Web

Este PLC ofrece la posibilidad de acceder a un servidor web integrado, utilizando una computadora conectada a la misma red del controlador. Para acceder, únicamente se debe ingresar la dirección IP del dispositivo a la barra de navegación de un buscador web estándar. Por este medio se pueden visualizar datos almacenados a través de la funcionalidad “Data Logging”, que permite archivar valores adquiridos que pueden visualizarse en Microsoft Excel.

Haciendo uso de esta funcionalidad se pueden crear registros de variables, que se almacenan en el PLC y son descargados ingresando al servidor web, como se ilustra en la Figura 4.11. De este modo se crean históricos, sin embargo esta alternativa es limitada por estar restringida a la capacidad de memoria del controlador. Se almacenan mediciones realizadas cada 10 minutos en un intervalo de 1 semana aproximadamente. Transcurrido este período, los datos comienzan a sobrescribirse. Este método de almacenamiento fue utilizado para registrar las mediciones, antes de haber implementado completamente el HMI.

Date	UTC Time	Files	Download
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G1	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G2	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G3	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G4	
31.10.2015	12:17:06 pm	Consumo de Energía	
31.10.2015	12:17:06 pm	Litros Total	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G5	
12.09.2015	02:00:00 pm	Consumo CO2 Diario	

Number of recent entries to view: +

Figura 4.11 Registros de datos almacenados en el PLC

4.4.2.2 Lógica de Programa Implementada en el PLC S7-1200

El programa implementado en el PLC S7-1200, permite la lectura y almacenamiento de datos de energía, potencias, voltajes, corrientes y factor de potencia de cada medidor Sentron PAC 3200 conectado a la red de comunicación. Además se configuran parámetros para que establezca comunicación con el PLC S7-300, requerido para el intercambio de información entre controladores.

4.4.2.2.1 Estructura del Programa

Una vez establecidas las condiciones de operación para este controlador, se adecúa una lógica de programa que identifique el trabajo a ser realizado por el mismo. Esta lógica se esquematiza en la Figura 4.12.

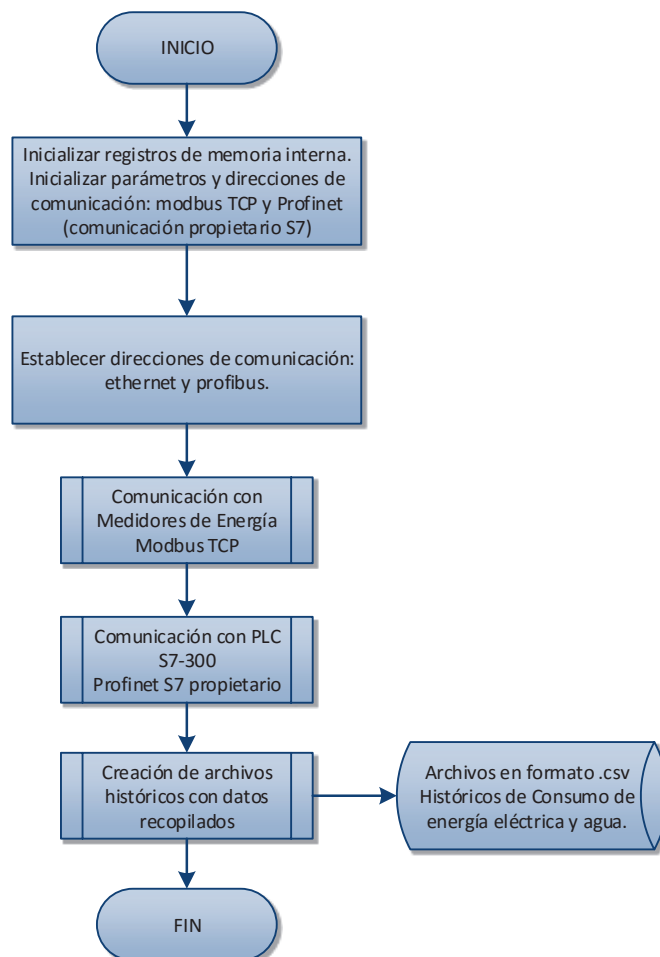


Figura 4.12 Lógica de control PLC S7-1200

4.4.2.2 Programa Principal

Al momento que el controlador arranca, carga variables correspondientes a su configuración y direcciones guardadas para establecer comunicación con los demás dispositivos configurados. Este PLC se enlaza con 22 medidores de energía, un PLC S7-300 y la interfaz de usuario HMI. Adicional a esto, crea su propio registro de datos, el mismo que se almacena en la memoria interna y es accesible a través del servidor web.

4.4.2.3 Subrutinas de Comunicación con los Medidores

La comunicación y lectura de datos desde cada medidor, se la configura a través de lógicas implementadas por medio de programación en el PLC. Esta subrutina se presenta a través de un diagrama de flujo en la Figura 4.13. Para comenzar, se inicializa una variable, que es la que indica el número de medidor con el que va a establecer conexión. Asociado a esta variable se tiene una dirección IP previamente definida, que corresponde a las direcciones ya configuradas en los Sentron PAC 3200.

En el caso de no recibir confirmación de un dispositivo, el PLC notifica un error de comunicación y continúa con los siguientes dispositivos. Si establece conexión de manera exitosa, procede a guardar en bloques de datos, los valores de medición de varios registros, que de igual forma fueron configurados en la programación.

Este proceso lo realiza con cada uno de los medidores que estén definidos en la lógica programada, hasta completar el número máximo especificado, que son 30, es decir, se consideró una reserva de 8 medidores más, que únicamente deben configurarse con una dirección IP ya definida y conectarse a la red para seguir almacenando los nuevos valores medidos.

Una vez completada esta subrutina, el programa continúa con el siguiente bloque de programación, donde se configuran los parámetros requeridos para el protocolo de comunicación utilizado para enlazar estos dos PLCs.

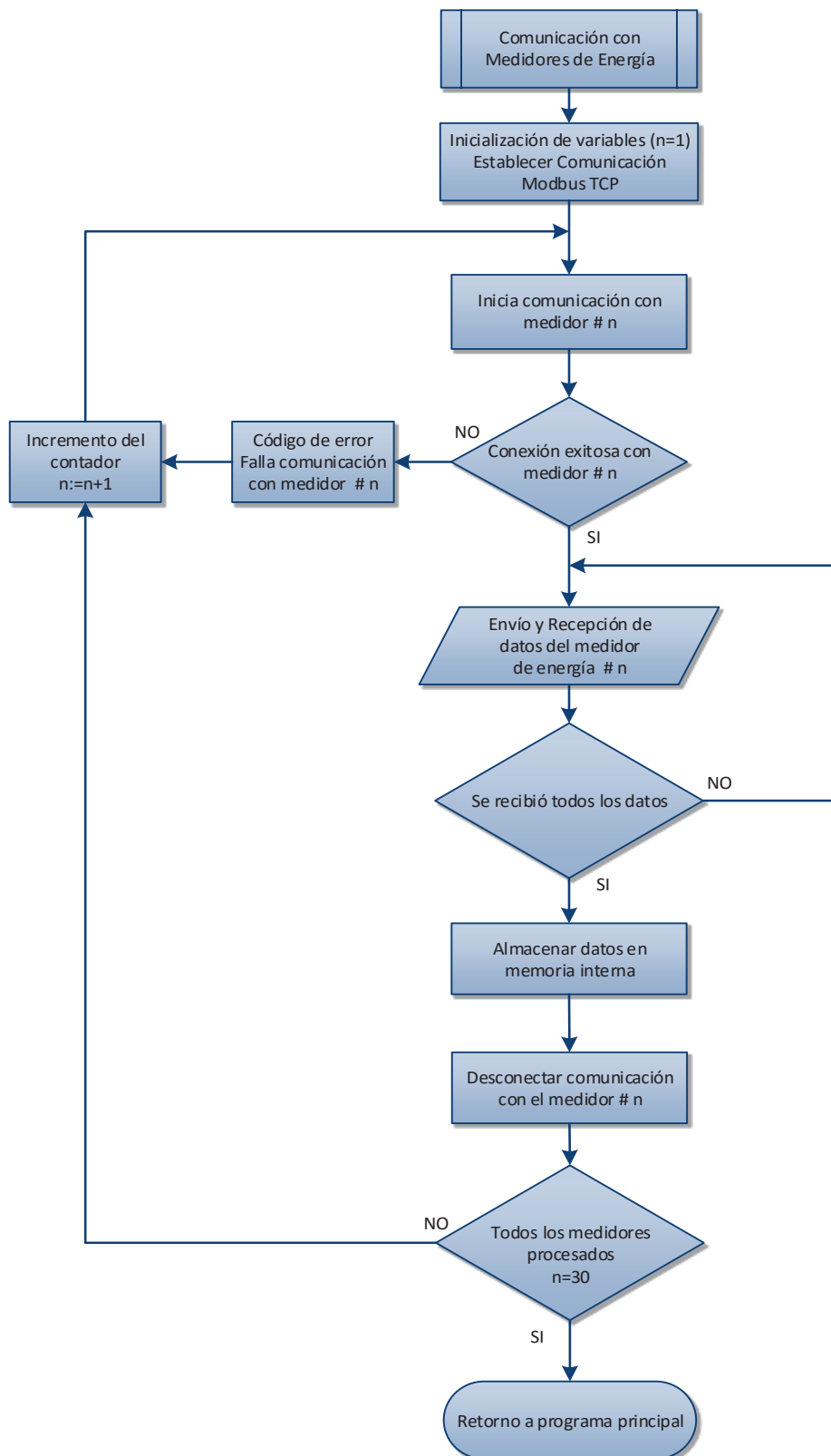


Figura 4.13 Lógica de comunicación con medidores Sentron PAC

4.4.2.2.4 Subrutinas de Comunicación con PLC S7-300

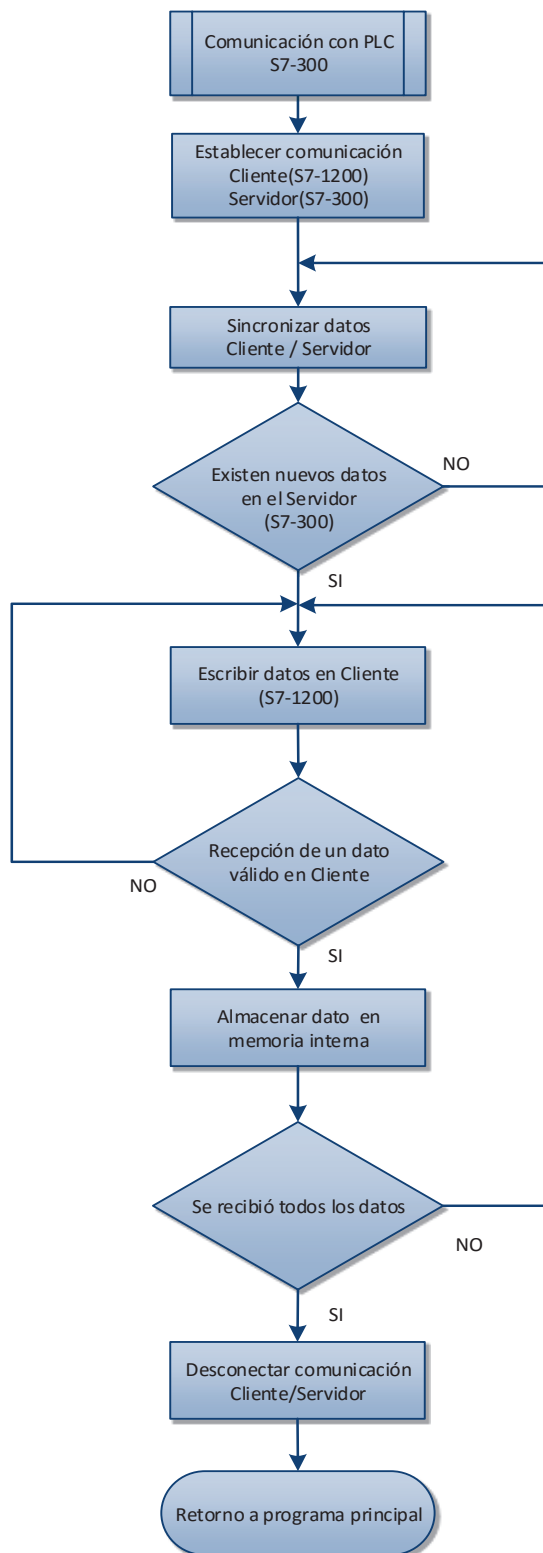


Figura 4.14 Lógica de comunicación con PLC S7-300

Este controlador programable adquiere mediciones de caudal del PLC S7-300, de acuerdo a la lógica presentada en la Figura 4.14. Se lo configuró de esta manera para poder crear históricos que se almacenen en el controlador S7-1200, utilizando la función Data Logging.

La adquisición a través de la HMI desarrollada en WinCC permitió incrementar el número de variables y el total de valores guardados, aumentando en gran manera la capacidad de almacenamiento de datos.

4.4.2.2.5 Subrutinas de Creación de Registros Históricos

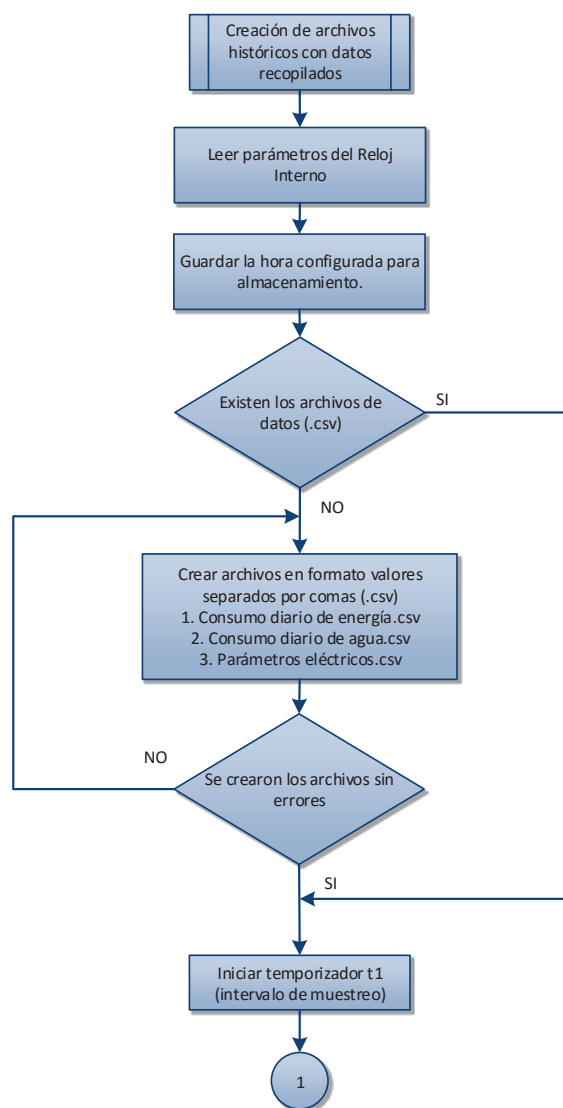


Figura 4.15 Lógica de creación de registros históricos (a)

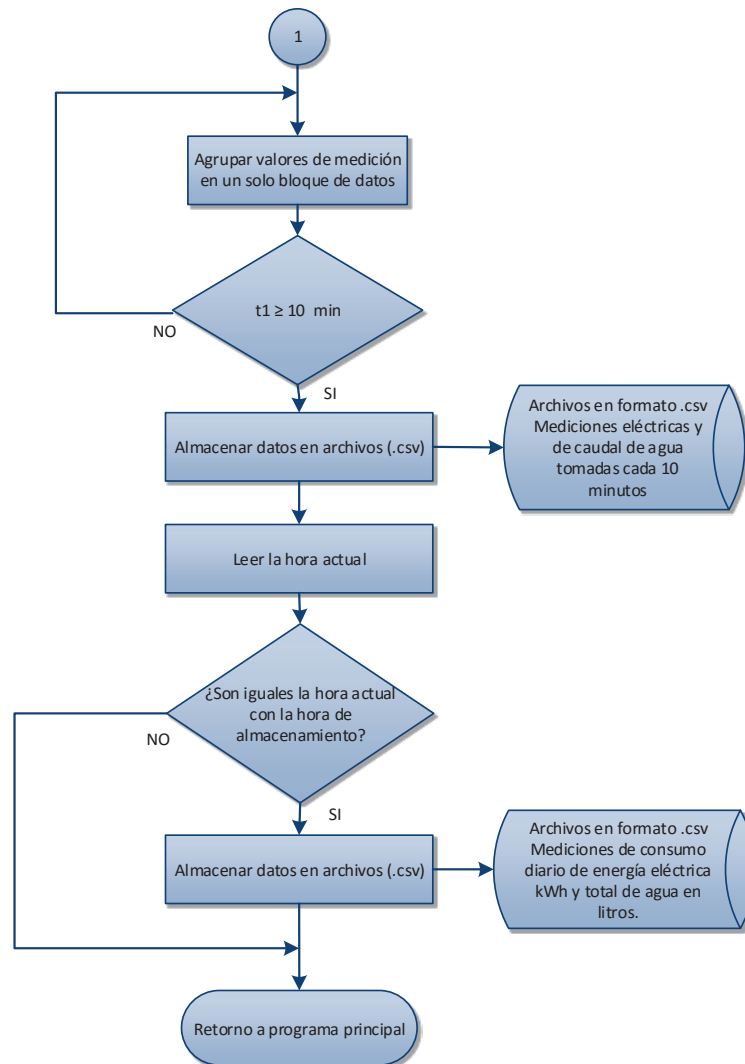


Figura 4.16 Lógica de creación de registros históricos (b)

Antes de almacenar los datos en un archivo de valores separados por comas (.csv), el PLC debe crear ese archivo. Una vez creado sin errores arranca un temporizador que se resetea cada 10 minutos, enviando la señal para guardar los últimos datos obtenidos.

Este pulso se sincroniza con la hora interna del controlador, generando de este modo un registro de datos, con su respectiva estampa de tiempo. Adicional a este archivo, se crea otro que almacena los datos de consumo de energía por día. Para esto se usa una lógica de comparación, que permite guardar estos valores a una hora determinada cada día, como se indica en la Figura 4.15 y Figura 4.16.

4.4.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE S7-300

El controlador lógico programable S7-300 es un PLC de gama media. Se lo clasifica de este modo debido a la capacidad de memoria de programa y la velocidad de procesamiento de información. Está diseñado para ser un controlador central con periferia distribuida, intercomunicada por protocolos seriales. La periferia puede consistir en entradas, salidas, módulos de comunicación, o módulos especiales que se interconectan con el CPU central.

En la Figura 4.17 se presenta al CPU 315-2 PN/DP que es un equipo perteneciente a esta gama de controladores, dispone de dos puerto profinet y un puerto profibus integrados, por lo que no requiere módulos adicionales para la comunicación a buses estandarizados.



Figura 4.17 PLC S7-300 - CPU 315-2 PN/DP

Fuente: Citado en manual Simatic S7-300, 2011 [31]

4.4.3.1 Integración de Buses de Campo

El protocolo profibus DP es un sistema estándar de bus abierto, formado por dos hilos apantallados o a través de fibra óptica, que permite establecer una comunicación entre la CPU maestra, con sus unidades periféricas descentralizadas.

A su vez el protocolo profibus PA es una variación del DP, desarrollado para establecer una comunicación entre dispositivos que se encuentran alejados. Por este motivo se requiere un módulo que permita la interacción entre los equipos que se comunican a través de Profibus PA y DP. El equipo utilizado es un acoplador DP/PA en la que se conectan todos los transmisores de caudal profibus PA. En la Figura 4.18 se ilustra la conexión del acoplador al sistema de control.

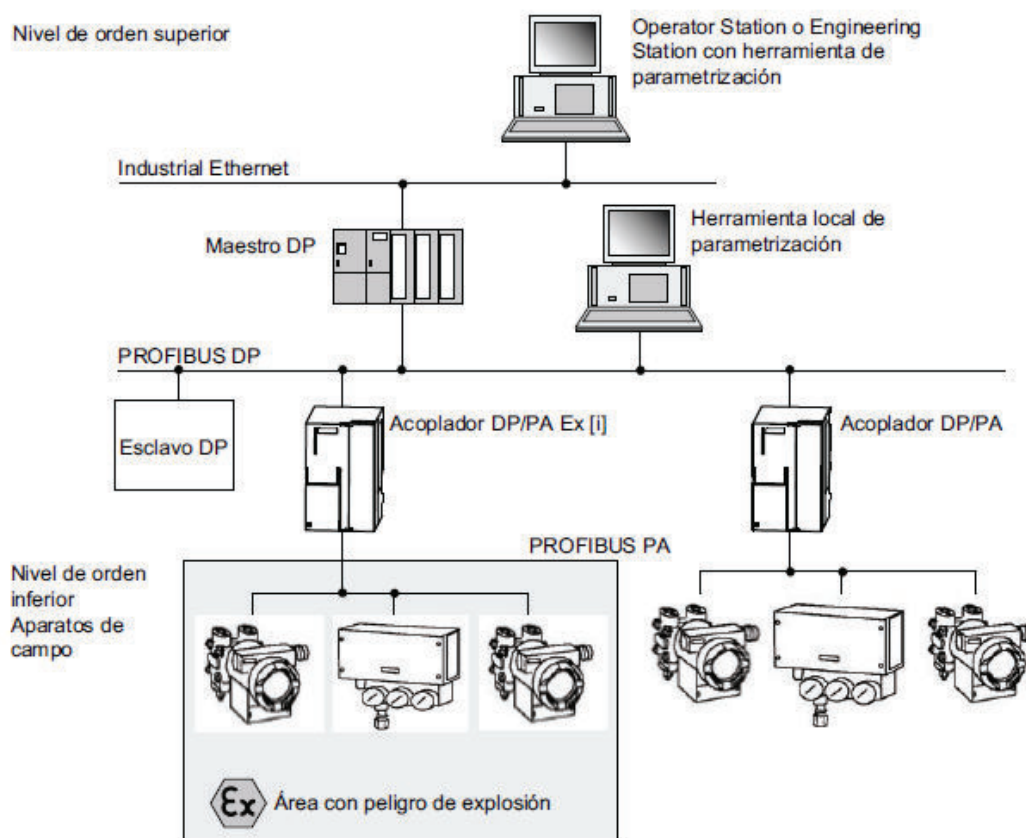


Figura 4.18 Esquema de comunicaciones utilizando varios protocolos

Fuente: Citado en manual Simatic S7-300, 2011 [31]

En la Figura 4.19 se esquematiza la función que ocupa el acoplador DP/PA, en la conversión de señales profibus de distintos buses, hasta llegar al controlador lógico programable. Los transmisores PA, representan a cada uno de los caudalímetros de agua que utilizan este protocolo.

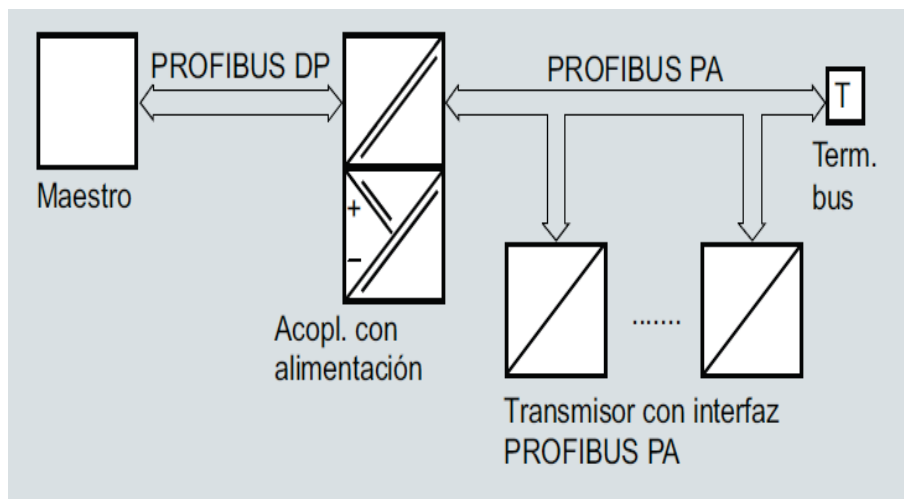


Figura 4.19 Interconexión con protocolos de comunicación

Fuente: Citado en manual Simatic S7-300, 2011 [31]

4.4.3.2 Lógica de Programa Implementada en el PLC S7-300

El programa implementado en el PLC S7-300, permite adquirir los valores de caudal, másico y volumétrico de cada uno de los sensores conectados en bus de campo profibus DP y PA. Además se configuran los parámetros y registros que son enviados al PLC S7-1200, para la creación de archivos históricos.

4.4.3.2.1 Estructura del Programa

Una vez establecidas las condiciones bajo las cuales operará este controlador, se adecúa una lógica de programa que identifique el trabajo requerido en el PLC. El programa desarrollado se esquematiza en la Figura 4.20.

La configuración y programación desarrollada en este controlador, está orientada a la comunicación con los transmisores de caudal con protocolo profibus, manteniendo la posibilidad de incrementar el número de dispositivos conectados al bus de campo.

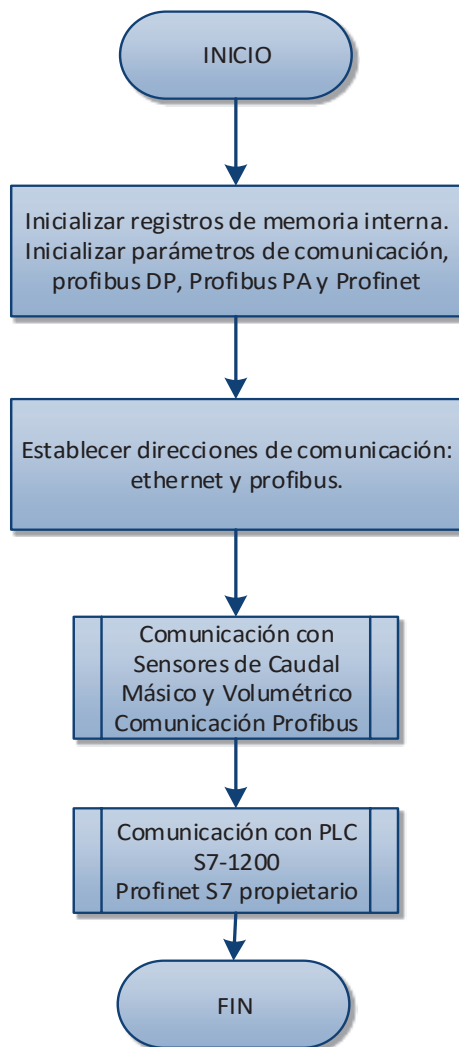


Figura 4.20 Lógica del programa para el S7-300

4.4.3.2.2 Subrutinas de Comunicación con Sensores de Caudal

La lectura y adquisición de datos en el PLC, se la configura estableciendo localidades de memoria específicas para cada valor medido, por tal motivo, se requiere definir direcciones en cada dispositivo profibus, incluyendo el acoplador DP/PA. En este proceso, el controlador interroga a cada dispositivo definido en el bus de campo, leyendo o escribiendo, según sea el caso, en el registro especificado por programación. Si el PLC no encuentra al dispositivo con la dirección definida, aparece una alarma por fallo de comunicación y continúa el proceso con el siguiente caudalímetro.

Esto se realiza repetidas veces hasta completar con todos los dispositivos profibus definidos por programación, tal como se presenta en la Figura 4.21.

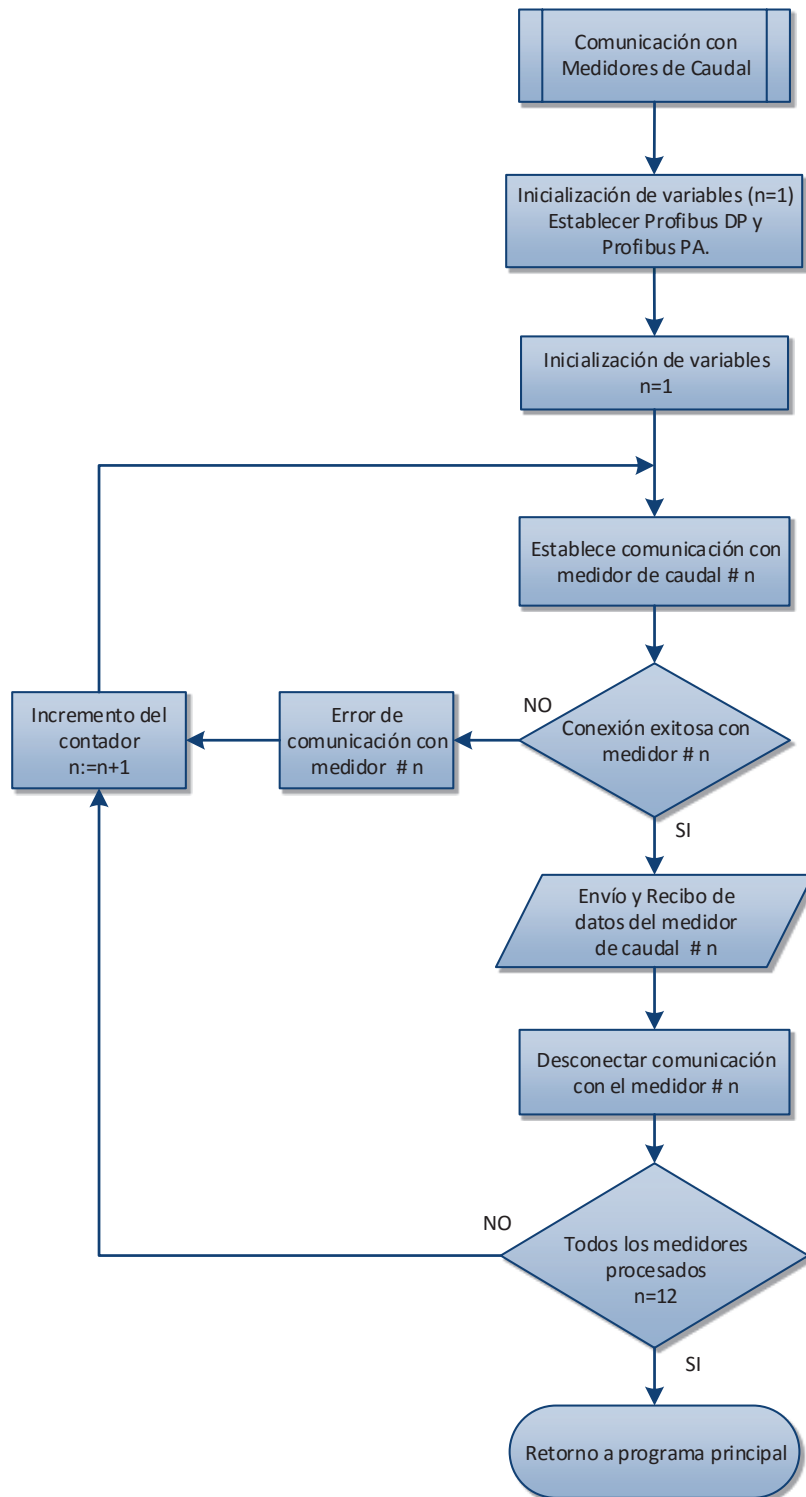


Figura 4.21 Lógica de comunicación con medidores de caudal Profibus PA

4.4.3.2.3 Subrutinas de Comunicación con PLC S7-1200

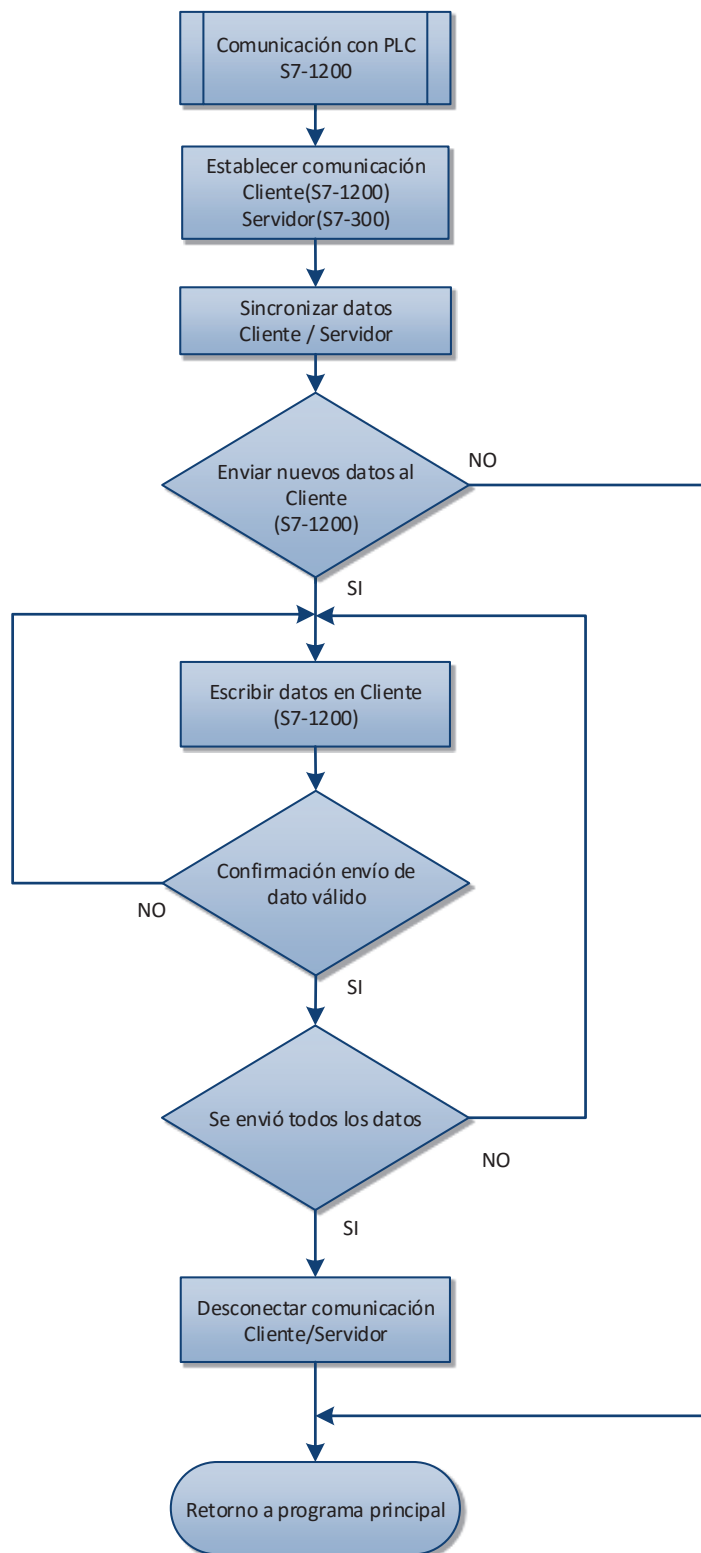


Figura 4.22 Lógica de comunicación con PLC S7-1200

Este controlador programable intercambia información con el PLC S7-1200, enviando las mediciones de caudal que adquiere de los respectivos medidores, tal como se presenta en la Figura 4.22. Para este ciclo de programa el PLC S7-300 actúa como servidor, exportando los datos al otro controlador. La subrutina inicia cuando se envía la petición de comunicación. Al recibir la confirmación, estos dos equipos se sincronizan y están listos para enviar o recibir datos. En caso de existir un dato fallido, se notifica como error y se continúa. De esta manera se completan todos los registros definidos en la programación.

4.5 RED DE COMUNICACIÓN DE MEDIDORES Y CONTROLADORES PROGRAMABLES

La red de medidores está integrada por equipos de medición de energía eléctrica Sentron PAC 3200, que se enlazan por comunicación Modbus TCP a través de una red ethernet al controlador Simatic S7-1200, el que se encarga de recopilar y centralizar toda la información requerida para el monitoreo.

A su vez los caudalímetros están enlazados a un bus serial, conformado por sensores con comunicación profibus DP a 1,5 Mbps para el monitoreo de caudal másico. Para el monitoreo de caudal volumétrico se utilizan 9 sensores con comunicación profibus PA a 31,25 kbps.

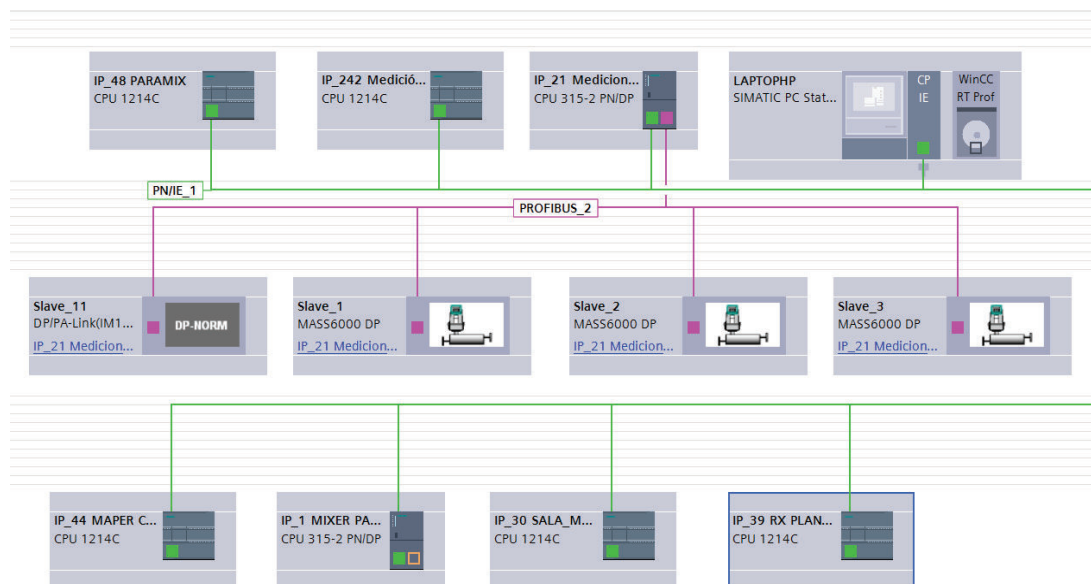


Figura 4.23 Conexión de redes de comunicación

La arquitectura de comunicaciones se esquematiza en Figura 4.23. A la red de comunicación profinet o ethernet (verde), se interconectan 22 medidores Sentron PAC y 18 PLCs encargados del control de varias máquinas de las líneas de producción y al Profibus DP (morado), se conectan 4 sensores de caudal másico. Existe un bus de comunicación adicional profibus PA, conformado por 9 sensores de caudal volumétrico, que se representan como un solo dispositivo (Slave 11).

4.6 SISTEMA DE MONITOREO Y ADQUISICIÓN DE DATOS

La interfaz HMI es una aplicación desarrollada en WinCC, con el objetivo de permitir al personal de mantenimiento, realizar un monitoreo en tiempo real, de la energía eléctrica consumida y los valores de agua y CO₂ utilizados para cada línea de producción. Esta aplicación se implementa en una computadora, por requerir gran capacidad de almacenamiento en la creación de bases de datos. Además permitirá optimizar el tiempo en labores que requerían de al menos 2 horas, con un operador recopilando datos de manera individual en cada línea de producción. Adicional al alcance planteado en este proyecto, se desarrolla sobre la misma interfaz HMI, ventanas que permiten monitorear y controlar varias máquinas en las distintas líneas de producción.

Para que esta HMI cumpla con su funcionalidad de manera eficiente, debe emplear un entorno amigable e intuitivo, desplegando la información necesaria y que sea de interés para el monitoreo.

4.6.1 FUNCIONALIDAD REQUERIDA PARA LA INTERFAZ HMI

Para determinar los requerimientos de esta interfaz, se consultó previamente con el personal que realiza monitoreo diario del consumo de energía, agua y CO₂. A partir de esto se definió, qué parámetros se requieren almacenar, identificando los equipos desde los cuales se obtiene esta información. Conforme al alcance del proyecto, la funcionalidad que ofrece la nueva interfaz al operador es la siguiente:

- **Medición y visualización de parámetros eléctricos**
 - Energía consumida
 - Potencia activa media
 - Voltajes de línea
 - Corrientes de línea
 - Factor de potencia

- **Medición y visualización de parámetros de flujo (agua y CO₂)**
 - Caudales (volumétricos o máscicos)
 - Consumo de agua o CO₂ (litros o kilogramos)

- **Creación de registros de las mediciones obtenidas**
 - Creación de ficheros de medición de parámetros eléctricos
 - Creación de ficheros de medición de caudales y consumo de agua
 - Creación de ficheros de medición de caudales y consumo de CO₂

4.6.2 ESTRUCTURA DE LA INTERFAZ DE OPERADOR HMI

La interfaz desarrollada tiene una pantalla principal que aparece inmediatamente iniciada la aplicación, desde la cual se puede acceder o navegar a otras ventanas secundarias, dependiendo de la información requerida por el personal que haga uso de la HMI.

Para acceder a las pantallas que despliegan las mediciones, se dividió el acceso en dos ventanas distintas: una para el monitoreo de los medidores de energía eléctrica y otra para el monitoreo de los medidores de caudal. De estas dos ventanas se subdividen más pantallas, que individualizan el acceso por línea de producción, a través de botones ubicados en la fila correspondiente a cada una.

A continuación se hace una breve descripción de las principales ventanas o pantallas que conforman la interfaz y se diseñaron para el monitoreo del sistema de medición inteligente.

4.6.2.1 Pantalla Principal

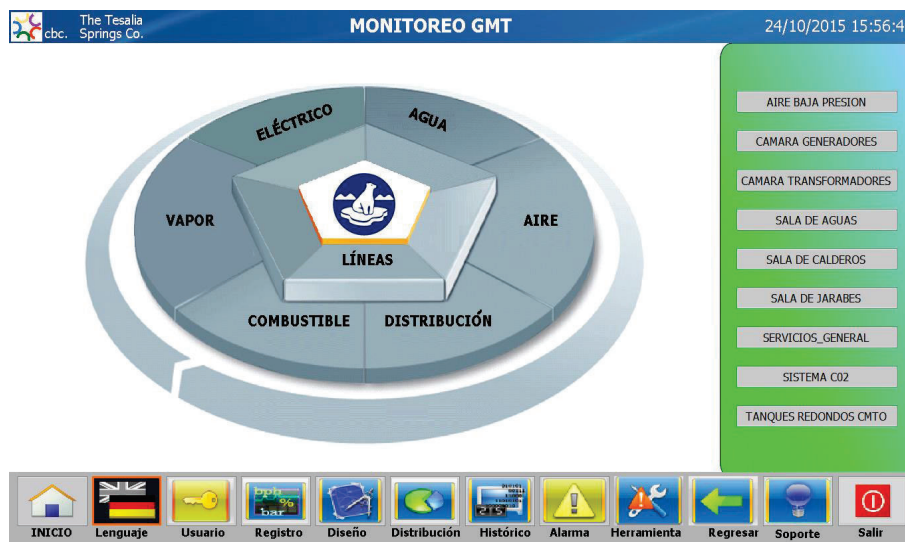



Figura 4.24 Ventana principal del HMI

En la Figura 4.24 se presenta la pantalla principal, desplegada al iniciar la aplicación. Se utilizó plantillas para el diseño del menú principal y de la barra de herramientas. Entre las opciones disponibles, se puede acceder a ventanas desarrolladas para el monitoreo del consumo de energía eléctrica, agua y CO₂, así como también a otras que se están desarrollando y escapan al alcance planteado en este proyecto.

Para el monitoreo de parámetros eléctricos y de caudal, se accede a los botones denominados: eléctrico y agua, respectivamente. Los demás botones permiten controlar determinadas funcionalidades en algunas máquinas, pertenecientes a varias líneas de producción.

4.6.2.2 Pantalla 1 de Medición General de Energía Eléctrica

Para facilitar la visualización del consumo y demás parámetros eléctricos, se presentan las mediciones de cada uno de los transformadores, agrupados con las líneas de producción, que les corresponde, como se presenta en la Figura 4.25.

cbc.  **The Tesalia Springs Co.** **MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA** 24/10/2015 15:55:01

LÍNEA DE PRODUCCION	TOTALIZADOR	CONSUMO DIA	POTENCIA	FP	
1 TRANSFORM TT1 750KVA	2741.379 kWh	2648.998 kWh	+283.74 kW	0.908	DETALLE
1.1 LÍNEA CARBALLO	271.874 kWh	46.598 kWh	+11.29 kW	0.673	DETALLE
1.2 LÍNEA KHS	810.112 kWh	770.791 kWh	+86.74 kW	0.965	DETALLE
1.3 SALA DE MÁQUINAS	1279.365 kWh	406.544 kWh	+56.18 kW	0.654	DETALLE
1.4 LÍNEA KOMPASS	702.044 kWh	358.670 kWh	+72.28 kW	0.931	DETALLE
2 TRANSFORM TT2 500KVA	1491.087 kWh	926.484 kWh	+90.47 kW	0.992	DETALLE
2.1 LÍNEA ABLANDADOS	514.405 kWh	207.044 kWh	+20.72 kW	0.779	DETALLE
6 TRANSFORM TT6 - SIPA 20	1233.987 kWh	1568.000 kWh	+204.62 kW	0.928	DETALLE
6.1 SOPLADORA SIPA 20	887.070 kWh	710.371 kWh	+116.66 kW	0.971	DETALLE
8 TRANSFORM TT8 COMP 40B#1	2569.562 kWh	1362.772 kWh	+409.73 kW	0.835	DETALLE
9 TRANSFORM TT9 COMP 40B#2	3100.102 kWh	3420.408 kWh	+310.30 kW	0.942	DETALLE


1/2

INICIO Lenguaje Usuario Registro Diseño Distribución Histórico Alarma Herramienta Regresar Soporte Salir

Figura 4.25 Ventana de general de medición de energía eléctrica (1)

4.6.2.3 Pantalla 2 de Medición General de Energía Eléctrica

Como se expone en la Figura 4.26, se requiere una ventana adicional para presentar los parámetros de consumo, potencia y factor de potencia, de todos los medidores instalados, siendo entre las dos ventanas, un total de 22 grupos de mediciones.

cbc.  **The Tesalia Springs Co.** **MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA** 24/10/2015 15:54:28

LÍNEA DE PRODUCCION	TOTALIZADOR	CONSUMO DIA	POTENCIA	FP	
3 TRANSFORM TT3 1500KVA	2865.567 kWh	0.000 kWh	+216.96 kW	0.981	DETALLE
3.1 SOPLADORA KOMPASS	531.328 kWh	0.000 kWh	+51.06 kW	0.954	DETALLE
3.2 SOPLADORA KHS	161.900 kWh	0.000 kWh	+235.92 kW	0.901	DETALLE
3.3 SOPLADORA SIPA 16	844.740 kWh	0.000 kWh	+26.04 kW	0.493	DETALLE
3.4 EMBOTELLADO SIPA 16	757.813 kWh	0.000 kWh	+482.31 kW	0.981	DETALLE
4 TRANSF TT4 - SALA AGUAS	876.667 kWh	792.209 kWh	+0.00 kW	0.000	DETALLE
5 TT5 - LÍNEA TROPICAL	551.867 kWh	20.924 kWh	+1.24 kW	0.355	DETALLE
5.1 SOPLADORA GALONERA	219.280 kWh	1.260 kWh	+0.12 kW	0.469	DETALLE
5.2 EMBOTELLADO GALONERA	284.817 kWh	4.574 kWh	+0.41 kW	0.720	DETALLE
5.3 NEW AMSTAR	0.000 kWh	0.000 kWh	+0.00 kW	0.000	DETALLE
5.4 EMBOTELLADO DEPALL	3.215 kWh	0.218 kWh	+0.00 kW	0.211	DETALLE

2/2

INICIO Lenguaje Usuario Registro Diseño Distribución Histórico Alarma Herramienta Regresar Soporte Salir

Figura 4.26 Ventana de general de medición de energía eléctrica (2)

Las principales mediciones son las obtenidas en los transformadores, sin embargo se puede acceder a los valores por cada medidor instalado. Estos datos se almacenan en la computadora, considerando un intervalo de 10 minutos para cada nuevo valor guardado en la base de datos. Esta información permitirá realizar un análisis del consumo cuando la empresa lo requiera.

4.6.2.4 Pantalla Detalle de Parámetros Eléctricos por Transformador

Las ventanas descritas en los anteriores literales, permiten visualizar únicamente cuatro parámetros. Con el botón denominado “detalle”, localizado al final de cada línea se accede a una nueva ventana que despliega con mayor detalle, todas las mediciones registradas en cada equipo, como se presenta en la Figura 4.27.

TIEMPO	kWh / Día	Potencia kW	Potencia kVAr	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	FP
1290	20/10/2015 8:50:14	497.75	238.20	361.17	445.61	447.81	335.60	346.67	353.57	0.89
1291	20/10/2015 9:00:14	536.16	232.47	368.95	444.63	446.51	330.43	344.30	347.82	0.88
1292	20/10/2015 9:10:14	580.13	240.31	254.79	441.67	443.47	345.87	362.65	363.03	0.87
1293	20/10/2015 9:20:14	624.00	291.60	1289.44	443.65	446.00	411.02	420.85	427.36	0.90
1294	20/10/2015 9:30:14	672.26	2574.08	1062.25	444.51	446.62	459.46	481.96	488.95	0.88
1295	20/10/2015 9:40:14	728.63	316.58	639.68	447.92	449.92	449.90	453.54	474.84	0.88
1296	24/10/2015 14:44:30	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.
1297	24/10/2015 15:05:40	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.
1298	24/10/2015 15:15:40	2447.21	278.95	118.49	450.35	452.36	452.36	364.43	373.70	0.88
1299	24/10/2015 15:25:40	2496.40	318.36	144.43	441.82	443.81	443.92	444.37	470.17	0.91
1300	24/10/2015 15:35:40	2546.99	313.37	146.54	441.75	443.79	443.83	444.30	461.37	0.91
1301	24/10/2015 15:45:40	2599.04	366.17	163.75	440.46	442.64	442.64	518.08	531.96	0.91
1302	24/10/2015 15:55:40	2652.31	321.94	150.53	441.54	443.76	443.63	453.59	468.77	0.91

Figura 4.27 Ventana de parámetros eléctricos por transformador

Estas tablas pueden ser exportadas en archivos con formato (.csv), especificando la cantidad de valores a exportar, como un número de mediciones o un intervalo entre dos horas o fechas distintas. Para cada una de las líneas o transformadores se visualiza el consumo de energía, las potencias activa, reactiva, los voltajes de línea, corrientes de línea y factor de potencia.

4.6.2.5 Pantalla Curva de Potencia por Área Monitoreada

Accediendo al botón denominado “curvas”, se puede visualizar la curva de potencia media por medidor instalado, teniendo la posibilidad de desplazarse en el eje temporal para su revisión. Esta pantalla se ilustra en la Figura 4.28.

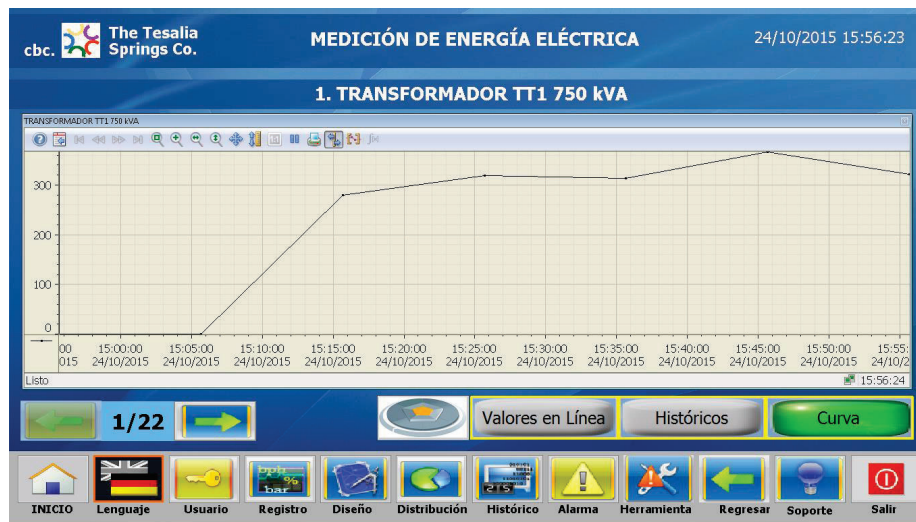


Figura 4.28 Ventana de curva de potencia media

4.6.2.6 Pantalla Consumo de Energía por Área Monitoreada



Figura 4.29 Ventana general de consumo de energía eléctrica

En la Figura 4.29 se ilustra la pantalla que presenta la evolución del consumo de energía en intervalos de 10 minutos, para todas las áreas monitoreadas. Todos los parámetros eléctricos se visualizan en tablas, que se encuentran clasificadas con el nombre de la carga y pueden ser exportadas en un archivo con formato (.csv) de Excel.

El botón denominado “valores en línea” permite retornar a la pantalla general de medición de energía eléctrica.

4.6.2.7 Pantalla Monitoreo de Caudales de Agua y CO₂

Ingresando a la ventana de caudales, se tiene la opción de seleccionar la visualización de sensores de caudal másico (CO₂) o sensores de caudal volumétrico (agua). Para ambos casos se presentan dos ventanas, una con la curva de caudal y otra con la tabla de valores registrados en intervalos de 10 minutos.

4.6.2.8 Pantalla 1 de Medición de Caudales y Totalizador

Al seleccionar el botón denominado “caudal volumétrico”, se accede a la ventana donde se puede visualizar el consumo en litros de agua por línea de producción, como se lo presenta en la Figura 4.30.



Figura 4.30 Ventana de medición de caudales

Además del consumo se puede visualizar el caudal instantáneo y el totalizador. Este valor es el mismo que aparece en el display del sensor ubicado en sitio.

4.6.2.9 Pantalla Consumo de Agua o CO₂ por Área Monitoreada

En la Figura 4.31 se presenta la ventana con los valores de caudal que han registrado los caudalímetros volumétricos o másicos. Del mismo modo esta tabla puede ser exportada y abierta como archivo de Excel.

cbc.  The Tesalia Springs Co. HISTÓRICO DE CAUDAL VOLUMÉTRICO DE AGUA 24/10/2015 15:58:31

TOTALIZADOR SALA DE MEDIDORES DE CAUDAL

Column de Tiempo	KHS[L/min]	Carbalo[L/min]	Agua Ozonif. [L/min]	Paramx. [L/min]	Kompass [L/min]	Sipa [L/min]	Agua Roblema. [L/mr]	Jarabe_Simple [L/min]	Carbocooler [L/min]
1183 20/10/2015 8:00:14	0.00	0.00	3.87	0.00	0.00	0.00	274.05	0.00	
1184 20/10/2015 8:10:14	0.00	0.00	364.51	0.00	0.00	0.00	161.91	0.00	
1185 20/10/2015 8:20:14	0.00	0.00	259.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1186 20/10/2015 8:30:14	0.00	0.00	195.44	0.00	0.00	0.00	372.72	0.00	
1187 20/10/2015 8:40:14	0.00	0.00	23.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1188 20/10/2015 8:50:14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1189 20/10/2015 9:00:14	0.00	0.00	3.53	0.00	0.00	0.00	17.50	0.00	
1190 20/10/2015 9:10:14	0.00	0.00	337.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1191 20/10/2015 9:20:14	0.00	0.00	102.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1192 20/10/2015 9:30:14	0.00	0.00	27.93	0.00	0.00	0.00	64.45	0.00	
1193 20/10/2015 9:40:14	0.00	0.00	208.68	0.00	0.00	0.00	315.83	0.00	
1194 24/10/2015 14:44:30	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	
1195 24/10/2015 15:05:40	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	0.00 u.	
1196 24/10/2015 15:15:40	65.77	0.00	2.89	13.34	36.33	0.00	0.00	0.00	
1197 24/10/2015 15:25:40	83.93	0.00	2.81	210.73	51.04	0.00	0.00	5.27	
1198 24/10/2015 15:35:40	84.20	0.00	2.84	456.36	0.00	0.00	0.00	5.30	
1199 24/10/2015 15:45:40	25.33	0.00	2.60	186.35	0.00	0.00	0.00	5.43	
1200 24/10/2015 15:55:40	76.55	0.00	3.02	46.75	0.00	0.00	0.00	5.72	

Listo Fila 1200 15:58:31

MEDIDORES Valores en Línea Históricos Curvas

INICIO Lenguaje Usuario Registro Diseño Distribución Histórico Alarma Herramienta Regresar Soporte Salir

Figura 4.31 Ventana de medición de caudales

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE DATOS REGISTRADOS Y CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO

5.1 DATOS DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este capítulo se hace un análisis de los datos de consumo almacenados de manera diaria y en intervalos de 10 minutos. Además se considera un promedio de las horas de operación de cada una de las líneas de producción, para establecer un cálculo aproximado del consumo mensual de energía, con la finalidad de realizar una comparación con el consumo real obtenido por medición.

5.1.1 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FÁBRICA

En la Tabla 5.1 se resumen los datos de consumo de energía en kWh de cada transformador, obtenidos de la medición con los Sentron PAC 3200 y almacenados de manera diaria en el PLC S7-1200. Los datos de consumo diario analizados fueron tomados durante un tiempo de 3 meses y comparados con el total acumulado durante este período.

Tabla 5.1 Consumo de energía kWh en cada transformador

CONSUMO DE ENERGÍA kWh AL DÍA (3 meses)			
TRANSFORMADORES	CONSUMO MÍNIMO (kWh)	CONSUMO PROMEDIO (kWh)	CONSUMO MÁXIMO (kWh)
TT1	241	5 079,25	12 906
TT2	1 022	2 576,64	7 631
TT3	15	5 888,28	17 683
TT4	80	2 627,65	9 154
TT5	14	1 494,16	4 930
TT6	217	4 871,51	11 750
TT8	112	11 275,07	33 820
TT9	46	9 317,12	35 182

En la Figura 5.1 se esquematizan los datos presentados en la tabla anterior. Se puede verificar que los transformadores TT8 y TT9, que tienen como carga principal los compresores de alta presión, son los que representan la carga de mayor consumo en la fábrica, teniendo un total de 48 % de la energía total consumida durante este período.

Las distintas líneas de producción conectadas a los transformadores TT1, TT3, TT5 y TT6, corresponden al 40 % de la energía consumida. El 12 % restante, corresponden a las bombas ubicadas en sala de aguas, algunos compresores de baja presión y al total de la iluminación repartida un 56 % en el transformador TT2 y el 44 % en el TT4.

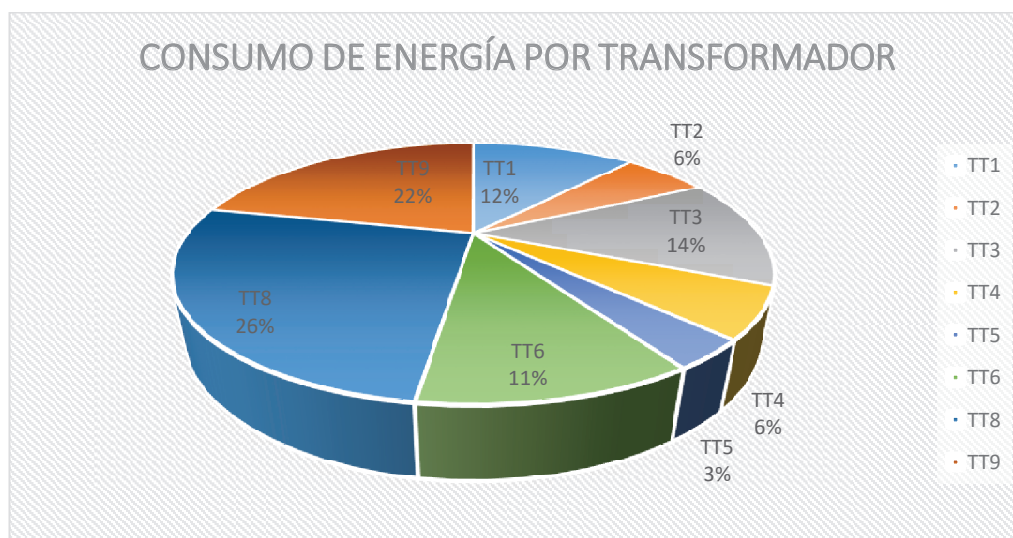


Figura 5.1 Porcentaje del consumo de energía kWh en cada transformador

En la Figura 5.2 se presenta un esquema de barras con los valores registrados a diario, durante dos semanas seguidas, donde se puede comparar por día, el nivel de consumo que tienen las cargas conectadas en cada transformador. Adicional a esto se puede verificar que el consumo disminuye los días domingos (18 de octubre y 25 de octubre del 2015), que es cuando se realiza mantenimiento a las máquinas en cada una de las líneas de producción.

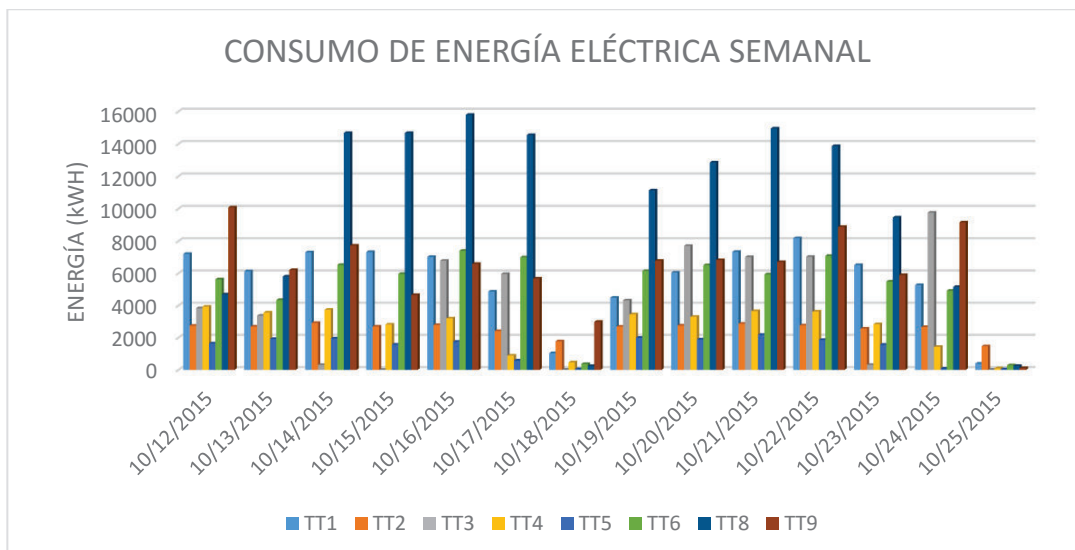


Figura 5.2 Consumo diario de energía kWh en cada transformador

Los días comprendidos entre lunes a viernes, poseen el mayor índice de consumo, debido a que gran parte de las líneas operan durante este tiempo, así como lo indica la barra celeste, correspondiente a las cargas conectadas al transformador TT1.

La iluminación se encuentra representada en mayor porcentaje por la barra naranja, correspondiente a la carga del transformador TT2. La misma permanece dentro de un rango durante los días que se tiene producción regular, disminuyendo los días domingos.

La quinta barra identifica las líneas de producción alimentadas desde el transformador TT5, que representan un promedio de 3 % de la energía consumida en la fábrica. Se puede observar que del mismo modo, el consumo en este punto disminuye para los domingos.

La barra gris correspondiente en mayor porcentaje a la línea de producción Sipa16 y la barra verde correspondiente a la línea Sipa 20, tienen un valor que fluctúa alrededor de un consumo promedio durante 6 días a la semana, pero decrece significativamente los domingos.

Se identifica nuevamente al grupo de compresores de alta presión, conectados al transformador TT8 y TT9, como la carga de mayor importancia por su nivel de consumo de energía, representadas por las dos últimas barras, en cada día. Como se puede apreciar, el valor de esta carga disminuye un día a la semana, como en los casos anteriores.

Del mismo modo se analizan las mediciones obtenidas en cada una de las líneas donde se instaló un medidor de energía independiente. Para esto se toma en cuenta los días en que opera cada línea de proceso. En la Tabla 5.2 se presenta el número de horas que regularmente se mantienen los procesos activos.

Tabla 5.2 Horas de operación por línea de proceso

No	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	HORAS AL DÍA	DÍAS A LA SEMANA	HORAS AL MES
1	LÍNEA CARBALLO (22 días al mes)	11	5	242
2	LÍNEA KHS (26 días al mes)	11	6	286
3	LÍNEA KOMPASS (26 días al mes)	22	6	572
4	LÍNEAS SIPA 16 (26 días al mes)	22	6	572
5	LÍNEA DEPALL (10 días al mes)	11	4	110
6	LÍNEA GALONERA (22 días al mes)	22	5	484
7	LÍNEA SIPA 20 (26 días al mes)	22	6	572
8	SALA DE MÁQUINAS (26 días al mes)	22	6	572
9	SALA DE COMPRESORES (26 días al mes)	22	6	572
10	SALA DE AGUAS (26 días al mes)	22	6	572

En la Figura 5.3 se presentan los datos de energía consumida por las líneas de producción: embotelladora Carballo, embotelladora KHS, embotelladora Kompass y sala de máquinas. Se puede verificar que la carga denominada sala de máquinas es la que mayor representación tiene en el transformador TT1. Los procesos de producción en estas líneas disminuyen de intensidad los sábados, volviéndose el consumo cercano a cero los días domingos.

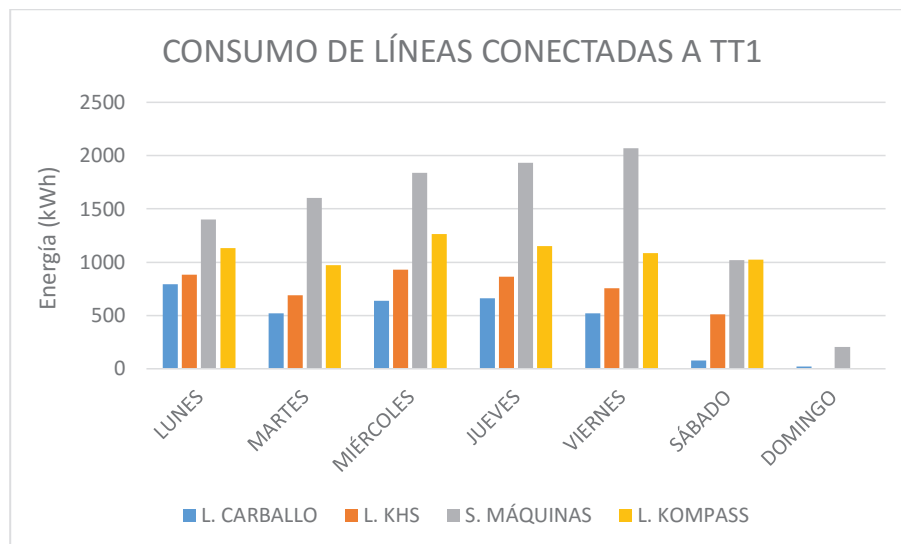


Figura 5.3 Consumo de líneas conectadas a TT1

A continuación en la Figura 5.4 se presentan los datos de energía consumida en la línea Sipa 16 y en los sopladores de las líneas de producción: embotelladora KHS, embotelladora Kompass y Sipa 16. Se puede verificar que la carga denominada Sipa 16 y el Soplador de la misma línea son las cargas que mayor cantidad de energía consumen del transformador TT3.

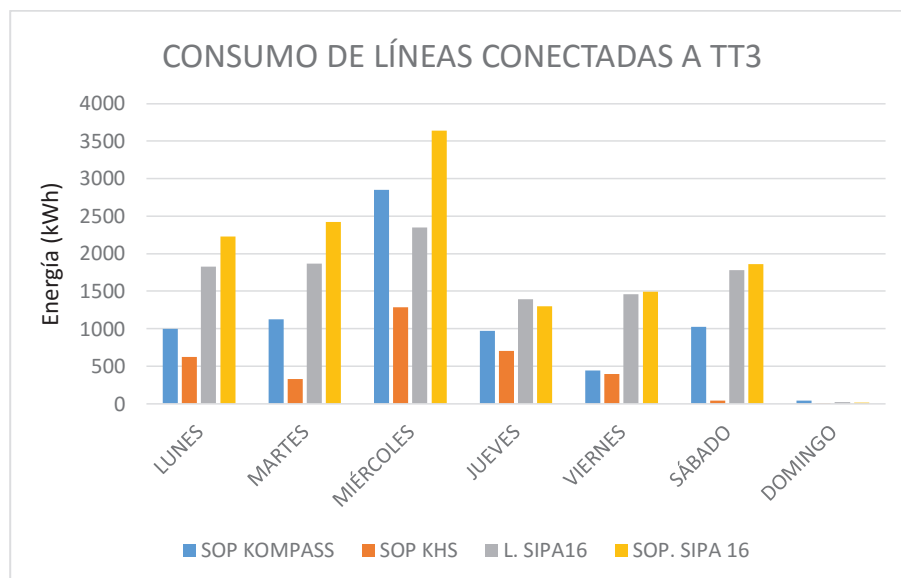


Figura 5.4 Consumo de líneas conectadas a TT3

Al igual que en el caso anterior, los procesos de producción aquí descritos reducen su tiempo de operación los días sábados, llegando a ser cercano a cero los domingos.

Las máquinas conectadas al transformador TT5, representan los procesos de producción que consumen menor porcentaje de la energía total de la fábrica. La línea de embotellado Galonera opera durante 5 días a la semana, mientras que Depall lo hace eventualmente. En la Figura 5.5 se presentan los datos de energía registrados en el sistema.

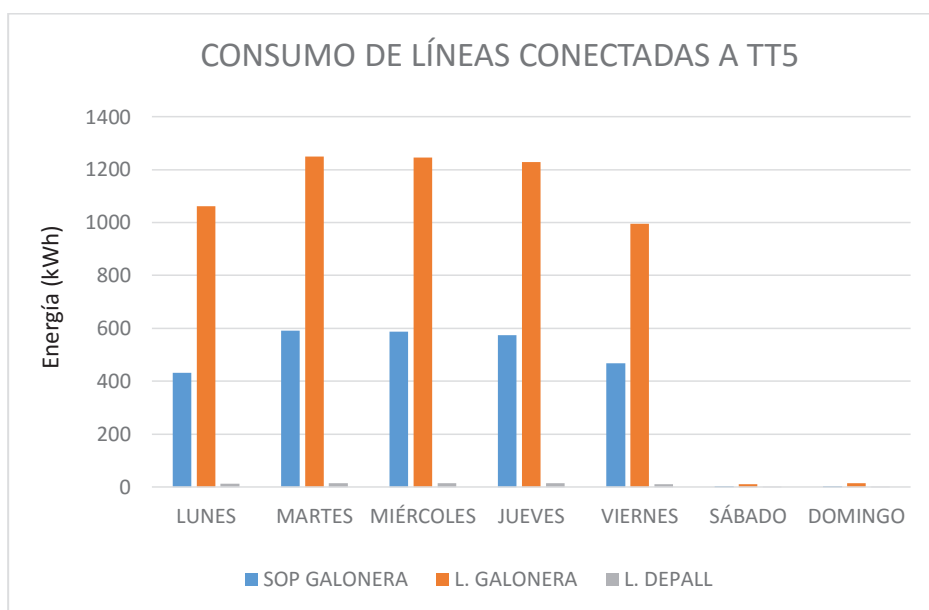


Figura 5.5 Consumo de líneas de producción conectadas a TT5

En el transformador TT6 se conecta la línea de producción Sipa 20 y su respectivo soplador. La medición de consumo en el transformador se representa por las barras en naranja y en azul la cantidad de energía consumida únicamente por el soplador de esta línea de producción.

Este proceso se mantiene activo durante 6 días a la semana, dejando el último día para mantenimiento, como se refleja en la Figura 5.6.

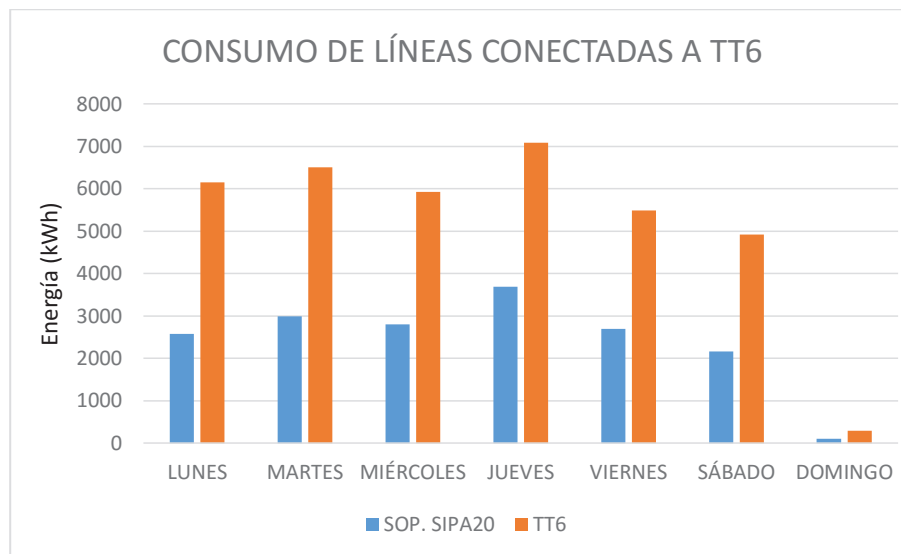


Figura 5.6 Consumo de líneas de producción conectadas a TT6

5.1.2 ANÁLISIS DE CURVAS DE CARGA EN CADA ÁREA

El ARCONEL (antiguo CONELEC) en su Regulación No. CONELEC – 004/01, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, establece los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico a este nivel y los procedimientos de evaluación del servicio por parte de las empresas distribuidoras, que son las responsables de garantizar la calidad de la energía eléctrica entregada a sus clientes. Para lo cual debe efectuar mediciones que permitan analizar aspectos de calidad respecto al nivel de voltaje, factor de potencia y perturbaciones.

Como parte de una evaluación interna del estado actual de la fábrica, y tomando como base los conceptos de la Regulación antes mencionada, este proyecto contempla la adquisición periódica y almacenamiento de datos de las dos primeras variables. Los datos adquiridos de voltaje, corresponden a los valores eficaces (rms) medidos y registrados cada 10 minutos.

Para determinar las variaciones se compara el voltaje medido en relación al nominal correspondiente en cada caso. Simultáneamente con la medición del voltaje se realiza la medición de corriente, que permitirá conocer la energía consumida y factor de potencia en la fábrica embotelladora.

5.1.2.1 Máxima Variación de Voltaje Admisible

El nivel de voltaje en el punto de medición debe permanecer dentro de los límites máximo y mínimo especificados durante al menos el 95 % del período de medición de 7 días continuos. La calidad respecto a los niveles de voltajes es responsabilidad de la empresa distribuidora de energía y su índice de calidad se determina con la siguiente fórmula:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100$$

Donde:

ΔV_k : es la variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k (10 minutos).

V_k : es el voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k (10 minutos).

V_n : corresponde al voltaje nominal en el punto de medición.

Las variaciones de voltaje permitidas con respecto al valor del voltaje nominal se detallan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Máxima variación de voltaje admisible

NIVEL DE VOLTAJE	SUBETAPA 1	SUBETAPA 2
ALTO VOLTAJE	± 7,0 %	± 5,0 %
MEDIO VOLTAJE	± 10,0 %	± 8,0 %
BAJO VOLTAJE. URBANO	± 10,0 %	± 8,0 %
BAJO VOLTAJE. RURAL	± 13,0 %	± 10,0 %

5.1.2.2 Máxima Variación de Factor de Potencia Permitida

El factor de potencia es un parámetro eléctrico que relaciona la potencia activa y reactiva. Con este valor se puede determinar el porcentaje de potencia aparente que se está convirtiendo en potencia utilizable o potencia activa.

El adecuado nivel de factor de potencia es responsabilidad del usuario, puesto que depende del tipo de cargas que tiene conectadas a la red. Se establece el valor de 0,92 como mínimo permitido. El valor medido no debe ser inferior al índice establecido durante al menos el 95 % del período evaluado.

Si el consumidor incumple esta regulación, teniendo factor de potencia mensual menor al 0,92, se le aplican recargos en la planilla, los mismos que se encuentran establecidos en el Reglamento de Tarifas.

5.1.2.3 Factor de Utilización y Factor de Carga

El factor de utilización es la relación que existe entre la demanda y la capacidad instalada o potencia nominal del equipo de suministro, en este caso la potencia nominal de cada uno de los transformadores. Este factor se calcula en base a datos recopilados durante un período y puede ser determinado a demanda mínima, media o máxima.

$$FdU = \frac{Demanda_{(max,med,min)}}{Capacidad\ Instalada}$$

El factor de carga es un índice que relaciona el valor de demanda media con la demanda máxima adquirida durante un período de medición.

$$FCarga = \frac{Demanda_{(med)}}{Demanda_{(max)}}$$

5.1.3 CURVA DE CARGA DE LA FÁBRICA

Actualmente el sistema de medición implementado está adquiriendo valores de parámetros eléctricos en cada uno de los transformadores, además de 7 líneas de producción y 3 áreas que por requerimiento de la empresa necesitan ser monitoreadas.

La curva de carga de la fábrica se la obtuvo a partir de las mediciones realizadas durante un día, con valores adquiridos en intervalos de 10 minutos.

A continuación en la Figura 5.7 se presenta la curva de carga del día martes 27 de octubre del 2015 para toda la fábrica. Esta curva se la obtuvo sumando la potencia media registrada en todos los transformadores, para cada intervalo.

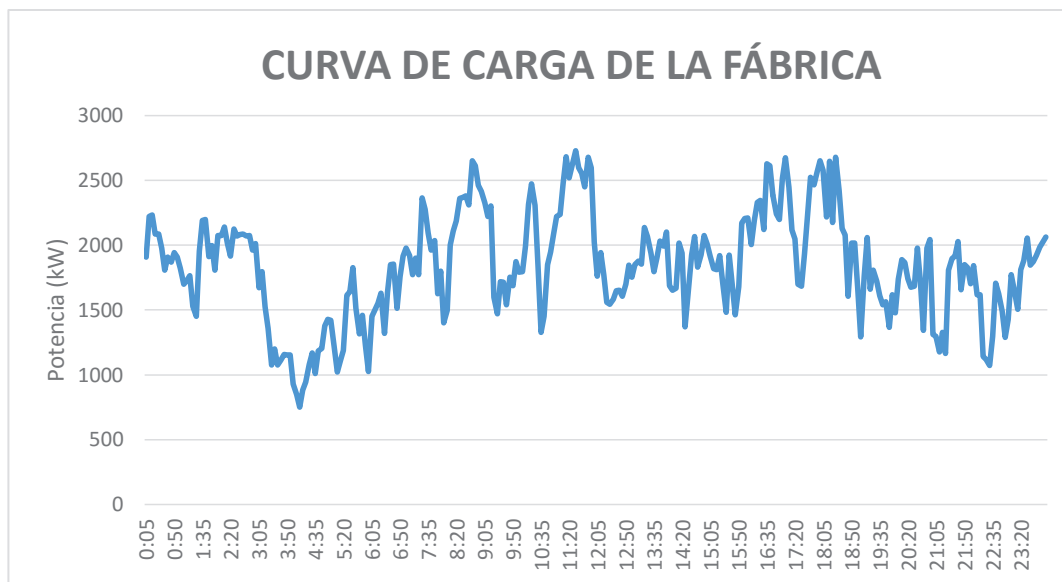


Figura 5.7 Curva de carga de la fábrica

Para poder realizar un análisis más específico de la carga existente en la fábrica, se considera la curva de demanda en cada uno de los transformadores durante el mismo día, además se presentan los valores promedio obtenidos en el período de medición de una semana para cada línea de producción.

5.1.3.1 Curva de Carga en el Transformador TT1

En la Figura 5.8 se puede identificar el período de operación de las cuatro líneas de producción conectadas a este transformador con 750 kVA de potencia nominal. Estas líneas operan durante un tiempo promedio de 11 horas, comenzando desde las 7 am hasta las 7 pm, con una hora de descanso al medio día.

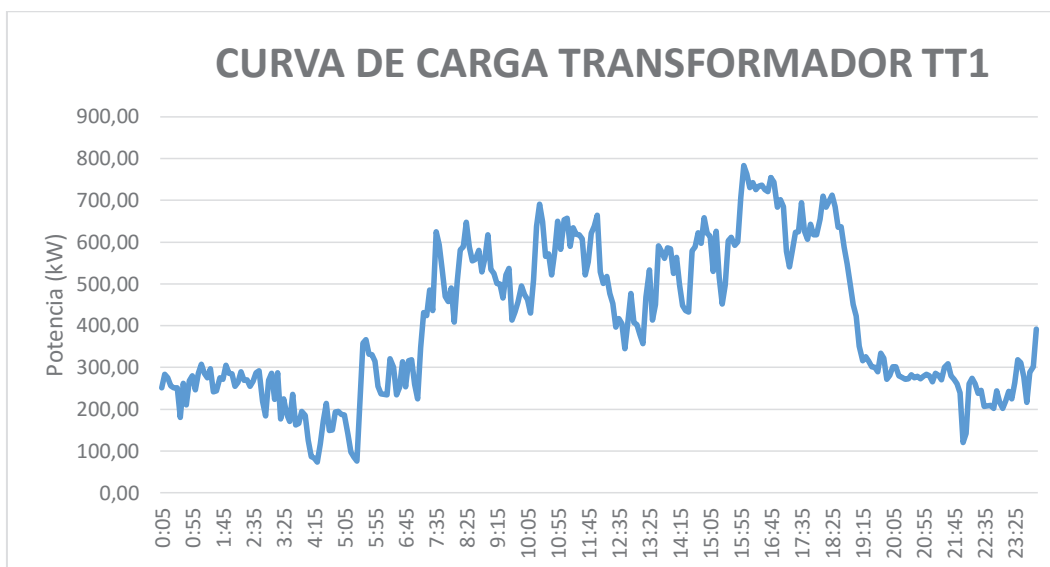


Figura 5.8 Curva de carga del transformador TT1

En la Tabla 5.4 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos). En el análisis de resultados se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 5.4 Resumen de mediciones en TT1

TRANSFORMADOR TT1	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	2,382	235,594	531,744
DEMANDA (kVA)	22,686	311,223	595,458
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,082	0,757	0,998
VOLTAJE FASE 1 (V)	254,110	260,929	268,688
VOLTAJE FASE 2 (V)	253,779	259,951	266,700
VOLTAJE FASE 3 (V)	251,681	258,028	265,264
CORRIENTE FASE 1 (A)	32,821	290,072	630,623
CORRIENTE FASE 2 (A)	42,198	453,352	999,463
CORRIENTE FASE 3 (A)	26,569	279,771	604,835

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 251,68 V a 268,69 V, correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 0,93 % y el 5,77 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,87. Es por este motivo que en este punto se conecta un banco de capacitores de 30 kVA.

Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resultados de Análisis en TT1

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	3,00 %
	DEMANDA MEDIA	41,50 %
	DEMANDA MÁXIMA	79,40 %
FACTOR DE CARGA		44,31 %

5.1.3.1.1 Valores Recopilados para Cargas conectadas a TT1

La Tabla 5.6 refleja los datos correspondientes a la medición individual en cada línea de producción. Sala de Máquinas representa la mayor parte del consumo para las cargas conectadas al transformador TT1.

Tabla 5.6 Resumen de mediciones en líneas de producción TT1

MEDICIONES PROMEDIO - TT1	LÍNEA CARBALLO	LÍNEA KHS	SALA DE MÁQUINAS	LÍNEA KOMPASS
DEMANDA (kW)	22,207	30,178	61,952	39,151
DEMANDA (kVA)	30,362	33,157	83,652	41,965
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,689	0,472	0,680	0,894
VOLTAJE FASE 1 (V)	257,044	259,079	258,760	256,569
VOLTAJE FASE 2 (V)	258,001	257,949	258,686	256,956
VOLTAJE FASE 3 (V)	257,994	257,949	256,808	256,959
CORRIENTE FASE 1 (A)	31,125	37,628	100,411	53,064
CORRIENTE FASE 2 (A)	33,945	38,253	107,191	57,696
CORRIENTE FASE 3 (A)	33,981	36,657	92,338	59,778

5.1.3.2 Curva de Carga en el Transformador TT2

En la Figura 5.9 se puede observar que existe un incremento del consumo a partir de las 18:00, esto debido a que la carga mayormente es de iluminación, llegando a tener un promedio de 100 kWh. Esta carga decrece en las horas de la mañana y tarde.

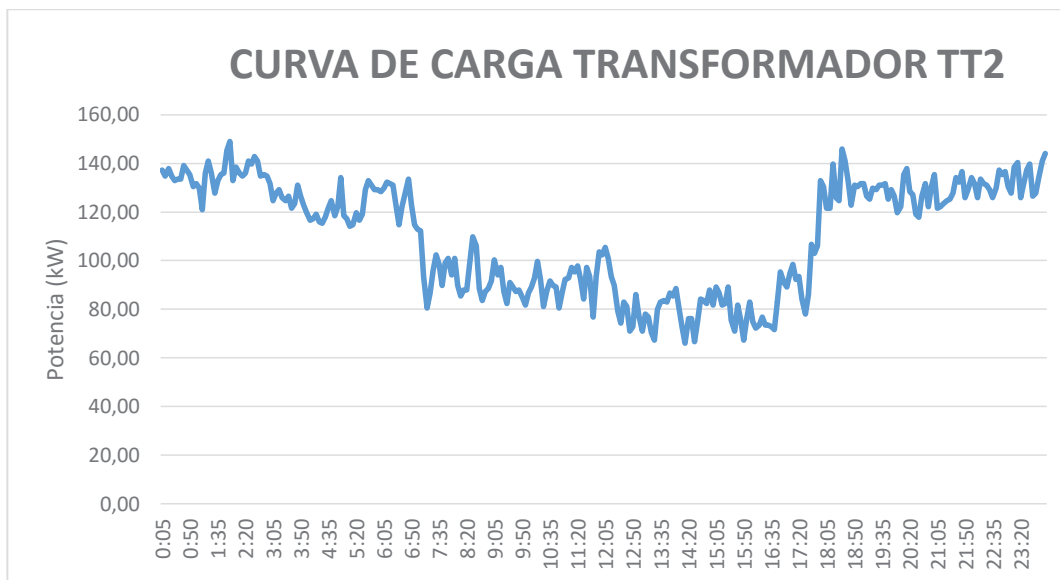


Figura 5.9 Curva de Carga Transformador TT2

En la Tabla 5.7 se resumen los datos adquiridos en el transformador TT2 con 500 kVA de potencia nominal, durante el período de una semana (7 días continuos), obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.7 Resumen de mediciones en TT2

TRANSFORMADOR TT2	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	39,910	101,006	180,841
DEMANDA (kVA)	47,569	103,872	181,750
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,733	0,972	1,000
VOLTAJE FASE 1 (V)	134,388	136,841	139,766
VOLTAJE FASE 2 (V)	134,735	137,378	140,633
VOLTAJE FASE 3 (V)	133,405	136,077	139,014
CORRIENTE FASE 1 (A)	139,878	282,022	501,685
CORRIENTE FASE 2 (A)	108,620	232,864	425,885
CORRIENTE FASE 3 (A)	120,342	250,378	423,541

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 133,4 V a 140,63 V, correspondientes a un error respecto al nominal entre el 0,46 % y el 5,9 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,95; cumpliendo con la normativa.

Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Resultados de análisis en TT2

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	9,50 %
	DEMANDA MEDIA	20,80 %
	DEMANDA MÁXIMA	36,40 %
FACTOR DE CARGA		55,85 %

5.1.3.3 Curva de Carga en el Transformador TT3

En la Figura 5.10 se puede identificar que mantiene relación con la curva de demanda del transformador TT1.

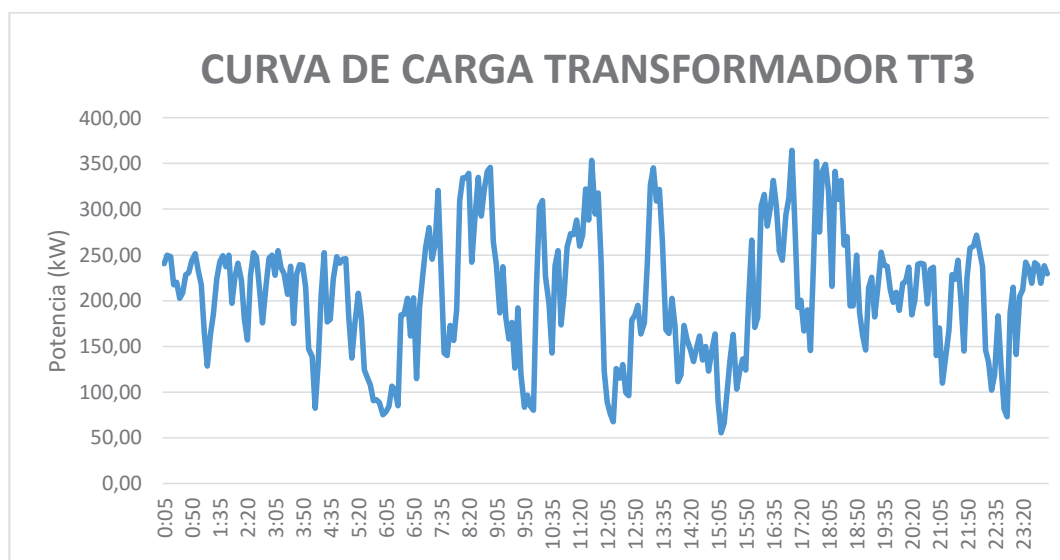


Figura 5.10 Curva de carga transformador TT3

A este transformador se conecta la línea de proceso Sipa 16, con su máquina de soplado de botellas. Esta línea de producción se mantiene activa durante 2 turnos, esto es 22 horas al día.

En la Tabla 5.9 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos) en el transformador TT3 con 1500 kVA de potencia nominal, obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.9 Resumen de mediciones en TT3

TRANSFORMADOR TT3	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	11,782	168,453	408,927
DEMANDA (kVA)	-35,065	624,570	414,733
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	-1,000	0,270	0,994
VOLTAJE FASE 1 (V)	256,280	261,087	266,370
VOLTAJE FASE 2 (V)	258,350	263,387	269,210
VOLTAJE FASE 3 (V)	257,020	262,103	267,650
CORRIENTE FASE 1 (A)	29,300	219,968	524,000
CORRIENTE FASE 2 (A)	35,600	238,737	557,200
CORRIENTE FASE 3 (A)	32,700	225,978	525,500

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 256,28 V a 269,21 V correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 0,88 % y el 5,97 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,97; cumpliendo de este modo con la norma. Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10 Resultado de análisis en TT3

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	2,30 %
	DEMANDA MEDIA	27,60 %
	DEMANDA MÁXIMA	41,60 %
FACTOR DE CARGA		41,19 %

5.1.3.3.1 Valores Recopilados para Cargas conectadas a TT3

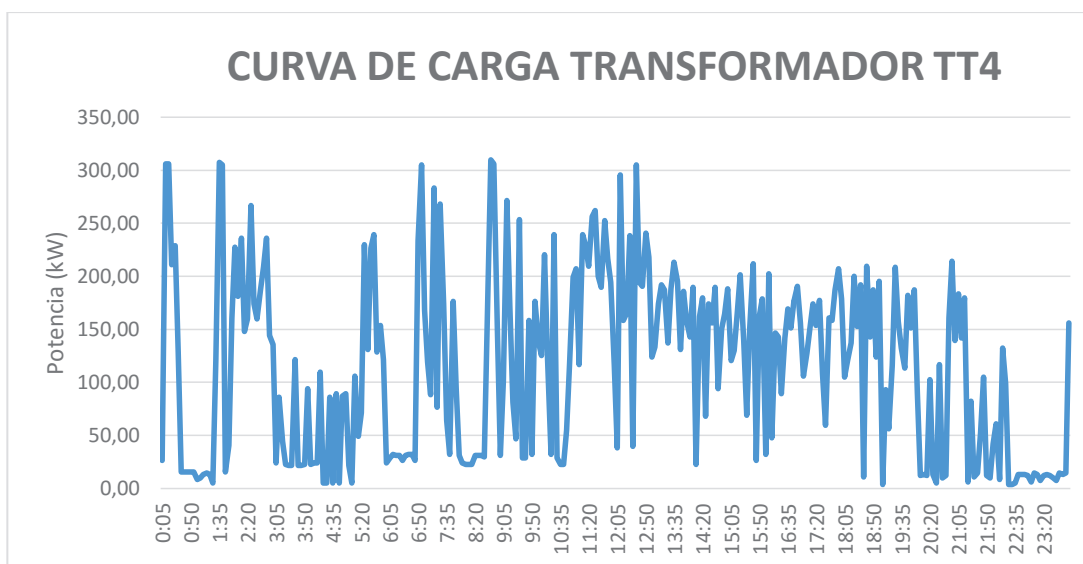
La Tabla 5.11 refleja los datos correspondientes a la medición individual en las cargas que se conectan del transformador TT3. La línea Sipa 16 y su máquina de soplado de botellas corresponden a la carga más significativa.

Tabla 5.11 Resumen de mediciones en líneas de producción TT3

MEDICIONES PROMEDIO - TT3	SOPLADORA KOMPASS	SOPLADORA KHS	SOPLADORA SIPA 16	LÍNEA SIPA 16
DEMANDA (kW)	33,724	25,400	71,501	49,572
DEMANDA (kVA)	37,830	38,537	80,091	54,624
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,663	0,455	0,773	0,869
VOLTAJE FASE 1 (V)	261,581	261,429	261,595	260,885
VOLTAJE FASE 2 (V)	261,299	261,151	262,060	261,468
VOLTAJE FASE 3 (V)	261,293	261,154	262,066	261,467
CORRIENTE FASE 1 (A)	43,458	36,467	93,238	53,278
CORRIENTE FASE 2 (A)	49,019	34,978	91,219	62,025
CORRIENTE FASE 3 (A)	41,259	36,736	85,772	55,249

5.1.3.4 Curva de Carga en el Transformador TT4

En la Figura 5.11 se puede observar que la demanda es muy variable lo largo del día. Las cargas conectadas en este transformador con potencia nominal de 600 kVA corresponden en mayor proporción al caldero eléctrico y al calefactor de la inyectora de molde PET.

**Figura 5.11** Curva de Carga Transformador TT4

En la Tabla 5.12 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos), obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.12 Resumen de mediciones en TT4

TRANSFORMADOR TT4	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	0,000	81,600	337,029
DEMANDA (kVA)	0,000	113,000	337,029
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,056	0,722	1,000
VOLTAJE FASE 1 (V)	264,381	269,596	275,535
VOLTAJE FASE 2 (V)	263,608	268,514	274,210
VOLTAJE FASE 3 (V)	261,510	266,539	272,001
CORRIENTE FASE 1 (A)	1,563	114,973	433,700
CORRIENTE FASE 2 (A)	0,781	104,963	414,945
CORRIENTE FASE 3 (A)	1,563	94,441	405,568

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 261,51 V a 275,54 V, correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 2,94 % y el 8,46 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,98; cumpliendo de este modo con la norma.

Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Resultado de análisis en TT4

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	0,00 %
	DEMANDA MEDIA	17,90 %
	DEMANDA MÁXIMA	53,50 %
FACTOR DE CARGA		24,21 %

5.1.3.5 Curva de Carga en el Transformador TT5

La Figura 5.12 corresponde a la demanda en el transformador TT5 que tiene una potencia nominal de 600 kVA, al cual se conectan principalmente tres líneas de producción. La demanda se mantiene oscilando alrededor de un valor medio.

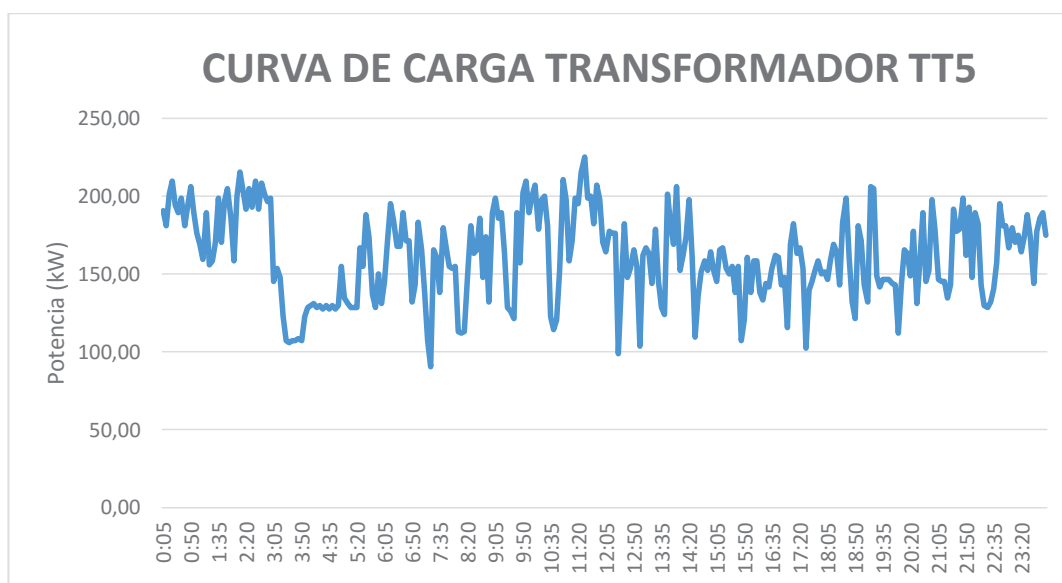


Figura 5.12 Curva de carga transformador TT5

En la Tabla 5.14 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos), obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.14 Resumen de mediciones en TT5

TRANSFORMADOR TT5	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	5,955	106,693	225,083
DEMANDA (kVA)	8,483	126,542	261,724
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,605	0,843	0,984
VOLTAJE FASE 1 (V)	262,503	268,548	275,203
VOLTAJE FASE 2 (V)	261,951	267,510	273,326
VOLTAJE FASE 3 (V)	259,963	265,755	272,001
CORRIENTE FASE 1 (A)	14,847	165,686	342,271
CORRIENTE FASE 2 (A)	11,722	157,791	336,020
CORRIENTE FASE 3 (A)	9,377	146,304	313,358

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 259,96 V a 275,2 V, correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 2,33 % y el 8,33 %, que cumple con lo establecido en la normativa.

El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,92; cumpliendo de este modo con la norma. Adicional, en base a los datos obtenidos durante este período, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15 Resultado de análisis en TT5

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	1,30 %
	DEMANDA MEDIA	20,10 %
	DEMANDA MÁXIMA	41,50 %
FACTOR DE CARGA		47,47 %

5.1.3.6 Curva de Carga en el Transformador TT6

En la Figura 5.13 se puede apreciar el ciclo de operación de la línea de producción Sipa 20. A este tablero se conecta tanto las máquinas de la cadena de embotellado, como la máquina para el soplado. Esta línea opera 22 horas al día, como lo refleja la curva de carga, que se mantiene oscilando alrededor de un valor en el período analizado.

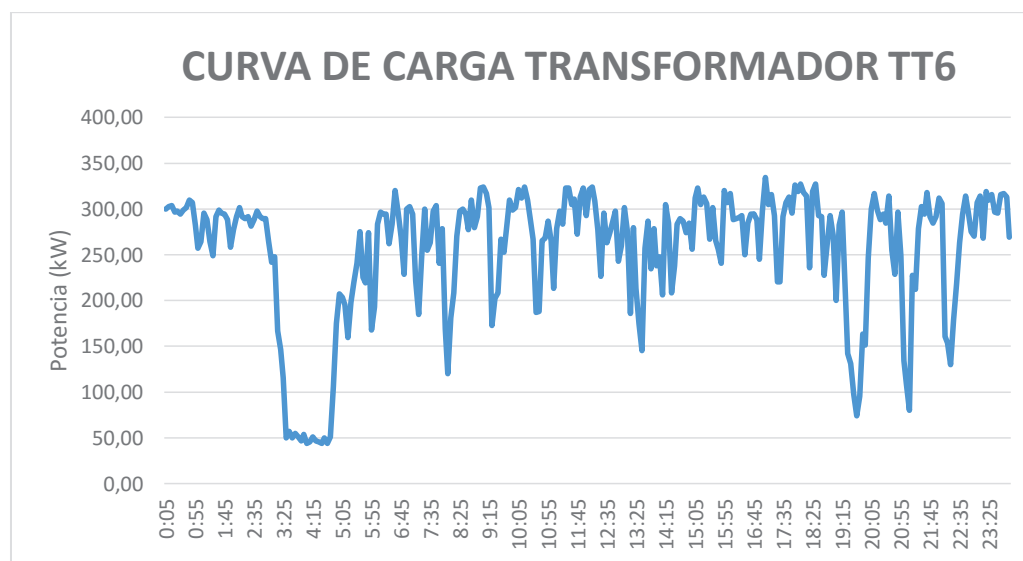


Figura 5.13 Curva de transformador TT6

En la Tabla 5.16 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos) en el transformador TT6 con 1000 kVA de potencia nominal, obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.16 Resumen de mediciones en TT6

TRANSFORMADOR TT6	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	4,764	175,717	363,229
DEMANDA (kVA)	10,852	194,173	366,898
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,402	0,905	0,997
VOLTAJE FASE 1 (V)	257,534	262,630	268,357
VOLTAJE FASE 2 (V)	256,209	261,395	267,252
VOLTAJE FASE 3 (V)	254,110	259,472	265,154
CORRIENTE FASE 1 (A)	19,536	249,632	498,559
CORRIENTE FASE 2 (A)	19,536	234,276	481,368
CORRIENTE FASE 3 (A)	26,569	241,289	464,957

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 254,11 V a 268,36 V, correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 0,02 % y el 5,64 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,98; cumpliendo de este modo con la norma. Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 Resultado de análisis en TT6

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	1,10 %
	DEMANDA MEDIA	19,40 %
	DEMANDA MÁXIMA	36,70 %
FACTOR DE CARGA		48,38 %

5.1.3.7 Curva de Carga en el Transformador TT8

A este transformador se conecta la carga más representativa en la fábrica, que corresponde a los compresores de alta presión.

Analizando la curva presentada en la Figura 5.14 y relacionándola con la carga del transformador TT9 que corresponde a los demás compresores de alta se justifica la disminución de demanda comprendida entre las 12:30 pm y las 16:30 pm de ese día. El tiempo restante, estos compresores proveen de aire a alta presión a las máquinas de soplado en las distintas líneas de producción.

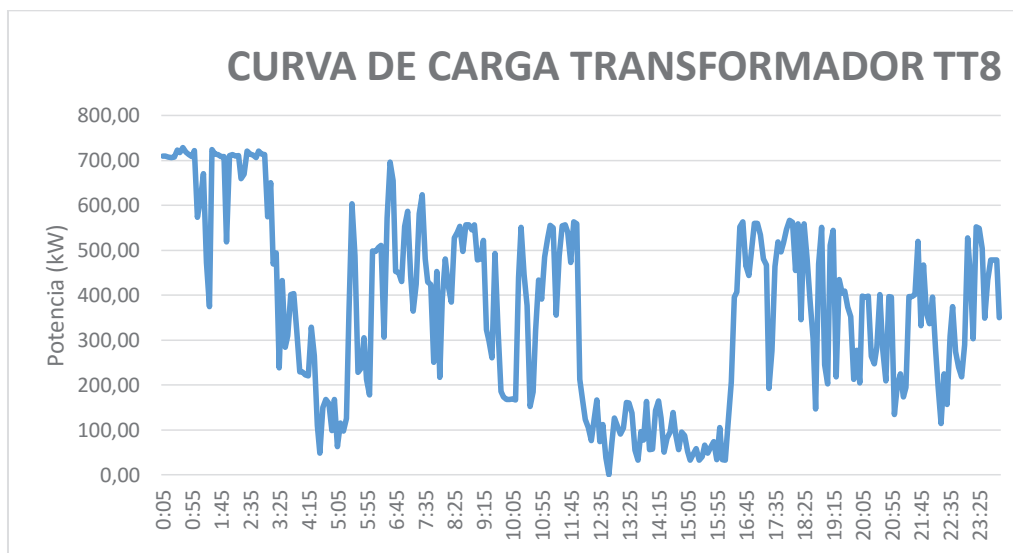


Figura 5.14 Curva de transformador TT8

En la Tabla 5.18 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos) para el transformador TT8 con 1500 kVA de potencia nominal, obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.18 Resumen de mediciones en TT8

TRANSFORMADOR TT8	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	0,00	146,74	710,59
DEMANDA (kVA)	0,00	173,00	843,93
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,17	0,81	0,89
VOLTAJE FASE 1 (V)	261,25	268,45	274,45
VOLTAJE FASE 2 (V)	262,34	269,58	275,84
VOLTAJE FASE 3 (V)	260,24	267,22	273,19
CORRIENTE FASE 1 (A)	0,00	234,33	1016,10
CORRIENTE FASE 2 (A)	0,00	260,01	1123,50
CORRIENTE FASE 3 (A)	0,00	238,58	1057,20

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 260,24 V a 275,84 V correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 2,44 % y el 8,58 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,86. Es por este motivo que en este punto se conecta un banco de capacitores de 180 kVA.

Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19 Resultado de análisis en TT8

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	0,00 %
	DEMANDA MEDIA	11,53 %
	DEMANDA MÁXIMA	56,26 %
FACTOR DE CARGA		20,65 %

5.1.3.8 Curva de Carga en el Transformador TT9

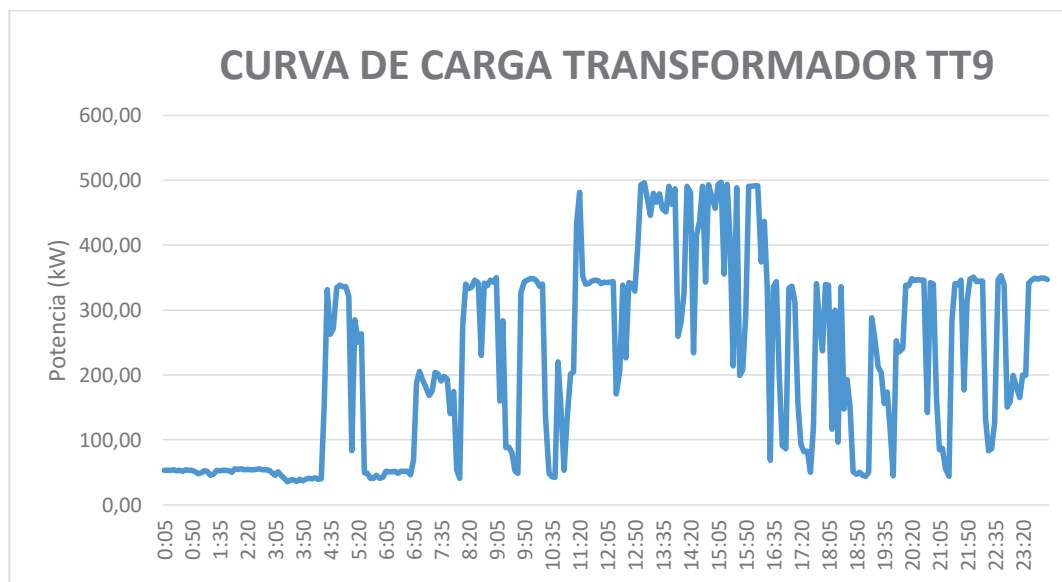


Figura 5.15 Curva de carga transformador TT9

Al transformador TT9 con capacidad 1500 kVA se conecta otro grupo de compresores de alta presión.

En la Figura 5.15 se puede identificar que durante el período comprendido entre las 13:30 y las 16:30 los compresores de este grupo son los que proveen de aire comprimido a los diferentes procesos.

En la Tabla 5.20 se resumen los datos adquiridos durante el período de una semana (7 días continuos), obteniéndose en el análisis de resultados los siguientes valores:

Tabla 5.20 Resumen de mediciones en TT9

TRANSFORMADOR TT9	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
DEMANDA (kW)	1,47	189,94	493,12
DEMANDA (kVA)	1,47	459,41	543,68
FACTOR DE POTENCIA TOTAL	0,02	0,66	0,99
VOLTAJE FASE 1 (V)	254,73	261,73	268,31
VOLTAJE FASE 2 (V)	255,87	262,96	269,84
VOLTAJE FASE 3 (V)	253,58	260,59	267,05
CORRIENTE FASE 1 (A)	107,20	305,14	645,30
CORRIENTE FASE 2 (A)	111,60	345,53	748,10
CORRIENTE FASE 3 (A)	105,30	331,89	723,20

Acorde a las normativas se puede verificar que el voltaje se encuentra comprendido entre 253,58 V a 269,84 V correspondientes a un error respecto al valor nominal entre el 0,18 % y el 6,22 %, que cumple con lo establecido en la normativa. El factor de potencia promedio durante este intervalo corresponde a 0,78. Es por este motivo que en este punto se conecta un banco de capacitores de 180 kVA.

Adicional, en base a los datos obtenidos durante el período especificado, se calculan los factores presentados en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21 Resultado de análisis en TT9

FACTOR DE UTILIZACIÓN	DEMANDA MÍNIMA	0,10 %
	DEMANDA MEDIA	30,63 %
	DEMANDA MÁXIMA	36,25 %
FACTOR DE CARGA		38,52 %

5.2 DATOS DE MEDICIÓN DE CONSUMO DE AGUA

Realizando el análisis de los valores adquiridos de caudal en cada una de las líneas, se tiene que el equipo denominado Paramix es el que recibe mayor cantidad de agua, esto debido a que es el procesador de bebida. Cabe recalcar que en un futuro se extenderá este monitoreo a otras líneas de producción en la planta, para tener un registro del consumo total de la planta embotelladora.

En base a los datos registrados se presenta la Tabla 5.22 con los valores de caudal volumétrico mínimo, promedio y máximo. Esto permite determinar la capacidad de bombeo de agua en cada línea de producción.

Tabla 5.22 Caudal de agua en cada línea de producción

LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	CAUDAL MÍNIMO (L/MIN)	CAUDAL PROMEDIO (L/MIN)	CAUDAL MÁXIMO (L/MIN)
LÍNEA KHS	4,005	49,22	107,12
LÍNEA CARBALLO	4,01	21,24	56,875
LÍNEA KOMPASS	1,28	17,66	469,505
PARAMIX	5,655	64,59	173,1

Adicional a los valores de caudal, se presenta los datos almacenados de consumo diario de agua por área. En base a estos se puede determinar el nivel de consumo de agua clasificada como se presenta en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Consumo de agua en cada línea de producción

CONSUMO DE AGUA POR DÍA (LITROS)			
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
LÍNEA KHS	1230	10454	18114
LÍNEA CARBALLO	1000	3323	6848
LÍNEA KOMPASS	2731	7889	20020
PARAMIX	23659	106253	295896

En la Figura 5.16 se comparan los valores de consumo medidos con los caudalímetro y aquellos valores teóricos que se los obtienen por medio de un cálculo en base a la producción diaria.

Al momento se sigue usando el valor teórico para determinar consumos de agua debido a que el nuevo sistema de medición de caudal de agua aún no se ha implementado en toda la fábrica.

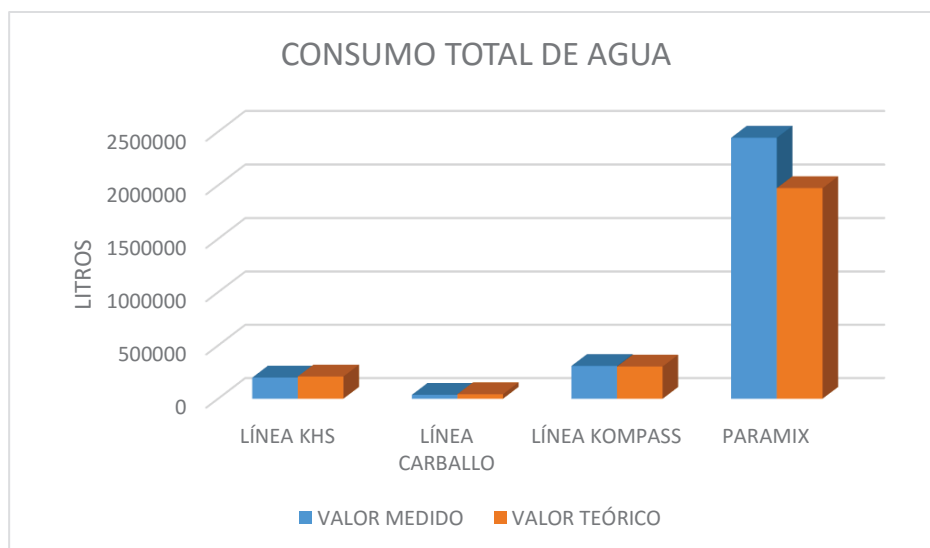


Figura 5.16 Consumo total de agua

5.3 DATOS DE MEDICIÓN DE CONSUMO DE CO₂

En base a los datos registrados se presenta la Tabla 5.24 con los valores de caudal másico mínimo, promedio y máximo. Esto permite determinar el nivel de CO₂ requerido en estas líneas de producción.

Tabla 5.24 Caudal de CO₂ en cada línea de producción

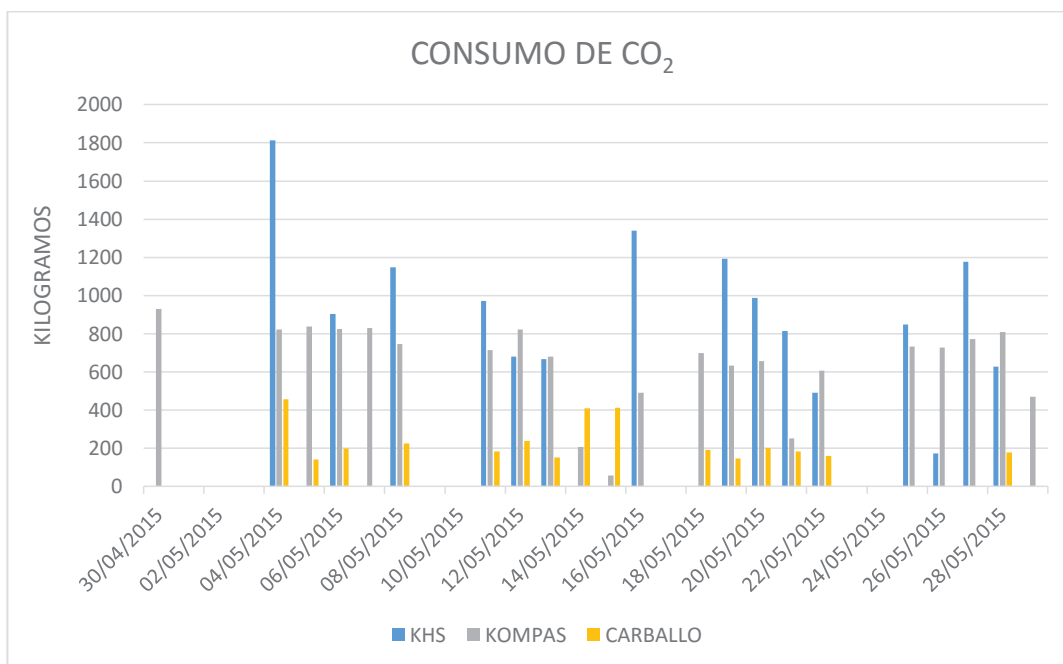
CAUDAL (KILOGRAMOS/MINUTO)	CAUDAL MÍNIMO	CAUDAL PROMEDIO	CAUDAL MÁXIMO
LÍNEA CARBALLO	0,5	14,02	71,3
LÍNEA KHS	0,1	23,86	69,9
LÍNEA KOMPASS	0,2	17,16	65,7

Se puede evidenciar a través de los valores medidos, que la línea Carballo representa la de menor consumo en comparación a las otras dos, como se aprecia en la Tabla 5.25.

Tabla 5.25 Consumo de CO₂ en cada línea de producción

CONSUMO CO ₂ POR DÍA (KILOGRAMOS)			
DATOS REGISTRADOS	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
LÍNEA CARBALLO	142	232	457
LÍNEA KHS	173	922	1812
LÍNEA KOMPASS	235	750	1010

Los valores totalizados de consumo de CO₂ en cada período, permiten concluir que la línea monitoreada con mayor consumo es la KHS como se puede apreciar en la Figura 5.17. Además se puede comparar con el nivel de consumo en las otras líneas de producción.

**Figura 5.17** Consumo de CO₂

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

Durante la implementación de este proyecto, no existió una etapa definida de pruebas, debido a que las mismas se fueron desarrollando conforme se instalaba cada uno de los equipos. Se realizó pruebas en el sistema de medición y en el HMI implementado para la adquisición de señales, destinadas al monitoreo y creación de bases de datos para su posterior análisis.

Las pruebas a los sensores de caudal, fueron realizadas por una empresa externa, encargada de la correcta calibración de estos dispositivos.

6.1 PRUEBAS DEL SISTEMA MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las pruebas en los medidores de energía consistieron en verificar la correcta conexión de las señales de corriente y voltaje, además de los cables de alimentación propia del dispositivo como se aprecia en la Figura 6.1. Adicionalmente se instaló nuevos switches de comunicación para incrementar la capacidad de conexión a la red ethernet industrial existente.

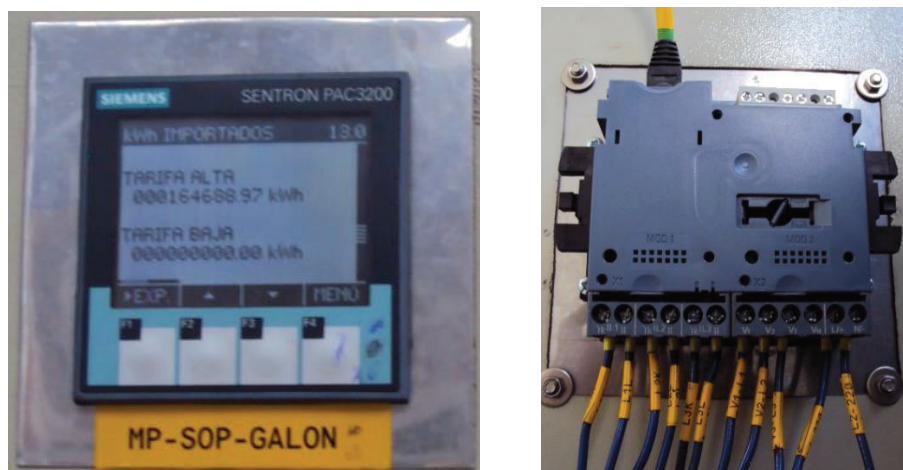


Figura 6.1 Conexión de señales de corriente y voltaje al medidor digital

6.1.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN Y CONFIGURACIÓN

Para verificar la adecuada conexión de los equipos que se encuentran conectados en la red ethernet industrial, se debe comprobar que se encuentren en el mismo rango de direcciones IP, con su respectiva máscara de red. Las direcciones IP de los equipos conectados a la red industrial se encuentran dentro del rango descrito en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Rango de direcciones IP utilizadas para esta red industrial

RANGO DE DIRECCIONES IP:	192.168.0.1 – 192.168.0.254
MÁSCARA DE RED:	255.255.255.0

Debido a que estos equipos utilizan protocolo TCP/IP IPv4 (Capa 4 del modelo OSI), se puede hacer uso de la utilidad diagnostica “ping” a través de la consola de MS-DOS para el sistema operativo Windows como indica la Figura 6.2. Este comando envía un mensaje ICMP (Protocolo de Mensajes de Control de Internet), incrustado en un paquete IP que permite diagnosticar el estado, velocidad y calidad de la conexión de un equipo conectado a una red determinada, notificando posibles errores de comunicación.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Users\admin>ping 192.168.0.242

Haciendo ping a 192.168.0.242 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.242: bytes=32 tiempo=3ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.242: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.242: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.242: bytes=32 tiempo<1m TTL=30

Estadísticas de ping para 192.168.0.242:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 3ms, Media = 1ms

C:\Users\admin>

```

Figura 6.2 Conexión de señales de corriente y voltaje al medidor digital

En base a esta sencilla prueba, se puede verificar si determinado equipo se encuentra conectado correctamente a la red, únicamente conociendo la dirección IP que se le ha asignado.

Como una opción adicional, se puede utilizar un software que permite identificar de manera visual, todos los dispositivos enlazados a una red ethernet determinada. Muchos de estos programas son gratuitos y permiten realizar la gestión y el control de redes. Por el número de dispositivos que conforman el sistema de medición y se encuentran conectados a esta red (22 medidores de energía y 2 PLCs), fue de gran utilidad manejar un explorador de redes. En este caso se utilizó el programa Advanced IP Scanner, que permitió verificar los equipos conectados a este segmento de red, como se muestra en la Figura 6.3.

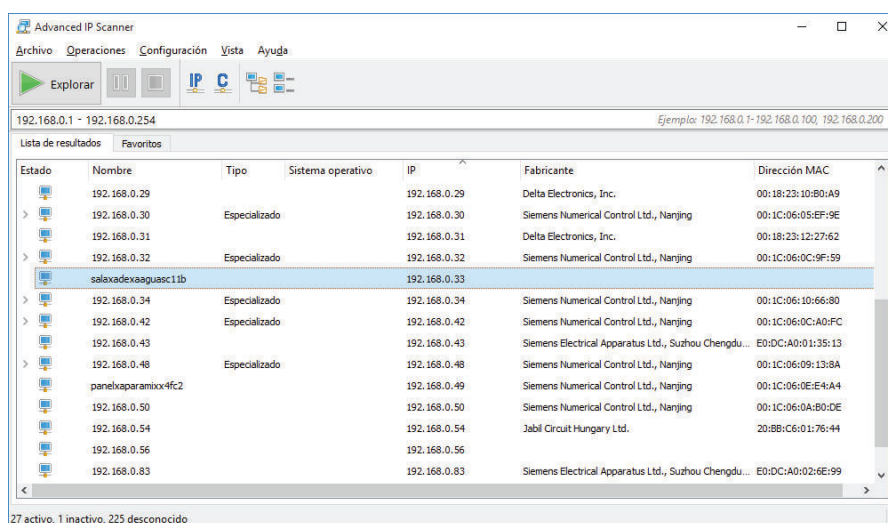


Figura 6.3 Software utilizado para verificar la conexión de los equipos

De esta manera se garantiza que todos los medidores de energía tienen correctamente configurados sus parámetros de comunicación para una adecuada conexión a la red existente.

Como resultado a esta prueba se pudo constatar que una parte de los equipos conectados a la red, incluyendo algunos medidores presentaban problemas de conectividad. Esto se debe a que se interconectan grandes distancias, por cables de cobre (par trenzado con conector RJ45), superando en algunos casos el máximo recomendado que es 100 metros. La empresa como solución ha planteado interconectar con fibra óptica los switches existentes entre naves de producción.

Una vez realizada esta prueba, se verifica que los datos adquiridos en el PLC S7-1200, sean correctos. De esta manera se procede a cargar la última versión de la aplicación desarrollada para el PLC como lo indica la Figura 6.4. Por medio de programación se guarda, en un bloque de datos, las direcciones IP de cada uno de los medidores a los cuales accede, además de los registros internos de las magnitudes medidas entregadas por cada equipo.

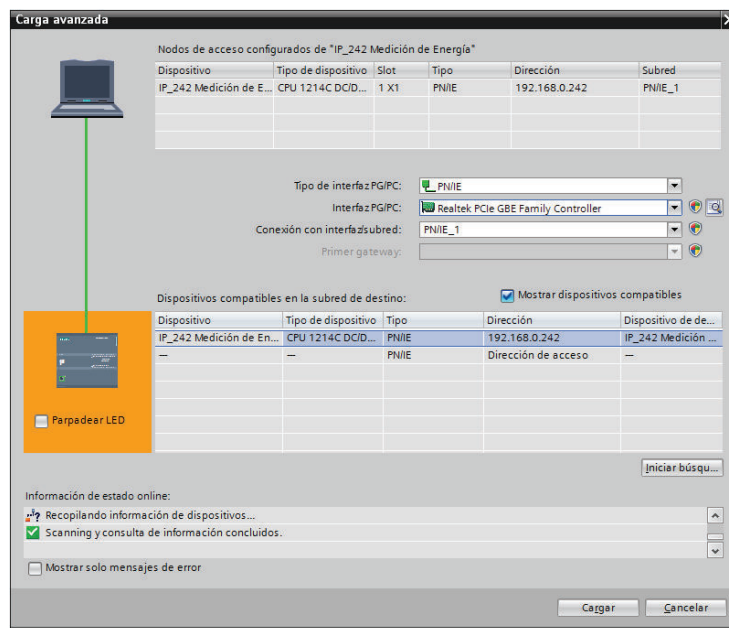


Figura 6.4 Software utilizado para la configuración de los PLCs

Estos datos se los obtuvo inicialmente del PLC S7-1200, en donde se generan archivos con extensión (.csv), que pueden ser visualizados en Excel, y contienen las mediciones de parámetros eléctricos. Para visualizar estos archivos se debe acceder a través del web server integrado que tiene este controlador como lo ilustra la Figura 6.5.

Se realizó un análisis inicial, con los primeros valores recopilados y se pudo verificar que en determinados lapsos de tiempo, se producía la mala adquisición de datos en un grupo de medidores. Realizando un seguimiento, se verificó, que la alimentación para los switches de comunicación no era la más adecuada, debido a que se desenergizaban conjuntamente con el tablero donde fueron instalados. Esto provocaba la pérdida de los datos de medición en los lapsos de tiempo que este tablero permanecía desconectado.

Date	UTC Time	Files	Download
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G1	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G2	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G3	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G4	
31.10.2015	12:17:06 pm	Consumo de Energía	
31.10.2015	12:17:06 pm	Litros Total	
12.09.2015	02:24:04 pm	Análisis de Datos Energía G5	
12.09.2015	02:00:00 pm	Consumo CO2 Diario	

Number of recent entries to view: - +

Figura 6.5 Registros de datos creados en el PLC S7-1200

La modificación en la alimentación de la fuente de 24 VDC para el switch de comunicación, permitirá tener una independencia, respecto al tablero en el que está instalado este equipo. Este requerimiento es responsabilidad de la empresa, la misma que se encargará de realizar los cambios necesarios para garantizar el adecuado monitoreo del sistema de medición. En la Figura 6.6 se pueden observar algunos de los switches utilizados para la red de comunicación industrial, además de la fuente de 24 VDC.

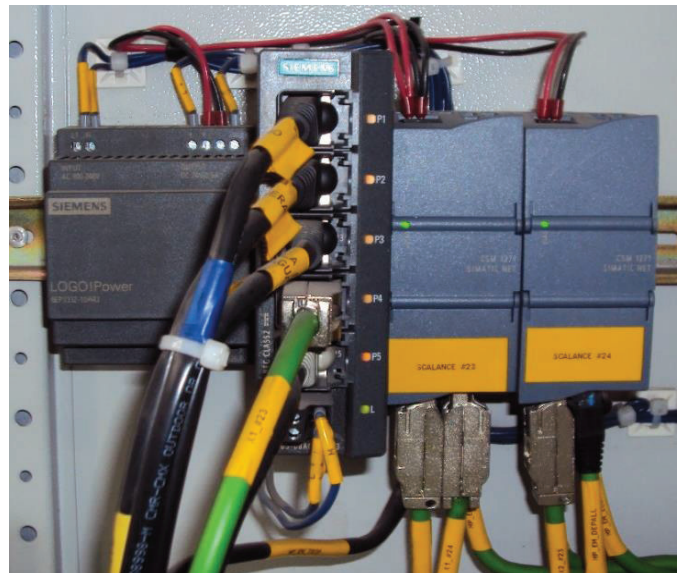


Figura 6.6 Conexión eléctrica para switches de comunicación

6.1.2 PRUEBAS DE VALORES OBTENIDOS POR MEDICIÓN

Para esta prueba se realizaron mediciones con ocho analizadores de energía, conectados a los transformadores de la empresa para efectuar una medición simultánea a la realizada por el sistema de medición inteligente implementado, en un intervalo de aproximadamente 4 días. La comparación de los datos obtenidos se los presenta en las siguientes gráficas, donde se aprecia en color naranja, los datos de potencia media almacenados por el sistema de medición y en azul los adquiridos por los analizadores de red instalados por la Empresa Eléctrica Quito.

6.1.2.1 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT1

Analizando los valores que corresponden a la Figura 6.7 se obtuvo que el porcentaje de error máximo de las potencias registradas con los medidores industriales Sentron PAC es de 8,7 %. Para las mediciones de voltaje se tiene un máximo error de 3,8 %, respecto al analizador de redes de energía.

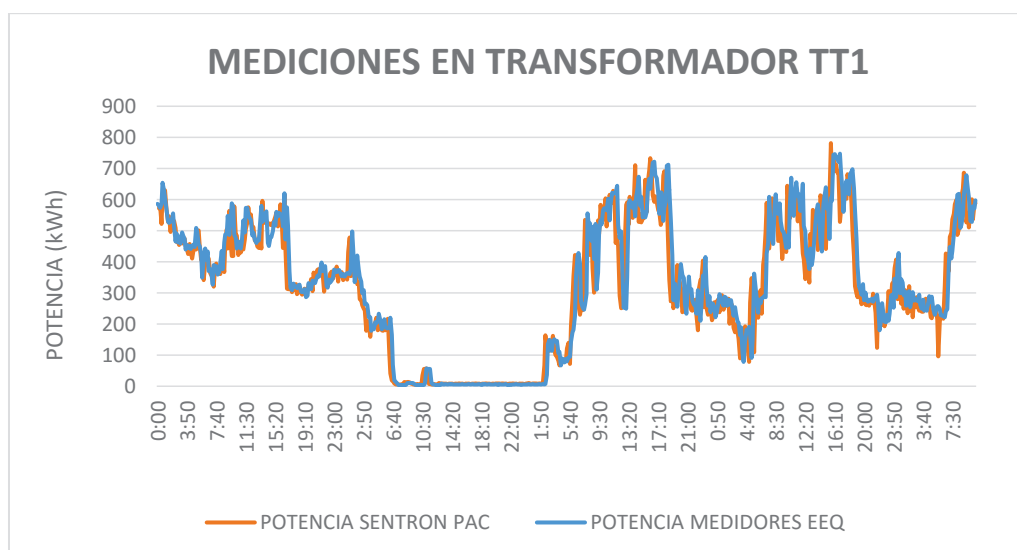


Figura 6.7 Comparación entre datos adquiridos para TT1

6.1.2.2 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT2

Se analizó los valores obtenidos para el transformador TT2, que se ilustran en la Figura 6.8. El porcentaje de error máximo presentado en las medidas de potencia es de 8,75 %. Para las mediciones de voltaje se tiene un máximo error de 3,5 %.

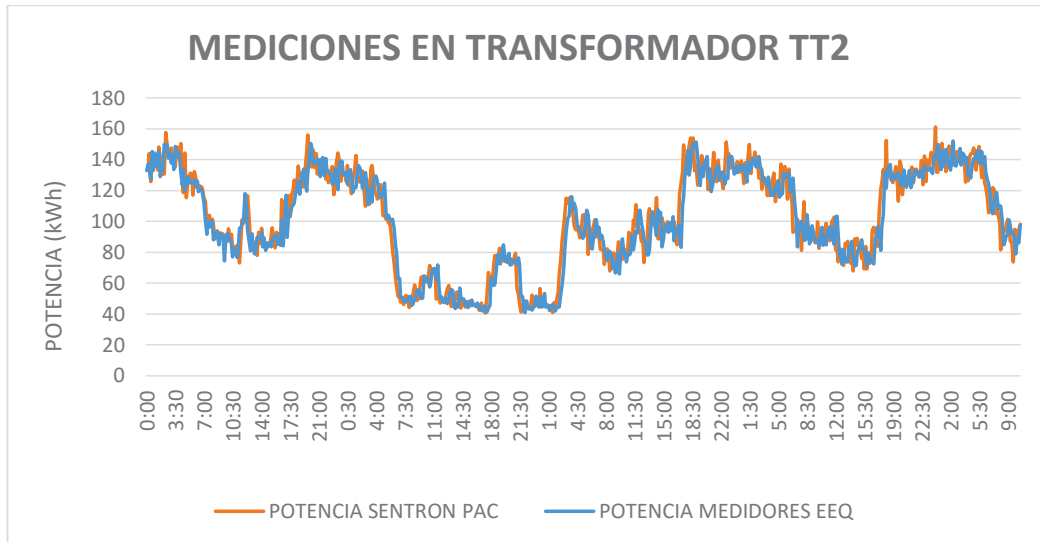


Figura 6.8 Comparación entre datos adquiridos para TT2

6.1.2.3 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT3

Para el transformador TT3, se analizó los datos adquiridos por el sistema de medición, comparándolos con los valores registrados por los analizadores de red. Las curvas correspondientes a los datos analizados en el transformador TT3 se presentan en la Figura 6.9. El porcentaje de error máximo de las medidas de potencia media es de 5,5 %. Para las mediciones de voltaje se tiene un máximo error de 2,8 %.

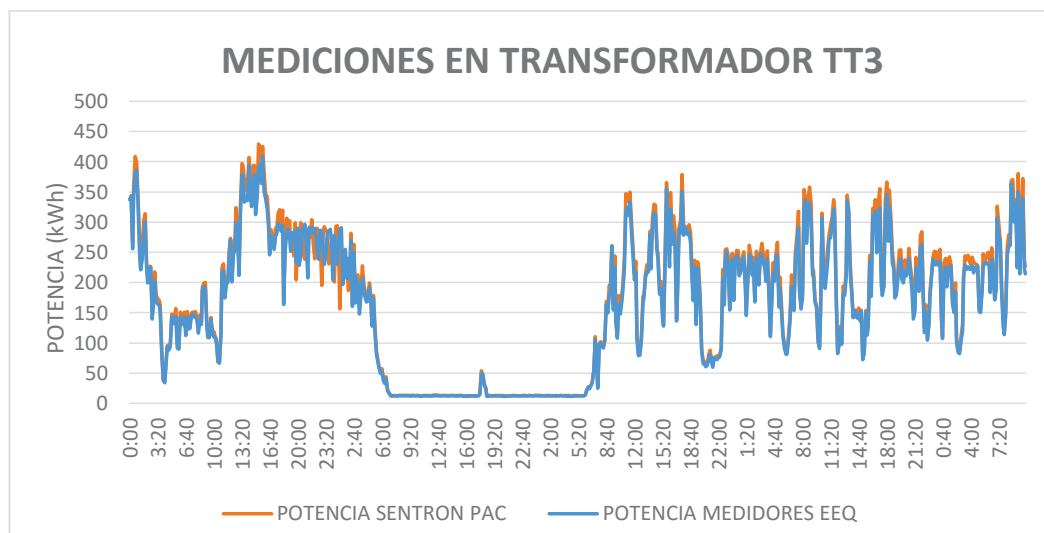


Figura 6.9 Comparación entre datos adquiridos para TT3

6.1.2.4 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT4

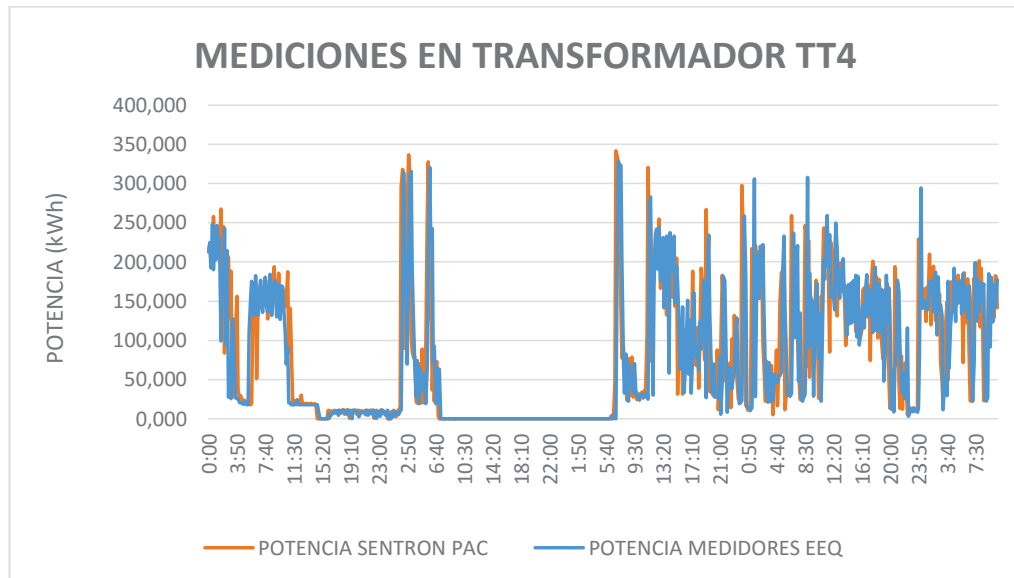


Figura 6.10 Comparación entre datos adquiridos para TT4

De acuerdo a los datos obtenidos para el transformador TT4, que se recopilan en la Figura 6.10, se calculó un error del 11 % en las mediciones de potencia media. Para los valores de voltaje se tiene un máximo error de 4,1 %.

6.1.2.5 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT5

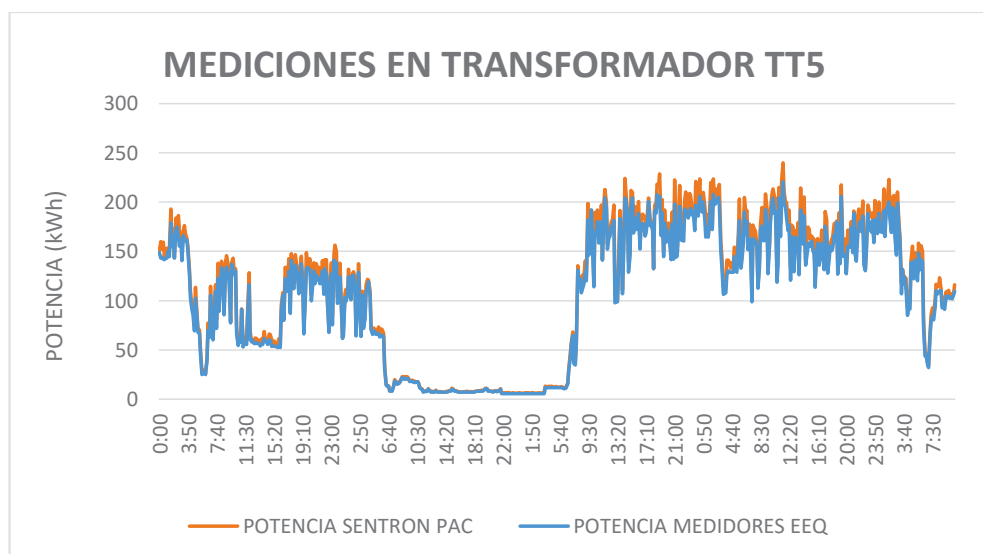


Figura 6.11 Comparación entre datos adquiridos para TT5

Para el transformador TT5 se obtuvo un error del 11,5 % respecto a las mediciones de potencia media registradas en el analizador y que se describen en la Figura 6.11. Para los valores de voltaje se tuvo un error máximo de 3,8 %.

6.1.2.6 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT6

Las curvas correspondientes a los datos analizados para el transformador TT6 se presentan en la Figura 6.12. Realizando el análisis de los datos obtenidos en el transformador TT6, se tuvo los siguientes resultados. Un error del 10,5 % para los valores de potencia media obtenidos en el analizador de red. Para los valores de voltaje se tuvo un error máximo de 3,5 %.

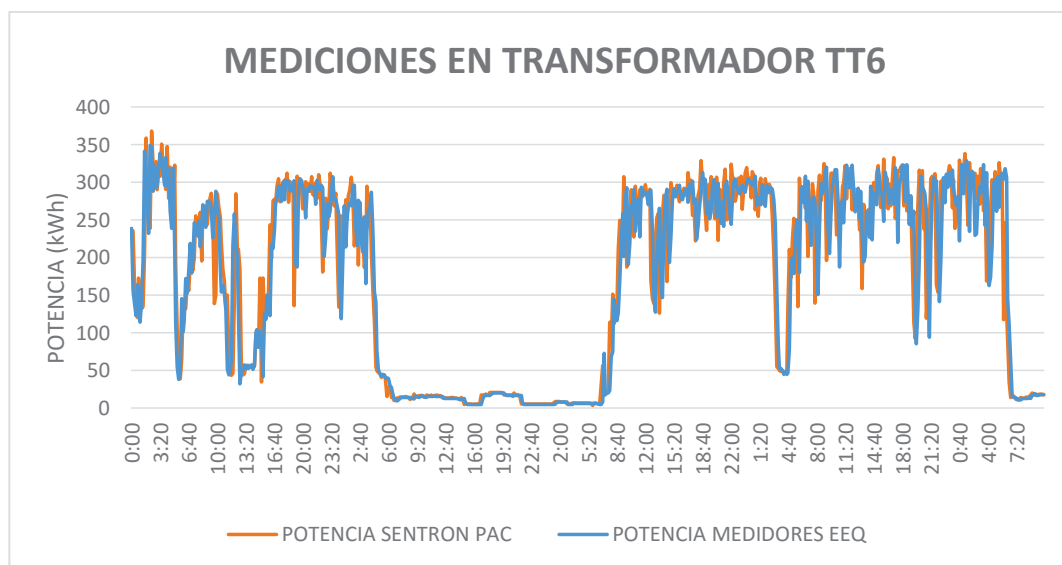


Figura 6.12 Comparación entre datos adquiridos para TT6

6.1.2.7 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT8

En las mediciones realizadas al transformador TT8 y se presentan en la Figura 6.13, se tuvo los siguientes errores: 11,7 % para los valores de potencia media comparados respecto a los obtenidos por el analizador de red. Para los valores de voltaje se tuvo un error máximo de 3,3 %.

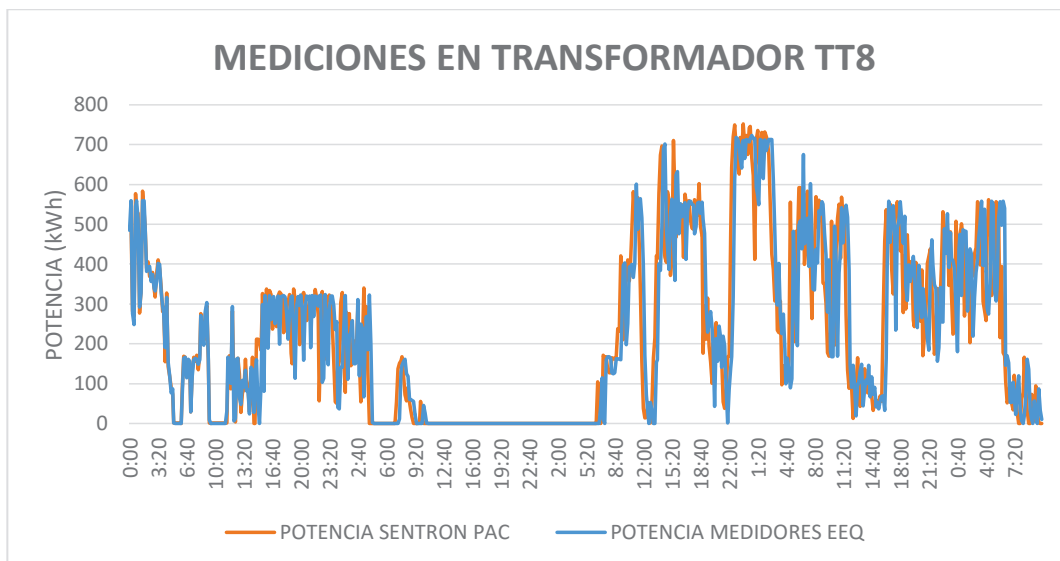


Figura 6.13 Comparación entre datos adquiridos para TT8

6.1.2.8 Comparación de Datos Obtenidos en el Transformador TT9

Para el registro obtenido de mediciones en el transformador TT9 que se presentan en la Figura 6.14, se tuvo un error de la potencia media registrada del 8,1 %. Para los valores de voltaje comparados con los registrados por el analizador se tuvo un error máximo del 6,8 %.

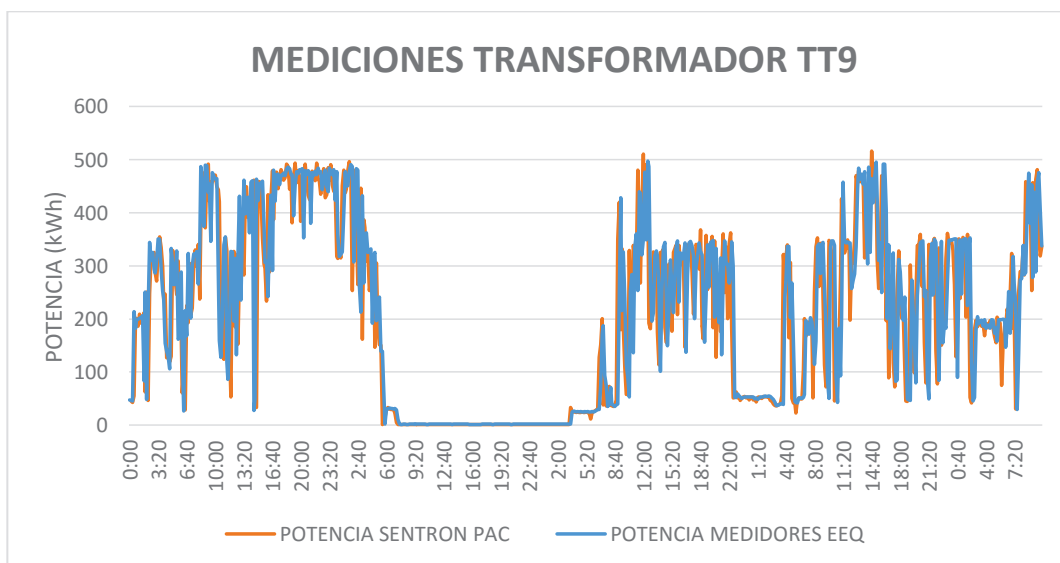


Figura 6.14 Comparación entre datos adquiridos para TT9

En base a los resultados obtenidos, se recomienda revisar los parámetros de ajuste en los medidores que monitorean a los siguientes transformadores: TT4, TT5, TT6 y TT8, debido a que presentan un porcentaje de error mayor al 10 %.

6.2 PRUEBAS DEL SISTEMA MEDICIÓN DE CAUDAL MÁSSICO Y VOLUMÉTRICO

Las pruebas en los medidores de caudal consistieron en revisar el correcto seteo de parámetros básicos necesarios para su calibración. Además se comprobó la adecuada comunicación con los PLCs, verificando que se adquieran los valores visualizados en el display de cada caudalímetro.

6.2.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN Y CONFIGURACIÓN

En el PLC S7-300 se desarrolló los bloques de programación requeridos para obtener los datos de caudal y totalizador en cada uno de los sensores de caudal instalados, como se indica en la Figura 6.15. El programa TIA Portal V13, permite visualizar en línea la ejecución de las lógicas configuradas en el PLC, además del estado de cada uno de estos sensores, que se configuran como un solo módulo Profibus PA.

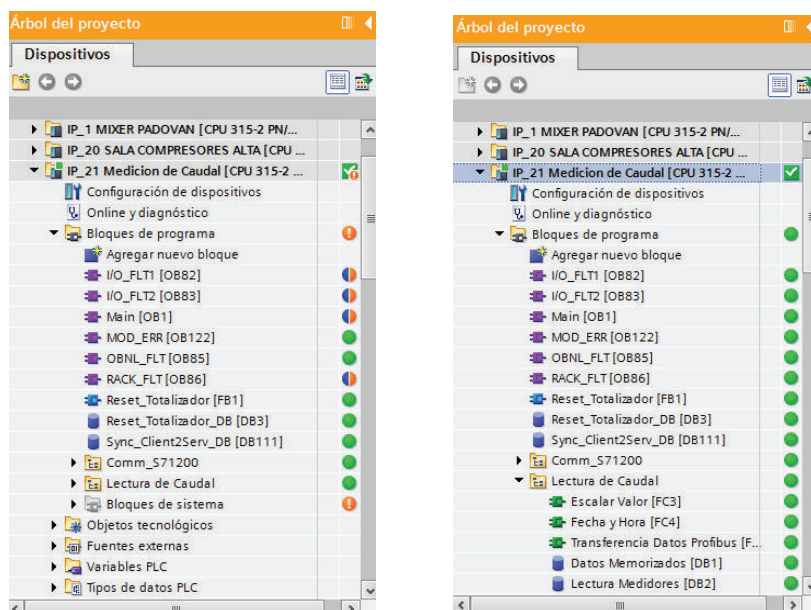


Figura 6.15 Configuración del controlador lógico programable S7-300

En la Figura 6.16 se ilustra la ventana donde se puede verificar la correcta comunicación entre el PLC y cada uno de los sensores. Para identificar el estado de cada dispositivo, se despliega símbolos, un visto verde para indicar la correcta conexión o una equis roja, para indicar que existe algún problema en el caudalímetro. En base a esto se puede corregir errores de configuración o identificar un caudalímetro defectuoso.

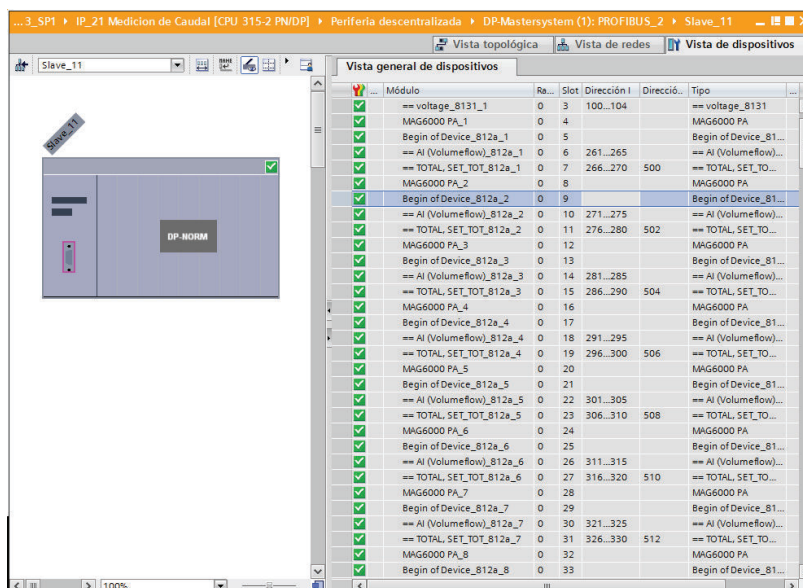


Figura 6.16 Visualización del estado de los sensores en el TIA Portal V13

En base a estas pruebas se pudo superar problemas respecto a la comunicación entre los equipos. Fue necesario colocar módulos adicionales para interconectar el bus Profibus PA al controlador PLC S7-300.

6.2.2 PRUEBAS DE VALORES OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN

Los transmisores de caudal másico y volumétricos vienen con un certificado de calibración de fábrica, donde se documenta el resultado de las pruebas realizadas al transmisor y al sensor. Sin embargo a través del menú de configuración se puede ajustar parámetros como tamaño del sensor, factor de corrección, factor de calibración, frecuencia de excitación, entre otros, que son seteados con los caudalímetros ya instalados en la tubería como se indica en la Figura 6.17.

Se puede configurar de entre varias opciones, las unidades de preferencia, para visualizar el caudal y el totalizador en el sensor.



Figura 6.17 Sensores y transmisores de caudal instalados

Adicional a la calibración inicial que los sensores reciben por parte del fabricante, una empresa certificadora realiza un reajuste de sus parámetros, realiza pruebas y emite un certificado de calibración, que se extiende por un período de un año, garantizando que el caudalímetro refleja el valor real de la magnitud medida.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se logró implementar un sistema inteligente de medición de energía, que permite almacenar en un computador los valores de energía eléctrica de 8 de los 9 transformadores existentes en la fábrica, adicional a eso se está monitoreando 7 líneas de producción y 3 áreas, de manera independiente. Entre los valores almacenados se encuentran los cálculos del consumo de energía eléctrica, agua y CO₂ diario por línea de producción, datos que se adquieren de una lógica implementada en el PLC S7-1200. Todos estos datos son visibles en el HMI, que le permite tener un monitoreo eficaz de la fábrica, logrando de esta manera el alcance planteado al iniciar el proyecto.
- Es muy importante la estandarización de equipos utilizados, como: controladores lógicos programables, medidores de energía, sensores de caudal másico y volumétrico, para en caso de requerir un mantenimiento correctivo, se disponga de los repuestos en bodega. El mayor porcentaje de equipos existentes en la planta son marca Siemens, por este motivo se optó utilizar dispositivos de este fabricante. Esto permite reducir el número de proveedores, incluso la cantidad de repuestos que se almacenan en bodega para garantizar la disponibilidad en caso de fallas.
- El desarrollo de una interfaz HMI para el monitoreo permitirá a la empresa tener un adecuado manejo de la información respecto a la medición de parámetros importantes que se los utiliza para valorar la eficiencia en cada período de producción. Antes de implementar los medidores, se trabajaba con valores estimados en base a los períodos de producción y cantidad de productos elaborados. Los datos de energía se tomaban del medidor de la empresa eléctrica regional y de algunos medidores que ya se encontraban en determinados tableros, sin poder hacer un análisis completo, independizando las mediciones por línea de producción.

- La implementación del sistema de medición fue necesario realizarla en varias etapas, debido a que se requería dejar sin servicio las líneas intervenidas, que actualmente se están monitoreando. Es importante mencionar que la fábrica está ampliando el número de medidores y sensores a ser incluidos en este sistema, extendiendo la medición a otras áreas y recursos utilizados, como por ejemplo el vapor de calderos. De esta manera se implementa un sistema de monitoreo con la facilidad de incorporar nuevos equipos de medición y la capacidad de ampliar su funcionalidad, conforme a los requerimientos que pueda tener la empresa.
- Para poder integrar estos nuevos equipos a la red ethernet existente en la fábrica, se requirió ampliar la capacidad de la red existente, instalándose nuevos switches industriales en tableros determinados por el personal de mantenimiento de la fábrica. Esto permite ampliar el número de equipos conectados para extender el monitoreo, conforme a los objetivos inicialmente planteados en el proyecto.
- Durante el proceso de instalación de los medidores, y antes de integrarlos a las redes industriales, existentes e implementadas, estos datos se recopilaban una vez al día, por un operador que lo realizaba de manera manual, visualizando las mediciones en sitio, para lo cual debía desplazarse a cada uno de los tableros donde se encuentran ubicados los medidores de energía y los sensores de caudal. Con la implementación del sistema de medición se optimiza este procedimiento que antes requería de al menos 2 horas por día.
- Por los resultados alcanzados luego de la implementación y pruebas realizadas al sistema de medición, se puede concluir que se ha alcanzado a cumplir en gran medida los objetivos planteados para este proyecto.

7.2 RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos en las mediciones con los analizadores de energía instalados durante un período de 4 días por la Empresa Eléctrica Quito, se recomienda revisar los parámetros de ajuste y si es el caso, los transformadores de corriente de los medidores que monitorean a los transformadores: TT4, TT5, TT6 y TT8. El porcentaje de error obtenido se encuentra entre el 10 % y el 15 %.
- Como resultado de las pruebas realizadas, se identificó que para determinados medidores se producía la pérdida de información durante ciertos períodos de tiempo. Este problema se debía a que algunos switches de comunicación se alimentaban desde tableros, que por motivos de operación eran apagados totalmente por los operadores. Como solución a este problema se encontró que es necesario independizar la fuente de alimentación de estos switches, para garantizar de esta manera la adecuada adquisición de datos en todo momento.
- Debido a las grandes distancias que existen entre equipos conectados a la red ethernet industrial, se recomienda instalar un cable de fibra óptica, para mejorar la conectividad entre las naves industriales y el equipo que centraliza todos los datos de medición.
- Se recomienda considerar en el inventario de bodega, repuestos para los nuevos equipos que conforman el sistema de medición de energía y monitoreo de consumo de agua y CO₂.
- Actualmente en la empresa se tiene un transformador de 750 kVA que no provee de energía a ninguna carga y que se encuentra disponible para futuras nuevas ampliaciones, previstas en esta fábrica. Este equipo tiene un medidor independiente que no se lo ha integrado al sistema de medición, quedando la posibilidad de hacerlo por parte de la fábrica cuando lo requieran.

- Existen áreas de la planta de producción que se tiene planificado integrar al sistema de medición, para lo cual se deja listo, en programación de los dispositivos de adquisición y en la aplicación de la interfaz HMI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (2013). Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017. *Productividad y Competitividad*, p 77.
- [2] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. *Eficiencia Energética en el Sector Industrial*. Recuperado el 06 de Junio del 2015 de <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>
- [3] Consejo Nacional de Electricidad (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Volumen 4. *Plan de Eficiencia Energética para el Ecuador* pp. 9 -24.
- [4] Consejo Nacional de Electricidad (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Volumen 2. *La Demanda y el Sector Eléctrico Ecuatoriano*. p. 23.
- [5] Organización Latinoamericana de Energía (2013). La Sostenibilidad de la Eficiencia Energética. *Introducción*. p. 1. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de www.olade.org/sites/default/files/publicaciones/PALCEE-2013.pdf
- [6] Poveda, M. (2007). Eficiencia Energética: Recurso no aprovechado. Quito: OLADE. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2009/02998.pdf
- [7] IAEA, EUROSAT, Agencia Europea de Medio Ambiente, Agencia Internacional de la Energía, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. (Julio 2008) Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible: Directrices y Metodologías. *Intensidades Energéticas en la Industria*, pp 61-65.
- [8] Siemens. Soluciones para la Eficiencia Energética. *Monitoreo y adquisición de datos*. pp. 12-14
- [9] Reinoso J. Modernización del Sistema de Control y Visualización de la Línea de Lavado de Botellas en The Tesalia Spring Company S.A. (Tesis). Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; 2014.
- [10] Tesalia Springs CBC, Boletín Digital 2015, Recuperado el 21 de Junio del 2015 de <http://www.tesaliacbc.com/boletin-digital/2015/boletin-mayo>.
- [11] Revista Ekos Negocios, Grandes Marcas Ecuador 2011, Recuperado el 21 de Junio del 2015 de <http://www.ekosnegocios.com/marcas/material%5Cpdf%5C101.pdf>
- [12] Movacolor, El más moderno sistema de dosificación para preformas PET, Recuperado el 21 de Junio del 2015 de <https://www.movacolor.com/es/aplicaciones/preformas-de-pet.html>

[13] Filling & Packaging Solutions provider, Air Conveyor System, Recuperado el 21 de Junio del 2015 de <http://www.filling-machines.co.in/product.php>

[14] Norland Int'l Inc., *Llenadora de botellas SpectraPak BF3000*, Recuperado el 29 de Junio del 2015 de http://www.norlandintl.com/spanish/filler_sp.htm

[15] Revista Ekos Negocios, *Güitig: 105 años de historia* (2014). Recuperado el 12 de Julio del 2015 de <http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idart= 4327>

[16] MACSA ID, S.A. *Impresora de Inyección de tinta para botellas*. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.macsa.com/226/es/1/46/codificacion-tinta-cij-inkjet>

[17] Revista Ekos Negocios, *El burbujeante paso a paso de Güitig* (2014). Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.ekosnegocios.com/revista/pdfTemas/1045.pdf>

[18] Archivo El Comercio, *Tesalia obtiene la certificación Primero Ecuador* (2014). Recuperado el 09 de Junio del 2015 de <http://www.elcomercio.com/actualidad/tesalia-certificacion-ecuador.html>

[19] El Universo, *Embotelladora con planes de inversión* (2014). Recuperado el 21 de Julio del 2015 de <http://www.eluniverso.com/noticias/2014/09/09/nota/3791376/embotelladora-planes- inversion>

[20] Revista Líderes Quito, *Las empresas apuntan a producir y sustituir importaciones*, Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-apuntan-producir-sustituir-importaciones.html#>.

[21] Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. *Ecuador comparte “un milagro de la naturaleza” con el mundo*. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.proecuador.gob.ec/category/noticias/>

[22] Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. *Pliego Tarifario Vigente - RESOLUCIÓN No. 007/10 18 Feb 2010*. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1784>

[23] Tapia Luis (2005). *Operación de Subestaciones. Transformadores de Medida y Protección*. p. 50-55.

[24] PHOENIX CONTACT. *Transformadores de corriente conectables*. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es/main/products/subcategory_pages/current_transformers_p-14-08-05/185939aa-fbe6-44ab-ac9f-9fecd22ba11c

[25] Montaluisa C. Operación y Mantenimiento de Medidores Electrónicos en Alimentadores Primarios de la Red de Distribución de la E.E:Q.S.A. (Tesis). Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; 2005.

[26] Siemens. (2012, Diciembre). *Electromagnetic Flowmeters Sitrans F M MAG 6000 I standard and Ex transmitter NAMUR, Sitrans F*, doi: A5E31638071-001.

[27] Medidores Industriales COHORTE. (2007, mayo). Principio de Funcionamiento Coriolis. Recuperado el 20 de Agosto del 2015 de <http://aitunexpo.blogspot.com/2007/05/principio-de-funcionamiento.html>

[28] Siemens. (2008, Febrero). Manual del Multímetro Sentron PAC3200. doi: A5E01168664C-02.

[29] Siemens. (2000, Noviembre). Manual del Sitrans FC MASSFLO. doi: A5E00253658.

[30] Siemens. (2012, Abril). Manual de Sistema. *Simatic S7, Controlador Programable S7-1200*. doi: A5E02486683-06.

[31] Siemens. (2011, Marzo). Manual de Sistema. *Simatic S7, Controlador Programable S7-300*. doi: A5E00105494-12.

[32] Empresa Eléctrica Quito, *Pliego Tarifario Mayo 2015 Vigente*. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/143788/PLIEGO+TARIFARIO+MAYO+2015>

[33] SUNS INTERNATIONAL, LLC. *Current Transformers (2002)*. Recuperado el 07 de Junio del 2015 de <http://www.suns-usa.com/currenttrans.htm>

[34] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 60044-1) (2003, Febrero). *Transformadores de medida. Parte 1: Transformadores de Corriente*. Valores Nominales p. 30-36

ANEXOS

ANEXO A: PLIEGO TARIFARIO MAYO DEL 2015

ANEXO B: PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TCs

ANEXO C: PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TPs

ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DE DIGITALES

ANEXO E: CARACTERÍSTICAS DE TCs CAMSCO

ANEXO F: CARACTERÍSTICAS DE MEDIDORES SENTRON PAC 3200

ANEXO G: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PLC S7-1200

ANEXO A: PLIEGO TARIFARIO MAYO DEL 2015 [32]

1. Detalle de Pagos en la Planilla de Consumo de Energía Eléctrica

El cliente industrial en media tensión con registrador de demanda horaria deberá pagar la planilla de consumo de energía eléctrica con el detalle de los siguientes rubros:

- a) Un cargo de US\$ 1,414 por comercialización para cada consumidor, independiente del consumo de energía.
- b) Un cargo por demanda de US\$ 4,129 por cada kW de demanda facturable, como mínimo de pago, sin derecho a consumo, afectado por un factor de corrección (FCI).
- c) Un cargo en función de la energía consumida en cada período de demanda comprendida de lunes a viernes y sábados, domingos y feriados.
- d) Un cargo del 5,5 % del valor de la plantilla por consumo, en concepto de Alumbrado Público.
- e) Un monto de US\$ 21,24 como contribución para el cuerpo de Bomberos.
- f) Tasas adicionales, como la de recolección de basura, que se encuentran detallados en las tablas.

Para aquellos clientes con medición de potencia reactiva que registren un valor de factor de potencia media mensual inferior al establecido (valor límite 0,92), se le aplicará una penalización que multiplica un factor por el subtotal de servicio eléctrico.

2. Cálculo del Factor de Corrección para la Demanda Facturable

Para aquellos clientes cuya relación de los valores de demanda en hora pico (DP) y demanda máxima (DM) se encuentra en el rango menor a 0,6 el factor de corrección FCI es 0,5.

Para los clientes cuya relación entre los valores de demanda en hora pico (DP) y demanda máxima (DM) se encuentra en el rango de 0,6 a 0,9 el factor de corrección (FCI) se lo obtiene de:

$$\text{FCI} = A \cdot (\text{DP}/\text{DM}) + (1-A) \cdot (\text{DP}/\text{DM})^2$$

Donde:

A=0,5833

DP= Demanda máxima registrada por el abonado en horas pico (18:00 – 22:00)

DM= Demanda máxima del abonado en el mes.

Para aquellos clientes cuya relación de los valores de demanda en hora pico (DP) y demanda máxima (DM) se encuentra en el rango mayor 0,9 y menor o igual 1, el factor de corrección FCI es 1,2.

3. Valores a Pagar por Consumo de Energía

El monto a pagar en función de la energía consumida en cada período de demanda se lo detalla a continuación:

De Lunes a Viernes:

- Período de demanda media (de 08:00 hasta las 18:00): un cargo de US\$ 0,078 por cada kWh consumido.
- Período de demanda punta (de 18:00 hasta las 22:00): un cargo de US\$ 0,092 por cada kWh consumido.
- Período de demanda base (de 22:00 hasta las 08:00): un cargo de US\$ 0,062 por cada kWh consumido.

Sábados, Domingos y Feriados

- Período de demanda punta (de 18:00 hasta las 22:00): un cargo de US\$ 0,078 por cada kWh consumido.
- Período de demanda base (de 22:00 hasta las 18:00): un cargo de US\$ 0,062 por cada kWh consumido.

ANEXO B: PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TCs

Los factores que determinan la selección de los transformadores de corriente son: el tipo de TC (núcleo de protección o medida), el nivel de voltaje, el tipo constructivo, tipo de aislamiento, la relación de transformación, corriente nominal primaria, corriente nominal secundaria, la clase de precisión, la potencia nominal o burden, entre otras.

- La relación de transformación, es la relación existente entre la corriente nominal de servicio del transformador y su corriente nominal en el secundario. De acuerdo a la norma IEC 60044-1 edición 1.2, las corrientes primarias nominales son: 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 amperios y sus múltiplos decimales y fraccionarios. Las corrientes secundarias tienen valores nominales de 1, 2 y 5 amperios.

Actualmente debido al desarrollo tecnológico de los equipos de control y protección se está utilizando más 1 A, que es recomendable cuando se usa grandes longitudes de cable [34].

- La precisión en un TC de medida es el grado de exactitud del transformador de medida y está dado por la relación porcentual entre el valor obtenido y el valor real. Es el porcentaje de error más alto permisible en la medida tomada a la corriente y frecuencia nominal especificadas. Está caracterizada por un número denominado índice de clase o precisión.

Conforme a la norma americana IEEE C57.13.1-2006, se hace una diferencia en la clase de precisión de los transformadores de corriente de medición y los de protección. Para la medición se define por los límites de error, en porcentaje de los FCT a una corriente nominal secundaria (I_n) del 100 %. Estos límites en porcentaje se duplican al 10 % de la corriente I_n , como puede verse en la Tabla B-1.

Tabla B-1 Límites del FCR y FCT de corriente para la medición

Clase de precisión	Límites del FCR y FCT				Límites del factor de potencia (inductivo)
	100 % I _n		10 % I _n		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1,2	0,988	1,012	0,976	1,024	0,6 – 1,0
0,6	0,994	1,006	0,988	1,012	0,6 – 1,0
0,3	0,997	1,003	0,994	1,006	0,6 – 1,0

A su vez, la norma IEC 60044-1 edición 1.2 define que la clase o precisión debe mantenerse siempre y cuando la corriente que circula por el devanado primario sea menor al 120 % de la corriente primaria nominal.

La precisión también debe mantenerse con una carga conectada al secundario del transformador comprendida entre el 25 % y el 100 % del valor nominal. La Tabla B-2 muestra la precisión en transformadores de corriente para distintos valores porcentuales de carga en circuito secundario.

Tabla B-2 Clase de precisión en TC de medición. Norma IEC 60044-1 [36]

Clase de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Medida								
Clase de precisión	Error de relación ($\pm \epsilon_i$) en % para los valores de la corriente en% de la corriente nominal				Error de fase ($\pm \delta_i$) en minutos para los valores de la corriente en% de la corriente nominal			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1	3	1,5	0,1	0,1	180	90	60	60

Los transformadores de corriente de protección deben garantizar una suficiente precisión para corrientes primarias que sean varias veces superiores a la nominal. Estas señales se destinan a alimentar los relés de protección.

En la norma IEEE Std C57.13-1993 se ha establecido una clasificación para estos transformadores que consta de 3 factores: los límites de error de relación porcentual que pueden ser 2,5 % y 10 %, la clase de funcionamiento del transformador y el valor máximo de voltaje nominal en el secundario cuando la corriente excede veinte veces el valor nominal en este devanado.

La clase de funcionamiento se designa con la letra L que indica baja impedancia, por lo general para un TC tipo bushing o H que indica alta impedancia, común en los de devanado concentrado. La norma IEC 60044-1 edición 1.2 especifica una clasificación para los transformadores de corriente en base a sus valores límites o clase de precisión y al límite de factor de error que puede ser: 5, 10, 15, 20, 30, tal como se muestra en la Tabla B-3.

Tabla B-3 Clase de precisión en TC de protección. Norma IEC 60044-1

Clase de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Protección			
Clase de precisión	Error de relación ($\pm \varepsilon_i$) en % para la corriente nominal	Error de fase ($\pm \delta_i$) en minutos para la corriente nominal	Error compuesto en % para la corriente límite de precisión
5 P	± 1	± 60	5
10 P	± 3	----	10

La carga nominal o burden es la capacidad de carga que se puede conectar en el circuito secundario y esta expresada en volta-amperios VA o en Ohmios a un factor de potencia dado. Esta carga debe estar comprendida entre el 25 % y el 100 % de su valor. Se utiliza el término "burden" para diferenciarlo del valor de carga del sistema eléctrico.

La norma IEC 60044-1 edición 1.2 especifica para los transformadores de medida, los siguientes valores nominales de burden: 2.5, 5, 10, 15, 30 VA y para los transformadores de protección los valores nominales de 10, 15, 30 VA.

De acuerdo a la norma IEEE Std C57.13-1993, para transformadores de corriente con corriente nominal secundaria de 5 A, se especifican los valores descritos en la Tabla B-4.

Tabla B-4 Cargas Normalizadas para TCs según la IEEE Std C57.13-1993

Cargas Normalizadas para Transformadores de Corriente					
Corriente Secundaria de 5 Amperios.					
Designación de Carga	Resistencia ohms	Inductancia mH	Impedancia ohms	Volt-Amperes	Factor de Potencia
Cargas de Medición					
B-0.1	0,09	0,116	0,1	2,5	0,9
B-0.2	0,18	0,232	0,2	5,0	0,9
B-0.5	0,45	0,580	0,5	12,5	0,9
B-0.9	0,81	1,04	0,9	22,5	0,9
B-1.8	1,62	208	1,8	45,0	0,9
Cargas de Protección					
B-1	0,5	2,3	1,0	25	0,5
B-2	1,0	4,6	2,0	50	0,5
B-4	2,0	9,2	4,0	100	0,5
B-8	4,0	18,4	8,0	200	0,5

- La polaridad indica la dirección relativa que toma la corriente del secundario en el instante que la corriente del primario entra al terminal de alta tensión. Esto se designa por una marca, en cada devanado.
- La capacidad de corriente continua es aquella que el TC puede manejar de manera constante sin producir errores de medición o sobrecalentamientos. No se recomienda sobredimensionar estos transformadores porque el error que presentan es mayor para cargas bajas.
- La corriente térmica de corta duración (I_{th}) es la máxima capacidad de corriente simétrica RMS que el transformador puede soportar durante un segundo, con el secundario en cortocircuito, sin sobrepasar la temperatura especificada en sus devanados. Este valor se lo calcula a partir de la potencia de cortocircuito.
- La capacidad dinámica de corta duración (I_{dyn}) es la máxima corriente RMS asimétrica en el primario que el TC puede soportar sin sufrir daños, con el secundario en cortocircuito. Esta capacidad solo se requiere definir en los TC tipo devanado. Esta corriente debe ser como mínimo 2,5 veces la corriente térmica nominal de corta duración.

ANEXO C: PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TPs

Se clasifican de acuerdo a los errores máximos permisibles de ángulo y de relación de transformación entre voltaje primario y secundario especificados en normas para determinadas características de carga.

La norma americana IEEE Std C57.13-1993 ha clasificado las características de precisión de los transformadores de potencial para medición, considerando que la magnitud de los errores depende de la característica de carga secundaria que se conecta al transformador de potencial. Se designan por una letra correspondiente a la carga normalizada a un factor de potencia dada, como se lo indica en la Tabla C-1.

Tabla C-1 Cargas normalizadas para TPs según la IEEE Std C57.13-1993.

Designación de la carga	Voltamperios secundarios	Factor de potencia de la carga
W	12,5	0,1
X	25	0,7
Y	75	0,85
Z	200	0,85
ZZ	400	0,85

La clase de precisión indica que la relación de transformación no sobrepasa el porcentaje especificado a razón nominal. En la Tabla C-2 se tiene los límites de factor de potencia y error de relación de transformación y ángulo.

Tabla C-2 Clase de precisión de los TPs

Clase de Precisión	Límites del Error de Relación de Transformación		Límites del Factor de Potencia (en retardo)		Error de Ángulo
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1,2	0,988	1,012	0,6	1	+/- 15 min
0,6	0,994	1,006	0,6	1	+/- 30 min
0,3	0,997	1,003	0,6	1	+/- 60 min

De acuerdo a esta norma los transformadores de potencial se designan por la clase de precisión y una letra correspondiente a la carga normalizada que garantiza su precisión. Esta norma especifica también el voltaje secundario del transformador a 115 o 120 voltios entre fases o a su vez 66,4 o 69,5 voltios como voltaje de línea.

La norma europea IEC 60044-2 edición 1.2 especifica la precisión o clase de exactitud de transformadores de potencial usados en medición, ante variaciones de +/- 20 % del voltaje primario nominal (a excepción de la clase 3), como se indica en la Tabla C-3.

Tabla C-3 Errores máximos admisibles para TPs usados en medición

Clase de exactitud	Rango de voltaje primario	Relación de voltaje	Ángulo Fase min
0,1	0,8 – 1,2 Vn	± 0,1%	± 5
0,2	0,8 – 1,2 Vn	± 0,2%	± 10
0,5	0,8 – 1,2 Vn	± 0,3%	± 20
1	0,8 – 1,2 Vn	± 1,0%	± 40
3	1,0 Vn	± 3,0%	---

Para transformadores de potencial usados en protección la norma IEC especifica las siguientes clases de exactitud descritos en la Tabla C-4.

Tabla C-4 Errores máximos admisibles para TPs usados en protección

Clase de exactitud	Relación de voltaje	Ángulo Fase min
3P	± 3,0 %	± 120
6P	± 6,0 %	± 240

Adicionalmente se debe establecer el nivel de aislamiento que debe tener el transformador, en base al voltaje nominal, que se especifica para condiciones normales de presión y temperatura.

ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DE MEDIDORES DIGITALES

A continuación se presentan las principales características que definen el comportamiento de estos equipos, con respecto a su funcionamiento, sensibilidad, precisión, entre otros. Estos parámetros son los siguientes:

- El **muestreo de señales** de las ondas de voltaje y/o corriente, se realizan procesando los valores numéricos de forma instantánea en cada punto de muestreo. Con los datos adquiridos en uno o varios ciclos, se realiza un cálculo para generar de esta manera los valores eficaces, de las variables eléctricas monitoreadas.
- El **tiempo mínimo promediado** es un parámetro de los instrumentos digitales que refleja promedios de medidas cada cierto intervalo de tiempo. Es importante mencionar que al momento de promediar los valores adquiridos, se produce la pérdida de información, especialmente si estos presentan variaciones durante el intervalo de muestreo. Si las frecuencias de muestreo de dos instrumentos son diferentes pueden suscitarse desviaciones en los valores indicaciones en cada uno.
- El **rango de medida** corresponde al conjunto de valores comprendidos entre un mínimo y un máximo, en los cuales el medidor mantiene su nivel de precisión. Para instrumentos analógicos se recomienda realizar la medición entre los 2/3 y el total del fondo de escala para garantizar una adecuada precisión. El valor obtenido podría ser incorrecto si se encuentra fuera del rango de medida.
- La **sensibilidad** corresponde a la magnitud más pequeña que el dispositivo es capaz de medir. Es la relación existente entre la variación indicada en el medidor y la variación de la magnitud física medida.

- La **resolución** es la mínima variación de magnitud medida que puede ser apreciable en el equipo, dentro de todo el rango especificado. La frecuencia de muestreo (f_s) o a su vez el período de muestreo (t_s), el número de bits del convertidor a/d y el número de dígitos del display, son los parámetros que determinan la resolución en los instrumentos de medición digitales. De este modo, para un equipo con un conversor de 10 bits (1024 puntos), la máxima resolución es $1/1024$ del fondo de escala.
- La **precisión** indica el máximo error de medida que tiene un instrumento calibrado, con respecto a un instrumento patrón. La exactitud a su vez depende de la calibración del medidor y de la adecuada selección de equipos adicionales, como los TCs y TPs, que asegure una medición muy próxima al valor real.
- La **clase de precisión** es el error porcentual introducido por el aparato respecto al valor del fondo de escala. Se genera por la diferencia entre el valor indicado y el valor correcto en cualquier punto dentro del rango de medida. Por ejemplo un medidor de clase 0,2 indica un error de $\pm 0,2\%$, respecto al valor correcto de la magnitud registrada.

Clases para aparatos de medida de precisión: 0,1; 0,2; 0,5

Clases para aparatos de medida industriales: 1; 1,5; 2,5; 5

- La **capacidad de sobrecarga** es un parámetro que indica las características del instrumento para poder tolerar en la entrada de medida, señales con valores superiores a los nominales sin ocasionar daños o alteraciones irreversibles.
- El **voltaje nominal de aislamiento** en los bornes de conexión indica las características garantizadas por el fabricante, con las cuales se realizaron pruebas dieléctricas del equipo.

- El **coeficiente de temperatura** refiere al porcentaje de error añadido, cuando el equipo de medición trabaja a distinta temperatura a la que fue calibrado.
- La **potencia o burden** representa un valor nominal expresado en voltamperios, con el cual se cargaría la salida de un aparato o equipo, como un transformador de corriente.

ANEXO E: CARACTERÍSTICAS DE TCs CAMSCO

En la Figura E-1 se ilustran transformadores de corriente de varias dimensiones. Esta especificación es requerida para el dimensionamiento de los transformadores de corriente y para determinar el radio interno del transformador tipo ventana, de acuerdo al calibre del conductor o características de la barra existente.

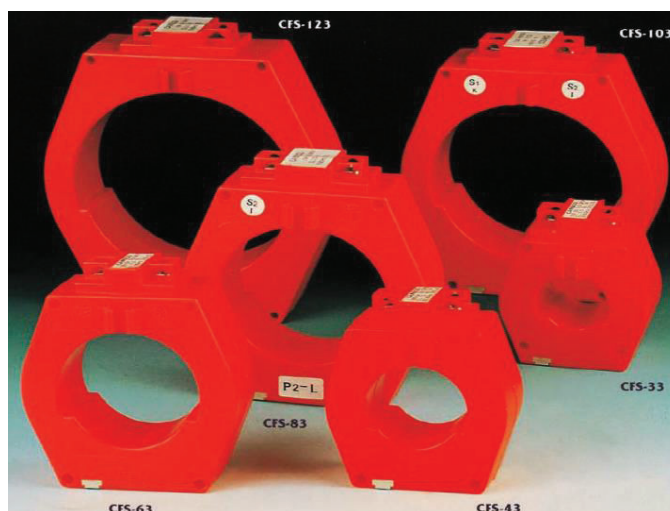


Figura E-1 Transformadores de corriente tipo ventana

Fuente: Citado en SUNS INTERNATIONAL, LLC, 2002 [33]

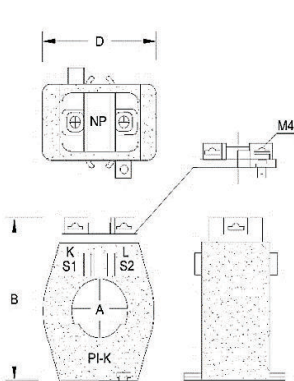
En la Tabla E-1 se presentan las características de varios modelos de transformadores de corriente disponibles en el mercado.

Tabla E-1 Características de TCs marca CAMSCO

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	CAPACIDAD (BURDEN)	MODELO
30/5-40/5-50/5-60/5-100/5-150/5	2.5 VA	CFS-33
200/5-250/5-300/5-400/5	5 VA	CFS-43
500/5-600/5-800/5	10 VA	CFS-63
1000/5-1500/5	15 VA	CFS-83
1000/5-1500/5-2000/5-3000/5	15 VA	CFS-103
1500/5-2000/5-3000/5-4000/5	15 VA	CFS-123

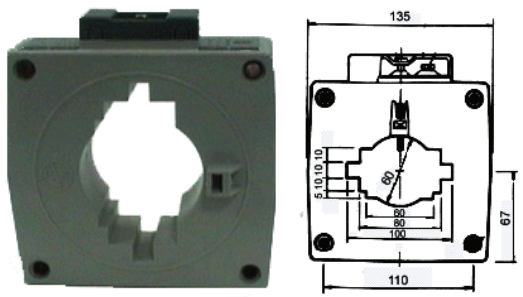
Como se mencionó anteriormente, adicional a las características eléctricas como relación de transformación y burden, se requiere considerar las características físicas. A continuación se describen las dimensiones en milímetros de cada uno de los dispositivos listados en la Tabla E-2.

Tabla E-2 Dimensiones de TCs CAMSCO en milímetros

DIMENSIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (mm)							
DIM	CFS33	CFS43	CFS63	CFS83	CFS103	CFS123	
 A(mm)	33	43	63	83	103	123	
B(mm)	96	104	124	147	156	192	
C(mm)	44	44	44	44	44	44	
D(mm)	75	82	101	125	141	161	

Por la disposición física y características de los tableros principales de distribución que se alimentan de los transformadores TT3, TT8 y TT9, se consideró utilizar TCs para barras con las características presentadas en la Tabla E-3.

Tabla E-3 Transformadores de corriente para barras

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA BARRA MFO-100		RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	2000/5A
	BURDEN	10-15VA	
	CLASE	1.0	
	VOLTAJE DE TRABAJO	600V 50/60Hz	
	TAMAÑO MÁXIMO	100 x 10 mm	

ANEXO F: CARACTERÍSTICAS DE MEDIDORES SENTRON PAC 3200

El medidor Sentron PAC 3200 está diseñado para instalarse en la puerta del tablero eléctrico, tiene un tipo de protección frontal IP65. Tiene un consumo nominal de 8 VA y consta de una entrada y una salida digital optoaisladas que son configurables, con la posibilidad de adicionar módulos de expansión.

Existen dos modelos de este medidor, que se diferencian principalmente por la fuente de alimentación que usan. Uno puede ser alimentado con voltaje AC/DC denominado con fuente de alimentación multirango y otro únicamente con voltaje DC (de muy baja tensión), tal como se describe en la Tabla F-1.

Tabla F-1 Fuentes de alimentación para el Sentron PAC

MODELO	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	VARIACIONES ADMISIBLES
PAC3200-1/3	FUENTE AC: 9 - 240 V AC (50/60 Hz)	± 10 % DEL RANGO NOMINAL
	FUENTE DC: 110 - 340 V DC	± 10 % DEL RANGO NOMINAL
PAC3200-2	FUENTE DC: 22 - 65 V DC	± 10 % DEL RANGO NOMINAL

Este equipo especifica la medición únicamente para corrientes y voltajes alternos (AC). Es adecuado para la medición en redes de 2, 3 y 4 conductores.

1. MEDICIÓN DE CORRIENTE

Su diseño permite medir valores de corriente especificados para el secundario de un TC normalizado que son 1 A o 5 A, con una variación presentada en la Tabla F-2. Sin embargo puede soportar en cada entrada hasta 10 A en forma permanente, con un voltaje máximo de 300 V. La sobrecarga de choque, tiene un valor de hasta 100 A, durante máximo un segundo. El consumo de potencia por fase es de 4 mVA para la entrada de 1 A y 115 mVA para la de 5 A.

Tabla F-2 Valores nominales para transformadores de corriente externos

CORRIENTE SECUNDARIA DEL TC	VARIACIÓN ADMISIBLE
TRIFÁSICO AC 1 [A] POR FASE	± 20 % A MÁXIMO 300 V
TRIFÁSICO AC 5 [A] POR FASE	± 20 % A MÁXIMO 300 V

2. MEDICIÓN DE VOLTAJE

La medición de voltaje puede ser directa o a través de transformadores de potencial en el caso tener voltajes que superen los valores nominales de entrada admisibles. En cada entrada de voltaje, se presenta una resistencia de 1,05 MΩ y un consumo de máximo 220 mW por fase.

En la Tabla F-3 se especifican de manera independiente los valores máximos para los rangos de voltaje adquiridos en los medidores con fuente de alimentación multirango y los que tienen fuente de alimentación de muy baja tensión. El mínimo voltaje de entrada recomendado para ambos casos es de 40 V. Conforme a la norma IEC/EN 61010-031 se los clasifica en la categoría de sobretensión CAT III, para instalaciones industriales.

Tabla F-3 Valores máximos para señales de voltaje externas

MODELO DEL MEDIDOR	MÁXIMOS VOLTAJES AC ADMISIBLES		VARIACIÓN
CON ALIMENTACIÓN MULTIRANGO (AC/DC)	VOLTAJE DE FASE UL-N	400 V, MÁX. 347 V (UL)	+ 20 %
	VOLTAJE DE LÍNEA UL-L	690 V, MÁX. 600 V (UL)	+ 20 %
VOLTAJE DE LÍNEA DE MUY BAJA TENSIÓN (DC)	VOLTAJE DE FASE UL-N	289 V	+ 20 %
	VOLTAJE DE LÍNEA UL-L	500 V	+ 20 %

La clase de precisión para los valores medidos se la presenta en la Tabla F-4. En caso de medición a través de transformadores de corriente o tensión externos, la precisión de medida depende de la calidad de dichos transformadores.

Tabla F-4 Precisión del medidor Sentron PAC

MAGNITUD MEDIDA	CATEGORÍA 2 SEGÚN IEC 62053-23:2003-01
VOLTAJE	$\pm 0,3 \%$
CORRIENTE	$\pm 0,2 \%$
POTENCIA	$\pm 0,5 \%$
FRECUENCIA	$\pm 0,05 \%$
FACTOR DE POTENCIA	$\pm 0,5 \%$
ENERGÍA ACTIVA	Categoría 0,5S según IEC 62053-22:2003-01
ENERGÍA REACTIVA	Categoría 2 según IEC 62053-23:2003-01

3. COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación que se dispone para el puerto ethernet son SEA bus TCP y Modbus TCP. Para su configuración es importante establecer una conexión TCP/IP, definiendo en cada uno su dirección IP y mascara subnet. En caso de requerir una conexión a otras redes industriales, se puede añadir módulos de comunicación serial adicionales SEAbus, Modbus RTU (Terminal de Unidad Remota) o Profibus DP.

ANEXO G: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PLC S7-1200

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS CPU S7-1200

La Tabla G-1 presenta las características de varios tipos de CPUs, pertenecientes a la gama de PLCs S7-1200. Para la programación se puede hacer usos de varios tipos de bloques lógicos, los cuales corresponden a: bloques de organización (OBs), de función (FBs), de datos (DBs) y finalmente de funciones sin memoria (FCs).

Tabla G-1 Características de CPUs S7-1200 [30]

FUNCIÓN		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Memoria de Usuario	Trabajo	30 kB	50 KB	75 kB	100 kB	125 kB
	Carga	1 MB	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB
	Remanente	10 kB	10 kB	10 kB	10 kB	12 kB
Entradas/ Salidas integradas	Digital	6 entradas/ 4 salidas	8 entradas/ 6 salidas	14 entradas/ 10 salidas	14 entradas/ 10salidas	14 entradas/ 10salidas
	Analógico	2 entradas	2 entradas	2 entradas	2 entradas/ 2 salidas	2 entradas/ 2 salidas
Número máximo de módulos de señales		Ninguna	2	8	8	8
Número máximo de módulos de comunicación		3	3	3	3	3
Número de Puertos Profinet		1 puerto de comunicación Ethernet			2 puertos	2 puertos

Por requerimientos de la empresa, se utilizó dos controladores lógicos programables. Uno de estos es el PLC S7-1200, con CPU-1214C DC/DC/DC.

2. TIPOS DE COMUNICACIÓN

El S7-1200 se vale de un protocolo punto a punto (PtP) para comunicación serial basada en caracteres. Este tipo de comunicación se la puede utilizar con accionamientos que utilicen protocolo universal de interface en serie (USS) o como maestro/esclavo Modbus RTU. También puede enlazarse a través de comunicación Profibus como esclavo o maestro DP.

Adicional tiene integrado un puerto de interfaz PROFINET que se basa en ethernet industrial y es compatible con estándares IT como TCP/IP y HTTP, que permite enlazarlos a otros controladores, pantallas, periferia descentralizada y demás componentes ethernet estándar. El cable utilizado para su interconexión es CAT5 estándar con conectores RJ45. De acuerdo a la versión de la CPU, admite como máximo de 8 a 16 dispositivos interconectados.