

Tecnológico de Costa Rica

Área Académica de Ingeniería Mecatrónica



**Sistema de monitorización en línea de consumo de energía eléctrica para  
Baxter productos médicos Ltda.**

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de  
Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Bryan Brenes Rojas

Cartago, 16 de junio, 2017



Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Bryan Brenes Rojas

Cartago, 15 de junio de 2017

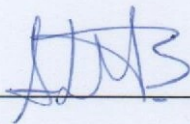
Céd: 1-1513-0289



Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
Proyecto de Graduación  
Tribunal Evaluador

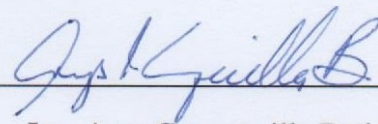
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



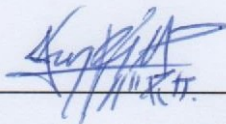
Ing. Ana Lucía Morera Barquero

Profesora Lectora



Ing. Arys Carrasquilla Batista

Profesora Lectora



Ing. Johanna Muñoz Pérez

Profesora Asesora

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 16 de junio de 2017



*a mis queridos padres*





# Índice general

<b>Índice de figuras</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>v</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades . . . . .	1
1.2 Planteamiento del problema y su solución . . . . .	5
1.3 Objetivos y estructura del documento . . . . .	7
1.3.1 Objetivo general . . . . .	7
1.3.2 Objetivos específicos . . . . .	7
1.3.3 Aspectos generales del documento . . . . .	8
<b>2 Marco teórico</b>	<b>9</b>
2.1 Herramientas utilizadas en el diseño de la solución . . . . .	9
2.2 Herramienta computacional para la programación de rutinas . . . . .	9
2.3 Recopilación de información de energía desde la red de medidores . . . . .	10
2.4 Plataforma industrial para supervisar, controlar y adquirir datos . . . . .	11
2.5 Protocolo de comunicación industrial . . . . .	13
2.6 Estándar de comunicación RS-485 y su topología de conexión . . . . .	16
2.7 Indicadores financieros utilizados en el análisis económico . . . . .	18
<b>3 Sistema de monitorización en línea para el control de variables de energía</b>	<b>19</b>
3.1 Automatización del proceso del cálculo del indicador de energía . . . . .	19
3.2 Diseño de la rutina de control para la actualización del indicador de energía . . . . .	24
3.3 Diseño de la rutina que almacena la información de consumo energético de las sub estaciones . . . . .	29

3.4	Monitorización mediante red de medidores “Power Meter (PM)” . . . . .	32
3.5	Implementación de una red Modbus para la comunicación de los medidores Power Meter (PM) . . . . .	36
3.6	Diseño de la interfaz gráfica para el sistema de monitorización de energía . . .	42
3.7	Análisis económico del proyecto . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Resultados y análisis</b>	<b>51</b>
4.1	Algoritmos para la actualización del indicador de energía . . . . .	51
4.2	Red de medidores . . . . .	53
4.3	Análisis energético utilizando datos de red de la medidores . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>59</b>
5.1	Conclusiones . . . . .	59
5.2	Recomendaciones . . . . .	60
	<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>
<b>A</b>	<b>Plano general de la planta indicando ubicación y conexión de medidores PM</b>	<b>65</b>
<b>B</b>	<b>Cotización para el entubado de la red de medidores por parte de Tecno Médica</b>	<b>67</b>
<b>C</b>	<b>Manual de usuario para la hoja de cálculo del indicador de energía</b>	<b>69</b>
C.1	Aspectos generales del documento . . . . .	69
C.2	Manual de funcionamiento . . . . .	69
C.3	Detalles del código para la actualización del indicador de energía . . . . .	72
C.3.1	Variables utilizadas . . . . .	72
C.3.2	Funciones programadas . . . . .	74
C.3.3	Obtención de datos de consumo . . . . .	78
C.3.4	Uso del archivo para otros años . . . . .	81
C.4	Pasos para la implementación del consumo eléctricos de las sub estaciones . . .	82

# Índice de figuras

1.1	Diagrama de flujo del proceso de fabricación en Baxter Cartago. . . . .	2
1.2	Familia de productos continuo flo. . . . .	4
1.3	Diagrama de flujo para la implementación de la automatización del cálculo del indicador de energía. . . . .	6
1.4	Diagrama de flujo para la implementación de la monitorización remota de las variables de los medidores eléctricos. . . . .	6
2.1	Estructura del mensaje en Modbus TCP/IP. . . . .	15
2.2	Terminales utilizadas para una conexión RS-485 mediante una topología en Daisy chain. . . . .	17
3.1	Interfaz gráfica que permite obtener curvas de las variables que se controlan mediante SCADA. . . . .	21
3.2	Diagrama de flujo para la lecturas de las unidades producidas en el archivo OEE.xlsm. . . . .	22
3.3	Diagrama de flujo de la ejecución del programa para el cálculo del indicador de energía. . . . .	26
3.4	Interfaz gráfica para la visualización del consumo energético de las sub estaciones. . . . .	30
3.5	Medidor PM800 . . . . .	33
3.6	Medidor PM500 . . . . .	33
3.7	Medidor PM210 . . . . .	33
3.8	Medidor CM4000 . . . . .	33
3.9	Tarjeta de comunicación ECC21. . . . .	38
3.10	Interfaz de Wonderware Client. . . . .	41

3.11	Pantalla de inicio para el nuevo sistema de visualización de información. . . . .	43
3.12	Pantalla creada para el proceso Top segment de la planta. . . . .	44
3.13	Prototipo para la interfaz de consumos generales diarios de la planta. . . . .	44
4.1	Potencia del tablero C39 en un periodo de treinta minutos. . . . .	53
4.2	Potencia del Chiller 29 en un periodo de una hora. . . . .	54
4.3	Potencia del secador 8 en un periodo de una hora. . . . .	54
4.4	Sub A valores promedio horarios de energía en el transcurso de una semana. . .	56
C.1	Botones de control para la interfaz del cálculo del indicador de energía. . . . .	70
C.2	Cuadro de diálogo que indica la cantidad de días por actualizar. . . . .	71
C.3	Cuadro de diálogo que indica que no se requiere actualizar. . . . .	71
C.4	Cuadro de diálogo que indica que la última transferencia de PRMS no fue el mismo día de la ejecución del programa. . . . .	71
C.5	Cuadro de diálogo que indica que se transfirió por última vez de PRMS el mismo día de la ejecución del programa. . . . .	72
C.6	Diagrama de flujo para el programa encargado de actualizar el indicador de energía. . . . .	75
C.7	Ventana para la configuración de la lista de vinculación. . . . .	83
C.8	Ventana para la configuración de la plantilla de tabla. . . . .	84
C.9	Ventana de inicio para la creación de una fuente de información ("Data source").	85
C.10	Selección del controlador para la fuente de información. . . . .	85
C.11	Datos descriptivos generales para la creación de la fuente de información. . . .	86
C.12	Datos de usuario para la conexión con la base de datos. . . . .	87
C.13	Selección de la base de datos con la que se desea conectar. . . . .	87
C.14	Ventana de comprobación de una conexión exitosa. . . . .	88
C.15	Ventana para la selección de una fuente de información. . . . .	89
C.16	Ingreso de información de usuario para la conexión con la base de datos. . . . .	89
C.17	Selección de columnas de la base de datos para ser ingresadas en la hoja de Excel.	90
C.18	Filtrado de la información proveniente de la base de datos. . . . .	90
C.19	Ordenamiento de la información obtenida de la base de datos. . . . .	91
C.20	Métodos de visualización de la información proveniente de la base de datos. . .	91
C.21	Listado de las conexiones presentes en el documento de Excel. . . . .	92

# Índice de tablas

2.1	Tabla de configuración para una lista de vinculación. . . . .	12
2.2	Tabla de configuración para una plantilla de tabla. . . . .	13
2.3	Estructura del mensaje en Modbus RTU. Fuente: Modbus.org. . . . .	14
2.4	Tablas de almacenamiento de información en esclavos. Fuente: Simply Modbus.	16
3.1	Configuración de la lista de vinculación con las variables de consumo de energía.	31
3.2	Formato para la tabla en la base de datos donde se almacenan los datos de energía de cada sub estación. . . . .	31
3.3	Configuración de la plantilla de la tabla para almacenar los datos de energía de cada sub estación. . . . .	32
3.4	Medidores incorporados en la red de comunicación de la sub estación A. . . . .	34
3.5	Medidores incorporados en la red de comunicación de la sub estación B. . . . .	35
3.6	Medidores incorporados en la red de comunicación de la sub estación C. . . . .	36
3.7	Registros de comunicación Modbus utilizados en la configuración de las etiquetas de Wonderware Historian para los medidores PM210, PM500 y PM800. . . . .	40
3.8	Costos para la implementación de la red de medidores. . . . .	46
3.9	Datos para el cálculo de eficiencia para el compresor #8. . . . .	47
3.10	Datos para el cálculo de eficiencia para el compresor #11. . . . .	47
3.11	Datos de consumo energético diarios para los compresores #8 y #11. . . . .	48
3.12	Costo en dólares por el consumo diario y anual para los compresores #8, #11 y el nuevo con un costo de \$ 0.13 por kWh. . . . .	49
3.13	Indicadores financieros calculados para determinar la viabilidad del proyecto de sustitución de compresores. . . . .	49

4.1	Precio en colones de las tarifas por energía y demanda para cada uno de los horarios de cobro. . . . .	56
C.1	Variables globales utilizadas en el código de automatización del cálculo del indicador de energía. . . . .	73
C.2	Variables globales utilizadas en el código de automatización del cálculo del indicador de energía (continuación). . . . .	74
C.3	Configuración para la tabla de vinculación de InTouch. . . . .	79
C.4	Configuración de la plantilla de la tabla para almacenar los datos de energía de cada sub estación. . . . .	79
C.5	Formato para la tabla en la base de datos donde se almacenan los datos de energía de cada sub estación. . . . .	80

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Generalidades

Baxter es una empresa que inició operaciones en 1931 fundada por el Dr. Ralph Falk y Don Baxter, con el nombre de “Don Baxter Intravenous Products Corporation”. En esa época solo pocos centros de investigación universitarios tenían la capacidad de producir soluciones intravenosas (IV), por ello esta empresa fue la primera en manufacturar soluciones comercialmente preparadas de IV [7].

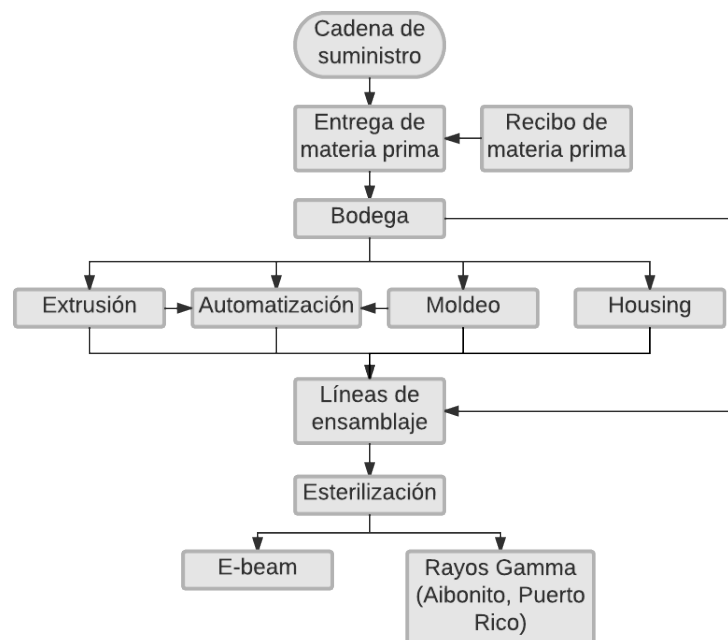
En 1987 [8] se instaló Baxter en Costa Rica específicamente en el parque industrial Zeta de Cartago como una operación de sub-ensamble para la planta Toa Alta ubicada en Puerto Rico. Cuatro años después en 1991 Baxter Cartago pasa a ser una planta independiente y posteriormente en 1993 su producción crece con la incorporación de los productos IV, los cuales son la principal fuente de ingresos en la actualidad.

La empresa cuenta con siete familias de productos. Estos se clasifican con base en el tipo de componentes que incorporen, así como con la función que realizan; por ejemplo, los productos para el sangrado de pacientes. En total, Baxter cuenta con más de cien productos los cuales dentro de la empresa se les llama códigos y cada uno de estos pertenece a alguna de las siguiente familias:

- Productos para solución básica
- Productos para sangrado

- Productos Continuo flo
- Productos para quimioterapia
- Productos para irrigación
- Productos para extensión
- Productos para extensión de catéter

La producción de estos códigos conlleva varias etapas con distintos métodos de fabricación que van desde ensamblaje manual hasta automatizado. El proceso de fabricación se resume en el diagrama de la Fig. 1.1 donde se muestra el flujo del producto desde la entrada de materia prima hasta el almacenamiento de los equipos IV listos para distribución.



**Figura 1.1:** Diagrama de flujo del proceso de fabricación en Baxter Cartago. Fuente: propia.

El proceso productivo para la fabricación de los equipos IV empieza en el departamento de cadena de suministros (Supply chain). Éste planifica la producción para cada una de las diferentes áreas que conforman el proceso productivo; además, se encarga de la compra de materia prima así como de toda la logística que conlleva el ingreso de estos productos.

Luego, el departamento de ingreso de materia prima (Incoming) se encarga de analizar el producto entrante con el objetivo de garantizar su calidad, si no es la adecuada se regresa el producto al proveedor. Es importante resaltar que por la cantidad de producto que entra a la planta



no es posible inspeccionarlo todo, es por esto que mediante el uso de estadística se certifica el suplidor y así se garantiza que el producto es de calidad.

Posteriormente, el producto se almacena en bodega donde se distribuye a los diferentes departamentos para su uso. Baxter Cartago cuenta con cuatro departamentos antes de las líneas de ensamblaje: automatización, moldeo, extrusión y "housing" nombre que se le da por el componente fabricado en esta área.

El área de moldeo se encarga de la fabricación de los componentes plásticos que utilizan automatización y las líneas de ensamblaje IV. El proceso inicia con el ingreso de resina en forma de granos a un sistema de inyección que utiliza un tornillo giratorio y una temperatura determinada para inyectar la resina derretida a un molde. Estos moldes le dan la forma deseada dependiendo del código de producto que se esté fabricando.

Extrusión al igual que moldeo ingresa la materia prima en forma de granos de resina para posteriormente transformarla en los tubos que utilizan los productos que en Baxter se fabrican; por ejemplo, el tubo de tres capas utilizado en la familia de productos para quimioterapia. El producto final de esta área viene en diferentes presentaciones dependiendo del código destino o del área que lo necesite.

La línea de automatización cuenta con diferentes sistemas para acelerar el proceso de fabricación de ciertos componentes. Por otro lado, "housing" es el área encargada de la fabricación de los componentes llamados "housing" o cámara de goteo los cuales se utilizan para incorporar componentes como filtros; por ejemplo, en la familia de equipo de sangrado, además de válvulas para el control del flujo. Se utilizan soldadores por arco eléctrico, de los cuales se tienen diferentes puntas para realizar distintas uniones soldadas dependiendo del tipo de "housing". A diferencia del área de automatización, ésta utiliza un proceso manual para la fabricación de los componentes.

Todos los productos fabricados en estas áreas, además de algunos componentes de bodega son la base para el proceso de ensamblaje, el cual consiste en siete líneas donde los asociados se encuentran alrededor de una banda que transporta a una velocidad definida los productos que se van ensamblando de forma manual. Éstas líneas son las llamadas IV, y los productos terminados de estas líneas son los que se toman en cuenta para el control de la eficiencia energética de la planta. Como se mencionó, Baxter tiene diferentes códigos los cuales corresponden a un

producto específico y a una familia específica. Al final de la banda se tienen equipos encargados de empaclar individualmente cada uno de los productos fabricados, este empaque contiene la etiqueta correspondiente para cada código, además representa el producto terminado.

Posteriormente, una cantidad específica de producto dependiendo del código es empacada en cajas por asociados de manera manual, seguidamente mediante una máquina llamada 3M se le coloca la cinta que sella la caja para luego colocarlas en tarimas para ser almacenadas.

La etapa final del proceso de producción consiste en la esterilización del producto terminado para posteriormente ser enviado al destino correspondiente. Este proceso se realiza de dos maneras diferentes. En Baxter se tienen los códigos que se agrupan en la categoría de alta demanda, los cuales son códigos de la familia “Continuo flo” mostrados en la Fig 1.2. Estos corresponden a un 85 % de la producción total de la planta. El “E-beam” (rayo de electrones) es un sistema de esterilización que utiliza dos rayos de electrones para evitar que los microorganismos presentes en el producto puedan reproducirse. Éste se encarga de la esterilización de los equipos de alta demanda, por otro lado el resto de la producción se envía a Aibonito, Puerto Rico; para su esterilización mediante rayos gamma.



**Figura 1.2:** Familia de productos continuo flo. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

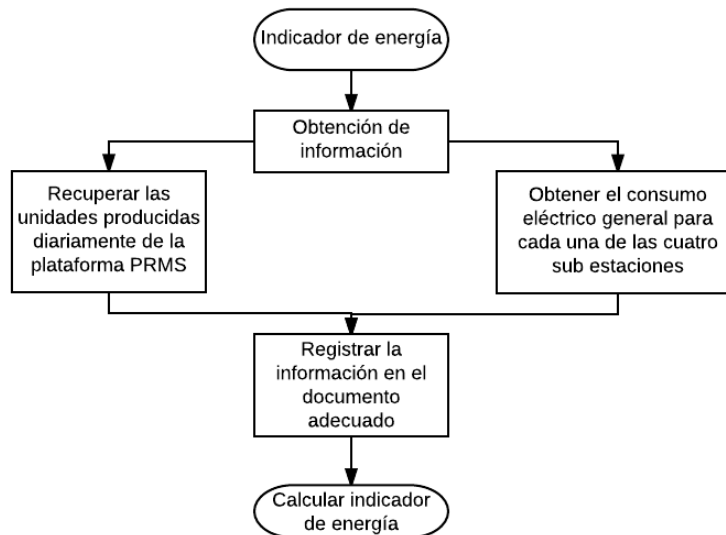
Como se explica en el proceso anterior, para la fabricación de estos productos se requiere de máquinas inyectoras de plástico, extrusoras de tubo, soldadores por arco eléctrico, entre otros equipos que trabajan las veinticuatro horas los siete días de la semana. Por esto, para Baxter es importante llevar un registro del consumo eléctrico que tienen sus equipos, con el objetivo de elaborar planes para reducir este consumo.

## 1.2 Planteamiento del problema y su solución

Como se mencionó en la sección anterior, se utilizan equipos para la fabricación de los productos IV que demanda un gran consumo eléctrico. Es por esto que se cuenta con medidores en equipos como compresores, tableros, chillers, y para cada una de las cuatro acometidas; entre otros. Estos medidores permiten monitorizar parámetros eléctricos como tensión y corriente, potencia y energía, entre muchos otros que brindan información del estado del proceso; sin embargo, para visualizar esta información con excepción de las cuatro acometidas, se debe de leer directamente de la pantalla propia del equipo.

El método anterior complica llevar un control eficiente de estas variables, debido al tiempo que se tarda en recolectar los datos de los treinta y cinco medidores actualmente instalados, además que estos deben ser digitados manualmente para realizar un análisis utilizando alguna herramienta como Excel, por mencionar una. Así mismo, para llevar un registro del consumo general de la planta, se cuenta con un archivo de Excel el cual debe ser actualizado manualmente por el supervisor del departamento de facilidades todas las mañanas para calcular el indicador de energía de la planta. En este proceso se consultan diferentes fuentes de información en lo que se tarda cada mañana aproximadamente seis minutos y treinta segundos, tiempo que puede retrasar las reuniones donde se requiere este dato.

La solución para este proyecto se divide en dos partes, la primera consiste en la automatización del cálculo del indicador de energía que requiera solamente utilizar dos botones. La segunda parte consiste en establecer una red para los medidores eléctricos de la planta con el fin de monitorizar sus variables de manera remota. Las fases para la implementación de estas soluciones se encuentran en las Fig. 1.3 y Fig. 1.4 respectivamente.



**Figura 1.3:** Diagrama de flujo para la implementación de la automatización del cálculo del indicador de energía. Fuente: propia.



**Figura 1.4:** Diagrama de flujo para la implementación de la monitorización remota de las variables de los medidores eléctricos. Fuente: propia.

El cálculo del indicador de energía consiste en una solución computacional, donde se utiliza el lenguaje de programación Visual Basic para realizar una rutina, que se ejecuta en el archivo que contiene los registros de unidades producidas y consumos de energía. Ésta se encarga de buscar los datos requeridos para el cálculo del indicador energético tanto en la plataforma PRMS de Baxter como en el servidor de Wonderware donde se almacenan las variables de los procesos

que tiene la planta y finalmente realizar el cálculo del mismo.

Por otro lado, se implementa una red de medidores eléctricos de la marca Schneider Electric mediante una topología Daisy Chain, con el objetivo de utilizar sus capacidades de comunicación por medio del protocolo RS 485. Estos forman parte de una red donde el sistema SCADA de la planta se encarga de interrogar los equipos para obtener las variables de energía y potencia que estos miden, de manera que se tenga un historial de los datos permitiendo así realizar análisis de tendencias y demandas para tomar decisiones de ahorro de energía.

## **1.3 Objetivos y estructura del documento**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar la interfaz que permita mejorar el sistema de monitorización de energía para Baxter Cartago, para así obtener un eficiente control del consumo energético de la planta.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la distribución y la correcta conexión de los medidores para las nuevas redes de las sub estaciones A, B y C.
- Diseñar una interfaz gráfica para la visualización de las variables de energía.
- Automatizar el proceso de cálculo del indicador de energía de manera que se requiera el mínimo de intervención humana.
- Elaborar la documentación pertinente para el uso tanto de la interfaz gráfica como del archivo de Microsoft Excel que contiene el consumo de energía.
- Realizar el análisis económico y financiero del proyecto.

### **1.3.3 Aspectos generales del documento**

Este informe se encuentra dividido por capítulos de manera que se facilite su lectura. En el capítulo 2 se explican los fundamentos y herramientas utilizadas en la propuesta de solución, incluye los programas y funciones que forman parte del resultado final, así como aspectos necesarios para el uso de estos programas; por ejemplo tipos de variables, tablas de vinculación, Modbus TCP, entre otros.

El capítulo 3 desarrolla las etapas para el diseño de la solución, donde primeramente se expone el proceso para la automatización del cálculo del indicador de energía y se explica paso a paso el desarrollo de la rutina de programación en Excel. Posteriormente, se trata la red de medidores, la topología utilizada para su conexión, así como las configuraciones necesarias en los sistemas incorporados.

El capítulo 4 trata los resultados obtenidos por diferentes aproximaciones para la solución del proyecto. Por último, el capítulo 5 explica las conclusiones obtenidas, además se dan recomendaciones considerando la información de energía obtenida con la red de comunicación.

# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1 Herramientas utilizadas en el diseño de la solución

Esta sección tiene como objetivo mencionar y explicar el equipo utilizado en la solución del proyecto. Se enfoca en el uso de herramientas de programación como el lenguaje Visual Basic y el uso de bases de datos SQL. Además, se presentan las herramientas de software de Schneider Electric, específicamente Wonderware Historian e InTouch.

Por otro lado, se explican los estándares y protocolos de comunicación empleados en la red de medidores así como las herramientas financieras utilizadas para determinar la viabilidad del proyecto.

### 2.2 Herramienta computacional para la programación de rutinas

Actualmente existen una gran variedad de lenguajes de programación en el mercado todos con ventajas y desventajas basándose en la complejidad o el tipo de la tarea que se desea programar. Sin embargo, en este proyecto se utiliza una hoja de Excel para registrar los datos de energía eléctrica y ésta es la que se desea automatizar, por lo cual se elige el lenguaje de programación Visual Basic con el que cuenta Excel.

Este programa es la base sobre la que se trabajan y diseñan las rutinas de programación, forma parte del paquete de oficina de Microsoft Office. Permite la creación de hojas de cálculo, uso de fórmulas y gráficos, además de programación, para ser utilizados en distintas disciplinas como finanzas, ingeniería, estadística, entre otras.

Excel permite dinamizar las hojas de cálculo con el uso de programación mediante el lenguaje Visual Basic. Esta característica se utiliza por medio de la pestaña “Developer” o **desarrollador** que incluye Excel. Ésta permite la creación de programas o macros que es posible asignar a elementos gráficos como botones, casillas para selección, listas, imágenes, entre otros elementos que incorpora esta herramienta.

Como Visual Basic es un lenguaje orientado a objetos, los elementos antes mencionados (objetos), tienen características o propiedades y métodos, que permiten utilizarlos fácilmente. Una forma sencilla de visualizar lo anterior es por medio del ejemplo de una puerta, las propiedades serían el color, el material y la altura por mencionar algunas; los métodos son funciones propias del objeto, para el ejemplo, como abrirse o cerrarse. Visual Basic en Excel funciona de la misma manera, se tienen objetos cada uno con sus propiedades y métodos.

Las **macros** son acciones posibles de programar para ser ejecutadas de manera repetida o cuando el usuario lo desee mediante el accionamiento de un botón o algún otro elemento de Excel [1]. Esta función permite la automatización de acciones que se realizan periódicamente en un archivo de Excel, es por esto que para el proyecto resulta una herramienta importante en la solución.

## 2.3 Recopilación de información de energía desde la red de medidores

Parte de la propuesta utiliza una base de datos SQL para almacenar y recuperar información. Se decide trabajar con este sistema debido a que Wonderware Historian utiliza una base de datos SQL para almacenar la información. Las **bases de datos** son depósitos donde se guarda, organiza y recupera información de una manera eficiente. Éstas almacenan información en forma de tablas por lo que contienen columnas y filas para organizar los datos. Las columnas deben tener un nombre único en la tabla, y almacenan el tipo de información que se les configure ya



sea numérica o de texto [2]. Las filas referencian registros o un conjunto de datos relacionados a un elemento. Por ejemplo, se podría tener una tabla en una base de datos llamada empleados, con columnas como: nombre, salario, turno, entre otros. En cuanto a las filas, contienen la información relacionada a cada uno de los empleados.

Para trabajar con bases de datos se necesita de un lenguaje de programación específico para este fin, este proyecto utiliza **SQL** que por sus siglas en inglés significa “Structure Query Language” lo que se traduce a Lenguaje de Consulta Estructurada. Este lenguaje de programación tiene su propia sintaxis e instrucciones para realizar tareas específicas como crear, modificar y borrar bases de datos.

## 2.4 Plataforma industrial para supervisar, controlar y adquirir datos

La etapa de la solución que obtiene los datos de energía utiliza la plataforma industrial creada por Schneider Electric **Wonderware**, herramienta con la que cuenta la empresa para la supervisión, control y adquisición de datos. Esta plataforma incluye InTouch, Historian y otros complementos para uso industrial como Wonderware Information Server, los cuales permiten gestionar procesos en tiempo real [3].

La herramienta **InTouch** es un software de visualización de interfaces hombre máquinas [5], estas interfaces permiten al ingeniero crear pantallas capaces de controlar un proceso, desplegar información relevante de algún equipo, así como recolectar información. Para el diseño de interfaces se utilizan herramientas que incorpora este sistema como medidores analógicos o digitales, botones, entre otros elementos; a los cuales se les puede vincular una variable de algún proceso que fue previamente configurada, para tener de esta manera control sobre ella ya sea de escritura o lectura.

InTouch también brinda la posibilidad de realizar rutinas que funcionarán o se ejecutarán de maneras distintas o en momentos específicos; por ejemplo, existen tres eventos principales cuando se utiliza una ventana en este programa: cuando se está abriendo, mientras está abierta o cuando se esté cerrando; de manera que permite realizar acciones como la inicialización de variables para un correcto funcionamiento de la interfaz. Además, se pueden utilizar eventos de

tiempo, posibilitando así la ejecución de rutinas cuando se requieran, esta herramienta permite en el proyecto almacenar la información de consumo eléctrico en una base de datos en una hora específica cada día. En síntesis, permite programar y dinamizar la interfaz para que responda a algún evento ya sea de tiempo o eventos propios de los elementos de la interfaz como presionar un botón.

InTouch es capaz de enlazarse con una base de datos mediante el lenguaje SQL. Para lograr esto se utilizan las herramientas: listas de vinculación (Bind Lists) y plantillas de tablas (Table Templates). Las **listas de vinculación** permiten como lo menciona el nombre, vincular con columnas de una tabla etiquetas que pueden referenciar elementos o dispositivos de campo o variables del sistema, por ejemplo la hora.

En la tabla 2.1 se muestra un ejemplo de los datos ingresados a una lista de vinculación donde la columna etiqueta contiene el nombre de la variable tal y como está configurada en el sistema, mientras que en Columna se encuentran los nombres de las columnas a vincular.

**Tabla 2.1:** Tabla de configuración para una lista de vinculación. Fuente: propia.

Etiqueta	Columna
Etiqueta 1	Columna 1
Etiqueta 2	Columna 2
Etiqueta 3	Columna 3
Etiqueta 4	Columna 4

Otro de los elementos necesarios para enlazar InTouch con una base de datos son las plantillas de tablas, que funcionan como un formato para crear tablas en bases de datos. Una plantilla incorpora los nombres de las columnas que contendrá así como otros parámetros de configuración como tipo de columna o tipo de datos que almacenará, tamaño permitido de datos, además de indicar si es posible el ingreso de información nula y por último un parámetro que indica si se permite almacenar datos repetidos en una columna. Estos parámetros se ingresan como se muestra en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2:** Tabla de configuración para una plantilla de tabla. Fuente propia.

Columna	Tipo de columna	Tamaño	Permitir entrada nula	Tipo de indexado
Nombre 1	Char 1	8	NULL	None
Nombre 2	Int 2	10	NULL	None
Nombre 3	Int 3	10	NULL	None
Nombre 4	Int 4	10	NULL	None

Por otra parte, también se cuenta con **Historian**, que a diferencia de InTouch funciona como una base de datos. Historian es un software que permite obtener información de diferentes dispositivos; por ejemplo entradas y salidas de un PLC así como equipos conectados a estos, por ejemplo, sensores de temperatura y presión. También se enlaza con proyectos realizados con el software InTouch lo que permite fácilmente registrar datos de esta herramienta [4]. Es un servidor que permite el almacenamiento de información de equipos que controlan procesos industriales, a intervalos configurables, además es posible observar los datos en tiempo real y los datos históricos para realizar análisis y visualizar tendencias entre otras aplicaciones, mediante software como Wonderware Information Server.

**Wonderware Information Server** es un portal web que permite conectarse a los demás programas industriales de Schneider como los dos antes mencionados [22]. De esta manera permite la visualización de información y la generación de reportes. Para esto cuenta con funciones como gráficos de proceso y fábrica activa ("Activefactory"). Los gráficos de proceso permiten enlazarse con interfaces creadas mediante InTouch, por lo que es posible observar variables de proceso. Por otro lado, Activefactory tiene funciones para generar reportes, realizar interrogatorios a la base de datos del Historian; además, permite visualizar tendencias mediante la generación de gráficos.

## 2.5 Protocolo de comunicación industrial

El proyecto se basa en el diseño de una red de medidores utilizados para monitorizar variables de potencia y energía eléctrica, para lograr esto se debe utilizar un protocolo de comunicación el cual define las reglas de interpretación de datos por los dispositivos conectados. Los equipos

que forman parte de esta red incluyen medidores y programas computacionales de la marca Schneider Electric. Estos elementos utilizan un protocolo de comunicación llamado Modbus por lo que la solución incorpora este protocolo.

Modbus es un protocolo de comunicación que fue creado por Modicon en 1979 para sus controladores lógicos programables (PLC); sin embargo, se ha convertido en un estándar de comunicación público para transferir tanto información discreta como analógica [9]. Como se mencionó, este es un protocolo de comunicación solamente, es decir, define el proceso que se debe realizar para solicitar información de algún dispositivo, cómo responder, además de cómo detectar errores [10]. Modbus no define el medio por el cual se va a llevar a cabo la comunicación; por ejemplo, el medio de transmisión puede ser mediante el estándar RS 485 o RS 232. El medio antes mencionado, se utiliza para Modbus mediante comunicación serial llamado Modbus RTU o ASCII, sin embargo, también se puede dar vía Ethernet mediante Modbus TCP/IP.

Este protocolo utiliza una dinámica maestro-esclavo para la transmisión de datos. Esta consiste en definir un maestro también llamado cliente que tiene la función de solicitar información a los esclavos o servidores, es importante notar que el maestro es el único dispositivo capaz de iniciar una conversación [9]. En este proyecto; por ejemplo, todos los medidores eléctricos conforman los esclavos de la red, mientras que el SCADA tiene la función de maestro y es el que solicita la información; en este caso los valores de potencia y energía.

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) consiste en una comunicación mediante una línea serial donde cada byte (8 bits) de información es representado por dos caracteres hexadecimales [11]. En la tabla 2.3 se encuentra la estructura utilizada en este tipo de comunicación.

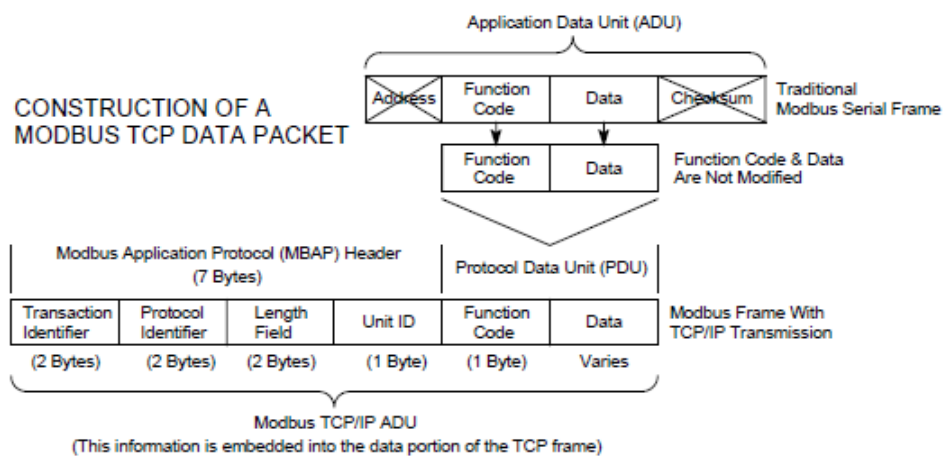
**Tabla 2.3:** Estructura del mensaje en Modbus RTU. Fuente: Modbus.org.

Dirección esclavo	Código función	Data	CRC
1 byte	1 byte	Hasta 252 bytes	2 byte

En la tabla 2.3 hay cuatro secciones diferentes, la dirección o identificación del esclavo que puede ser un número entre 1 y 247 [11]. Se tiene también el código de la función el cual indica la acción que se debe realizar; por ejemplo, la lectura de alguna variable en el medidor.

El siguiente parámetro “Data” contiene la información solicitada por el maestro o la respuesta del esclavo. Por último, CRC o revisión redundante funciona para detectar si la información recibida es correcta. Para lograr esto el esclavo calcula y envía un CRC que es recibido por el maestro el cual vuelve a calcularlo, lo compara con el recibido y en caso de ser diferentes se despliega un error.

**Modbus TCP/IP** por sus siglas en inglés significa “Transmission Control Protocol” / “Internet Protocol”. TCP se encarga de que la información llegue de manera correcta a su destino, mientras que IP se encarga del enrutamiento del mensaje. Según se menciona en [9] éste es solamente un protocolo de transporte de información, no define el contenido o estructura del mensaje (Fig. 2.1) ni cómo interpretar el mismo, de esto se encarga Modbus.



**Figura 2.1:** Estructura del mensaje en Modbus TCP/IP. Fuente: Acromag, Inc.

En la Fig. 2.1 se encuentra la estructura de un mensaje en este protocolo. Se observa que la base es muy similar a la de Modbus RTU, se mantiene la sección de “Data” y el código de la función, pero se añaden otros campos propios del protocolo de transmisión. El identificador de transacción se utiliza cuando se envían varios mensajes sin que el maestro espere por la respuesta a su solicitud. El identificador de protocolo es siempre cero para Modbus, en el campo de tamaño se encuentra la cantidad de bytes presentes en el resto del mensaje; por último, el ID de la unidad se utiliza para identificar a los esclavos presentes en la red.

En este protocolo la información se encuentra en los esclavos [18], por esto el maestro los interroga para obtener estos datos. Los dispositivos esclavos de una red modbus utilizan cuatro tablas para almacenar sus datos, dos de estas tablas contienen valores discretos 1 o 0 llamados

contactos, mientras que las otras dos almacenan datos numéricos llamados registros [18]. En la tabla 2.4 se muestran estas cuatro tablas y la cantidad de elementos que cada una puede incorporar, así como sus privilegios ya sea solo de lectura o de lectura y escritura.

**Tabla 2.4:** Tablas de almacenamiento de información en esclavos. Fuente: Simply Modbus.

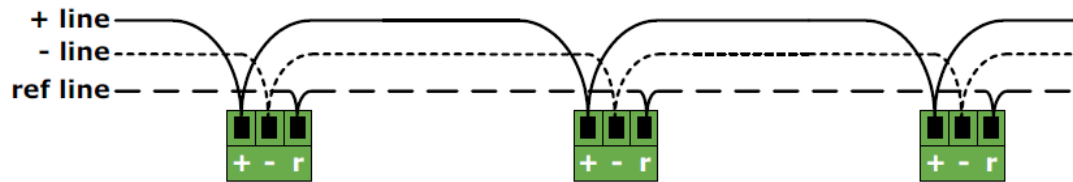
Número contacto/registro	Dirección	Tipo	Nombre tabla
1-9999	0000 a 270E	lectura-escritura	contacto de salida
10001-19999	0000 a 270E	lectura	contacto de entrada
30001-39999	0000 a 270E	lectura	registro entrada analógica
40001-49999	0000 a 270E	lectura-escritura	registro salida analógica

## 2.6 Estándar de comunicación RS-485 y su topología de conexión

La implementación de la red de medidores utiliza un estándar de comunicación **RS-485** para realizar la conexión física entre los dispositivos que incorpora. RS-485 como se mencionó, es un estándar de comunicación el cual permite la transmisión de datos y es muy utilizado en la industria por su resistencia al ruido y su capacidad de conexión a largas distancias.

Este tipo de estándar permite una comunicación tanto full-duplex (cuatro cables) como semi-duplex (dos cables), dependiendo de la cantidad de líneas utilizadas. Full dúplex consiste en una forma de transmisión donde se tiene un envío y recepción de datos de manera simultánea; por ejemplo, cuando se realiza una llamada telefónica. Por otro lado, la comunicación half-duplex no permite una transmisión simultánea, sino que en un momento envía datos y en otro recibe [24].

La diferencia entre estos tipos de comunicaciones es la cantidad de cables utilizados en la comunicación. Cuando se utilizan dos cables, por esta misma vía deben viajar el dato enviado y recibido; por otro lado, al utilizar cuatro cables, se trasmite por ambos pares de manera simultánea. Sin embargo, aunque se utiliza un par o dos para la transmisión, en realidad se cuenta con un cable extra el cual es la referencia como se muestra en la Fig. 2.2.



**Figura 2.2:** Terminales utilizadas para una conexión RS-485 mediante una topología en Daisy chain.

Fuente: Power Rich Systems.

RS-485 es un estándar de comunicación diferencial, esto quiere decir que dependiendo de la diferencia en las tensiones presente entre las terminales “+” y “-” en la Fig. 2.2 se interpreta como un “1” o un “0” lógico. Para lograr esto se comparan los niveles de tensión en ambas líneas con una referencia y aquí radica la importancia del terminal de referencia, la cual se conecta a tierra en un solo punto de la red [17].

Aspectos importantes a considerar cuando se implementa una red de este tipo son la terminación de línea y la topología de conexión. La terminación de línea se utiliza según [19] para la reducción de un problema presente en estas redes especialmente cuando son de gran longitud, el cual es la reflexión de la señal. Este problema ocurre cuando se tiene una diferencia en la impedancia de la línea de transmisión. Lo anterior se relaciona con las propiedades del cable utilizado para la conexión de la red, por ejemplo el cable Belden 9842 utilizado en este proyecto tiene una impedancia característica de  $120 \Omega$  [19], ésta según [23] consiste en la equivalencia en cuanto a la resistencia del cable considerando una longitud infinita. Para solucionar este problema se coloca una resistencia del valor de la impedancia característica del cable al final de la línea de transmisión para reducir los efectos del problema mencionado.

En cuanto a la topología utilizada, se recomienda el uso de Daisy chain [17] debido a su sencilla implementación. En la Fig. 2.2 se encuentra un ejemplo de este tipo de topología, como se observa, se debe conectar todas las terminales “+” juntas, de igual manera para “-” y la terminal de referencia.

## 2.7 Indicadores financieros utilizados en el análisis económico

En finanzas se utilizan herramientas para determinar aspectos como viabilidad de proyectos o empresas para definir su estado económico y con estos datos tomar decisiones; por ejemplo, acerca de invertir o no en algún negocio. Según [31] miden entre otros aspectos los beneficios que pueden ser obtenidos al hacer una inversión. Existen indicadores como el ROI (retorno de la inversión) o ROE (rentabilidad financiera); sin embargo, el proyecto utiliza el VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno) para determinar la viabilidad.

El VAN es una herramienta que permite conocer el valor de una inversión tomando en cuenta el periodo de realización del proyecto así como el valor cambiante del dinero [32]. Para su cálculo se utiliza la fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_o \quad (2.1)$$

donde  $V_t$  indica el flujo de caja en el tiempo  $t$ , lo que toma en cuenta la entrada y salida de dinero.  $k$  representa la tasa de interés del dinero que incluye en la ecuación el cambio en el valor del dinero en el periodo de la inversión. Por último,  $I_o$  es la inversión inicial en el negocio. Este indicador aproxima el valor del proyecto en el periodo fijado. El resultado obtenido de la ecuación 2.1 representa dinero, si este valor es menor a cero no se debe realizar la inversión ya que se tendría una pérdida de dinero, por otro lado, si este valor es cero el negocio es indiferente debido a que no se tienen pérdidas ni ganancias, en este caso se determina la viabilidad del proyecto tomando en consideración otros aspectos; por ejemplo, sociales o ambientales. Por último, un valor positivo indica una recuperación del capital inicial así como una ganancia extra a lo invertido.

Por otro lado, la tasa interna de retorno (TIR) es un indicador que está muy relacionado con el anterior, ya que determina la tasa en la cual el valor del VAN se iguala a cero [32]. Es decir, la tasa en la cual se recupera el capital invertido.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_o \quad (2.2)$$



## **Capítulo 3**

# **Sistema de monitorización en línea para el control de variables de energía**

### **3.1 Automatización del proceso del cálculo del indicador de energía**

Baxter cuenta con varios procesos que le permiten elaborar sus productos, algunos de ellos trabajan las veinticuatro horas los siete días de la semana. Estos procesos incluyen equipo con alto consumo de energía eléctrica, por ejemplo compresores, equipo de refrigeración, extrusoras, entre otros. Por esto, mensualmente se pagan altas sumas de dinero por el servicio de electricidad. Para reducir estos costos, Baxter Cartago cuenta con equipos de trabajo con el objetivo de la reducción de este consumo. Además, Baxter desea llevar un control de la energía eléctrica consumida, por ello se registra el consumo eléctrico diario, mensual y anual para determinar el indicador de energía, el cual muestra la eficiencia energética de la planta al compararlo con la meta que se estableció para Baxter Cartago. El valor de la meta actual es de 0.145 kWh/Unidad.

Para alcanzar este objetivo el departamento de ingeniería creó un archivo de Excel que registra diariamente los datos de consumo de las cuatro sub estaciones con las que cuenta la empresa, así como las unidades terminadas cada día por las líneas de producción. Este archivo tiene una hoja principal, la cual contiene una tabla donde se registran los datos de consumo y unidades,

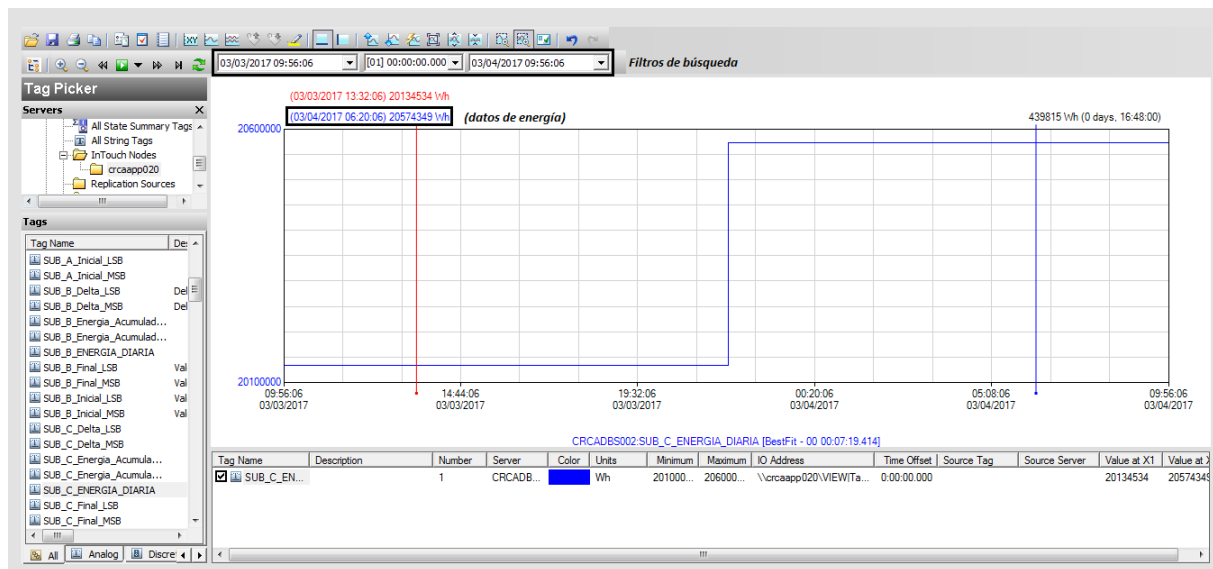
además de fórmulas que calculan el indicador (IE) mediante la ecuación:

$$IE = \frac{Ed}{Up} \quad (3.1)$$

donde Ed (kWh) es la suma total de energía consumida y Up las unidades producidas. Posteriormente el resultado se coloca en la celda respectiva. Sin embargo, los valores de consumo y producción eran registrados cada día de manera manual por el supervisor de facilidades del departamento de ingeniería lo que implicaba tiempo y trabajo que se podía reducir mediante el uso de programación.

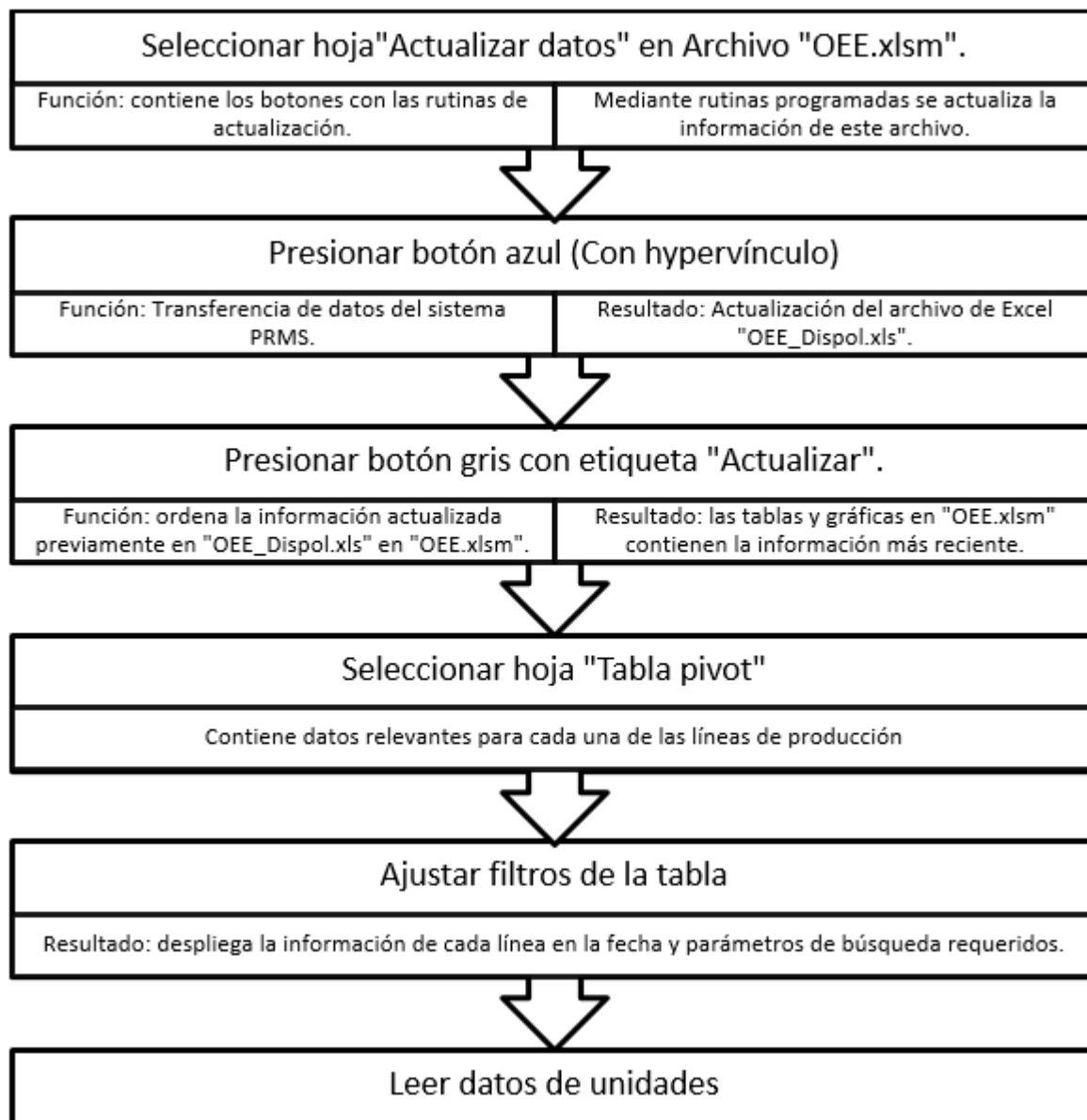
El procedimiento anterior para el registro del consumo energético diario consistía en obtener los datos de energía consumida el día de interés utilizando la interfaz gráfica que se muestra en la Fig. 3.1, ésta se visualiza mediante el software Wonderware Information Server. La interfaz se conecta con el servidor que almacena los datos de los procesos de la planta. Además, incorpora una lista de búsqueda (“Tag Picker”) donde se encuentran todas las variables configuradas de los procesos, que incluyen las propias del sistema y las configuradas para los demás departamentos de la planta. De esta lista eran seleccionadas las etiquetas correspondientes a los datos de consumo energético de cada sub estación. A continuación se listan las etiquetas para las sub estaciones:

- SUB\_A\_ENERGIA\_DIARIA
- SUB\_B\_ENERGIA\_DIARIA
- SUB\_C\_ENERGIA\_DIARIA
- SUB\_D\_ENERGIA\_DIARIA



**Figura 3.1:** Interfaz gráfica que permite obtener curvas de las variables que se controlan mediante SCA-DA. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

Posterior a la selección de las variables se utilizaban los filtros señalados mediante cuadros negros en la Fig. 3.1 para obtener el dato correspondiente a la fecha y hora adecuada. Una vez establecidos estos filtros, visualmente se obtenía el dato como se muestra en la figura y se digitaba en el archivo de Excel para el consumo energético. Luego de esta búsqueda se abría el archivo utilizado por el departamento de producción llamado “OEE.xlsm” donde se almacenan las unidades producidas diariamente por cada una de las líneas de ensamblaje IV. El procedimiento para leer los datos de unidades producidas para el consumo eléctrico se muestra en el diagrama de la Fig. 3.2.



**Figura 3.2:** Diagrama de flujo para la lecturas de las unidades producidas en el archivo OEE.xlsm. Fuente: propia

El archivo “OEE.xlsm” contiene rutinas de programación asignadas a dos botones, los cuales se llamarán botón PRMS (botón azul en diagrama) y botón Actualizar. El proceso como se muestra anteriormente empieza con la selección de la hoja “Actualizar datos” en el archivo “OEE.xlsm”, esta hoja contiene los botones mencionados. Los pasos para la lectura de los datos de unidades producidas se detallan a continuación.

- Primero, se presiona el botón PRMS el cual posee un hipervínculo a un archivo llamado “DISPO\_OEE.dtf”. Este archivo tiene la función para realizar una transferencia de

datos desde PRMS, el cual es un sistema que lleva el control de la planta correspondiente a la fabricación del producto, datos del personal de la planta, control de inventarios, entre otros. PRMS está sujeto constantemente a auditorías financieras, debido a esto el personal que ingresa a esta plataforma debe ser autorizado y entrenado por el encargado del sistema. Por ello toda modificación e ingreso a PRMS debe ser registrado mediante un nombre de usuario, de forma que el archivo para la transferencia de datos desde este sistema solicita una contraseña antes de ejecutarse.

Al presionar el botón PRMS se ejecuta el archivo mencionado y se ingresa la contraseña y usuario correspondiente. Luego se actualiza la información que se encuentra en el documento llamado “OEE\_Dispol.xls”. Este archivo contiene una tabla donde las columnas que se necesitan para el proyecto son fecha, línea y unidades producidas, pero se tiene además otra información relevante a las líneas de producción.

- Una vez realizada la transferencia a este archivo, se procede a presionar el botón actualizar el cual toma la información ingresada en el archivo “OEE\_Dispol.xls” y la ordena de manera adecuada en cada una de las hojas que tiene “OEE.xlsm”.
- Posterior a esta actualización se selecciona la hoja Tabla Pivot, donde se tiene una herramienta de Excel para brindarle dinamismo a tablas mediante la incorporación de filtros. Esta tabla incorpora ocho filtros que se establecen para obtener los datos adecuados. Para desplegar el total de unidades producidas por todas las líneas de producción se establecían los filtros de la siguiente manera:
  - Semana = ALL
  - Operador = ALL
  - Mes = núm. mes requerido
  - Línea 2 = IV PT
  - Código = ALL
  - Turno = ALL
  - Línea = ALL
  - Fecha = núm. fecha requerida
- Al establecer estos filtros, la columna titulada producción contenía el dato que se requería. Éste era leído y copiado en el archivo “Energía Wonderware 2017.xlsx” y posteriormente mediante la configuración de celdas se calculaba el indicador de energía.

La duración de este proceso aumentaba los lunes debido a que se realizaba para los días viernes, sábado y domingo lo que conllevaba un inconveniente ya que este dato es requerido por el personal gerencial para sus reuniones. En el peor de los casos que ocurre los lunes, el proceso tarda aproximadamente seis minutos y treinta segundos, tiempo que se determinó mediante un cronómetro que se inició antes de abrir los programas necesarios y se detuvo una vez obtenidos e ingresados todos los datos requeridos y cerrados los archivos utilizados.

## **3.2 Diseño de la rutina de control para la actualización del indicador de energía**

Como el proceso del indicador de energía se realiza diariamente y además puede tardar aproximadamente seis minutos y treinta segundos en completarse, se plantea una solución enfocada en la programación usando las herramientas “desarrollador” que contiene Excel. De esta manera es posible realizar el proceso en un menor tiempo y más ágilmente.

La solución se divide en dos etapas, obtención de unidades producidas y obtención de datos de energía consumida por cada una de las sub estaciones. Se realiza así debido a que estas etapas utilizan herramientas diferentes ya que las unidades producidas requieren de la manipulación de elementos propios de Excel como abrir archivos, manipular celdas y funciones aritméticas. Por otro lado la etapa de consumos de energía requiere del uso de bases de datos, la incorporación de código SQL en la interfaz gráfica con la que cuenta Baxter para la visualización del consumo eléctrico de las sub estaciones y herramientas de interrogación de bases de datos con las que cuenta Excel.

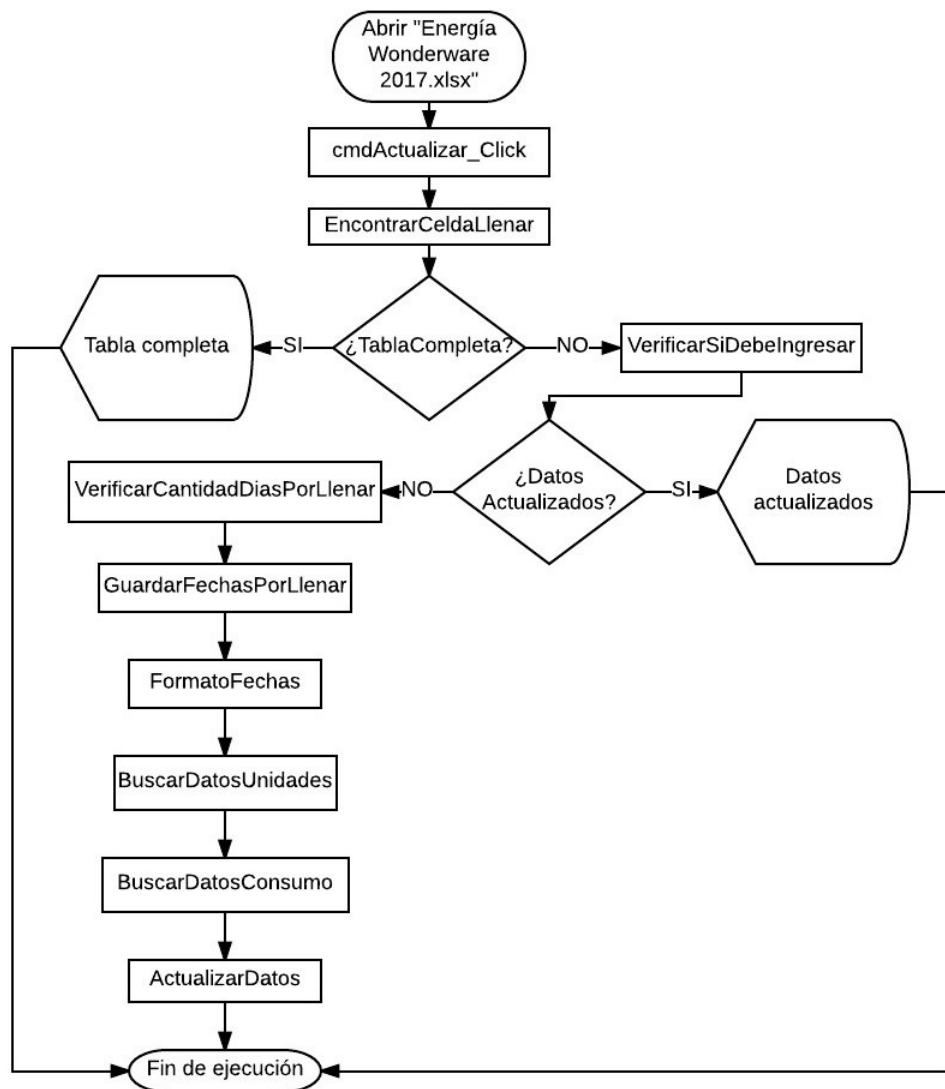
La obtención del dato de unidades producidas utiliza tres archivos diferentes, OEE.xlsm, archivo principal del cual se obtiene el dato de unidades, DISPO\_OEE.dtf que se encarga de realizar la transferencia de datos desde PRMS al último archivo de Excel utilizado llamado “OEE.Dispol.xls”, el cual se encarga solamente de registrar la información que se obtiene de la transferencia de datos. La solución propuesta utiliza estos archivos con excepción de OEE.xlsm, esto se debe a que los otros dos archivos tienen toda la información necesaria.

La solución también utiliza dos botones en el archivo “Energía Wonderware 2017.xlsm” al igual que el documento anterior para la consulta de unidades producidas, uno de ellos tiene un

hipervínculo a DISPO\_OEE.dtf para actualizar “OEE\_Dispol.xls”, que almacena la información de la transferencia de datos. Además, incorpora otro botón que contiene la rutina que se encarga de realizar las funciones para organizar los datos en el archivo destino “Energía Wonderware 2017.xlsm”, el cual contiene una tabla con las siguientes columnas ordenadas de izquierda a derecha:

- Día (fechas: formato MM-DD-YYYY)
- Sub A (Wh)
- Sub B (Wh)
- Sub C (Wh)
- Sub D (Wh)
- Sub A (kWh)
- Sub B (kWh)
- Sub C (kWh)
- Sub D (kWh)
- Unidades
- Indicador diario
- Total Consumo por día (kWh)
- Total Unidades mensuales
- Indicador mensual
- Indicador mensual con 3% de aumento por gas y diésel
- Energía total JASEC (kWh)
- Indicador mensual oficial

El procedimiento propuesto consiste en presionar el botón con el hipervínculo a “DISPO\_OEE.dtf” (botón PRMS) para que como se mencionó se actualice el archivo “OEE\_Dispol.xls” con la información de PRMS más reciente. Luego se presiona el botón “Actualizar” el cual contiene la rutina que realiza las instrucciones para incorporar los nuevos datos al archivo principal. Al presionar este botón se ejecuta una función llamada cmdActualizar\_Click la cual tiene la estructura principal del programa. Esta estructura contiene las instrucciones que llevan a cabo la actualización de la información. En la Fig. 3.3 se encuentra un diagrama de flujo donde se mencionan las funciones programadas.



**Figura 3.3:** Diagrama de flujo de la ejecución del programa para el cálculo del indicador de energía.

Fuente: propia

La Fig. 3.3 es un diagrama de flujo que contempla las funciones que se ejecutan al presionar el botón, estas funciones se detallan a continuación:

- **cmdActualizar\_click:** Esta función se ejecuta cuando el usuario presiona el botón “Actualizar”, contiene el algoritmo principal que utiliza las demás funciones programadas en Visual Basic.
- **EncontrarCeldaLlenar:** Se recorre la columna “Día” fila por fila para encontrar la primera celda vacía contigua a alguna fecha, esta celda indica la primera fecha del conjunto



que debe ser actualizada. Una vez encontrada se almacena en la variable `CeldaLlenar`, además verifica en caso de que se llegue al último día del año y no se encuentren celdas vacías, si esto ocurre se despliega un cuadro de diálogo notificando que este año se encuentra actualizado y finaliza la ejecución.

- **VerificarSiDebeIngresar:** Como solo se debe actualizar días anteriores al día de la búsqueda, esta función verifica si el valor guardado en `CeldaLlenar` es menor al valor de la fecha en la que se realiza la búsqueda. En caso de ser menor la función devuelve el booleano `True` y caso contrario `False`. Este valor se utiliza para evaluar si el algoritmo debe ejecutar las funciones de actualización, para que estas no se ejecuten cuando no son requeridas.
- **VerificarCantidadDiasPorLlenar:** Se utiliza con el objetivo de tener un control en la ejecución de funciones reiterativas como “For” y “Do While”, además un valor para dimensionar el tamaño de las variables tipo Array que se utilizan en el código. Esta función almacena en la variable **CantidadDiasPorLlenar** la diferencia de días que hay entre la fecha de búsqueda y el valor de fecha por actualizar.
- **GuardarFechasPorLlenar:** Utiliza un ciclo For para recorrer las celdas de fechas desde la encontrada por actualizar hasta la fecha de búsqueda mientras las almacena en la variable tipo Array `FechasPorLlenar`.
- **FormatoFechas:** El archivo donde se registran los consumos eléctricos utiliza el formato de fecha que se maneja en la planta el cual consiste en Mes-Día-Año; sin embargo, el archivo `OEE_Dispol.xls` que tiene la información de unidades, posee el formato Año-Mes-Día. Por esto es necesario pasar las fechas guardadas en `FechasPorLlenar` al formato de `OEE_Dispol.xls`. Para lograr esto se utiliza otra variable tipo Array llamada `FechasOEE` que almacena las fechas con el nuevo formato.
- **BuscarDatosUnidades:** Esta función es la encargada de obtener los datos de unidades producidas en las fechas requeridas. Primero, se deshabilita la función del sistema que refresca la pantalla para que el usuario no vea las funciones que vienen posteriormente como la apertura del archivo `OEE_Dispol.xls`. Este documento contiene una tabla de la cual solo se requiere la información de tres columnas que según la nomenclatura de Excel corresponden a la columna A (Fecha), columna B (Línea de producción) y columna E

(Unidades producidas). La columna A contiene las fechas de cuando se realiza un registro en PRMS, la columna B tiene los nombres de las líneas de producción, de las cuales solo se requiere buscar los que tienen el nombre IV X donde X corresponde a un número de 1 a 8. Estas líneas corresponden al ensamblaje y empaquetado del producto, por lo que las unidades que salen de estas líneas corresponden al producto terminado.

Posteriormente, se abre el archivo OEE\_Dispol.xls y se ejecuta la función **BuscarCeldaFechaOEEYSuma**, la cual primero recorre la columna A buscando el primer día por actualizar, una vez encontrado lo almacena en CeldaFechaOEE para que posteriormente se realice un recorrido de la columna B a partir de la fila de la celda encontrada buscando el nombre de líneas que comiencen con IV. Cuando se encuentra la primera línea IV se almacena en CeldaEncontrada para ejecutar el último recorrido el cual se realiza en la columna E de unidades producidas. Este último recorrido simultáneamente suma las unidades de cada una de las líneas de producción en la variable SumaUnidadesDiarias y una vez terminado el recorrido almacena el resultado en la variable tipo Array Unidades. Este proceso debe de repetirse para todas las fechas que se deben actualizar.

- **BuscarDatosConsumo:** Esta sección utiliza una tabla en el archivo principal “Energía Wonderware 2017.xlsm” ligada a una base de datos generada y actualizada desde Wonderware InTouch. Esta base de datos almacena la información de consumo de las cuatro sub estaciones a una hora específica cada día. Mediante instrucciones en el código se actualiza la información de esta tabla para que tenga los datos más recientes, posteriormente se obtienen y copian en las celdas correspondientes en la fecha respectiva.

Esta tabla contiene cinco columnas: Fecha, Sub\_A, Sub\_B, Sub\_C y Sub\_D, por lo que para lograr lo anterior se recorre la columna fecha hasta encontrar las fechas requeridas y se almacenan los datos de las columnas en el array que guarda la información de consumo de cada una de las sub estaciones.

- **ActualizarDatos:** Esta función toma las variables Unidades y Consumos para colocar los valores en las celdas correspondientes. Una vez ingresados estos valores, la configuración de fórmulas en las celdas en la tabla calcula el indicador diario y mensual. El archivo mencionado contiene una tabla en la hoja llamada “Consumo energía mensual” donde se almacena cada mes el indicador mensual correspondiente para determinar un

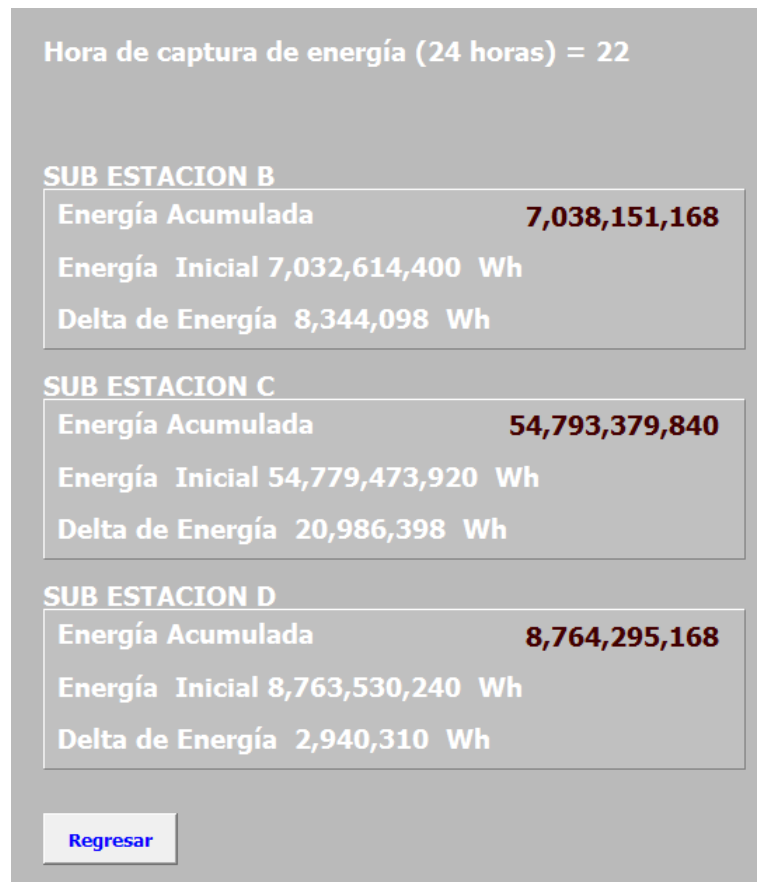
promedio llamado YTD (Year To Date) que indica la eficiencia de la planta a nivel anual. Por esto esta función toma el dato del indicador mensual y lo copia en esta tabla donde automáticamente se actualiza el YTD y una gráfica ligada a ésta.

### 3.3 Diseño de la rutina que almacena la información de consumo energético de las sub estaciones

La información de energía de las sub estaciones se encuentran en la base de datos (BD) de Wonderware llamada Historian, donde son almacenados a intervalos regulares; sin embargo, aunque Historian tenga una BD no es posible consultarla directamente mediante herramientas como Microsoft query para interrogar BD. Por esto se utilizan herramientas incluidas en el programa InTouch de Wonderware para la creación de interfaces gráficas. La planta cuenta con una interfaz donde muestra la energía acumulada por cada sub estación, así como la energía consumida cada día como se muestra en la Fig. 3.4. Este cálculo se realiza utilizando la ecuación:

$$\Delta E = E_a - E_{a-1} \quad (3.2)$$

donde  $E_a$  es la energía total acumulada mientras que  $E_{a-1}$  es la energía acumulada correspondiente al día anterior. Además, esta rutina se ejecuta a una hora específica como se muestra en la interfaz. La sub estación A no se encuentra incluida debido a que la planta tuvo problemas con el transformador de esta sub estación en el momento de la creación de la interfaz, por esto sus cargas fueron trasladadas a la sub estación B por lo que la energía indicada en la interfaz correspondiente a la B incluye el consumo de la sub estación A. Sin embargo, esta solución sí incluye los datos correspondientes a esta sub estación.



**Figura 3.4:** Interfaz gráfica para la visualización del consumo energético de las sub estaciones. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

Esta sección del proyecto se basa en la creación de una base de datos mediante las herramientas que contiene InTouch para la manipulación de éstas. Por esto se crea en el sistema una base de datos con una tabla que a su vez almacena la información de energía cada vez que se ejecute la rutina antes mencionada. Para esto se ingresan unas líneas de código mediante la sintaxis de InTouch para SQL pero estas funciones necesitan parámetros que deben ser configurados anteriormente, estos son las listas de vinculación y las plantillas de tablas.

La lista de vinculación utilizada incluye cada una de las variables de energía de las sub estaciones que se calculan mediante la rutina que se ejecuta cada día utilizando las etiquetas que corresponden a datos propios de los equipos de medición CM4000 (energía acumulada) de cada sub estación y las variables del sistema que almacenan los resultados de las restas. Estas últimas son las utilizadas en esta lista como se muestra en la tabla 3.1. Además se incluye una quinta variable que proporciona la fecha del sistema en el momento de la ejecución para llevar un registro por fecha de la energía.

**Tabla 3.1:** Configuración de la lista de vinculación con las variables de consumo de energía.

Fuente: propia.

Etiqueta	Columna
SUB_A_ENERGIA_DIARIA	SubA
SUB_B_ENERGIA_DIARIA	SubB
SUB_C_ENERGIA_DIARIA	SubC
SUB_D_ENERGIA_DIARIA	SubD
\$DateString	Fecha

El formato de tabla utilizado para la base de datos se encuentra en la tabla 3.2. En este se incluye solamente la energía acumulada propia de cada medidor, así como el momento en que se realiza la captura de la información. Es importante notar que los nombres de las columnas son iguales a los que aparecen en la lista de vinculación.

**Tabla 3.2:** Formato para la tabla en la base de datos donde se almacenan los datos de energía de cada sub estación. Fuente: propia.

Fecha	SubA	SubB	SubC	SubD
01/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825
02/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825
03/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825
04/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825

Para lograr este formato, se configura una plantilla para la tabla que se creará en la base de datos de energía. InTouch cuenta con una herramienta para este fin, en donde se especifican ciertos parámetros como nombre de columna, tipo, tamaño, entre otros como se muestra en la tabla 3.3. En esta tabla se ingresa también el nombre de la columna tal y como se ingresan en la lista de vinculación y se agregan los parámetros correspondientes a cada columna según el tipo de datos e información que almacena.

**Tabla 3.3:** Configuración de la plantilla de la tabla para almacenar los datos de energía de cada sub estación. Fuente: propia.

Columna	Tipo de columna	Tamaño	Permitir entrada nula	Tipo de indexado
Fecha	Char 1	8	NULL	None
SubA	Int 2	10	NULL	None
SubB	Int 3	10	NULL	None
SubC	Int 3	10	NULL	None
SubD	Int 4	10	NULL	None

Una vez configurados estos elementos se ingresa el código SQL a la interfaz de InTouch para almacenar cada día el consumo energético de cada sub estación en la tabla de la base de datos creada. Posteriormente se vincula esta base de datos con el archivo de Excel mediante un “Microsoft Query”. En esta herramienta se selecciona la base de datos que almacena la información de energía y se vinculan a Excel las columnas de fecha y cada una de las que contienen los datos de energía, esto genera una nueva tabla en la hoja de trabajo de Excel que se encuentra enlazada con la base de datos. Lo anterior quiere decir que cualquier cambio o actualización que se realice en la BD se ve reflejado en dicha tabla en Excel. De esta manera, se obtiene cuando se requiera la información actualizada de energía simplemente mediante un “refresh” o actualización de la hoja de trabajo en Excel, lo cual se logra mediante Visual Basic con la instrucción: “ActiveWorkbook.RefreshAll”.

### 3.4 Monitorización mediante red de medidores “Power Meter (PM)”

Baxter Cartago utiliza herramientas como aire comprimido la cual es una de las de mayor demanda en la planta, sistemas de enfriamiento, máquinas de automatización, de moldeo, entre otras. Estos equipos cuentan con medidores de la marca Schneider Electric y de cuatro modelos diferentes PM210, PM500, PM800 y CM4000, mostrados en las Fig. 3.5 a 3.8. Los medidores CM4000 son utilizados para monitorizar el consumo eléctrico, potencia, corriente entre otros

parámetros de cada una de las cuatro sub estaciones con las que cuenta Baxter Cartago. Los demás modelos se encuentran en los diferentes equipos y tableros eléctricos de la planta.



**Figura 3.5:** Medidor PM800. Fuente: Schneider Electric.



**Figura 3.6:** Medidor PM500. Fuente: Schneider Electric.



**Figura 3.7:** Medidor PM210. Fuente: Schneider Electric.



**Figura 3.8:** Medidor CM4000. Fuente: Schneider Electric.

La planta está dividida en cuatro sub estaciones, esta división se estableció porque cada sub estación está conectada a su propio transformador, por esto los medidores CM4000 mencionados monitorizan parámetros de salida del transformador como tensión, corriente, potencia y consumo eléctrico total. Estos medidores se encuentran conectados mediante Ethernet por lo que cada uno tiene su propia dirección IP la cual permite su enlace con herramientas como Wonderware de Schneider Electric.

Anteriormente, se contaba con una interfaz diseñada mediante el software InTouch de Wonderware, la cual mostraba solamente el consumo eléctrico de la sub estación B, C y D. La sub estación A no estaba incorporada debido al problema del transformador.

Como se mencionó, se tenía una lectura general del consumo de la planta la cual era obtenida mediante Wonderware, sin embargo no se tenía una monitorización específica de equipos y tableros de la planta. Por esto y mediante la implementación de una red Modbus se logra monitorizar estos equipos para permitir establecer tendencias de consumo y picos de demanda. Además, permite en caso de un aumento en el consumo de alguna de las sub estaciones determinar con mayor precisión cuál equipo es el responsable de ese aumento de consumo.

Los equipos incluidos en esta red se encuentran listados en las tablas 3.4 a 3.6, donde también se especifica el modelo, ubicación y el orden de conexión el cual será tratado más adelante.

**Tabla 3.4:** Medidores incorporados en la red de comunicación de la sub estación A. Fuente: propia.

Equipo	Medidor	Ubicación	Orden de conexión
SubA	CM4000	Casa máquinas 1	1
Compresor 8	PM500	Casa máquinas 1	2
Secador 8	PM500	Casa máquinas 1	3
Secador 9	PM500	Casa máquinas 1	4
Compresor 11	PM500	Casa máquinas 1	5
Compresor 10	PM500	Casa máquinas 1	6



**Tabla 3.5:** Medidores incorporados en la red de comunicación de la sub estación B. Fuente: propia.

Equipo	Medidor	Ubicación	Orden de conexión
SubB	CM4000	Casa máquinas 1	1
Tablero A1	PM800	Mezanine Moldeo (Planta sup. IV 7)	2
Tablero B10-T5	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. IV 7)	3
Tablero B7-2	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. IV 4)	4
Tablero A36-35	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. IV 3)	5
Tablero A30-T4	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. IV 3)	6
Tablero A35-17	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. IV 3)	7
Tablero B44	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. Cuarto contr. 2)	8
Tablero C43	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. Taller moldes)	9
Tablero A7	PM210	Mezanine Moldeo (Planta sup. Cuarto contr. 2)	10
Tablero A34-PT7	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. Cuarto contr. 2)	11
Tablero A24-T7	PM500	Mezanine Moldeo (Planta sup. Cuarto contr. 2)	12
Tablero C51-T20	PM500	Segundo piso Área de resinas moldeo	13
Tablero C2	PM210	Segundo piso Área de resinas moldeo	14
Tablero C20-T12	PM500	Segundo piso Área de resinas moldeo	15

**Tabla 3.6:** Medidores incorporados en la red de comunicación de la sub estación C. Fuente: propia.

Equipo	Medidor	Ubicación	Orden de conexión
SubC	CM4000	Casa máquinas 2	1
Tablero C39	PM800	Casa máquinas 2	2
Chiller 28	PM500	Segundo piso Losa de chiller de proceso	3
Tablero C15-3	PM500	Celda de refrigerantes	4
Tablero C1	PM500	Mezanine de Extrusión (Planta sup. Cuarto contr. 6)	5
Tablero C55-39	PM800	Mezanine de Extrusión (Planta sup. Cuarto contr. 8)	6
Tablero C56-T52	PM800	Mezanine de Extrusión (Planta sup. Cuarto contr. 8)	7
Tablero C6-T11	PM500	Mezanine de Extrusión (Planta sup. Cuarto contr. 6)	8
Compresor 9	PM210	Casa máquinas 2	9
Secador 10	PM210	Casa máquinas 2	10
Compresor 7	PM500	Casa máquinas 2	11
Tablero C16-3	PM500	Taller de precisión	12
Tablero C40-39	PM500	Pasillo frente a torre de enfriamiento 3	13
Chiller 12	PM500	Losa taller	14
Chiller 26	PM500	Losa taller	15
Chiller 29	PM500	Losa taller	16
Chiller 27	PM500	Losa taller	17

### 3.5 Implementación de una red Modbus para la comunicación de los medidores Power Meter (PM)

El primer paso en la implementación de una red de comunicación es identificar los equipos que se van a conectar. Para esto se realizó una entrevista con el supervisor de facilidades para determinar los equipos que la empresa requiere monitorizar. Estos se encuentran listados en las tablas 3.4 a 3.6, en la sección anterior.

Posteriormente, mediante los manuales de usuario de cada uno de los medidores, en específico

los PM210, PM500, PM800 y CM4000 se verifican las características que incorporan en cuanto a comunicación. Se llega a la conclusión que todos estos modelos son compatibles con el protocolo de comunicación Modbus, lo que resulta conveniente ya que Wonderware Historian permite la adquisición de datos mediante este protocolo [25]. Además, en cuanto al estándar de comunicación todos poseen un puerto RS-485 para la transmisión de datos, lo que facilita su conexión ya que no se requiere de ningún equipo adicional para el cambio de estándar.

La conexión RS-485 de los medidores se realiza utilizando cable Belden 9842 debido a que posee características destacables para este tipo de estándar de comunicación por su impedancia característica de  $120 \Omega$ , además posee dos tipos de blindaje contra ruido o interferencias electromagnéticas, incorpora tanto blindaje trenzado como de malla [19]. Este valor de impedancia es muy importante al reducir los efectos producidos por reflejos de señal en las líneas de transmisión producto de cambios en la impedancia del cable. Además, según [14] y [15] se recomienda utilizar este tipo de cable en una conexión Daisy-chain para comunicación serial.

En cuanto a la distribución de los cables por la planta, primero se determina la ubicación de los medidores. De esta manera, es posible realizar un plano donde se detalle la localización de cada uno de los treinta y cinco medidores para que realizar el cableado sea más sencillo, este plano se encuentra en el anexo 1. Sin embargo, Baxter en este tipo de trabajos contrata a empresas externas, por lo que para este proyecto la empresa Tecno médica fue la encargada de colocar los tubos y hacer llegar los cables a cada uno de los puntos donde se encuentran los medidores, según se detalla en el plano realizado. Esta empresa estimó una longitud de 300 m de cable necesarios para la instalación, por esto se realizó la cotización del mismo a una empresa cerca de la provincia de Cartago.

Una vez colocados los tubos y cables correspondientes, se procede a conectar cada uno de los medidores siguiendo las normas de una conexión Daisy-chain. Además, con el objetivo de reducir el efecto de interferencias electromagnéticas producto de los equipos, se conecta el blindaje que posee el cable a tierra de manera que cualquier ruido sea aterrizado y así afecte menos la integridad de la señal. Otro aspecto importante es la terminación de línea, para esto se coloca una resistencia de  $120 \Omega$  al final de cada una de las redes. Este aspecto se cumple de manera muy sencilla debido a que al final de cada red se encuentra un medidor PM500, los cuales tienen incorporada esta resistencia. Ésta se coloca simplemente mediante un interruptor en la parte posterior del medidor [14].

La red se encuentra conectada mediante un protocolo de comunicación serial RS-485, sin embargo, para conectarse con Historian se requiere del protocolo Ethernet. Para lograr esto los medidores CM4000 poseen la tarjeta de comunicación ECC21 (Ethernet Communication Card) mostrada en la Fig 3.9. Esta tarjeta según [28] permite cambiar de un protocolo de comunicación de los utilizados por Modbus, por ejemplo RS-485, a Ethernet.



**Figura 3.9:** Tarjeta de comunicación ECC21 utilizada para cambiar de RS-485 a Ethernet. Fuente: Schneider Electric.

Al cumplir con los pasos anteriores, se procede a realizar la debida configuración de estos equipos en el programa Wonderware Historian de manera que éste funcione como el maestro que solicita información a cada uno de los medidores. El programa posee una interfaz sencilla, la cual permite con pocos pasos la configuración de los equipos.

En primera instancia, dentro del Historian se agrega un DAServer (Data Access Server), que funciona como un medio de comunicación entre este programa y dispositivos conectados mediante Ethernet o comunicación serial, además por medio de puentes Modbus permite configurar equipos que tienen la función de cambiar de un protocolo de comunicación serial a uno Ethernet; por ejemplo, el medidor CM4000. Una vez agregado este servidor, se añade un puerto mediante el objeto TCPIP\_PORT por donde se conectan todos los elementos de la jerarquía [27], en primer lugar se tiene el CM4000 que como se mencionó funciona para realizar el cambio de protocolo, luego están todos los demás medidores. Por lo que se tendrán tres de estas jerarquías, una para cada red.

Después de agregar el TCPIP\_PORT, se añade el objeto que tiene la función de realizar el

cambio de comunicación serial a Ethernet, cuyo nombre es “ModbusBridge”. Como utiliza un protocolo Ethernet, se debe de ingresar una dirección IP única para realizar el enrutamiento de los mensajes provenientes de los medidores. El ModbusBridge permite incorporar elementos como PLC entre otros dispositivos con comunicación serial.

Como paso siguiente, bajo el objeto antes añadido se agrega un objeto “Compact984” para configurar cada uno de los dispositivos conectados a la red, por lo que la red de la sub estación A tiene cinco objetos distintos de este tipo. Se utiliza el “Compact984” debido a que Wonderware Historian solamente posee una lista limitada de dispositivos Modbus; sin embargo, este dispositivo tiene un comportamiento correcto al utilizarlo para configurar los medidores. Se debe ingresar una identificación única para cada elemento en la red; por ejemplo, en la red A se tienen cinco elementos por lo que se ingresan identificaciones que van del dos al seis. En las tablas 3.4-3.6 la columna orden de conexión corresponde a la identificación utilizada para cada uno de los medidores de la red. Se debe tener claro que este número no puede exceder de 255 [27].

Como otro parámetro de configuración importante se tiene el tamaño de los registros que posee la unidad bajo configuración. Por ejemplo, los PM500 poseen registros de comunicación de cinco dígitos. Como último paso en esta etapa, a cada medidor se le debe agregar un “Device group” el cual es el objeto con el que el DAServer se comunica para adquirir la información [27]. Este objeto es el que define la regularidad con la que se obtiene información del equipo que se está configurando; por ejemplo, se podría configurar con intervalos de 2000 ms lo que corresponde a obtener información cada dos segundos.

Posteriormente, con el objetivo de registrar datos de los medidores de los equipos, se debe configurar lo que en Historian se llama IDAS (Data Acquisition Service), que permite obtener la información proveniente de los medidores y almacenarla en la base de datos con la que cuenta este programa [26]. Para lograrlo, una vez realizados los pasos anteriores, se utilizan “topics” lo que corresponde al último paso en la configuración de la red en Historian. Estos topics, los cuales se configura uno por equipo, son los que contienen la información del dato que se desea obtener en la forma de tags o etiquetas. Estas etiquetas representan un dato en específico en el equipo, por lo que se tienen distintos tipos; por ejemplo, discreto con valores solamente entre 0 y 1 y analógico que corresponden a valores continuos como por ejemplo el nivel del agua en un tanque. El tipo analógico es el utilizado para las variables de potencia y energía.

Para configurar una etiqueta se debe conocer el número del registro al cual corresponde la información que se necesita; por ejemplo, en algún equipo el registro 40521 puede corresponder a un valor de corriente en amperes o al factor de potencia. En la tabla 3.7 se encuentran los registros utilizados para los medidores de la red.

**Tabla 3.7:** Registros de comunicación Modbus utilizados en la configuración de las etiquetas de Wonderware Historian para los medidores PM210, PM500 y PM800. Fuente: Schneider Electric.

Medidor	Medición	Registro	Unidad	Tipo de dato	Tamaño (palabras)	Nomenclatura Historian
PM210	Potencia	1006	kW	Float	2	41006 F
	Energía	4000	kWh/escala	Long	2	44000 I
PM500	Potencia	790	kW/100	Integer	2	40791 I
	Energía	856	kWh	Integer	2	40857 I
PM800	Potencia	1143	kW/escala	Integer	1	401143
	Energía	1700	Wh	Mod10	4	41700-41703

Los datos de la tabla anterior incorporan la información necesaria para la configuración de una etiqueta en Historian. Se utiliza el tipo de dato para indicarle a Historian la clase de información que debe esperar, así como el tamaño del dato que recibe. Como se observa en la Fig 3.7 bajo la columna nomenclatura Historian, los registros utilizados tiene una letra al final, esta corresponde al tipo de dato que guarda el registro; sin embargo, con ésta nomenclatura no siempre se obtiene el dato esperado. Por ejemplo, en la tabla para los tipos integer se añade la letra I al final del registro; sin embargo, para el PM800 no es así, al ingresar en éste la nomenclatura que se menciona, no se logra obtener el dato deseado, pero de la manera indicada en la tabla sí se lee de forma correcta.

Otro aspecto a considerar es la escala en la que viene el dato en el registro consultado, para estos casos Historian maneja una interpolación lineal la cual utiliza la siguiente ecuación:

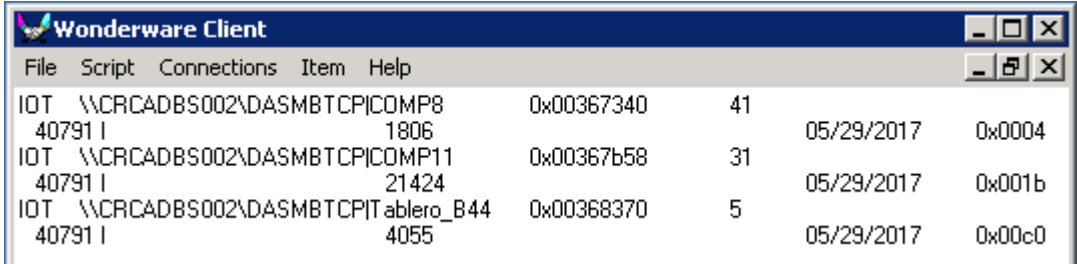
$$V_{out} = \frac{(V_{in} - MinRaw)(MaxEu - MinEU)}{(MaxRaw - MinRaw)} + MinEU \quad (3.3)$$

En la ecuación anterior el valor de salida es  $V_{out}$ , para su cálculo se utilizan  $MinRaw$  y  $MaxRaw$  los cuales corresponden al valor original en el registro, además se tienen las variables  $MinEU$  y  $MaxEU$  donde  $EU$  significa Engineering Units. Éstas corresponden a la variable física que representan; por ejemplo, en caso de potencia se podría indicar  $W$  o  $kW$ . Para utilizar esta ecuación de manera más sencilla se consideran  $MinRaw$  y  $MinEu$  iguales a cero por lo que se obtiene lo siguiente:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{MaxEu}{MinEU} \quad (3.4)$$

De esta manera se logra obtener un factor de escala de forma más sencilla; por ejemplo, el caso del registro de potencia para el PM500 solo se necesita colocar un valor de  $MaxEU$  diez veces más grande que  $MaxRaw$  para lograr eliminar ese divisor entre cien.

Con las configuraciones anteriores se logra obtener lecturas correspondientes a las variables que se desean monitorizar en los medidores: potencia y energía. Sin embargo, para verificar el estado de la conexión de cada uno de los medidores, Wonderware cuenta con una herramienta llamada Wonderware client, la cual se conecta directamente con el dispositivo deseado y despliega un mensaje que representa la calidad de la conexión. Por ejemplo, una buena conexión muestra el código  $0x00c0$  mientras que el caso contrario  $0x0004$  indica que no se logró tener acceso a la etiqueta o  $0x001b$ , indica que no hay conexión con el PLC como se muestra en la Fig. 3.10.



File	Script	Connections	Item	Help
IOT	\\CRCADBS002\DASMBTCPICOMP8	0x00367340	41	
40791 I	1806			05/29/2017 0x0004
IOT	\\CRCADBS002\DASMBTCPICOMP11	0x00367b58	31	
40791 I	21424			05/29/2017 0x001b
IOT	\\CRCADBS002\DASMBTCPIT	0x00368370	5	
40791 I	ablero_B44 4055			05/29/2017 0x00c0

**Figura 3.10:** Interfaz de Wonderware Client. Fuente: Schneider Electric.

Este programa al indicar la calidad representa una herramienta importante en la detección de problemas en la red ya sea por asuntos de conexión o configuración. Además, al incorporar también el valor del registro tal y como lo envía el equipo, sirve para determinar la escala necesaria con el fin de mostrar el dato correctamente.

Concluida esta etapa, es posible utilizar programas como InTouch para crear interfaces gráficas

con las mismas etiquetas que se configuraron en esta etapa, además pueden ser vistos tanto sus valores en tiempo real como sus valores históricos mediante el Wonderware Information Server.

### **3.6 Diseño de la interfaz gráfica para el sistema de monitorización de energía**

Se ha mencionado en varias ocasiones que en Baxter cuentan con el programa para realizar interfaces gráficas de Wonderware llamado InTouch; sin embargo, han estado trabajando junto con Nexus electrónica para cambiar esta plataforma a un nuevo portal web para monitorizar los datos de los procesos de la planta. El cambio se debe a una mejora que se está realizando a la red informática de Baxter.

Actualmente se cuenta con una red en la cual se conectan todos los equipos de la planta, entre estos están todas las computadoras administrativas, impresoras, teléfonos, además de PLC y otros equipos utilizados en los procesos de manufactura. La mejora consiste en implementar una red nueva y exclusiva para los equipos industriales de manera que se reduzca la saturación que existe en la red compartida. Para esto se instalará un equipo que funcionará como un puente entre la nueva red y la red administrativa actual, de manera que desde la red administrativa mediante este “puente” se puedan observar los equipos configurados en la nueva red. Además, para esto se utilizará una plataforma diseñada por Nexus Electrónica (Fig. 3.11) la cual se conectará con la base de datos de Wonderware Historian para desplegar los datos en el nuevo portal web.

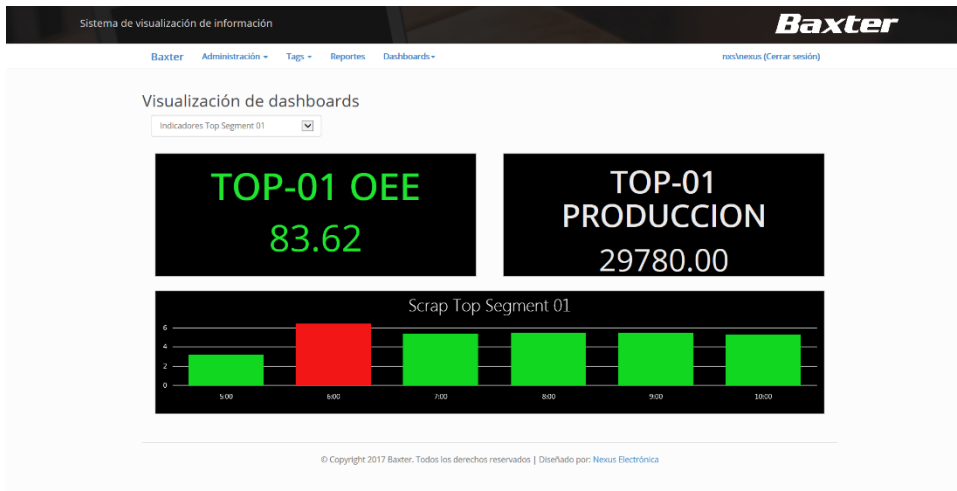




**Figura 3.11:** Pantalla de inicio para el nuevo sistema de visualización de información. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

Esta interfaz se diseñó de una manera más simplista comparada con Wonderware InTouch. Esto es debido a que InTouch incorpora una gran cantidad de herramientas gráficas como botones, medidores analógicos y digitales, luces, entre muchas otras. Éstas tienen el objetivo de crear interfaces muy interactivas para la visualización de información y/o control de procesos. Por otro lado, el nuevo portal tiene como objetivo solamente la visualización de información por lo que no se disponen de tantas herramientas.

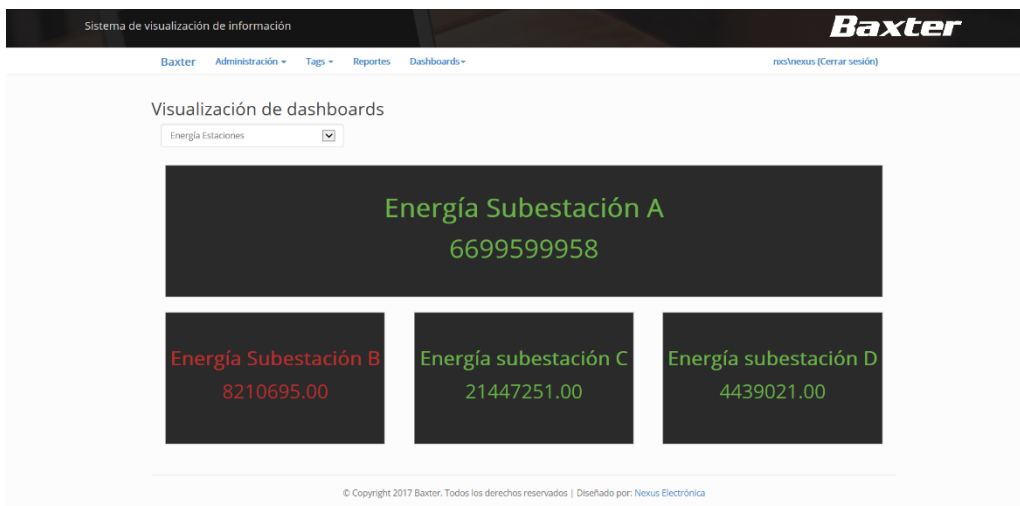
En este programa se tendrán dos modos diferentes, de visualización y administrativo, donde solo el último está autorizado a crear y modificar las interfaces. En esta herramienta se trabaja con plantillas, al crear una pantalla se debe escoger entre una de las cinco disponibles. La diferencia entre las plantillas radica en la cantidad y tipo de herramientas gráficas que posee; por ejemplo, una de ellas tiene la posibilidad de crear un gráfico de barras, así como desplegar datos numéricos como se muestra en la Fig. 3.12.



**Figura 3.12:** Pantalla creada para el proceso Top segment de la planta. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

Como se muestra en la figura, se tienen dos secciones donde se visualiza de manera numérica el indicador OEE, el cual a grandes rasgos es una herramienta de producción que permite conocer la eficiencia de un proceso tomando en cuenta aspectos como disponibilidad, rendimiento y calidad. También, en forma de gráfico de barras se indica la cantidad de desecho producido en el proceso.

En cuanto a energía, todavía no se han implementado las pantallas; sin embargo, se tiene disponible el prototipo para la pantalla de los datos generales de consumo de la planta, los cuales los indican los medidores CM4000. Estos se muestran en la Fig. 3.13.



**Figura 3.13:** Prototipo para la interfaz de consumos generales diarios de la planta. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

Esta pantalla muestra los consumos diarios de las sub estaciones con excepción de la A, debido a que por asuntos de instalación y prueba de este nuevo programa no se han actualizado las rutinas de InTouch encargadas de realizar ese cálculo, por lo que la sub estación A muestra la energía acumulada total. Sin embargo, esta pantalla sirve para mostrar las capacidades y funciones del nuevo portal. Primero, permite crear variables utilizando las etiquetas configuradas en Historian, ya sea utilizando el valor original o realizando cálculos con estas etiquetas para obtener nuevos valores como lo es el caso de la energía acumulada de la sub estación A, donde se utiliza el valor de cuatro etiquetas diferentes.

Además, en la figura se muestra uno de los datos de energía en rojo, esto se debe a que es posible la configuración de límites en las variables. De manera que es posible añadir funcionalidades y características; por ejemplo, cambiar el color del texto en función del límite configurado. Esto permite de una manera muy visual conocer si alguna sub estación ha sobrepasado su valor promedio de consumo.

Aunque este sistema tenga menos funciones que InTouch, aún resulta una herramienta eficaz para desplegar información, debido a sus gráficos y su capacidad de mostrar datos históricos de variables, así como por su interfaz de usuario intuitiva.

### **3.7 Análisis económico del proyecto**

El proyecto a grandes rasgos consiste en la monitorización de variables de equipo presente en la planta mediante la aplicación de una red de comunicación. Esta red permite llevar un registro de datos de energía y potencia o corriente y tensión por mencionar algunos. Sin embargo, el producto final de este proyecto es información. Esto se debe a que el sistema constantemente está almacenando en su base de datos la información antes mencionada pero si no se da un análisis a estos datos el proyecto por sí solo no genera ganancias económicas.

El resultado de este proyecto funciona como una base para futuros proyectos de manera que se puede justificar la viabilidad de estos, por ejemplo, con análisis energéticos. Es por esto que se determinan los beneficios de la red de medidores mediante un proyecto de ahorro energético que fue justificado por medio de datos obtenidos utilizando la nueva red de comunicación.

La inversión realizada para la implementación de la red de medidores fue relativamente ba-

ja, debido a que todos los medidores ya se encontraban instalados en los equipos y tableros. Además, el software utilizado para la configuración Wonderware Historian e InTouch, así como Microsoft Excel ya formaban parte de las herramientas con las que la empresa cuenta. El costo total del proyecto se encuentra en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8:** Costos para la implementación de la red de medidores. Fuente: propia.

Rubro	Costo
Ayudante técnico	\$707
Cable Belden 9842 (305 m)	\$1 192
Contratista para entubado de red	\$1 546
Remuneración	\$2 226
Total	\$5 671

En la tabla anterior solo se incluyeron los rubros que conforman aportes extra o que representan un costo adicional para la empresa. Por ejemplo, como se mencionó, las licencias de los programas ya eran utilizadas por otros departamentos antes de la implementación del proyecto, por lo que no representan una inversión extra. El costo incluido para el ayudante técnico representa un trabajo a \$3.53 la hora, por 8 horas diarias por 5 semanas.

Se referencia un proyecto el cual mediante datos obtenidos con la nueva red de medidores se determina su viabilidad en el tema de consumo energético. El proyecto a grandes rasgos consiste en reemplazar dos compresores para el aire comprimido, el compresor #8 y el #11, con el objetivo de utilizarlos como respaldo. Estos dos compresores en conjunto con otros como el compresor #10 abastecen la demanda de la planta.

Se le llama aire comprimido a aquel que tiene una presión mayor a la presión atmosférica, para lograr esto se utilizan los compresores que se encargan mediante procesos termodinámicos de comprimir el fluido, por ende, aumentar su presión.

El análisis mostrado a continuación es estrictamente desde un punto de vista energético, donde se toma en cuenta los consumos energéticos de cada uno de los compresores que se desean reemplazar, así como la eficiencia propia de cada uno para determinar el flujo total suministrado y así conocer el flujo que debe suplir el nuevo compresor. Además una vez conocido este dato

se determina el consumo del nuevo compresor y el ahorro que se podría generar. El primer paso consiste en calcular las eficiencias de cada uno de los compresores, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Flujo volumetrico [cfm]}}{\text{Potencia [kW]}} \quad (3.5)$$

Como se puede ver en la fórmula, se necesita conocer el flujo volumétrico de salida del compresor, así como la potencia requerida para producir ese flujo. Para esto se utiliza la información registrada en la base de datos del Wonderware Historian. Los datos para el compresor 8 se encuentran en la tabla 3.9 mientras que los del compresor 11 en la tabla 3.10.

**Tabla 3.9:** Datos para el cálculo de eficiencia para el compresor #8. Fuente: propia.

Fecha	Flujo (cfm)	Potencia (kW)	Eficiencia (cfm/kW)
05/12/2017 08:04	418	92,29	4,53
05/12/2017 10:43	451	93,64	4,82
05/12/2017 10:45	455	92,63	4,91
05/12/2017 10:27	444	92,62	4,79
Promedio	442	92,80	4,76

**Tabla 3.10:** Datos para el cálculo de eficiencia para el compresor #11. Fuente: propia.

Fecha	Flujo (cfm)	Potencia (kW)	Eficiencia (cfm/kW)
05/12/2017 08:04	949	214,55	4,42
05/12/2017 10:43	957	213,53	4,48
05/12/2017 10:45	958	212,59	4,51
05/12/2017 10:27	964	213,91	4,51
Promedio	957	213,65	4,48

Para generar la tabla anterior se utiliza (3.2) en la determinación de la eficiencia para cada uno de los puntos muestreados como se observa:

$$\eta = \frac{418 \text{ cfm}}{92,29 \text{ kW}} = 4,53 \frac{\text{cfm}}{\text{kW}}$$

Además, para determinar un valor más estándar se realiza el promedio de los valores correspondiente a las cuatro fechas muestreadas. Para el compresor #8 se obtiene una eficiencia de 4.76 cfm/kW mientras que para el compresor #11 de 4.48 cfm/kW.

Posteriormente, para determinar el consumo energético promedio de ambos compresores, se obtienen los datos de energía provenientes de la red de medidores. Se toman datos de consumo de cuatro días para ambos compresores como se muestra en la tabla 3.11. Con esta información se determina un consumo promedio, el cual para el compresor #8 es de 1513.3 kWh y para el otro compresor de 3814.5 kWh.

**Tabla 3.11:** Datos de consumo energético diarios para los compresores #8 y #11. Fuente: propia.

Fecha	Energía compresor 11 (kWh)	Energía compresor 8 (kWh)
05/10/2017	4043	1706
05/11/2017	3692	1525
05/12/2017	4110	1686
05/13/2017	3413	1136
Promedio	3814,5	1513,3

Una vez obtenido este valor, se utiliza para determinar la potencia promedio a la cual se logra tener ese consumo. Para esto se realiza el siguiente cálculo donde se utiliza la energía consumida diaria y se divide entre 24 h, para así obtener el valor de potencia (P).

$$P_{comp\ 11} = \frac{Energia\ [kWh]}{Tiempo\ [h]} = \frac{3814,5\ kWh}{24\ h} = 158,9\ kW$$

En el compresor #8 el cálculo se realiza de la misma manera, para obtener un valor de 63.1 kW. Con esta información se determina el flujo promedio para cada compresor utilizando (3.2) junto con el valor de eficiencia calculado anteriormente.

$$F_{comp\ 11} = \eta_{comp\ 11} * P_{comp\ 11} = 4,48 * 158,9 = 712\ cfm$$

De igual manera se calcula el flujo para el compresor 8, el cual es de 300 cfm. Con esto se determina que el nuevo compresor debe abastecer un flujo igual a 1012 cfm que corresponde a la suma de los flujos de ambos compresores.

Utilizando de nuevo (3.2), además de una eficiencia de 5.1 dada por el fabricante para el nuevo compresor de la marca Atlas Copco modelo ZR250VCD-125 se determina que la potencia requerida para un flujo de salida de 1012 cfm es de 198.5 kW. Esta potencia en un intervalo de un día (24 horas) tiene un consumo de 4763 kWh diarios. En la tabla 3.12 se resume la energía consumida por cada uno de los tres compresores así como los costos en dólares por la energía tanto diaria como anual.

**Tabla 3.12:** Costo en dólares por el consumo diario y anual para los compresores #8, #11 y el nuevo con un costo de \$0.13 por kWh. Fuente: propia.

Equipo	Energía diaria (kWh)	Costo diario	Costo anual
Compresor 8	1513,25	\$196,72	\$69,836.49
Compresor 11	3814,5	\$495,89	\$176,039.18
Compresor nuevo	4763,1	\$619,20	\$219,817.07

Utilizando los valores de la tabla 3.12 se obtiene un costo anual de \$245 876 para el consumo en conjunto de los dos compresores a reemplazar, mientras que para el compresor nuevo se obtiene un costo de \$219 817 anuales, por lo que se tiene un ahorro por consumo energético de \$26 059. Sin embargo, para analizar la viabilidad del proyecto en el área económica se utilizan dos indicadores financieros: el VAN (valor actual neto) y el TIR (tasa interna de retorno). Los resultados se encuentran resumidos en la tabla 3.13.

**Tabla 3.13:** Indicadores financieros calculados para determinar la viabilidad del proyecto de sustitución de compresores. Fuente: propia.

Indicador	Valor
VAN	-\$125 379
TIR	-31%

Los resultados de la tabla 3.13 se determinaron con una tasa de interés del 9% y a un periodo de tres años. Esto se debe a que Baxter cuenta a nivel corporativo con estos datos para determinar si un proyecto es viable para la empresa. En conclusión, con base en los resultados obtenidos,

el proyecto no es viable para la empresa ya que se tiene una pérdida de \$125 379 en el plazo mencionado. Sin embargo, este proyecto no se realiza con el objetivo de obtener ganancias a corto plazo, sino que debido al crecimiento de la planta es necesaria la instalación de un nuevo compresor para satisfacer la demanda de aire comprimido.

Es posible realizar el análisis anterior debido a los datos registrados con la red de medidores implementada. Se logra determinar promedios de consumo para los compresores, lo que permite calcular indirectamente el ahorro esperado por el cambio del nuevo compresor y a la vez tomar una decisión con más fundamentos. Por esto, aunque se tiene una inversión de \$5 671, la ganancia está implícita en los análisis que se pueden realizar con la información obtenida en el área de ahorro energético.



# Capítulo 4

## Resultados y análisis

### 4.1 Algoritmos para la actualización del indicador de energía

En la sección 3.1 se detalló el proceso que se debía llevar a cabo para obtener el valor de las unidades producidas en una fecha específica. Anteriormente se utilizaba una tabla pivot en el archivo OEE.xlsm, la cual tenía incorporados ocho filtros que se debían ajustar para que la tabla mostrara las unidades producidas correspondientes.

El primer algoritmo empleado para la obtención de las unidades producidas utilizaba las características y métodos con los que cuentan las tablas pivot. El objeto de Excel utilizado para este algoritmo se llama PivotField, cada uno de los ocho filtros se almacena en una de estas variables de manera que utilizando las propiedades propias de estos objetos, se establecen mediante programación cada uno de los filtros.

Para la obtención de la información requerida, algunos de los filtros deben incluir todos los elementos que estos incorporan; por ejemplo, en caso del turno, se necesita obtener las unidades producidas por todos los turnos de trabajo, por ello el filtro se ajusta en el ítem "ALL". Esto se logra simplemente con dos líneas de código. Sin embargo; ajustar la fecha, la cual corresponde al filtro con más ítems necesita de un ciclo For o While para recorrer cada uno de estos y habilitar el correspondiente. Por ejemplo; si se supone que un filtro contiene los días de la semana, éste posee un ítem adicional llamado "All", si se quisiera conocer el valor de todos los días. Sin embargo, para conocer el valor de jueves se debe recorrer todos los ítems para

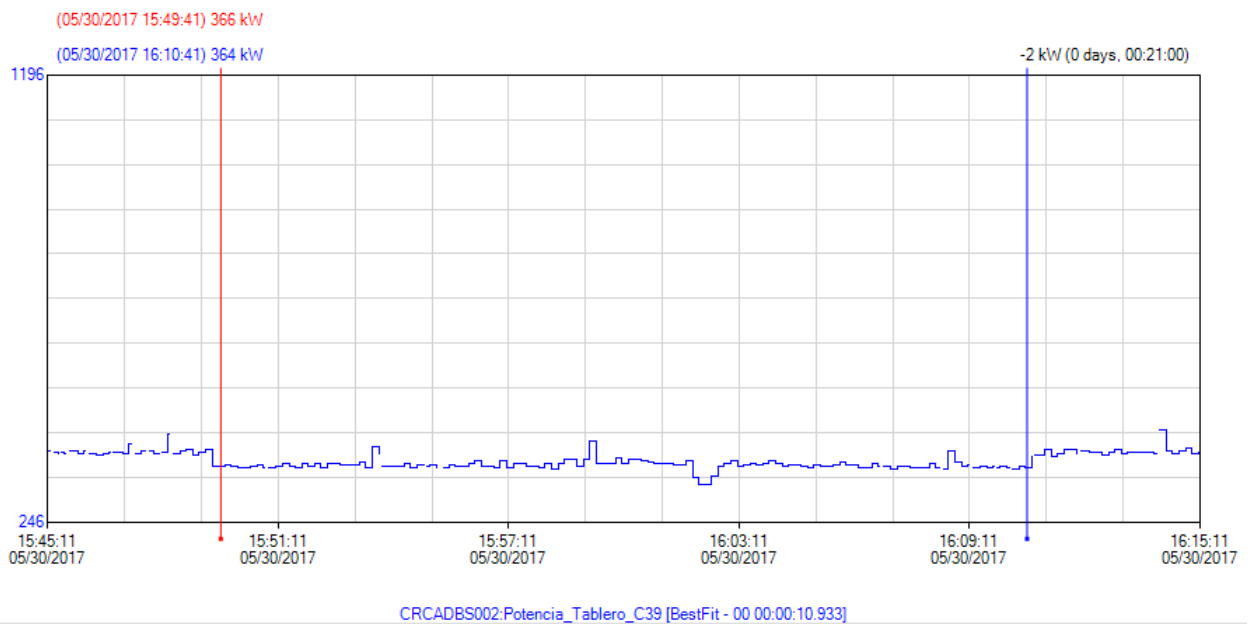
deshabilitarlos y habilitar solo el correspondiente a jueves. Además, al ser este archivo utilizado por varias personas en el departamento no es posible conocer el estado de los filtros por lo que siempre se deben de ajustar todos ellos.

La ejecución de este algoritmo tardaba aproximadamente tres minutos para completar la tarea, lo que comparado con los seis minutos y treinta segundos que tarda el proceso de actualización del indicador de energía no se considera una opción viable; además, este algoritmo requiere de mucho procesamiento por parte del ordenador. Se realizó una mejora en el ciclo For de manera que se conociera cuáles filtros ya se habían ajustado para evitar configurarlos de nuevo. Con esta mejora se logra obtener un tiempo de ejecución de alrededor de un minuto veinte segundos, lo que implica una reducción de más del 50%; sin embargo, todavía se tarda un tiempo considerable. Otra desventaja del algoritmo es que este archivo no registra exclusivamente los datos de unidades, sino que contiene otros datos del proceso productivo lo que hace que sea un archivo de un tamaño considerable, por lo que el algoritmo tarda más tiempo en abrirlo. Además, con el paso del tiempo la cantidad de ítems en el filtro de fecha va en aumento por lo que el rendimiento del algoritmo disminuye constantemente. Por estas razones se consideró que dicho algoritmo no es viable para la solución.

Tomando en cuenta lo anterior, se decide eliminar completamente el uso del archivo con la tabla pivot y trabajar como se detalló en la sección 3.2 lo que mejoró de manera considerable el rendimiento del programa. Se pasó de un minuto veinte segundos a tener una duración de aproximadamente diez segundos lo que corresponde a un octavo del tiempo anterior. Esto se debe a que Excel tarda más en modificar las propiedades del objeto PivotField que en realizar funciones de uso general como la selección de celdas, cambiar valores de celda, entre otros. Además, al utilizar el archivo OEE\_Dispol.xls para la obtención de las unidades producidas se reduce el tiempo que se tarda en abrir el archivo, ya que éste se utiliza exclusivamente para almacenar información proveniente de PRMS en una tabla sencilla de Excel por lo que no tiene un gran tamaño.

## 4.2 Red de medidores

Se implementaron tres redes Modbus para la monitorización de las variables de energía provenientes de los medidores distribuidos por la planta. Mediante Wonderware Information Server, en específico su herramienta para la generación de gráficos se logra observar los valores históricos de las variables configuradas. En la Fig. 4.1 se muestra el comportamiento de la potencia en el transcurso de treinta minutos para el tablero C39, el cual forma parte de la red de la sub estación C.



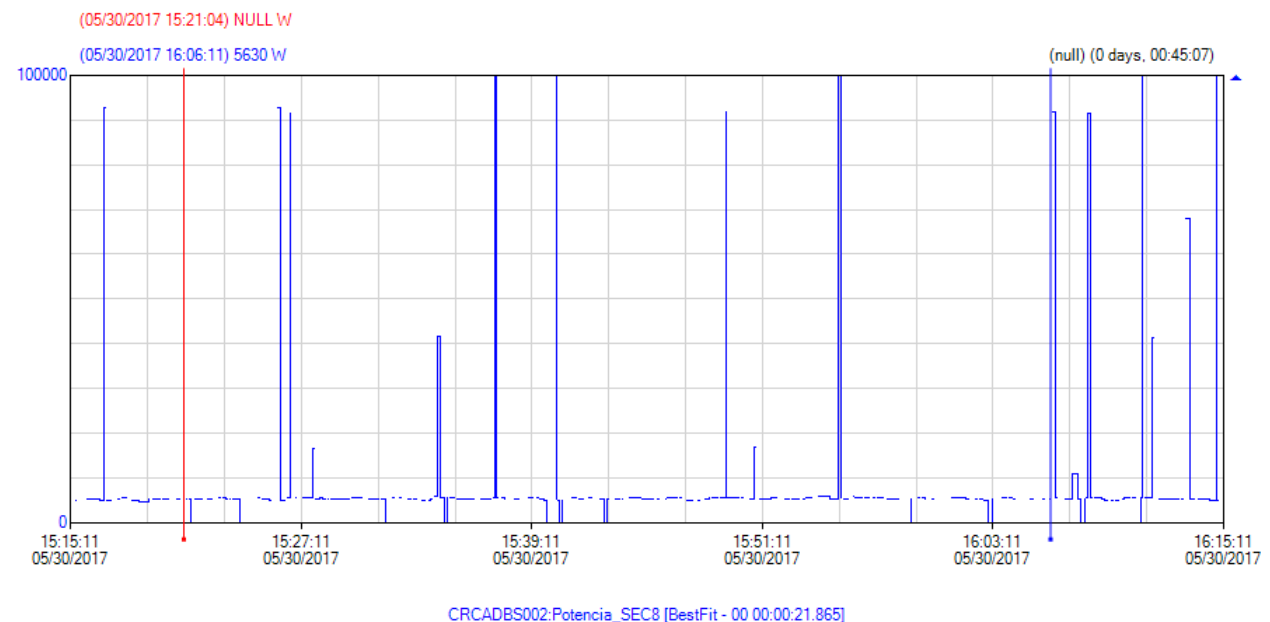
**Figura 4.1:** Potencia del tablero C39 en un periodo de treinta minutos. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

En la Fig. 4.1 se observa claramente la curva de potencia para este tablero; sin embargo, se debe notar que en ciertas secciones de esta curva se encuentran espacios en blanco, lo cual indica que hubo algún problema con la comunicación. En la Fig. 4.2 es más notable esta situación.



**Figura 4.2:** Potencia del Chiller 29 en un periodo de una hora. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

En la Fig. 4.2 se nota que inclusive en los datos de la parte superior izquierda los cuales indican la hora y el valor de potencia, uno de ellos indica la palabra NULL, lo que quiere decir que no existe dato en ese instante. Esta situación se tiene en las tres redes implementadas; sin embargo, la red de la sub estación A es la más afectada como se evidencia en la Fig. 4.3.



**Figura 4.3:** Potencia del secador 8 en un periodo de una hora. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

El secador 8, el cual pertenece a la red de la sub estación A presenta una mayor interrupción de la señal, además se observa que se tiene un comportamiento estable de 5,630 kW (valor de color azul en la parte superior de la figura). Sin embargo, en ciertos puntos de la gráfica hay valores muy superiores. Este comportamiento se puede deber a la cantidad de interferencia electromagnética presente en casa máquinas 1, lugar donde se encuentran todos los medidores en la red de esta sub estación. Todos los equipos de esta zona utilizan una tensión de 480 V y tienen valores de potencia reactiva elevados lo que propicia la producción de esta interferencia. Además, la planta ha sufrido problemas de saturación en la red donde se encuentran configurados estos equipos, es por esta situación que se está trabajando en un proyecto para implementar una red exclusivamente para uso de los equipos industriales con el objetivo de mejorar el rendimiento de la misma, por ende tener una mejor comunicación con los equipos que utilizan un protocolo Ethernet.

### **4.3 Análisis energético utilizando datos de red de la medidores**

El proyecto brinda a la empresa la capacidad de formular nuevas iniciativas por ejemplo en el área energética. Baxter paga más de \$ 40 000 por el servicio eléctrico aun cuando se tiene un control eficiente del factor de potencia. Esto se debe a las tarifas utilizadas por las empresas para el cobro de la energía eléctrica. En el caso de Jasec la cual le brinda los servicios eléctricos a Baxter Cartago, la tarifa de media tensión consiste en tres periodos de cobro: punta, valle y nocturna; los cuales tienen horarios de 10:00 a 12:30 y 17:30 a 20:00 para punta, 6:00 a 10:00 y 12:30 a 17:30 en valle y de 20:00 a 6:00 para tarifa nocturna[29]. En la tabla 4.1 se detalla el precio base tanto para la energía como para la demanda.

**Tabla 4.1:** Precio en colones de las tarifas por energía y demanda para cada uno de los horarios de cobro. Fuente: propia.

Cobro	Punta	Valle	Nocturna
Precio base energía	57,03	27,88	19,01
Precio base demanda	10 037,12	7 197,07	4 923,51

En la tabla anterior se observa un aumento considerable en el precio por demanda, además según los detalles brindados por Jasec en la facturación se observa que la mayor oportunidad de mejora se encuentra en este rubro. Para esto se podrían utilizar los datos almacenados de potencia de los equipos configurados para determinar la tendencia de demanda o determinar perfiles de energía como se muestra en la Fig. 4.4 para la sub estación A, de manera que utilizando además los periodos normales de trabajo de los equipos de la planta se pueda llegar a optimizar este rubro mediante la distribución en el transcurso del día del uso de los equipos que más aportan a esta demanda.



**Figura 4.4:** Sub A valores promedio horarios de energía en el transcurso de una semana. Fuente: propia

La figura corresponde al análisis diario en el transcurso de una semana del consumo energético de la sub estación a intervalos de treinta minutos. Se determina un promedio para cada momento muestreado según la hora y finalmente la tendencia de consumo en el transcurso de una semana. Este tipo de análisis permite determinar picos de consumo en el transcurso del día, así como los intervalos de mayor consumo de la sub estación. Estos intervalos como se muestra en la Fig. 4.4 van de 05:30 a 18:30; sin embargo, para un análisis preciso del consumo eléctrico este intervalo es muy amplio pero funciona para delimitar el consumo general de la sub estación A.

---

Para obtener intervalos con mayor precisión se debe determinar la tendencia de consumo de los equipos presentes en la red de esta sub estación; por ejemplo, los compresores 8 y 11.





# Capítulo 5

## Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

El nuevo sistema Nexus se encuentra todavía en periodo de prueba, debido a esto, no se implementaron todas las interfaces gráficas para los medidores. Sin embargo, el proyecto logra brindar las herramientas necesarias para crear las interfaces gráficas, así como obtener datos de manera remota utilizando un estándar de comunicación RS-485 en la conexión de los medidores y Ethernet en la comunicación con el Wonderware Historian, esto mediante un protocolo de comunicación Modbus.

Las etiquetas de potencia y energía para el registro de las variable de consumo energético fueron debidamente configuradas para cada uno de los medidores presentes en las redes. Además, como se planteó en la sección de análisis económico, estas variables pueden ser utilizadas para fundamentar una decisión o un proyecto, mediante un análisis energético gracias al almacenamiento periódico y la capacidad de obtener registros históricos de las variables de consumo. Esto se logra de una manera rápida y sencilla con el uso de la herramienta de Nexus que pronto estará disponible.

En cuanto al indicador de energía se logra agilizar el proceso de obtener las unidades terminadas por las líneas de producción IV, ya no se requiere del archivo OEE.xlsm sino que ahora se realiza en la misma hoja donde se calcula el indicador, permitiendo así que el proceso se realice en aproximadamente diez segundos. Esto representa un ahorro de tiempo considerable al com-

pararlo con los seis minutos y treinta segundos que se tardaba. Sin embargo, por asuntos de la nueva plataforma de visualización, la sección de consumo energético no pudo ser implementada, no obstante, se documentó mediante un manual de usuario el procedimiento por el cual es posible su ejecución, utilizando las herramientas para manejo de bases de datos de Wonderware InTouch.

## 5.2 Recomendaciones

El análisis propuesto en la sección 4.3 es un ejemplo del potencial que tiene el uso de esta red de comunicación en el ahorro de energía eléctrica. Mediante los resultados de análisis como el propuesto, se conoce con mayor precisión las tendencias de consumo de los equipos de la planta. Lo anterior permite determinar la posibilidad de un sistema de desconexión de equipos basado en picos de demanda o la distribución del uso de los equipos en horas de menor consumo para reducir la demanda de energía.

Como otra recomendación, en cuanto a la red de medidores mediante el estándar de comunicación RS-485, la cual tiene cierta intermitencia en la conexión lo que podría deberse a ruido causado por la alimentación de 480 V trifásicos de ciertos equipos; por ejemplo, el compresor 10, compresor 11 y 8, así como el secador 8, se podría considerar distanciar las líneas de comunicación con las de potencia a al menos 30 cm [30]. Lo anterior para la tensión mencionada. De esta manera se reduce la influencia de la interferencia electromagnética en la integridad de la señal de comunicación.

# Bibliografía

- [1] Microsoft, «Support Office» [En línea]. Disponible en: [https:// support.office.com/en-us/article/Quick-start-Create-a-macro-741130ca-080d-49f5-9471-1e5fb3d581a8](https://support.office.com/en-us/article/Quick-start-Create-a-macro-741130ca-080d-49f5-9471-1e5fb3d581a8). [Último acceso: 7 marzo 2017]
- [2] G. D. Speegle y M. J. Donahoo, SQL, Elsevier Science, 2010.
- [3] Schneider Electric, «Wonderware» 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.wonderware.es/>. [Último acceso: 20 Febrero 2017].
- [4] Schneider Electric, «Wonderware Historian» 2017. [En línea]. Available: <https://www.wonderware.com/industrial-information-management/historian/>. [Último acceso: 8 febrero 2017].
- [5] Schneider Electric, «HMI Software - Wonderware InTouch,» [En línea]. Available: <https://www.wonderware.com/hmi-scada/intouch/>. [Último acceso: 8 febrero 2017].
- [6] Schneider Electric Software, Wonderware Historian Server: Concepts guide, California: Schneider Electric Software, 2016.
- [7] E. Delgado, «Baxter planea expansión» La Nación, 28 julio 1997.
- [8] Baxter International Inc, «History of Medical Innovations in Healthcare,» [En línea]. Available: <http://www.baxter.com/inside-baxter/about/overview/company-history.page>. [Último acceso: 6 febrero 2017].
- [9] Acromag, «INTRODUCTION TO MODBUS TCP/IP,» Wixom, 2005.
- [10] Modicon, «Modicon Modbus Protocol Reference Guide,» Massachusetts, 1996.
- [11] Modbus, «Modbus over serial line specification and implementation guide,» 2006.

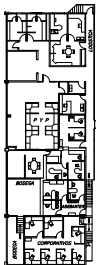
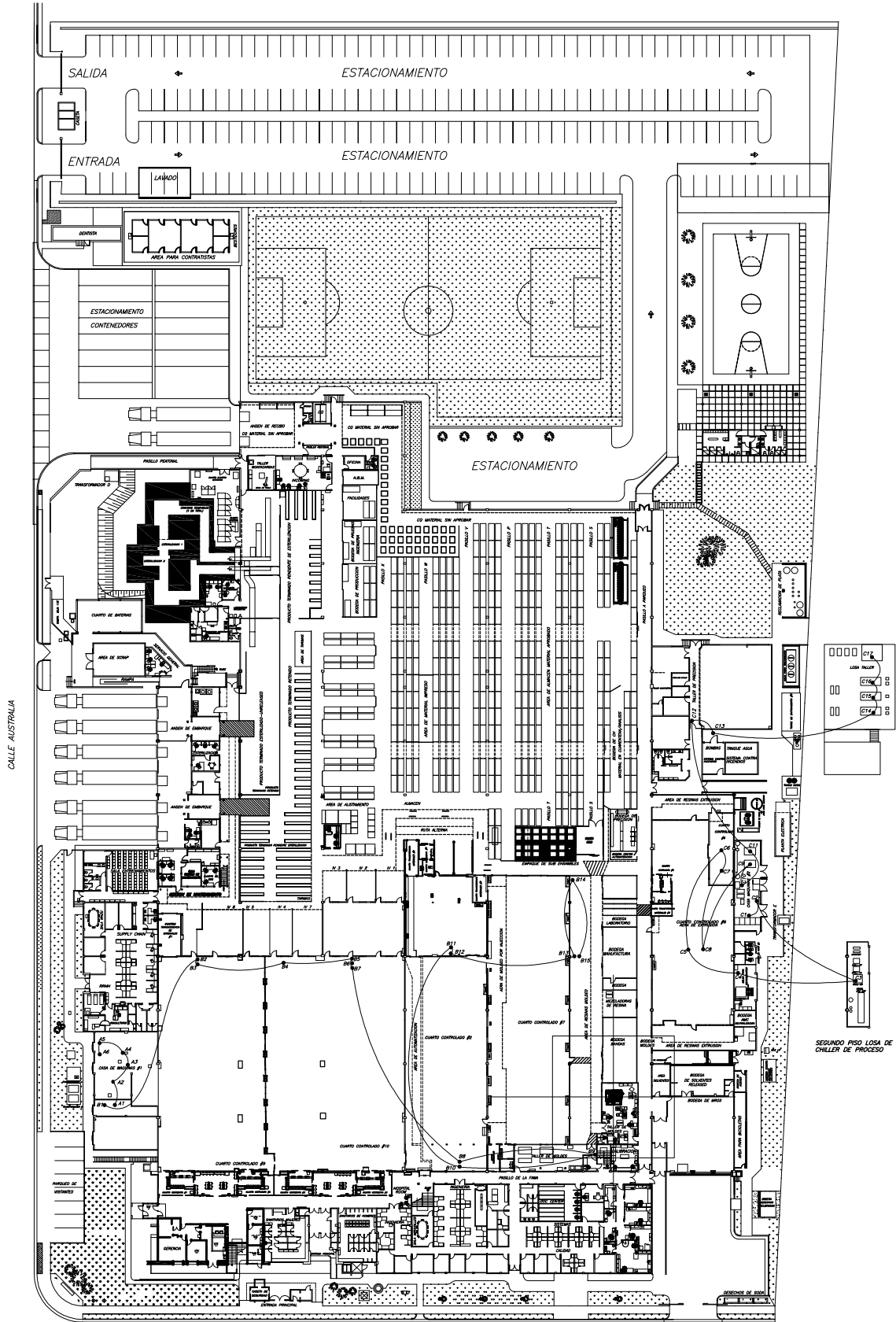
- [12] Schneider Electric, PowerLogic® Circuit Monitor Series 4000 Reference Manual, 2005.
- [13] Schneider Electric, Central de medida PM500 Merlin Gerin, 2005.
- [14] Schneider electric, Register list for PM800 Series Power Meters, 2010.
- [15] Modicon, «Modbus,» junio 1996. [En línea]. Available: [http://modbus.org/docs/PI\\_MBUS\\_300.pdf](http://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf). [Último acceso: 8 febrero 2017].
- [16] J. C. Rojas, «Red PM 500 Rev 1,» Cartago, 2017.
- [17] Control Soft, «Power Rich Systems,» 16 Diciembre 2002. [En línea]. Available: <http://www.powerrichsystem.com/Downloads/RS-485wiringNetworks.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2017].
- [18] Simply Modbus, «Simply Modbus,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.simplymodbus.ca/FAQ.htm>. [Último acceso: 20 Febrero 2017].
- [19] Belden, «Belden,» [En línea]. Available: <http://www.belden.com/techdatas/metric/9842.pdf>. [Último acceso: 21 Febrero 2017].
- [20] Schneider Electric, «PM 210 Public Register List,» [En línea]. Available: [http://www.schneider-electric.com/library/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/SE\\_LOCAL/APS/206105\\_1B5A/PM210\\_Public\\_Register\\_List\\_v3.150.pdf](http://www.schneider-electric.com/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/206105_1B5A/PM210_Public_Register_List_v3.150.pdf). [Último acceso: 20 Febrero 2017].
- [21] Baxter productos médicos ltda., «CR-ML-039,» Cartago, 2015.
- [22] Invensys systems, Inc, Information server administration guide, Lake Forest, 2014.
- [23] All about circuits, «Characteristic Impedance,» [En línea]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-14/characteristic-impedance/>. [Último acceso: 25 Mayo 2017].
- [24] Cisco, «Tecnológico de Monterrey,» [En línea]. Available: [http://www.cca.org.mx/profesores/abc/pdfs/cisco/cisco\\_0.pdf](http://www.cca.org.mx/profesores/abc/pdfs/cisco/cisco_0.pdf). [Último acceso: 25 Mayo 2017].

- [25] Schneider Electric, «Wonderware Historian technical specifications,» [En línea]. Available: <https://www.wonderware.com/industrial-information-management/historian/technical-specifications/>. [Último acceso: 25 Mayo 2017].
- [26] Scheider Electric, Wonderware Historian server concepts guide, Lake Forest, 2016.
- [27] Schneider Electric, MBTCP DAServer User's Guide, 2007.
- [28] Schneider Electric, Powerlogic ethernet communication card, 2001.
- [29] Jasec, «Tarifa media tensión,» [En línea]. Available: <https://www.jasec.go.cr/index.php/catalogo-de-servicios/energia/tarifa-media-tension>. [Último acceso: 29 mayo 2017].
- [30] Telecommunications industry association, Telecommunications Pathways and spaces(ANSI/TIA-569-C ), 2012.
- [31] Economipedia. (11 de Junio de 2017). Rentabilidad. Obtenido de <http://economipedia.com/definiciones/rentabilidad.html>
- [32] Galicia. (8 de Enero de 2013). VAN y TIR: ¿cuánto vale una inversión? Obtenido de <http://www.buenosnegocios.com/notas/247-van-y-tir-cuanto-vale-una-inversion>

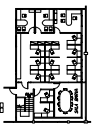


## **Apéndice A**

### **Plano general de la planta indicando ubicación y conexión de medidores PM**

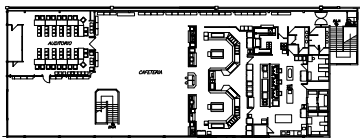


SEGUNDO PISO (ASOCIACION LEARNING CENTER)



SEGUNDO PISO (LOSA DE CHILLER DE PROCESO)

Código	Equipo	Código	Equipo	Código	Equipo
A1	Power Logic CM4000	B1	Power Logic CM4000	C1	Power Logic CM4000
A2	Compresor 8	B2	Tablero A1	C2	Tablero C39
A3	Secador 8	B3	Tablero B110-T5	C3	Chiller 28
A4	Secador 9	B4	Tablero B7-2	C4	Tablero C15-3
A5	Compresor 11	B5	Tablero A36-35	C5	Tablero C1
A6	Compresor 10	B6	Tablero A30-T4	C6	Tablero C55-39
		B7	Tablero A35-17	C7	Tablero C56-T52
		B8	Tablero B44	C8	Tablero C6-T11
		B9	Tablero C43	C9	Compresor 9
		B10	Tablero A7	C10	Secador 10
		B11	Tablero A34-PT7	C11	Compresor 7
		B12	Tablero A24-T7	C12	Tablero C16-3
		B13	Tablero C51-T20	C13	Tablero C40-39
		B14	Tablero C2	C14	Chiller 12
		B15	Tablero C20-T12	C15	Chiller 26
				C16	Chiller 29
				C17	Chiller 27



B.R.		2017-0041	02/28/17	SIN ESCALA		NOMBRE AUTOCAD: <b>DISTRIBUCION PMS</b>	
B.Q.		2016-0814	01/09/17	FIRMA		FECHA	
B.P.		2016-0548	08/12/16	DISEÑADO POR: E. RODRIGUEZ		02/17/17	
B.D.		2016-0385	06/01/16	MODIFICADO POR: B. BRINES		04/08/17	
REV.		# CAMBIO	FECHA	REP. CALIDAD			
DIMENSIONES EN METROS				LAMINA		1 / 1	
				DWG.NO.		LA - 01	
				REV.		B.R.	

TITULO: **LAYOUT GENERAL DE LA PLANTA BAXTER, CARTAGO - C.R.**

Este documento es propiedad de Baxter Biotech Cartago, S.A. y no debe ser copiado, distribuido o publicado sin el consentimiento escrito de Baxter Biotech Cartago, S.A.





## **Apéndice B**

### **Cotización para el entubado de la red de medidores por parte de Tecno Médica**



Cotización N° 2017-044 Rev.N° 01

Hoja 1 de 1

Contacto:

Heiner Robles 2573 5016 / 83193628  
hrobles@tecnomicacr.com

TMI TecnoMédica Montajes Industriales S.A.	E-mail: tmi@tecnomicacr.com	
21/02/2017	Válida hasta: 07/03/2017	Referencia: Reparaciones en PM500

Ing. Luis Víquez  
Baxter Productos Médicos Ltda.  
Teléfono:  
E-mail:

ítem	Descripción de Costo	Total
1	<b>Reparaciones en la red de PM500</b> Instalación de tramos de tubería que faltan, incluyendo los tramos actuales y chiller nuevo Cambio de tramos de cable con empates.	1,546.00

**Total en dólares \$: 1,546.00**

**Valor en letras: Mil quinientos cuarenta y seis US Dólares**

**Notas**

Baxter debe suplir el cable necesario para el cambio de tramos.  
Se estima que se requiere 300m de cable

Validez de la oferta: 15 Días  
Forma de pago: Crédito



# **Apéndice C**

## **Manual de usuario para la hoja de cálculo del indicador de energía**

### **C.1 Aspectos generales del documento**

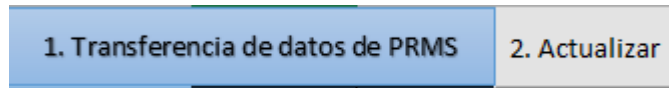
En este documento se detallan aspectos del código programado para el archivo de Excel de energía de Wonderware donde se realiza el cálculo diario del indicador de energía. Se explican las variables utilizadas, además de la función de las rutinas que forman parte del código.

Primero se explicará el funcionamiento general del archivo, donde se mostrará el proceso correcto para el cálculo del indicador de energía y los posibles mensajes que podrían aparecer dependiendo de la ocurrencia de un evento; por ejemplo, el indicador ya se encuentra actualizado. Posteriormente, se explicará el funcionamiento del código de manera general con el objetivo de facilitar la comprensión del mismo. Por último, se tratarán las secciones que falta por implementar, mostrando el código para la plataforma InTouch así como las variables de Historian necesarias para completar la implementación del proyecto.

### **C.2 Manual de funcionamiento**

Para el cálculo del indicador de energía se utilizan dos archivos de Excel: el archivo principal “Energía Wonderware 2017” donde se encuentra el programa de cálculo y OEE.Dispol.xls,

archivo del cual se obtienen los datos de unidades producidas. El archivo principal tiene los dos botones mostrados en la Fig. C.1, los cuales contienen todas las funciones necesarias para actualizar el indicador.



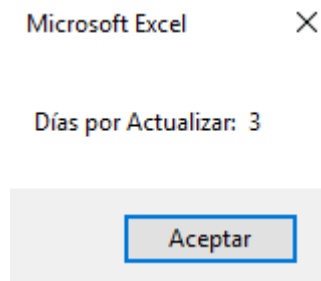
**Figura C.1:** Botones de control para la interfaz del cálculo del indicador de energía. Fuente: Propia.

Como primer paso, se presiona el botón con la leyenda “1. Transferencia de datos de PRMS”. Este botón tiene un hipervínculo al archivo DISPO\_OEE.dtf, tiene la función de actualizar la información en OEE\_Dispo.xls para que contenga la información más reciente de las líneas de producción. Al presionar el botón, se mostrará una pantalla que solicitará el nombre de usuario y contraseña para ejecutar su función. En caso de que el usuario ingresado no exista en este sistema, solicitar acceso a la persona encargada de PRMS. Al ingresar de manera satisfactoria la información solicitada por el sistema y realizada la transferencia de datos, se cierra la ventana emergente.

Posteriormente, se utiliza el botón actualizar para obtener los datos de unidades producidas y consumo energético de las sub estaciones de la planta. El algoritmo presente en este botón se encarga de obtener esta información y ordenarla en la celda respectiva para luego realizar los cálculos necesarios. Además, se actualiza la tabla en la hoja Consumo energía mensual con el indicador mensual correspondiente, lo que actualiza también la gráfica presente en esta hoja ligada a dicha tabla.

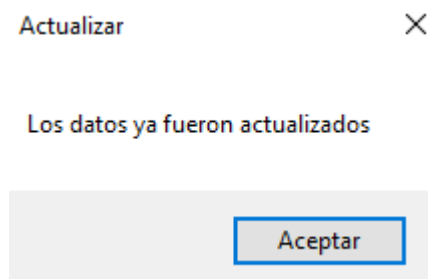
Al presionar el botón actualizar se pueden dar los eventos listados a continuación:

- Se requiere actualizar el indicador: en este caso se muestra el cuadro de diálogo presente en la Fig. C.2. Indica la cantidad de días por actualizar.



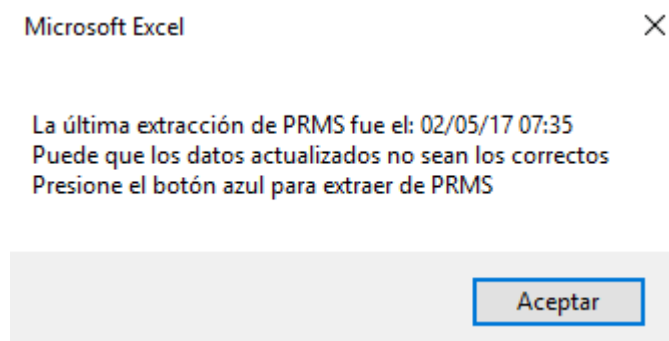
**Figura C.2:** Cuadro de diálogo que indica la cantidad de días por actualizar. Fuente: Propia.

- No se requiere actualizar el indicador: el cuadro de diálogo mostrado en este evento como se observa en la Fig. C.3, indica al usuario que ya se tiene el dato más reciente del indicador.



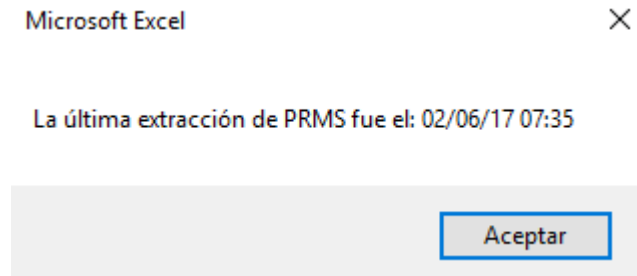
**Figura C.3:** Cuadro de diálogo que indica que no se requiere actualizar. Fuente: Propia.

- No se ha realizado la transferencia de datos de PRMS: este evento ocurre cuando la transferencia de datos de PRMS se realizó algún día anterior al día en que se actualiza el indicador. Al ocurrir esto, se indica al usuario mediante el cuadro de diálogo de la Fig. C.4, que se requiere presionar primero el botón para la transferencia de datos ya que de lo contrario las unidades producidas no corresponden a las producidas totales.



**Figura C.4:** Cuadro de diálogo que indica que la última transferencia de PRMS no fue el mismo día de la ejecución del programa. Fuente: Propia.

- Proceso correcto: esto ocurre cuando la transferencia de PRMS se realizó el mismo día que se actualiza en indicador. En este caso se indica al usuario mediante un cuadro de diálogo (Fig. C.5) la fecha y hora de la última extracción de PRMS.



**Figura C.5:** Cuadro de diálogo que indica que se transfirió por última vez de PRMS el mismo día de la ejecución del programa. Fuente: Propia.

## C.3 Detalles del código para la actualización del indicador de energía

### C.3.1 Variables utilizadas

Esta sección tiene como objetivo presentar un listado y detalle de las variables utilizadas en el código, de manera que sirva como referencia para entender el código cuando se necesite una futura revisión o modificación. A continuación se presenta una tabla con el nombre, tipo y descripción de las variables utilizadas.



**Tabla C.1:** Variables globales utilizadas en el código de automatización del cálculo del indicador de energía. Fuente: propia.

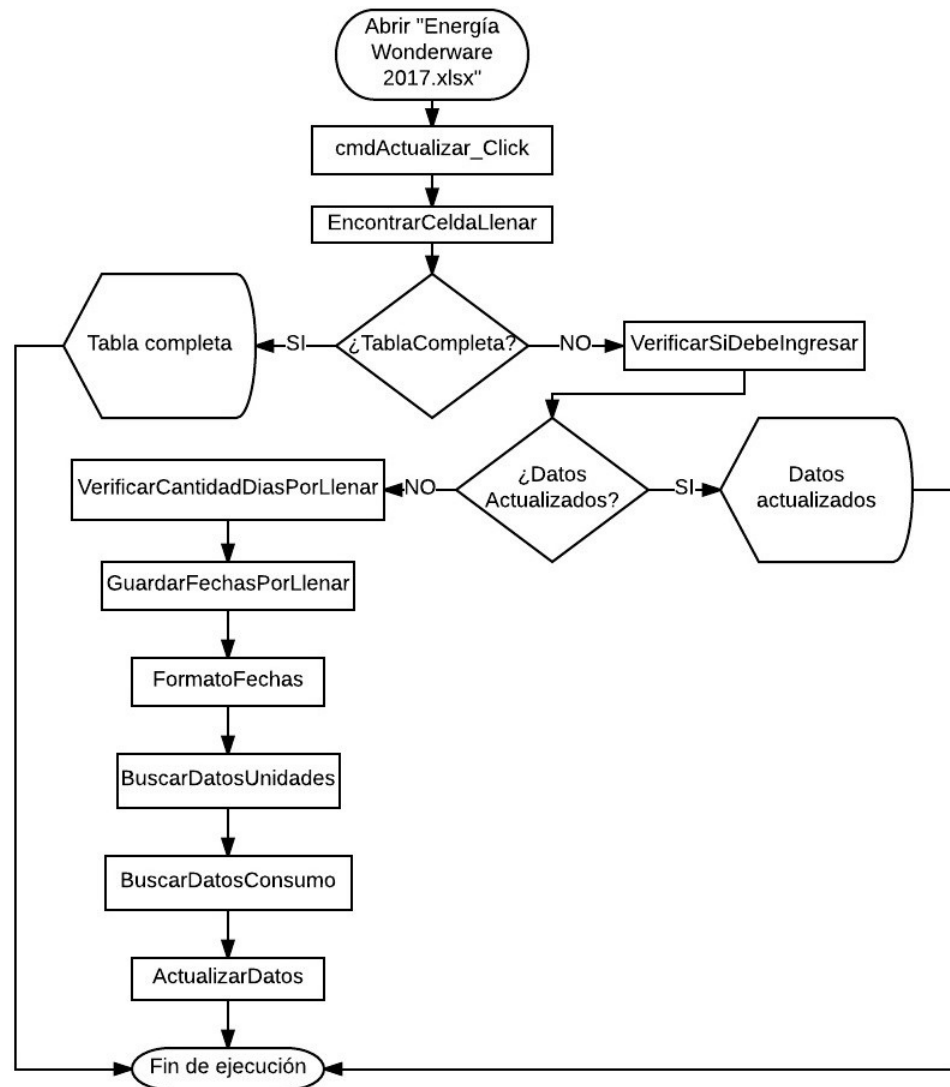
Nombre	Tipo	Descripción
CeldaLlenar	Range	Almacena la celda de primera fecha que se debe actualizar
Hoy	Date	Almacena la fecha en la que se realiza la actualización
HojaTrabajo	Worksheet	Almacena la referencia a la hoja "Consumo energía diario" en el archivo de energía
HojaTrabajoOEE	Worksheet	Almacena la referencia a la hoja "OEE_Dispol" en el archivo de energía OEE_Dispol.xls
HojaConsumoMensual	Worksheet	Almacena la referencia a la hoja "Consumo energía mensual" en el archivo de energía
HojaCompleta	Boolean	Indica si la tabla se encuentra completamente llena
CantidadDiasPorLlenar	Integer	Cantidad de días que se deben actualizar
FechasPorLlenar	Date Array	Almacena el valor de las fechas que se deben actualizar
CeldasFechas	Range Array	Almacena la celda de las fechas que se deben actualizar
Unidades	String Array	Almacena las unidades producidas para cada uno de los días que se actualizan
FechasOEE	String Array	Almacena el valor de las fechas que se deben actualizar con el formato de OEE_Dispol.xls
Path	String	Ruta del archivo OEE_Dispol.xls

**Tabla C.2:** Variables globales utilizadas en el código de automatización del cálculo del indicador de energía (continuación). Fuente: propia.

Nombre	Tipo	Descripción
FileName	String	Nombre del archivo: OEE_Dispol.xls
CeldaFechaOEE	Range	Almacena las celdas de fechas en el archivo OEE_Dispol.xls
CeldaEncontrada	Range	Almacena la celda al final de la búsqueda de cada fecha por actualizar en OEE_Dispol.xls
SumaUnidadesDiarias	Long	Almacena la suma de las unidades producidas por cada línea IV
MedInd	String	Almacena el nombre del mes de fecha actualizada para su búsqueda en la tabla de ind. Mensual
IndicadorMensual	String	Valor del indicador mensual
SubA	String	Valor de consumo de la sub estación A
SubB	String	Valor de consumo de la sub estación B
SubC	String	Valor de consumo de la sub estación C
SubD	String	Valor de consumo de la sub estación D

### C.3.2 Funciones programadas

El programa implementado está compuesto por una función principal llamada `cmdActualizar_Click`, se ejecuta cuando el usuario produce el evento de presionado de botón cuando el botón Actualizar es accionado. Esta función contiene la lógica general del código, por lo que se encarga de llamar las demás funciones programadas como se muestra en el diagrama de flujo de la Fig. C.6.



**Figura C.6:** Diagrama de flujo para el programa encargado de actualizar el indicador de energía. Fuente: Propia.

En este diagrama se muestra el funcionamiento simplificado del programa, de manera que se tenga una visión más clara del flujo en el que se ejecuta. Como se observa cmdActualizar\_Click es la primera función en ejecutarse y seguidamente una a una lo hacen las demás. La tarea que cumple cada una de las funciones programadas en el código se detalla a continuación:

- **cmdActualizar\_Click:** Esta función se ejecuta cuando el usuario presiona el botón “Actualizar”, contiene el algoritmo principal que utiliza las demás funciones programadas.
- **EncontrarCeldaLlenar:** Se recorre la columna “Día” fila por fila para encontrar la pri-

mera celda vacía contigua a alguna fecha, esta celda indica la primera fecha del conjunto que debe ser actualizada. Una vez encontrada se almacena en la variable `CeldaLlenar`, además verifica en caso de que se llegue al último día del año y no se encuentren celdas vacías, si esto ocurre se despliega un cuadro de diálogo notificando que este año se encuentra actualizado y finaliza la ejecución.

- **VerificarSiDebeIngresar:** Como solo se debe actualizar días anteriores al día de la búsqueda, esta función verifica si el valor guardado en `CeldaLlenar` es menor al valor de la fecha en la que se realiza la búsqueda. En caso de ser menor la función devuelve el booleano `True` y caso contrario `False`. Este valor se utiliza para evaluar si el algoritmo debe ejecutar las funciones de actualización, para que estas no se ejecuten cuando no son requeridas.
- **VerificarCantidadDiasPorLlenar:** Se utiliza con el objetivo de tener un control en la ejecución de funciones reiterativas como “For” y “Do While”, además es un valor para dimensionar el tamaño de las variables tipo `Array` que se utilizan en el código. Esta función almacena en la variable `CantidadDiasPorLlenar` la diferencia de días que hay entre la fecha de búsqueda y el valor de fecha por actualizar.
- **GuardarFechasPorLlenar:** Utiliza un ciclo `For` para recorrer las celdas de fechas desde la encontrada por actualizar hasta la fecha de búsqueda mientras las almacena en la variable tipo `Array` `FechasPorLlenar`.
- **FormatoFechas:** El archivo donde se registran los consumos eléctricos utiliza el formato de fecha que se maneja en la planta el cual consiste en `Mes-Día-Año`; sin embargo, el archivo `OEE_Dispol.xls` que tiene la información de unidades, tiene el formato `Año-Mes-Día`. Por esto es necesario pasar las fechas guardadas en `FechasPorLlenar` al formato de `OEE_Dispol.xls`. Para lograr esto se utiliza otra variable tipo `Array` llamada `FechasOEE` que almacena las fechas con el nuevo formato.
- **BuscarDatosUnidades:** Esta función es la encargada de obtener los datos de unidades producidas en las fechas requeridas. Primero, se deshabilita la función del sistema que refresca la pantalla para que el usuario no vea las funciones que vienen posteriormente como la apertura del archivo `OEE_Dispol.xls`. Este documento contiene una tabla de la cual solo se requiere la información de tres columnas que según la nomenclatura de Excel

corresponden a la columna A (Fecha), columna B (Línea de producción) y columna E (Unidades producidas). La columna A contiene las fechas de cuando se realiza un registro en PRMS, la columna B tiene los nombres de las líneas de producción, de las cuales solo se requiere buscar los que tienen el nombre IV X donde X corresponde a un número de 1 a 8.

Posteriormente, se abre el archivo OEE.Dispol.xls y se ejecuta la función **BuscarCeldaFechaOEEYSuma**, la cual primero recorre la columna A buscando el primer día por actualizar, una vez encontrado lo almacena en CeldaFechaOEE para que posteriormente se realice un recorrido de la columna B a partir de la fila de la celda encontrada buscando el nombre de líneas que comiencen con IV. Cuando se encuentra la primera línea IV se almacena en CeldaEncontrada para ejecutar el último recorrido el cual se realiza en la columna E de unidades producidas. Este último recorrido simultáneamente suma las unidades de cada una de las líneas de producción en la variable SumaUnidadesDiarias y una vez terminado el recorrido almacena el resultado en la variable tipo Array Unidades. Este proceso debe de repetirse para todas las fechas que se deben actualizar.

- **BuscarDatosConsumo:** Esta sección utiliza una tabla en el archivo principal “Energía Wonderware 2017.xlsm” la cual está ligada a una base de datos generada y actualizada desde Wonderware InTouch. Esta base de datos almacena la información de consumo de las cuatro sub estaciones a una hora específica cada día. Mediante instrucciones en el código se actualiza la información de esta tabla para que tenga los datos más recientes, posteriormente se obtienen y copian en las celdas correspondientes en la fecha respectiva.

Esta tabla contiene cinco columnas: Fecha, Sub\_A, Sub\_B, Sub\_C y Sub\_D, por lo que para lograr lo anterior se recorre la columna fecha hasta encontrar las fechas requeridas y se almacenan los datos de las columnas en el array que almacena la información de consumo de cada una de las sub estaciones.

- **ActualizarDatos:** Esta función toma las variables Unidades y Consumos para colocar los valores en las celdas correspondientes. Una vez ingresados estos valores, la configuración de fórmulas en las celdas en la tabla calcula el indicador diario y mensual. El archivo mencionado contiene una tabla en la hoja llamada “Consumo energía mensual” donde se almacena el indicador mensual correspondiente para determinar un promedio llamado

YTD (Year To Date) que indica la eficiencia de la planta a nivel anual. Por esto esta función toma el dato del indicador mensual y lo copia en esta tabla donde automáticamente se actualiza el YTD y una gráfica ligada a ésta.

### **C.3.3 Obtención de datos de consumo**

Esta información se encuentra en la base de datos de Wonderware Historian, sin embargo, para obtener estos datos se deben utilizar elementos presentes en Wonderware InTouch. Este programa ya cuenta con una interfaz que muestra diariamente el consumo energético de cada sub estación mediante la resta de la energía acumulada total por cada sub estación con la energía acumulada almacenada el día anterior. Este proceso se ejecuta diariamente a una hora específica y utiliza los tags de energía acumulada del medidor de la sub estación y almacena los cálculos en las variables:

- SUB\_A.ENERGIA\_DIARIA
- SUB\_B.ENERGIA\_DIARIA
- SUB\_C.ENERGIA\_DIARIA
- SUB\_D.ENERGIA\_DIARIA

Estas variables son las requeridas para el cálculo del indicador de energía. Sin embargo, para obtenerlas mediante Excel es necesario configurar algunos elementos en InTouch para generar una base de datos la cual almacenará la información de consumo cuando se ejecute el programa de la interfaz mencionada.

La lista de vinculación es el primer elemento de InTouch requerido de configurar. Se encarga de relacionar el nombre de una tabla con el valor de unos tags del Historian. Por esto esta lista debe tener los tags de consumo listados anteriormente, además de un tag que contiene la fecha del sistema en el momento de almacenarlo como se muestra en la tabla C.3.

**Tabla C.3:** Configuración para la tabla de vinculación de InTouch. Fuente: propia.

Etiqueta	Columna
SUB_A_ENERGIA_DIARIA	SubA
SUB_B_ENERGIA_DIARIA	SubB
SUB_C_ENERGIA_DIARIA	SubC
SUB_D_ENERGIA_DIARIA	SubD
\$DateString	Fecha

Es importante resaltar que como se vincula un tag con el nombre de una columna, este nombre debe ser escrito de la misma manera que se hizo para crear la plantilla de tabla la cual es el segundo elemento que se debe configurar.

La plantilla de tabla determina el formato que tendrá la tabla en la base de datos, por esto debe incluir el nombre de las columnas, tipo de dato que almacenará la columna, el tamaño de estos datos, así como definir si se permite la entrada de datos nulos como se muestra en la tabla C.4.

**Tabla C.4:** Configuración de la plantilla de la tabla para almacenar los datos de energía de cada sub estación. Fuente: propia.

Columna	Tipo de columna	Tamaño	Permitir entrada nula	Tipo de indexado
Fecha	Char	8	NULL	None
SubA	Int	10	NULL	None
SubB	Int	10	NULL	None
SubC	Int	10	NULL	None
SubD	Int	10	NULL	None

Con estos elementos programados se tiene como objetivo crear una tabla que almacenará los datos de consumo de las sub estaciones de forma que se estructure como la tabla C.5.

**Tabla C.5:** Formato para la tabla en la base de datos donde se almacenan los datos de energía de cada sub estación. Fuente: propia.

Fecha	SubA	SubB	SubC	SubD
01/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825
02/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825
03/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825
04/02/17	4422699	6589745	21364159	3476825

Una vez configurados los elementos anteriores, se ingresa el código SQL que se encarga de almacenar los datos de energía utilizando la plantilla para la tabla y la lista de vinculación. Este código se ingresa en el mismo evento donde se encuentra el algoritmo que calcula cada día el consumo diario de las sub estaciones. El código es el siguiente:

- ResultCode = SQLConnect(ConnectionID, ConnectionString)
- ResultCode = SQLCreateTable(ConnectionID, NombreTabla, NombrePlantilla)
- ResultCode = SQLInsert(ConnectionID, NombreTabla, ListaVinculación)
- ResultCode = SQLDisconnect(ConnectionID)

**SQLConnect()** genera una identificación que es almacenada en ConnectionID de manera que las demás instrucción utilizan esta variable para referenciar la conexión; además, ConnectionString son parámetros de conexión propios de bases de datos. En esta variable se tienen los siguientes parámetros:

- Provider: según el manual este dato corresponde a sqloledb
- UserID
- Password
- Database

**SQLCreateTable()** tiene la función de crear una tabla en la base de datos indicada por lo que esta instrucción debe ser ejecutada solo una vez y no de manera recurrente como las demás. Esta función tiene tres parámetros: ConnectionID para referenciar la conexión que se establece



con la instrucción anterior, NombreTabla que indica el nombre que tendrá la nueva tabla y por último el nombre de la plantilla que se configuró en pasos anteriores, para darle formato a la nueva tabla.

**SQLInsert()** es la encargada de almacenar datos en la tabla creada. Para esto utiliza el ConnectionID de igual manera que la anterior, además requiere el nombre de la tabla que se creó con la instrucción anterior de manera que se referencie de la base de datos, por último requiere de la lista de vinculación configurada. Esta función determina las variables que se deben almacenar y en qué columna almacenarlas. En síntesis, esta función ingresa una nueva fila en la tabla con los valores de los tags correspondientes al momento de ejecutar la instrucción. Por último, **SQLDisconnect()** utilizando el ConnectionID cierra la conexión con la base de datos.

Esto concluye con las configuraciones requeridas para InTouch, posteriormente se requiere enlazar una tabla en el archivo de Energía Wonderware 2017 con la tabla de la base de datos creada. Para esto se utiliza la herramienta “From Microsoft Query” ubicada en la pestaña Data de Excel. Sin embargo, antes de utilizar esta herramienta se debe configurar un DataSource mediante “Data Sources (ODBC)” programa que contiene Windows. Al abrir este programa se presiona el botón “Add” en la pestaña User DSN, luego se selecciona el driver SQL Server y se presiona Finish. Esto abre una ventana para indicar datos sobre la base de datos con la que se desea conectar, estos pasos se encuentran detallados en la siguiente sección donde se mencionan todos los parámetros necesarios.

Al crear este Data Source, se crea un puente a la base de datos que se creó en InTouch que se utilizará con Excel para el enlace con la tabla. Para esto se abre la herramienta “From Microsoft Query” ubicada en la pestaña Data, se selecciona el Data Source que se creó en el paso anterior, posteriormente se selecciona la tabla que almacena los datos de energía, así como las columnas necesarias. Al hacer esto Excel crea una tabla con los datos almacenados en la tabla seleccionada, la cual utiliza el programa principal diseñado en Excel.

### **C.3.4 Uso del archivo para otros años**

El código programado para el cálculo del indicador de energía no depende de algún valor presente en la hoja de trabajo, sino que se busca datos y se recorre esta hoja mediante el uso de las celdas. Por esto, este archivo puede utilizarse para el registro del indicador en otros años

simplemente con cambiar las fechas en la primera columna de la tabla. Sin embargo, la sección encargada de obtener el consumo energético de las sub estaciones no fue implementado en el momento en que se redactó este documento, por ello, el cálculo del indicador depende de la configuración que tienen las celdas; por ejemplo, las celdas que pasan la energía de W a kW.

Para utilizar este archivo para otro año se deben seguir los siguientes pasos:

1. Copiar y pegar el archivo de registro del indicador de energía en la nueva ubicación.
2. Cambiar el nombre del nuevo archivo.
3. Seleccionar las celda desde la A4 hasta la última fila de la columna E.
4. Presionar la tecla Supr o Delete.
5. En la celda A4 digitar la fecha correspondiente al primer día del año con el formato MM/DD/YYYY.
6. Con la celda seleccionada halar de ésta hacia abajo de la esquina inferior derecha hasta obtener el último día del año.
7. Seleccionar las celdas desde la J4 hasta la última fila de esa columna y presionar Supr o Delete.
8. El archivo se encuentra listo para uso.

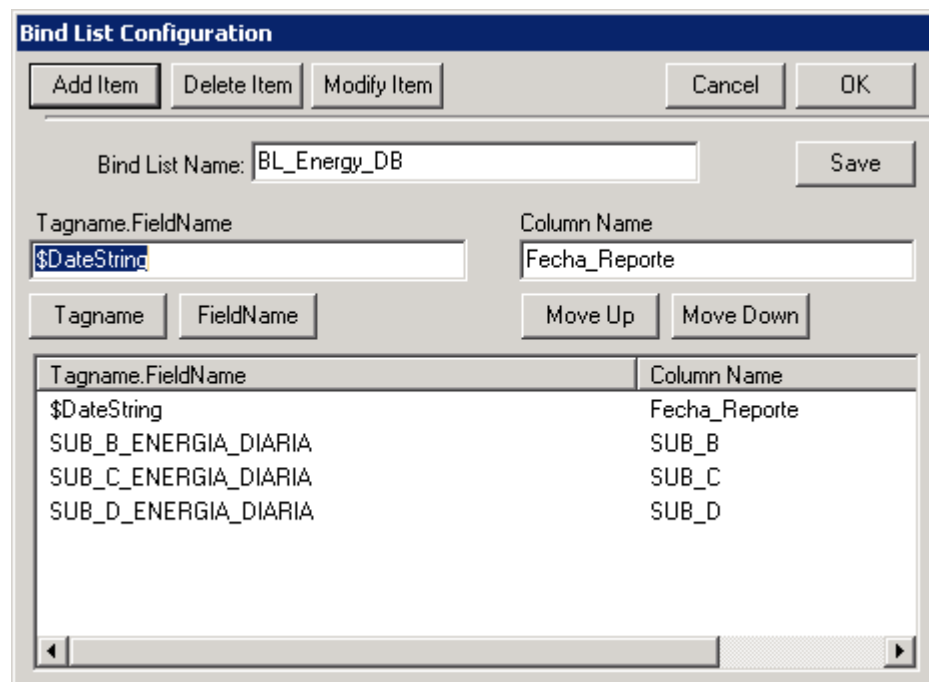
## **C.4 Pasos para la implementación del consumo eléctricos de las sub estaciones**

1. Abrir InTouch WindowMaker.
2. Seleccionar la pestaña Special, luego tagname directory para crear los tags necesarios.
3. En la ventana emergente seleccionar New, en tagname digitar: SUB\_A\_ENERGIA\_DIARIA. Presionar Type/Memory Real. Por último, presionar SAVE.
4. Repetir pasos 2 y 3 para los tags:  
ENERGIA\_SUB\_A\_DATO\_3\_INICIAL,  
ENERGIA\_SUB\_A\_DATO\_2\_INICIAL,

ENERGIA\_SUB\_A\_DATO\_1\_INICIAL,

ENERGIA\_SUB\_A\_DATO\_0\_INICIAL.

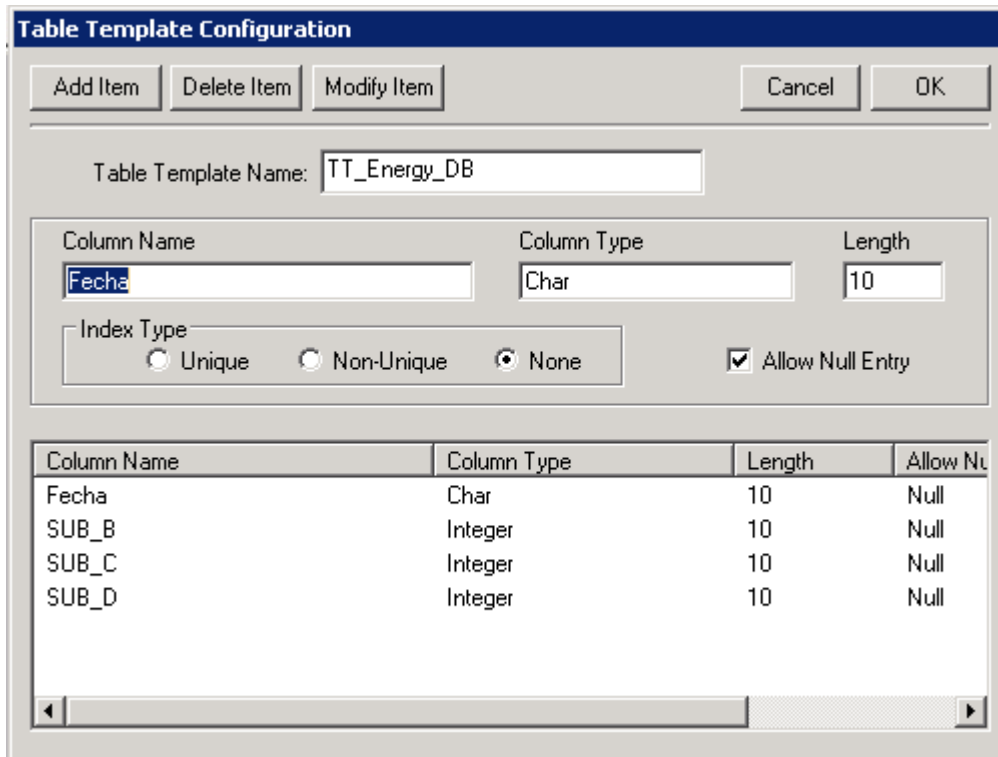
5. En la sección de scripts ubicar el código llamado “\$Hour==SUB\_HORA\_CAPTURA”.
6. En este código agregar las variables de la sub estación A para que sean incluidas en la ejecución diaria donde se modifican los valores de SUB\_N\_ENERGIA\_DIARIA donde N representa las cuatro sub estaciones. El código se encuentra en el archivo “Código para script \$HOUR==SUB\_HORA\_CAPTURA” ubicado en esta carpeta.
7. En InTouch ya se encuentra creada una base de datos llamada “Energy\_DB” para este fin, por lo que no es necesario crearla.
8. En Tools ubicar SQL Access manager. Bajo este menú abrir Bind List y luego modificar BL\_Energy\_DB. Agregar el tag “SUB\_A\_ENERGIA\_DIARIA” creado en pasos anteriores, con el tagname mencionado y el nombre de columna SUB\_A siguiendo con la nomenclatura de los demás tags. Además, éste debe quedar en la segunda posición.
9. Modificar la columna Fecha\_Reporte para que el nuevo nombre de columna sea: Fecha.



**Figura C.7:** Ventana para la configuración de la lista de vinculación. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

10. En Tools ubicar SQL Access manager. Bajo este menú abrir Table template y luego modificar TT\_Energy\_DB. En esta ventana en column Name ingresar: SUB\_A, el column

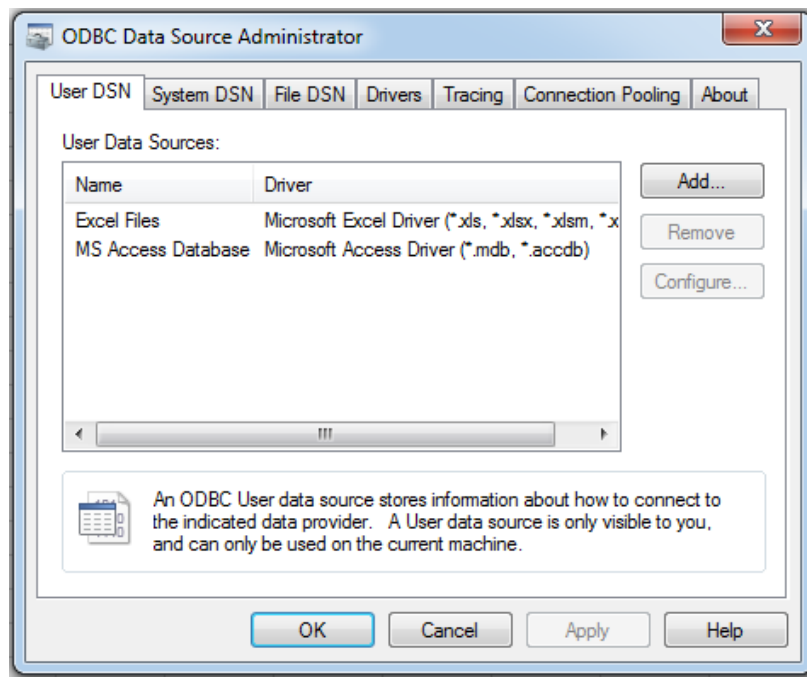
type: integer y el Length: 10. Index: none y seleccionar Allow null entry. Por último presionar add ítem.



Column Name	Column Type	Length	Allow Null
Fecha	Char	10	Null
SUB_B	Integer	10	Null
SUB_C	Integer	10	Null
SUB_D	Integer	10	Null

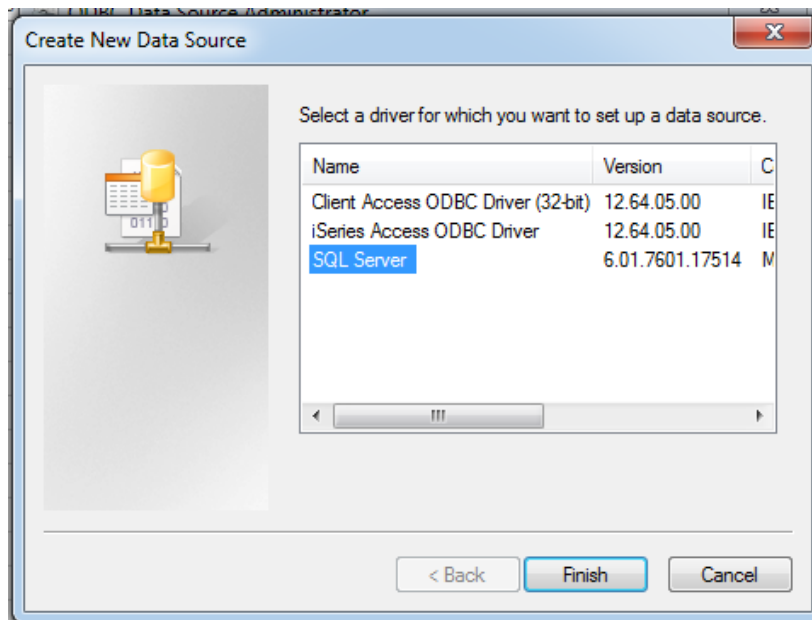
**Figura C.8:** Ventana para la configuración de la plantilla de tabla. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

11. Se concluye con la configuración necesaria en InTouch.
12. Abrir la herramienta “Data Sources (ODBC)” en la computadora donde se tiene el archivo de Excel que calcula el indicador de energía.
13. Presionar el botón Add en la pestaña User DSN.



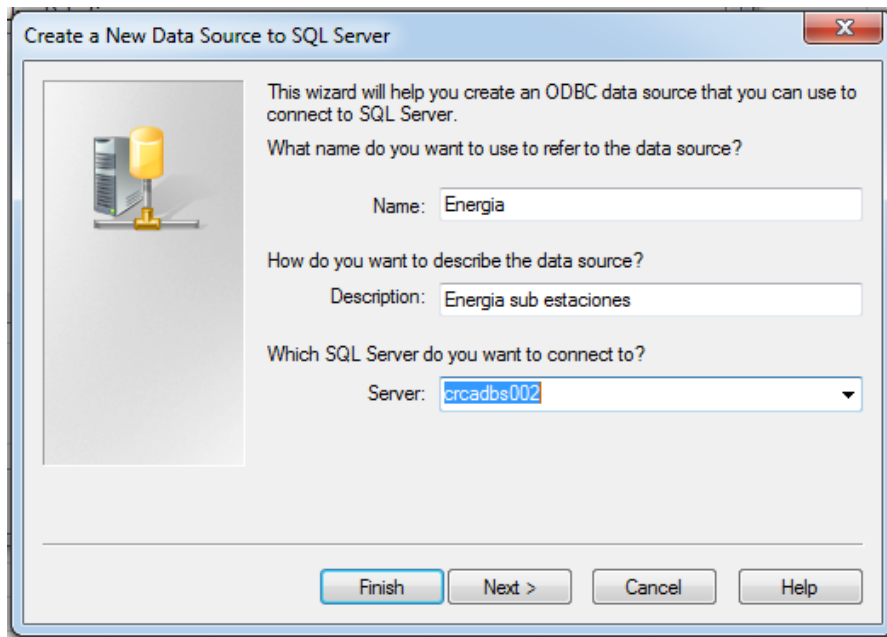
**Figura C.9:** Ventana de inicio para la creación de una fuente de información ("Data source"). Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

14. Seleccionar SQL Server y presionar Finish.



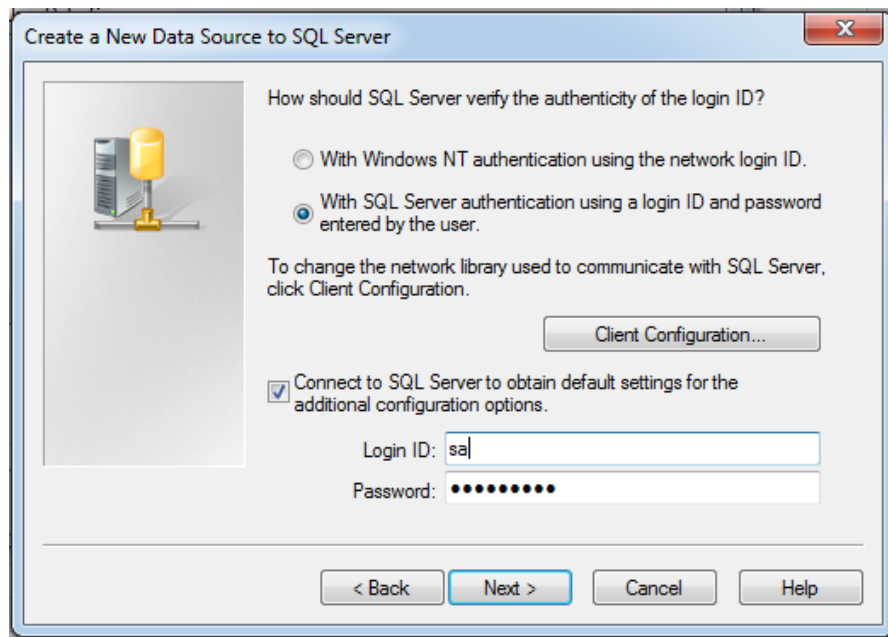
**Figura C.10:** Selección del controlador para la fuente de información. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

15. Definir un nombre para el Data Source, una descripción y por último el nombre del servidor al que desea conectar como se muestra en la Fig. C.11. Presionar next.



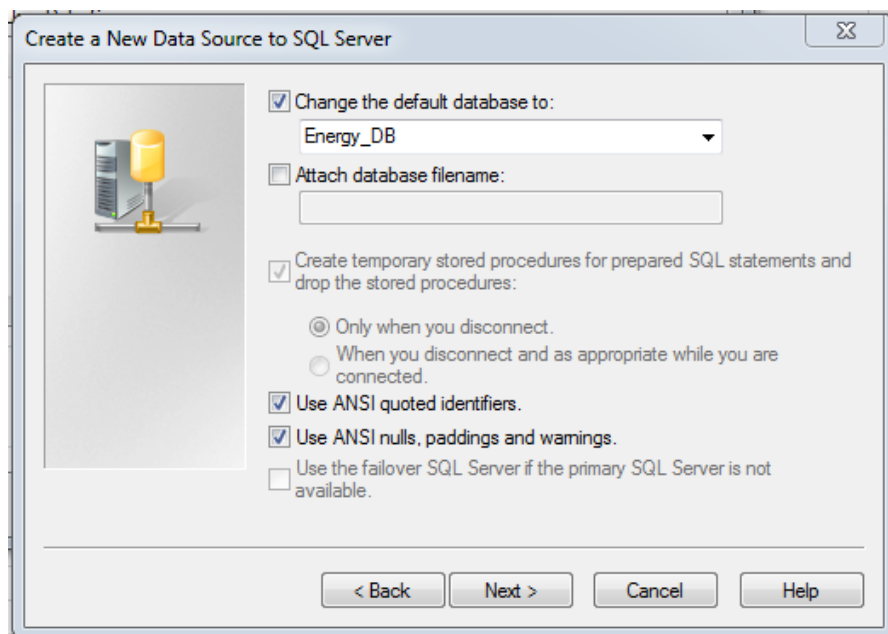
**Figura C.11:** Datos descriptivos generales para la creación de la fuente de información. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

16. En la ventana emergente seleccionar las opciones como se muestra en la Fig. C.12 e ingresar la información de usuario y contraseña mostrada, si no se conoce la contraseña solicitarla al encargado de la plataforma Wonderware.



**Figura C.12:** Datos de usuario para la conexión con la base de datos. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

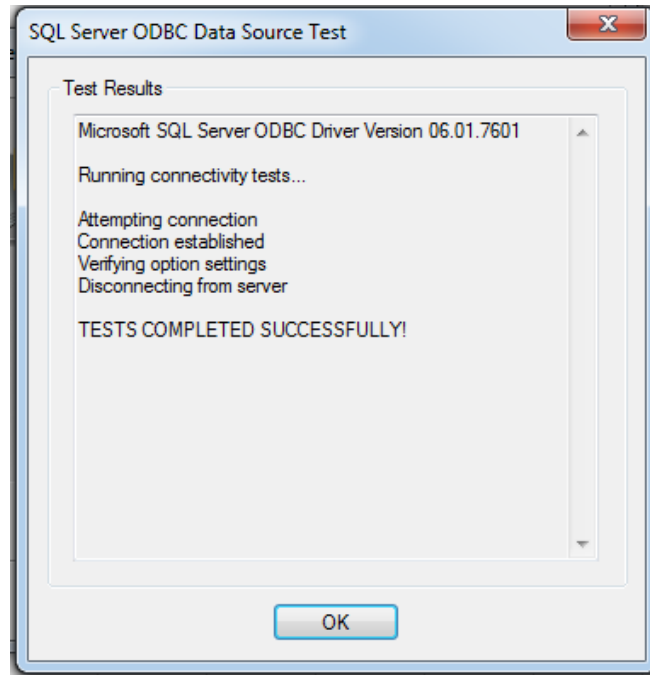
17. Seleccionar “Change the default database to:” y seleccionar la base de datos creada en InTouch (Energy\_DB). Presionar Next.



**Figura C.13:** Selección de la base de datos con la que se desea conectar. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

18. Las opciones de la ventana emergente no se necesitan modificar. Presionar Finish.

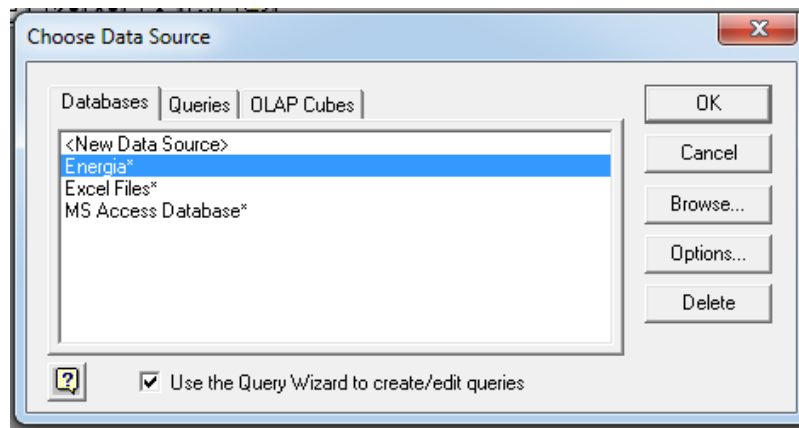
19. Para comprobar que la conexión es correcta presionar “Test Data Source”, en caso de un conexión exitosa se muestra la ventana de la Fig. C.14.



**Figura C.14:** Ventana de comprobación de una conexión exitosa. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

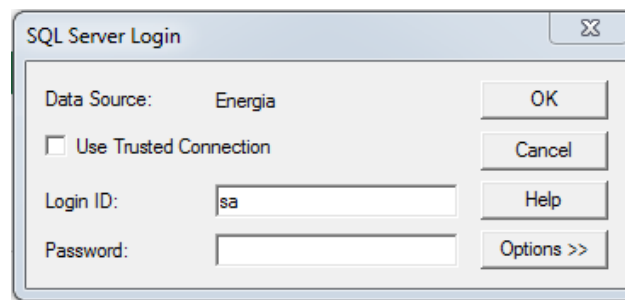
20. Abrir el archivo donde se almacena el indicador de energía. Seleccionar la pestaña Base de datos consumo, si ésta no existe crear una hoja nueva para colocar la tabla enlazada con la base de datos.
21. En la pestaña Data seleccionar From Other Sources, de este menú seleccionar “From Microsoft Query”.
22. Seleccionar el Data Source creado en pasos anteriores y presionar OK.





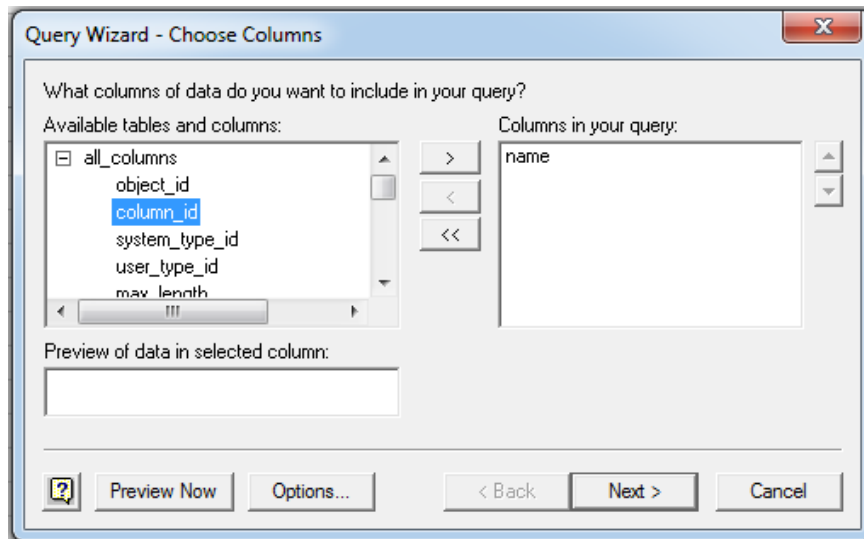
**Figura C.15:** Ventana para la selección de una fuente de información. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

23. En la ventana emergente escribir la contraseña ingresada en pasos anteriores.



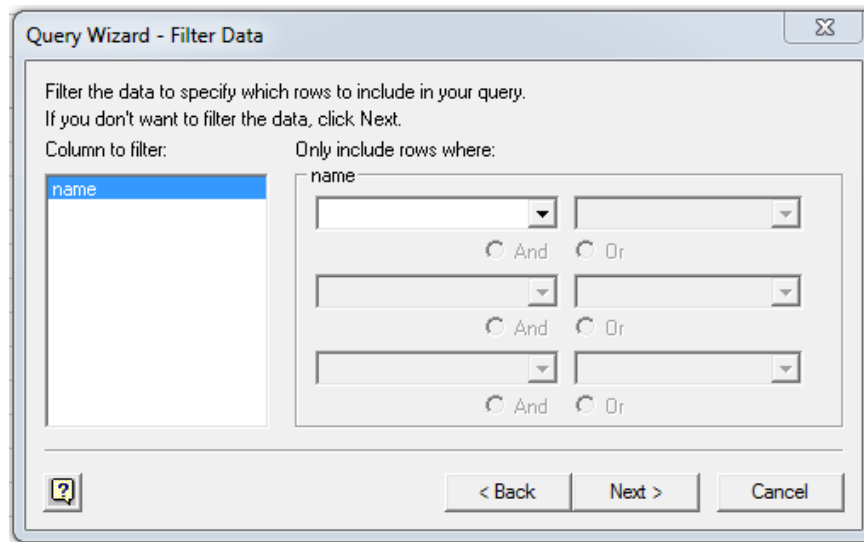
**Figura C.16:** Ingreso de información de usuario para la conexión con la base de datos. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

24. Seleccionar la tabla con el nombre de la tabla creada en InTouch (Datos\_energia\_diaria) donde se almacenan los datos de energía, posteriormente seleccionar cada una de las columnas necesarias Sub\_A, Sub\_B, Sub\_C, Sub\_D y Fecha, presionar el botón con el símbolo “” cada vez que se seleccione una columna para que ésta aparezca el cuadro “Columns in your query”. Presionar next. En la Fig C.17, la columna seleccionada es simplemente para ejemplificar.



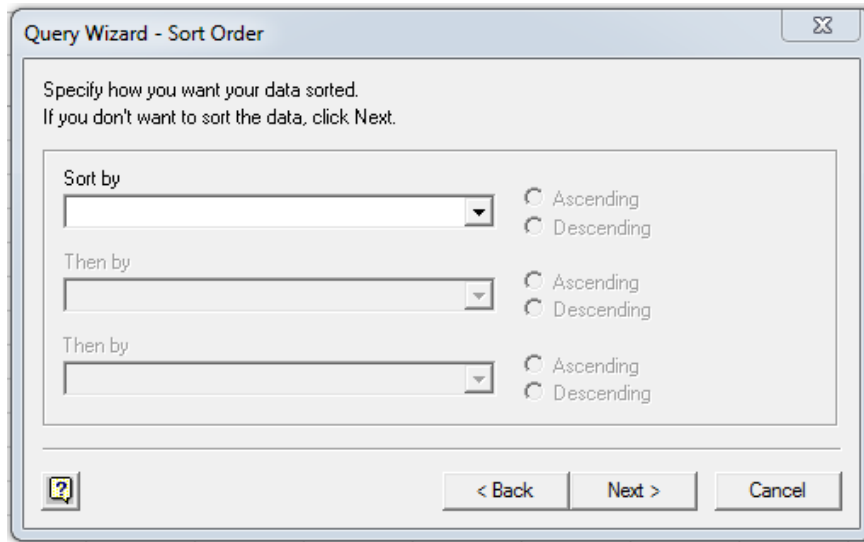
**Figura C.17:** Selección de columnas de la base de datos para ser ingresadas en la hoja de Excel. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

25. En la ventana emergente presionar next, no se desea filtrar las columnas.



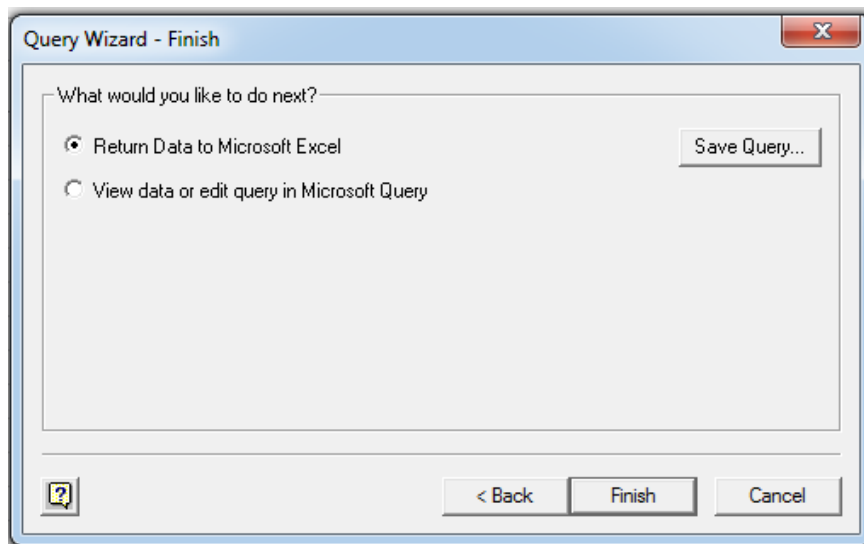
**Figura C.18:** Filtrado de la información proveniente de la base de datos. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

26. Presionar Next.



**Figura C.19:** Ordenamiento de la información obtenida de la base de datos. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

27. Presionar Finish.

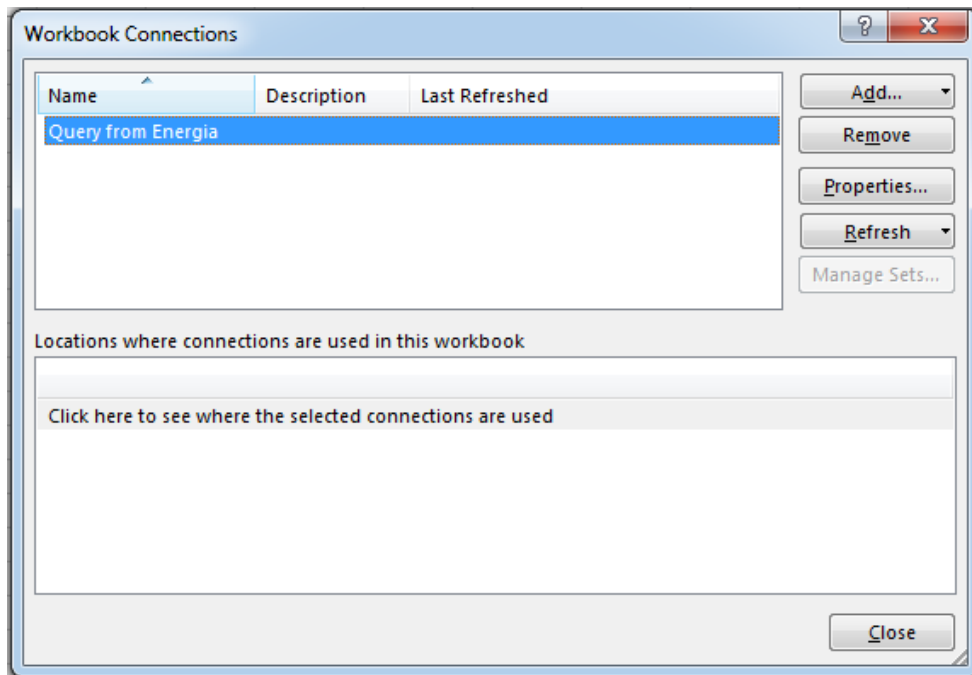


**Figura C.20:** Métodos de visualización de la información proveniente de la base de datos. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.

28. En la ventana emergente seleccionar Table para crear una tabla en la hoja de trabajo, seleccionar "Existing Worksheet" para utilizar la hoja creada anteriormente para esta tabla, además seleccionar la celda donde se ingresará la tabla. Presionar OK.

29. La tabla ha sido ingresada en la hoja de trabajo.

30. Para verificar la conexión, presionar connections en la pestaña Data de Excel. Aquí debe mostrar la conexión recientemente establecida como se muestra en la Fig. C.21.



**Figura C.21:** Listado de las conexiones presentes en el documento de Excel. Fuente: Baxter productos médicos Ltda.