



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL  
DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA  
INTERCAMBIADORES DE CALOR DE ACEITE Y AIRE EN UNA  
PLANTA CERVECERA

Examen Complexivo, Componente Práctico

**Informe Profesional**

Previa la obtención del título de:

**MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL  
INDUSTRIAL**

Autor: Ing. José Luis Falconi R.

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, quienes son los que siempre estuvieron atrás de mí dándome consejos y apoyo para conseguir este triunfo profesional.


A todos mis profesores que aportaron a mi formación profesional y como ser humano.

A Dios por siempre bendecirme a mí y a mi familia.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos, a todos mis seres queridos y a las personas que ayudaron de una u otra manera para la realización de este Informe.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

  
M.Sc. Denny Cortez  
VOCAL

  
Ph.D. Douglas Plaza  
VOCAL

  
M.Sc. Sara Ríos  
PRESIDENTE

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe Profesional, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Jose Luis Falconi R.

Ing. José Luis Falconi Romero

## RESUMEN

Este informe profesional describe el trabajo realizado para diseñar e implementar un sistema de control de una torre de enfriamiento que fue instalada en el área de Compresores de la Compañía Cervecera Ambev Ecuador S.A. y tenía como finalidad principal eliminar la carga de energía térmica del Sistema de Frio anterior (Condensadores Evaporativos).

Originalmente el sistema de frío, específicamente hablando de los Condensadores Evaporativos fue diseñado para trabajar en zonas donde la temperatura de bulbo húmedo no supera los 21°C, la realidad de la zona donde está ubicada la instalación es de 28°C. Por lo tanto el sistema sufre de un subdimensionamiento de +37%. Otro factor importante no considerado en la capacidad original de los condensadores evaporativos es la carga adicional que sufren por la potencia al freno de los compresores, por este motivo el sistema se ve subdimensionado en +10%.

La solución del problema se la desarrolló con el diseño e implementación de la Torre de Enfriamiento con todos sus respectivos subconjuntos (bombas, tuberías, manómetros, termostatos, válvulas, estructuras metálicas de

asentamiento, cableado eléctrico de fuerza, cableado eléctrico de control, programación del PLC, etc). Para automatizar el sistema se utilizó un PLC S7-1200 marca Siemens, el cual contiene pantallas de alarmas, lectura en tiempo real de temperatura y registro de eventos de fallas en un Simatic Panel marca Siemens.

Luego de la implementación del sistema de control de la torre de enfriamiento se pudo eliminar la carga térmica del sistema de frío con los condensadores evaporativos por lo cual se consiguió ser más eficiente en la generación de frío para los Tanques de Fermentación y Maduración y para todos los intercambiadores de calor del área de Elaboración de cerveza, lo cual intrínsecamente colaboró al mejoramiento de muchos parámetros de calidad de la cerveza elaborada en la fábrica, de los cuales los más importantes para recalcar son el “**sensorial**” de la cerveza que cuida los atributos de ella y del “**índice fisicoquímico**” que es el cual establece que los parámetros de calidad estén dentro de especificación.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIA.....	3
RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	8
INDICE DE FIGURAS.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO 1	
SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMETNADA.....	18
CAPITULO 2	
RESULTADOS OBTENIDOS.....	29
CONCLUSIONES.....	39
RECOMENDACIONES.....	40
ANEXOS.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	42



## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Ejemplo de diagrama de bloques de un sistema de control
- Figura 2. Imagen del PLC Siemens S7-1200 montado en el tablero
- Figura 3. Imagen del Simatic Touch Panel montado en el tablero
- Figura 4. Tablero de control de la Torre de Enfriamiento
- Figura 5. Imagen de dispositivos y redes en TIA PORTAL
- Figura 6. Ejemplo de variables del IHM
- Figura 7. Ejemplo de variables del PLC
- Figura 8. Lista de avisos/alarmas del sistema
- Figura 9. Ejemplo del programa en OB1 (MAIN)
- Figura 10. Ejemplo del bloque de Alarmas (OB206)
- Figura 11. Ejemplo del bloque de programa para control PID de temperatura
- Figura 12. Ejemplo de pantalla de configuración básica del PID
- Figura 13. Ejemplo de pantalla de configuración de gráfico PID
- Figura 14. Ejemplo de programa de bombeo
- Figura 15. Ejemplo de programa de eficiencia
- Figura 16. Ejemplo de programa del ventilador
- Figura 17. Imagen de la torre de enfriamiento instalada en Ambev
- Figura 18. Imagen de la sala de máquina de Ambev donde se instaló la Torre de enfriamiento
- Figura 19. Imagen de pantalla de configuración preliminar
- Figura 20. Imagen de parte frontal del tablero con los selectores

Figura 21. Imagen de pantalla de control del ventilador

Figura 22. Imagen de pantalla de control de bombeo

Figura 23. Imagen de pantalla de condiciones de arranque de bombas

Figura 24. Imagen de pantalla de estado de componentes de la Torre

Figura 25. Imagen de pantalla de parámetros de PID de Temperatura

Figura 26. Imagen de pantalla de grafico de PID de Temperatura

Figura 27. Gráfico de reducción de consumo de EE de planta

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo profesional se realizó en las instalaciones de la compañía cervecera Ambev Ecuador S.A ubicado en el km 14 ½ vía a Daule y donde estoy laborando desde el 1 de Agosto del 2010. Este proyecto duró aproximadamente 2 semanas de ejecución hasta la puesta en marcha definitiva donde se pudieron probar todas las funcionalidades del proyecto y verificar los beneficios obtenidos para la compañía. El sector donde se realizó dicho proyecto fue en el sector denominado como Servicio o Sala de Máquinas, donde se encuentran todas las máquinas de generación de energía para la planta (Generadores eléctricos, Calderas, Condensadores Evaporativos, Compresores de Aire y Frío y Planta de CO<sub>2</sub>).

Antes de plantear este trabajo profesional, en el área de sala de máquinas de Ambev Ecuador, se contaba con una problemática ya que originalmente el sistema de frío, específicamente hablando de los Condensadores Evaporativos había sido diseñado para trabajar en zonas donde la temperatura de bulbo húmedo no supera los 21°C, pero la realidad de la zona donde está ubicada nuestra instalación es de 28°C. Por lo tanto el sistema sufría de un subdimensionamiento del 37%. Otro factor importante no considerado en la capacidad original de los condensadores evaporativos es la carga adicional que sufren por la potencia al freno de los compresores, por este motivo el sistema se ve subdimensionado en un 10% adicional. Esto

a la larga mermaba el rendimiento de los compresores y de los sistemas de generación de energía de la sala de máquinas, lo cual originaba un consumo adicional de energía eléctrica que se traducía en impacto en el costo variable para la compañía.

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared.

En el interior de las torres se monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría.

En las torres se colocan deflectores o eliminadores de gotas o niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objetivo de disminuir la posible pérdida de agua. El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a **contracorriente** o a **flujo cruzado**, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación ) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su

humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

Para iniciar el proyecto se tuvo que realizar los dimensionamientos y cálculos necesarios para dimensionar correctamente la Torre de enfriamiento acorde a la necesidad de la planta. Luego se tuvo que empezar a cotizar todos los equipos periféricos y subconjuntos (bombas, tuberías, manómetros, termostatos, válvulas, estructuras metálicas de asentamiento, cableado eléctrico de fuerza, cableado eléctrico de control, controladores y dispositivos de automatización). Algunos subconjuntos, como bombas, válvulas y elementos de automatización, se los tuvo que importar del exterior, por lo cual se esperó 6 semanas aproximadamente hasta la llegada de todos estos implementos a planta. Una vez en planta, se procedió a realizar las instalaciones respectivas de tuberías y montaje del tablero eléctrico donde iba a ser colocado el PLC, la pantalla táctil y demás componentes de Automatización que iban a ayudar al control automático del sistema.

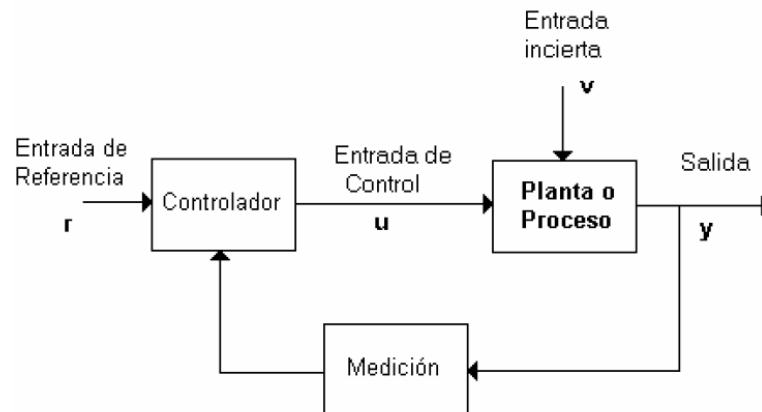
Los equipos y elementos adicionales a la torre de enfriamiento que se instalaron en el proyecto son:

- 2 Moto-bombas de recirculación de agua entre torre y equipos ligados (una bomba esclava y otra stand by para mantenimiento)
- 1 panel eléctrico de fuerza y control (variadores, PLC, panel, etc)

- Instrumentos (termostatos, PT100, presostatos, manómetros, termómetros)
- Accesorios (válvulas de corte, válvulas para by-pass, filtros, válvulas check)

La capacidad de la torre de enfriamiento implementada en este trabajo es de 80 toneladas de refrigeración por hora, las moto-bombas tienen una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/h, la mínima presión de trabajo del sistema es de 8 bares y por supuesto la temperatura de bulbo húmedo de Guayaquil, factor preponderante para la realización de este proyecto, es de 28°C.

Para la implementación del sistema de control se escogió un sistema de control clásico con controladores PID, el cual fue utilizado en la formación de pregrado y fue perfeccionado en la etapa de la Maestría. La razón para utilizar este tipo de control en este proyecto fue que éste ha jugado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia y brinda los medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la calidad y abaratar los costos de producción, liberar de la complejidad de muchas rutinas de tareas manuales respectivas, etc.



**Figura 1. Ejemplo de diagrama de bloques de un sistema de control**

La instalación de los equipos de Automatización donde se realiza el programa que controla el sistema, se lo efectuó con los siguientes equipos:

- PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC)
- SIMATIC PANEL (KTP600 mono PN)
- Módulo de entradas digitales (SM 1221 DI16xDC24V)
- Módulo de salidas digitales (SM 1222 DO8xDC24V)
- Módulos de Entradas/Salidas analógicas (SM 1234 AI4/AO2)
- Switch para interfaz PROFINET



**Figura 2. Imagen del PLC Siemens S7-1200 montado en el tablero**



**Figura 3. Imagen del Simatic Touch Panel montado en el tablero**

El alcance del proyecto correspondía primordialmente a liderar la implementación de la automatización del sistema de control para una torre de



enfriamiento que va a permitir enfriar los siguientes equipos en el área de sala de máquina de Ambev Ecuador:

1. Intercambiador Aire-Aceite Compresor Aire 1
2. Intercambiador Aire-Aceite Compresor Aire 2
3. Chaqueta de Enfriamiento de Cabezotes Compresor de CO<sub>2</sub>
4. Intercambiador de 1era Etapa de Compresor de CO<sub>2</sub>
5. Chaqueta de Enfriamiento de Cabezotes Compresor de NH<sub>3</sub> de Planta de CO<sub>2</sub>

El capítulo 1 describe la metodología que se utilizó para la implementación de este trabajo profesional para darle solución a la problemática que tenía la compañía en la sala de máquinas, detallando cómo se hizo el programa de automatización y que herramientas se utilizaron para alcanzar esa solución.

El capítulo 2 comprende los resultados obtenidos después de la implantación del proyecto con los debidos análisis para algunas propuestas de mejoras para el sistema y por supuesto el aporte de este trabajo profesional a la reducción de un índice energético importante.

# **CAPÍTULO 1**

## **SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA**

La solución tecnológica utilizada para la implementación de este trabajo profesional fue la utilización de sistemas de control PID de temperatura y presión, los cuales fueron programados en un PLC S7-1200 marca Siemens.

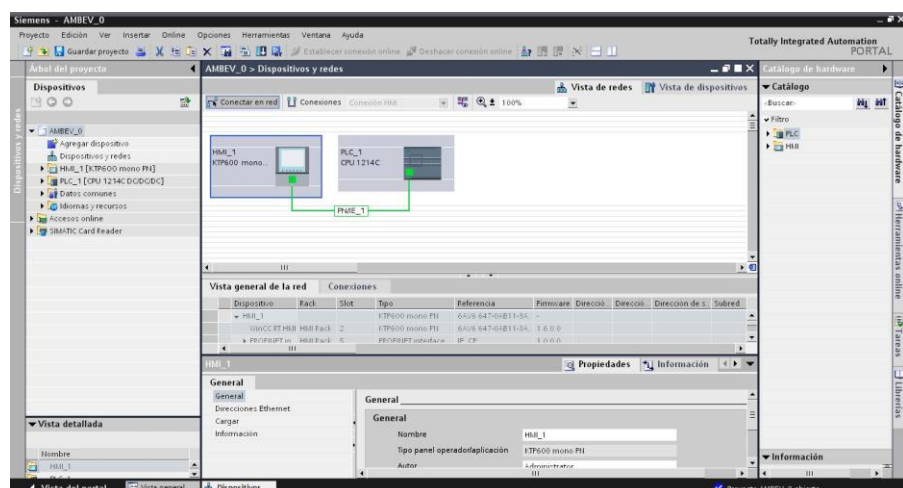
Este programa de automatización contiene pantallas de alarmas, lectura en tiempo real de temperatura y registro de eventos de fallas en un Simatic Panel marca Siemens.

Para empezar con la solución tecnológica de este proyecto se tuvo que utilizar el software TIA PORTAL v11.0 de Siemens, compatible con el PLC e IHM Siemens que se instalaron en el tablero de control.



**Figura 4. Tablero de control de la Torre de Enfriamiento**

El software TIA PORTAL optimiza todos sus procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con su intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es increíblemente fácil de utilizar. Los datos y proyectos preexistentes pueden integrarse sin ningún esfuerzo, lo cual asegura su inversión a largo plazo.



**Figura 5. Imagen de dispositivos y redes en TIA PORTAL**

Luego de la verificación de la conectividad de los dispositivos, se procedió a evaluar todas las variables externas que venían de los periféricos instalados y de las variables internas necesarias para hacer la programación respectiva. En total se tuvieron que utilizar 94 variables para el IHM y 140 variables para el PLC que se distribuían entre internas y externas.

Nombre	Conexión	Tipo de datos	Variable PLC	Dirección
ALARMAS_ALARMA_1	Conexión HMI_1	Word	ALARMAS_ALARMA_1	<acceso simb
TEMPER_2	Conexión HMI_1	Word	TEMPER_2	<acceso simb
VELOCIDAD_BOMBEO	Conexión HMI_1	Word	VELOCIDAD_BOMBEO	<acceso simb
AVISO_ALARM	Conexión HMI_1	Word	AVISO_ALARM	<acceso simb
Número_imagen_variable	<Variable interna>	UShort		
TIEM_P_ALARM	Conexión HMI_1	Time	TIEM_P_ALARM	<acceso simb
T_ON_PURGA	Conexión HMI_1	Time	T_ON_PURGA	<acceso simb
T_OFF_PURGA	Conexión HMI_1	Time	T_OFF_PURGA	<acceso simb
EFICIENCIA_1	Conexión HMI_1	Real	EFICIENCIA_1	<acceso simb
PID_Compact_DB_2_sBackUp_r_Ti	Conexión HMI_1	Real	PID_Compact_DB_2_sBackUp_r_Ti	<acceso simb
TEMPER_AIRE_REAL	Conexión HMI_1	Real	TEMPER_AIRE_REAL	<acceso simb
PID_Compact_DB_2_sBackUp_r_G...	Conexión HMI_1	Real	PID_Compact_DB_2_sBackUp_r_Gain	<acceso simb
PID_Compact_DB_sBackUp_r_Gain	Conexión HMI_1	Real	PID_Compact_DB_sBackUp_r_Gain	<acceso simb
PRESION_MAX	Conexión HMI_1	Real	PRESION_MAX	<acceso simb
PID_Compact_DB_2_sBackUp_r_Td	Conexión HMI_1	Real	PID_Compact_DB_2_sBackUp_r_Td	<acceso simb
PID_Compact_DB_1_sRet_r_Ctrl_Td	Conexión HMI_1	Real	PID_Compact_DB_1_sRet_r_Ctrl_Td	<acceso simb

Figura 6. Ejemplo de variables del IHM

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Comentario
26 PRESION	Word	%MW28	✓	
27 TEMPER_1	Word	%MW30	✓	
28 TEMPER_2	Word	%MW32	✓	
29 CONTROL_TT1	Word	%MW34	✓	
30 SETPOINT_TT1	Real	%MD36	✓	
31 SETPOINT_TT2	Real	%MD40	✓	
32 CONTROL_TT2	Word	%MW44	✓	
33 SETPOINT_PRES	Real	%MD46	✓	
34 CONTROL_PRES	Word	%MW50	✓	
35 ZERO_VEL_VENT	Bool	%M52.0	✓	
36 PASO_INIT	Int	%MW22	✓	
37 HZ_VENTIL	Real	%MD54	✓	
38 INTPRESION	Int	%MW24	✓	

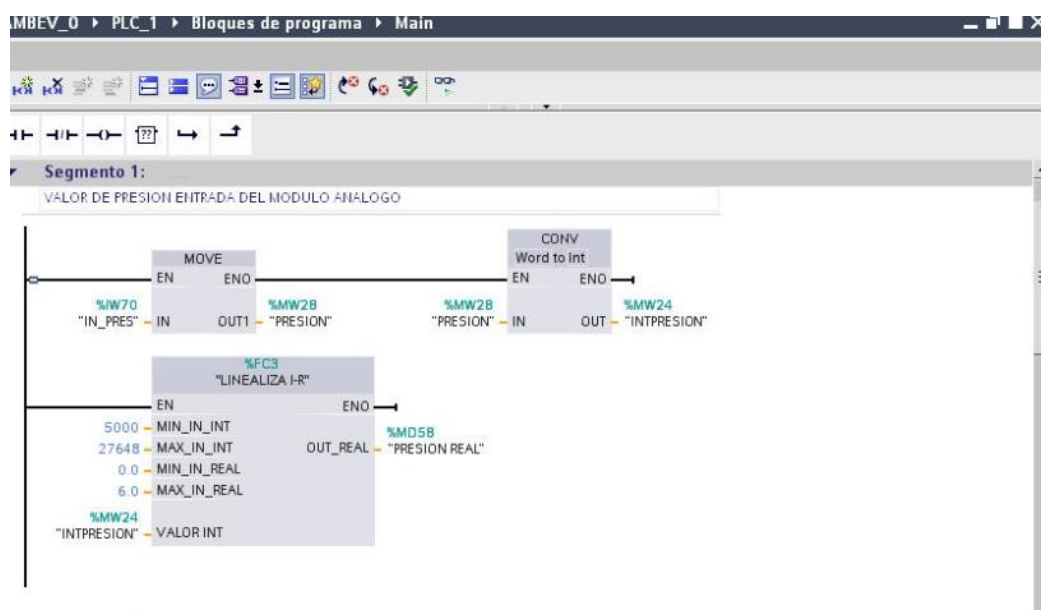
Figura 7. Ejemplo de variables del PLC

También se tuvieron que programar ciertos avisos y alarmas del sistema para que el operador del turno este pendiente o verifique alguna anomalía en el sistema que necesite de alguna acción manual del operador para subsanarla.

ID	Texto del evento	Categoría	Variable de di...	Bit de ...	Variable de ac...	Bit de ...
1	ALARMA DE TEMPERATURA MAXIMA	Errores	ALARMAS_...	4	<Ninguna ...	0
2	ALARMA DE TEMPERATURA MINIMA	Errores	ALARMAS_ALA...	5	<Ninguna vari...	0
3	FALLA TERMICA DEL DOSIFICADOR	Errores	ALARMAS_ALA...	6	<Ninguna vari...	0
4	FALLA EN EL VARIADOR DE	Errores	ALARMAS_ALA...	3	<Ninguna vari...	0
5	ALARMA PRESION MAXIMA EN LA	Errores	ALARMAS_ALA...	0	<Ninguna vari...	0
6	ALARMA DE PRESION MINIMA EN LA	Errores	ALARMAS_ALA...	1	<Ninguna vari...	0
7	FALLA DEL VARIADOR DE	Errores	ALARMAS_ALA...	2	<Ninguna vari...	0
8	STOP DE EMERGENCIA ACTIVADO	Errores	ALARMAS_ALA...	7	<Ninguna vari...	0
	<Agregar>					

**Figura 8. Lista de avisos/alarmas del sistema**

Ya empezando con la programación se tuvieron que utilizar varios bloques de programa entre OB, FC y DB de los cuales el bloque OB1 se lo denomina MAIN y es donde se programó, en formato de diagrama de contactos, los valores obtenidos de las señales analógicas de presión y temperatura por parte de los instrumentos



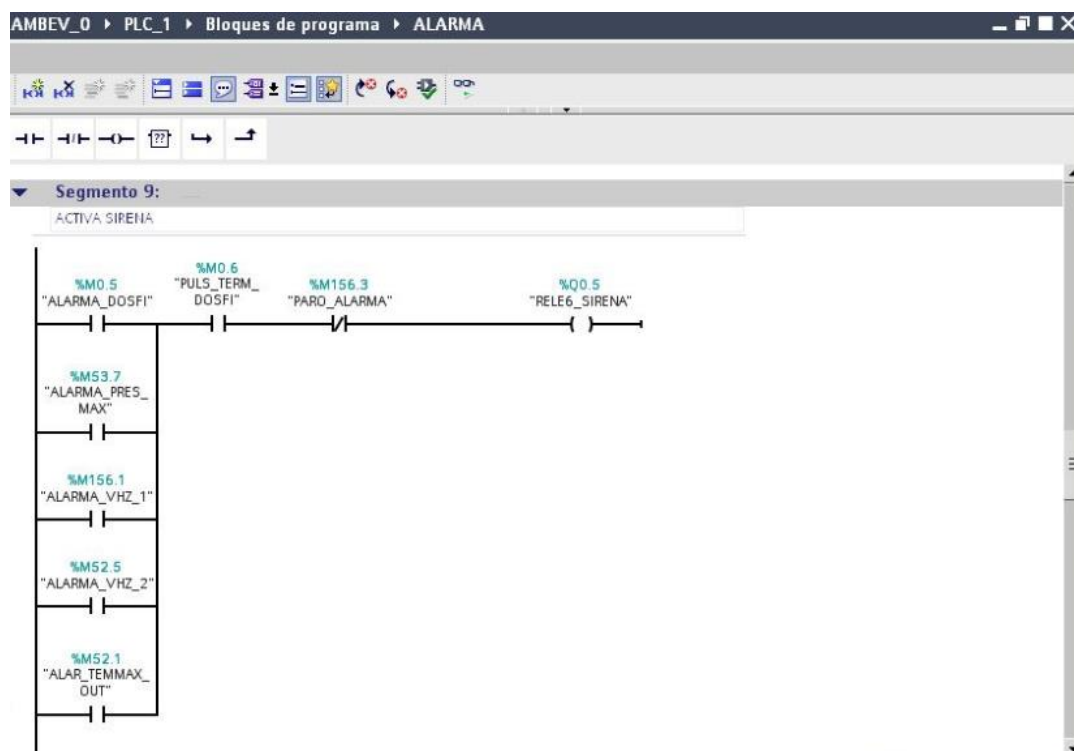
**Figura 9. Ejemplo del programa en OB1 (MAIN)**

En este programa se tuvo que convertir las variables de “Word” a “Int” para poder utilizar el bloque de linealización de señal y podamos limitar las variables analógicas.

Luego de programar este bloque, adicional se tuvieron que programar otros bloques de acuerdo al alcance y requerimiento del sistema, como lo son el bloque de alarmas (OB206), el bloque de bombeo (OB204), el bloque de dosificación (OB201), el bloque de eficiencia (OB205), el bloque de las purgas (OB202), el bloque del ventilador (OB200) y el bloque “Cyclic Interrupt” (OB203) que es donde se programaron los bloques para los controles PID necesarios para el sistema.

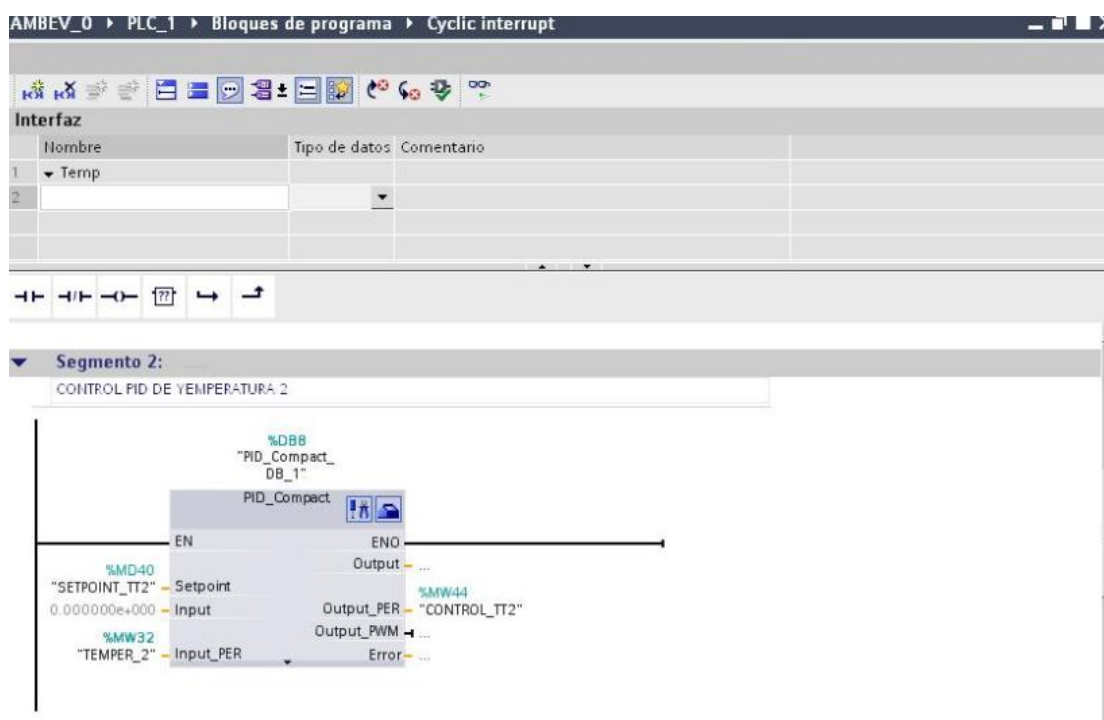
Para la programación del bloque de alarmas se utilizaron señales internas del sistema “M” para así hacer más sencilla la programación. Se colocaron en contactos las señales de alarma provenientes de los variadores, por

temperaturas máximas y mínimas, por problemas de dosificación y por parada de emergencia activada,



**Figura 10. Ejemplo del bloque de Alarmas (OB206)**

En el bloque de programa "Cyclic Interrupt" (OB203) es donde utilizamos los controlador PID de presión para las acciones de bombeo de agua fría según la carga que este requiriendo en la sala de máquinas y el control PID de temperatura para la acción del ventilador el cual va a enfriar más o menos según el requerimiento del sistema y de las cargas.



**Figura 11. Ejemplo del bloque de programa para control PID de temperatura**

En este bloque, gracias a las bondades del software TIA PORTAL, pudimos utilizar un bloque PID preestablecido en la herramienta el cual presenta como entradas los valores del setpoint a donde vamos a controlar, el valor a controlar de entrada y el valor de salida controlada. Adicional a esto y haciendo una simulación del control podemos buscar las constantes del controlador PID utilizando las opciones que nos da la pantalla de configuración del gráfico para el PID que son:

- Autoajuste de primer arranque
- Autoajuste en el punto de operación



En este sistema también se puede configurar los parámetros y los ítems básicos para el PID como se muestra a continuación

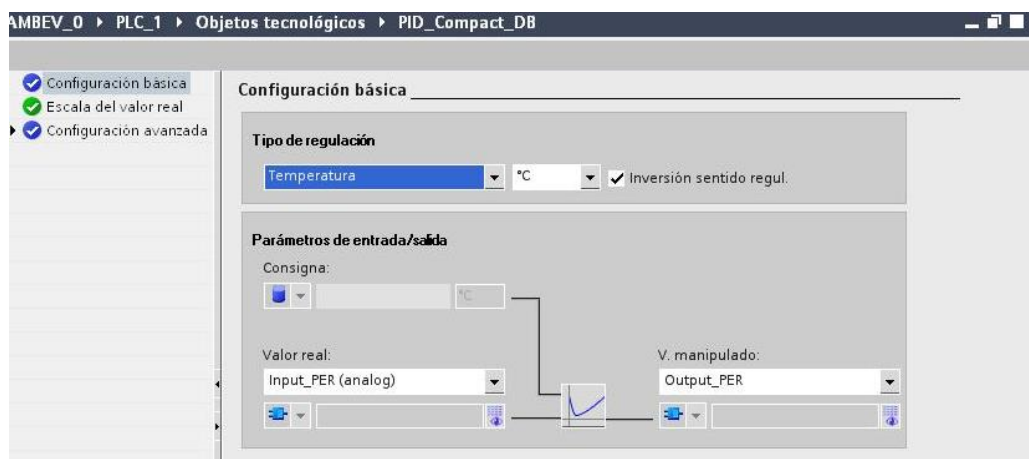


Figura 12. Ejemplo de pantalla de configuración básica del PID

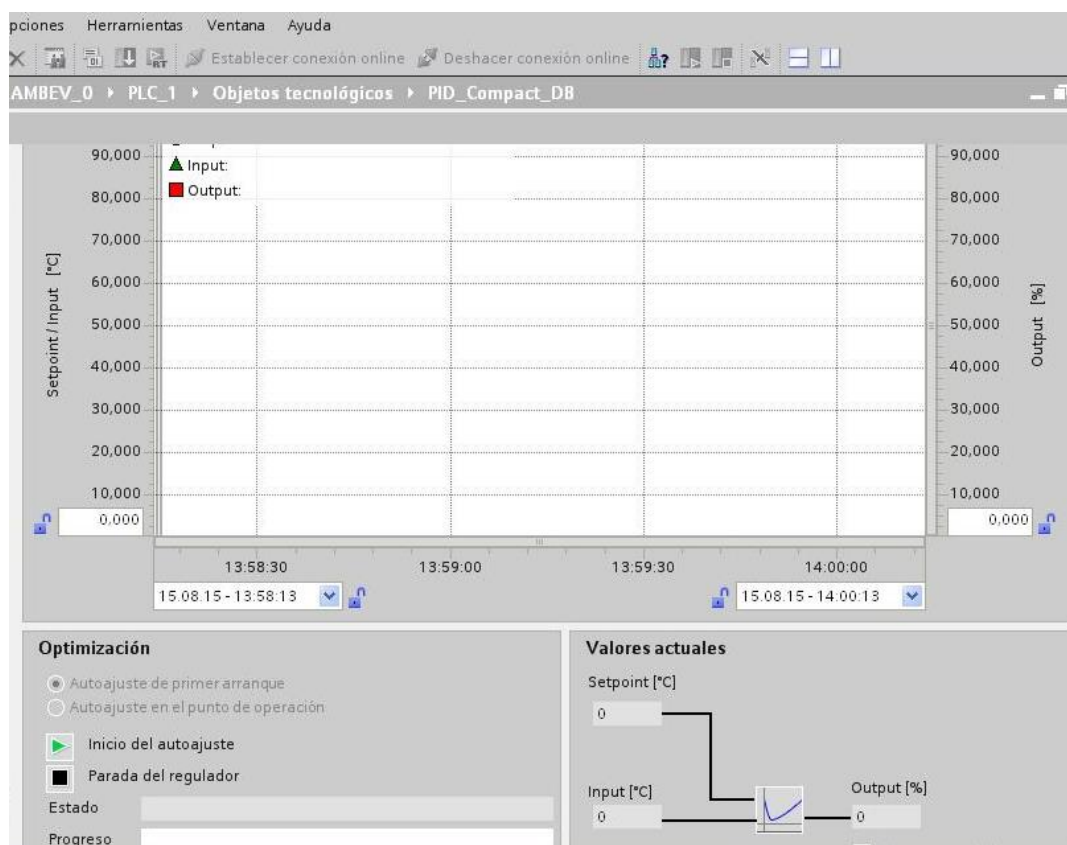
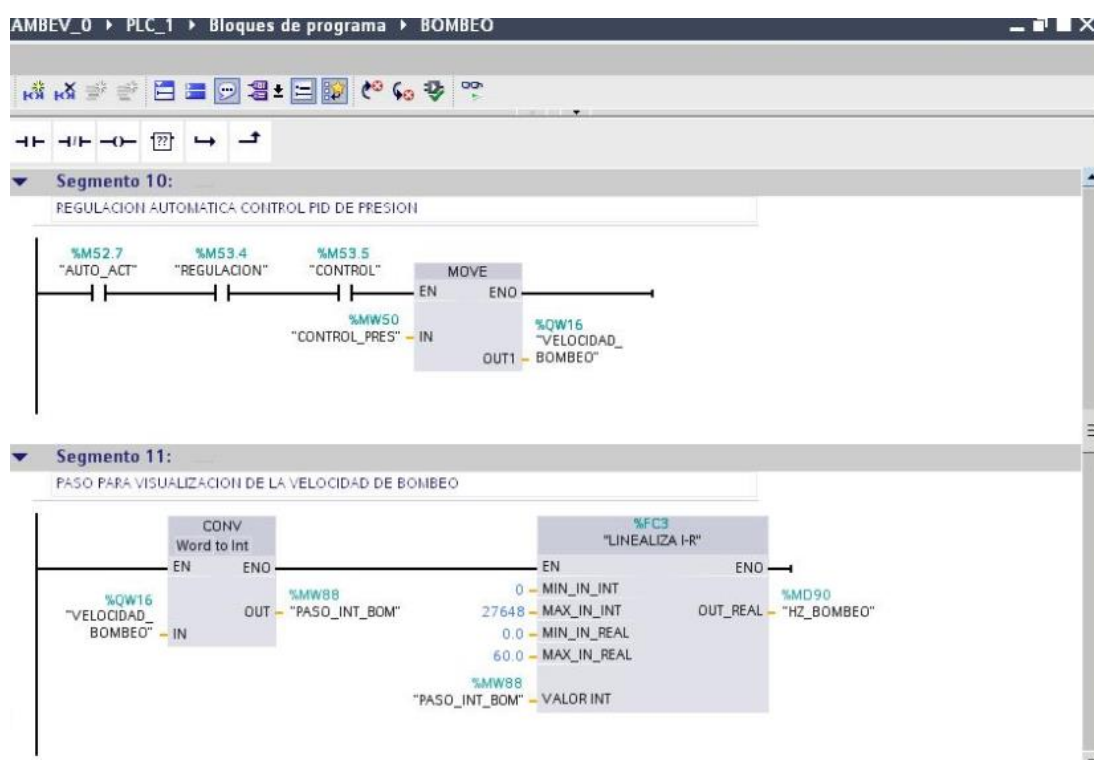


Figura 13. Ejemplo de pantalla de configuración de gráfico PID

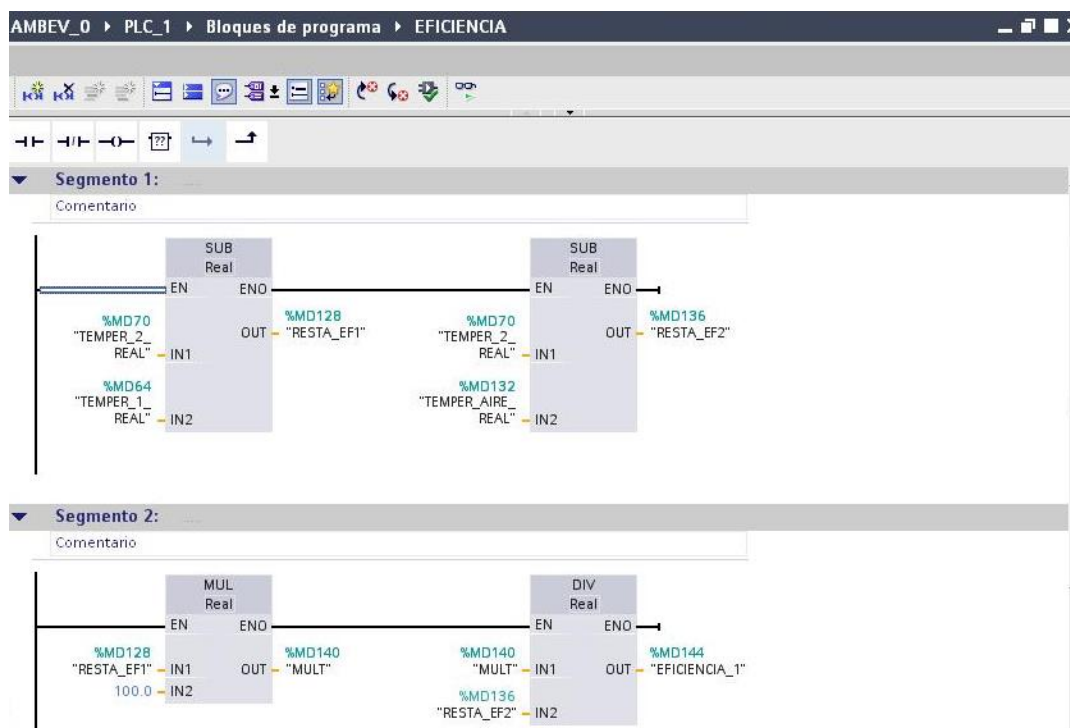
Estas opciones nos ayudan a seleccionar valores correctos para el PID y obtener el mayor provecho de este tipo de controladores para optimizar y estabilizar lo máximo posible nuestro sistema.

En el bloque del bombeo es donde utilizamos nuestro bloque del controlador PID de presión para controlar que la presión de bombeo de agua fría del sistema se mantenga estable y en valores acordes al setpoint (4 bares) requeridos para un buen trabajo de la torre de enfriamiento.



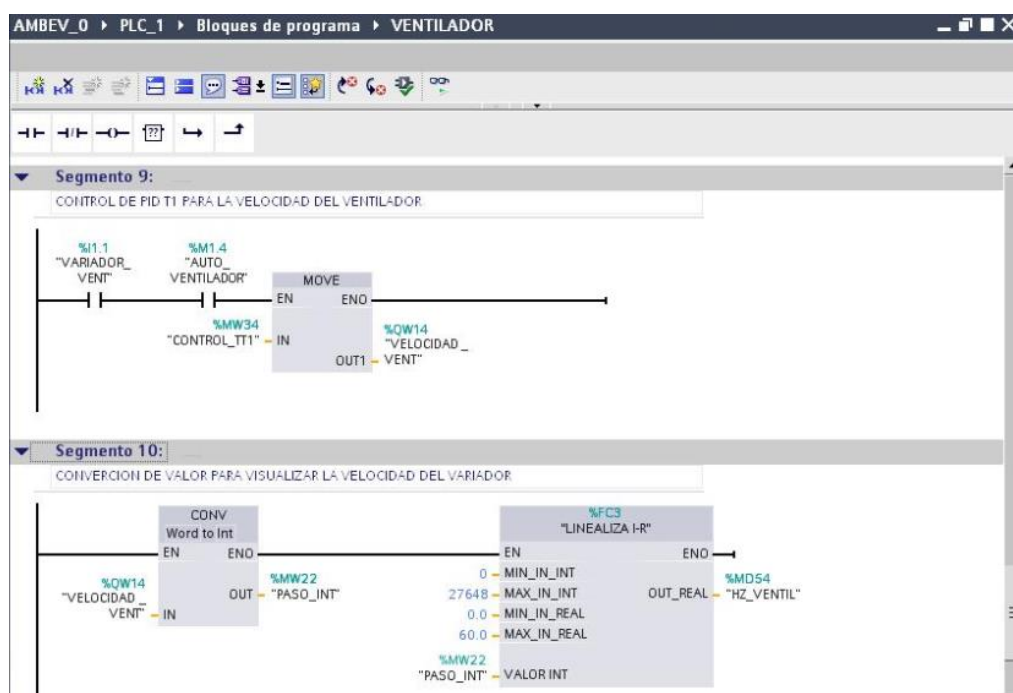
**Figura 14. Ejemplo de programa de bombeo**

En el bloque de eficiencia con la fórmula de cálculo de eficiencia que se la detalla en el programa, obtenemos como resultado la eficiencia instantánea de la Torre en cada una de las etapas de trabajo.



**Figura 15. Ejemplo de programa de eficiencia**

En el bloque de programa del ventilador es donde se haya el otro controlador PID de temperatura para asegurar un buen control de la temperatura de la torre de acuerdo a las revoluciones que se le da al ventilador.



**Figura 16. Ejemplo de programa del ventilador**

Con ello culminamos la explicación del programa del PLC y por ende de la solución tecnológica implementada dado que se lo realizó para el control completo de la torre y todos sus subconjuntos asociados para el enfriamiento de las cargas instaladas en la sala de máquinas.

# CAPÍTULO 2

## RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos fueron muy favorables y todo esto fue soportado en el sistema de control que se programó para el proyecto siendo muy amigable para el operador de la sala de máquina de Ambev Ecuador.



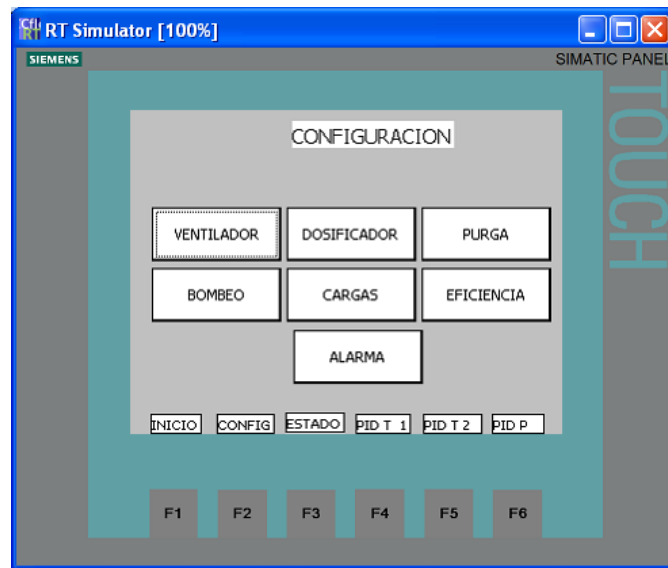
**Figura 17. Imagen de la torre de enfriamiento instalada en Ambev**



**Figura 18. Imagen de la sala de máquina de Ambev donde se instaló la Torre de enfriamiento**

En la imagen anterior podemos ver a la derecha el tablero de control de la Torres de enfriamiento instalado, aledaña a las cargas a enfriar, como son los compresores de aire Kaeser (los equipos de color amarillo), esto para demostrar como quedo la configuración de tuberías y conexiones a las cargas para la obtención de un mejor resultado.

Ya adentrándonos a los resultados que se obtuvieron con el sistema de control, vamos a iniciar explicando brevemente como el operador obtiene resultados del sistema para controlar adecuadamente su proceso. Para comenzar, mostramos la imagen de configuración programada en el SIMATIC PANEL para tener acceso general para configuración del control de la torre de enfriamiento.



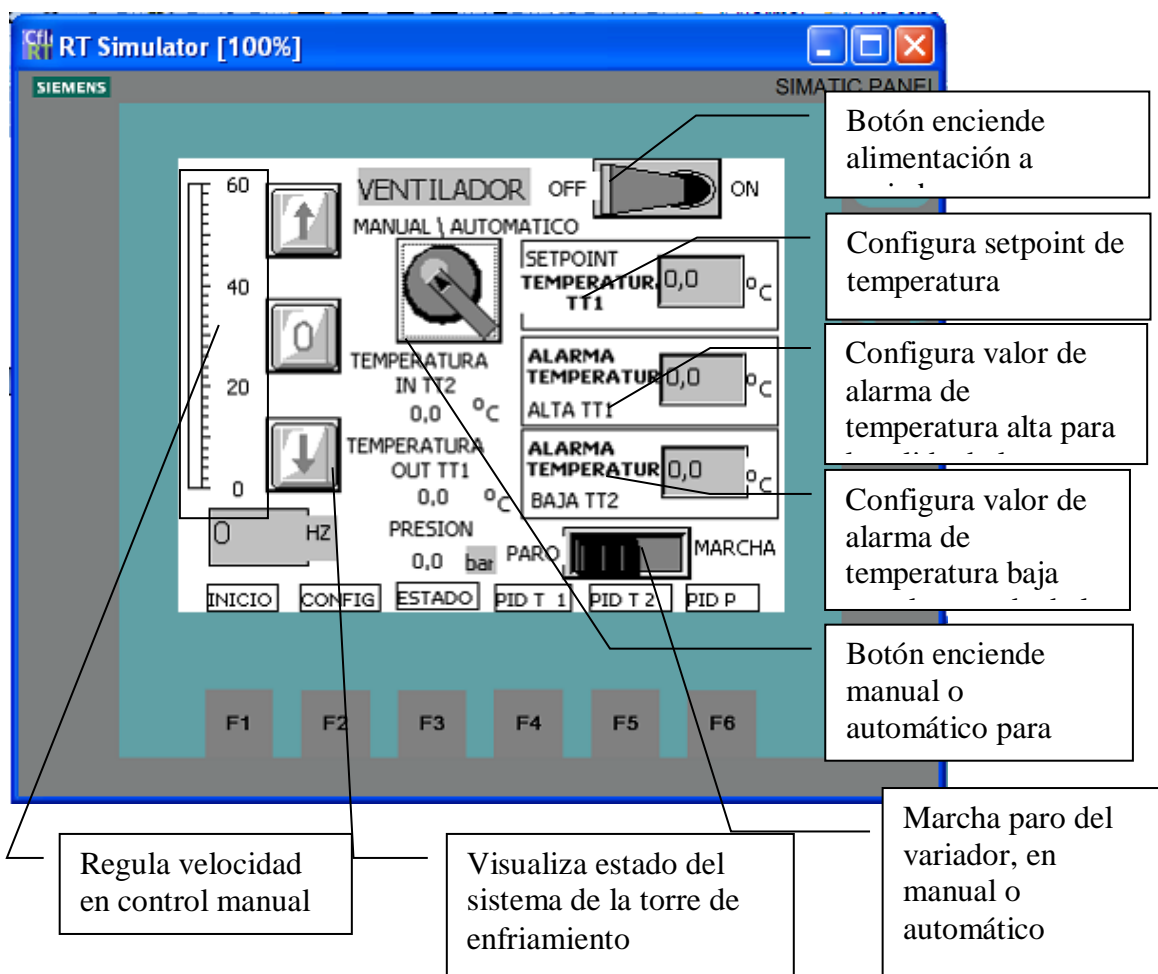
**Figura 19. Imagen de pantalla de configuración preliminar**

El control para el ventilador dependerá del selector en el tablero este en la posición de VARIADOR. Cumpliéndose esto se puede tener el control manual o automático del ventilador con variador para regular su velocidad en la torre.



**Figura 20. Imagen de parte frontal del tablero con los selectores**

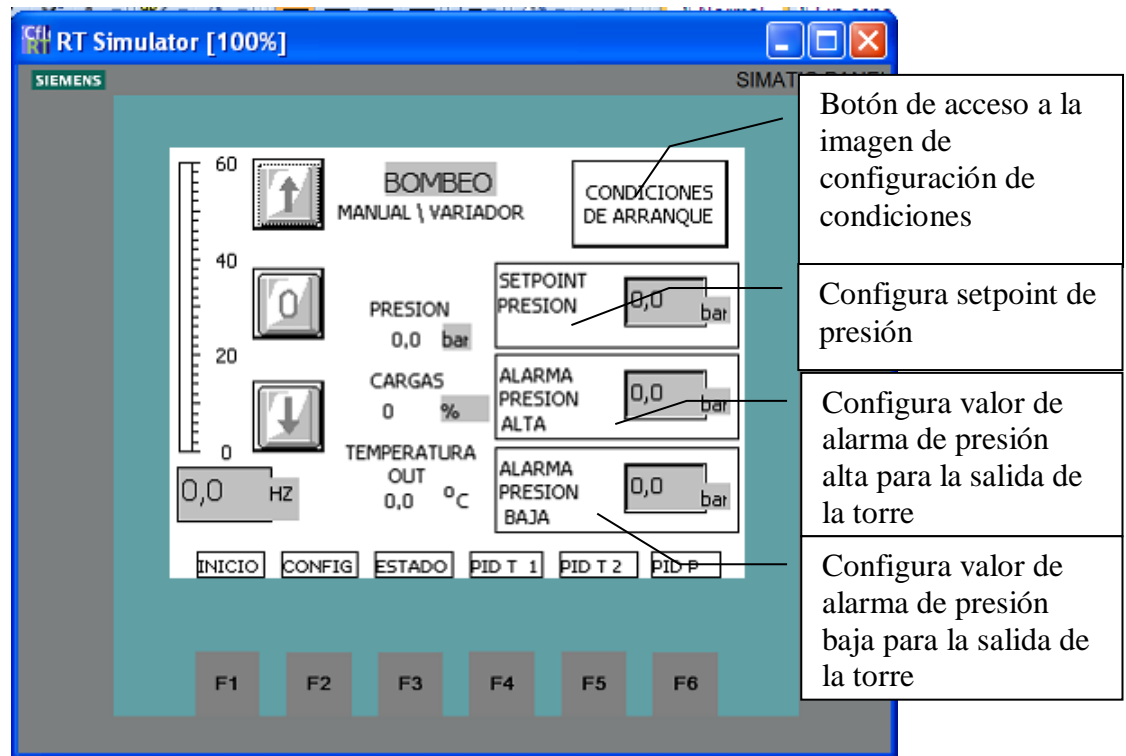
El setpoint de temperatura ajustara el valor de control de lazo PID de temperatura a la salida de la torre, los valores de lazo PID podrán ser configurados directamente del panel o por medio del software STEP 7 BASIC por su programa TIA PORTAL.



**Figura 21. Imagen de pantalla de control del ventilador**

Adicional a esto, también tenemos el control para las bombas que es similar a la pantalla de control de variador.

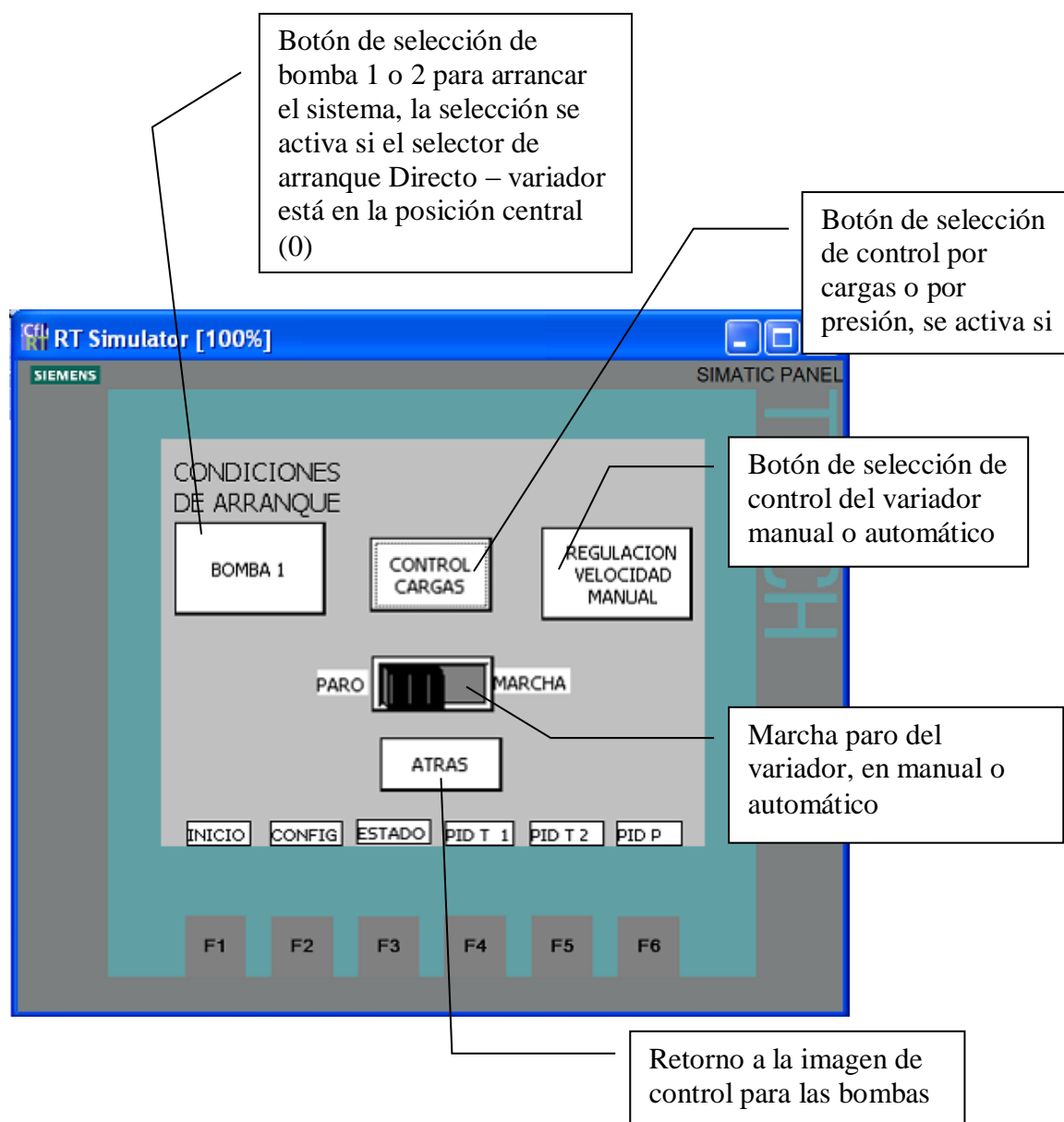




**Figura 22. Imagen de pantalla de control de bombeo**

El control para sistema de bombeo dependerá que el selector en el tablero esté en la posición de VARIADOR. Cumpliéndose esto se puede tener el control automático del ventilador con variador para regular su velocidad en la torre.

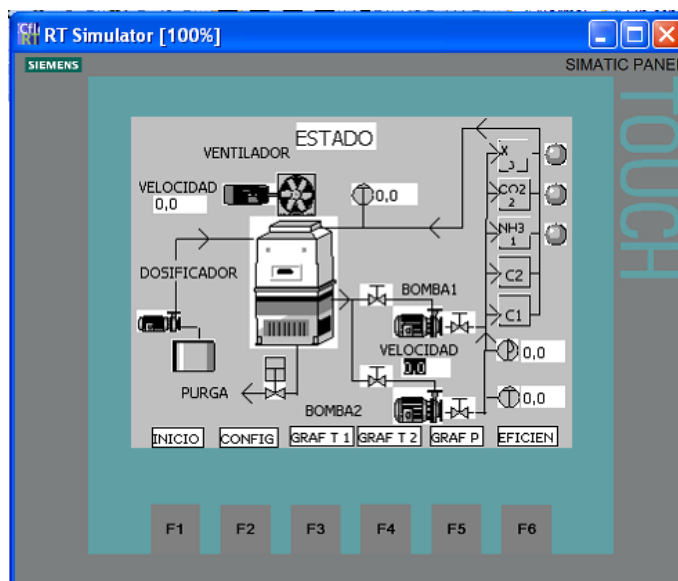
El botón de acceso para condiciones de arranque permitirá que se configuren el control automático o manual del variador. Para las condiciones de arranque se configuró una pantalla con las condiciones de arranque del sistema de bombeo.



**Figura 23. Imagen de pantalla de condiciones de arranque de bombas**

Dado que tenemos instaladas 2 bombas en el sistema, se efectuó una pantalla para seleccionar la bomba con la que se va a trabajar, el control de las cargas a enfriar y si la regulación se la requiere hacer en manual o en automático.

Por supuesto se configuró también una pantalla con la visualización del estado del sistema de la torre de enfriamiento para que el operador del sector tenga la posibilidad de monitorear de forma integral algunos parámetros críticos del sistema.



**Figura 24. Imagen de pantalla de estado de componentes de la Torre**

Debido a la necesidad de tener un sistema de control confiable para la torre de enfriamiento, se configuró una pantalla donde se pueden colocar todos los datos referentes a los parámetros de control PID de temperatura y adicional se colocó un buzón donde se puede visualizar el estado del PID.

Para visualizar el estado del control de temperatura se configuró una pantalla donde se presenta la gráfica instantánea de temperatura para verificar como se está comportando la temperatura durante el transcurso del tiempo.

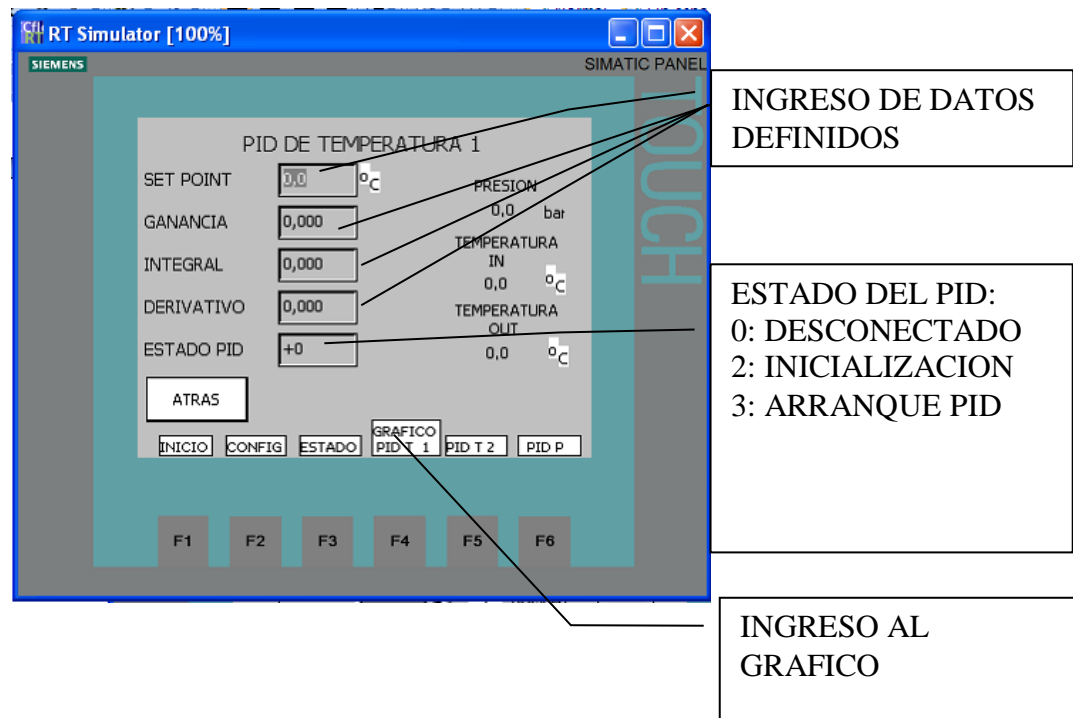


Figura 25. Imagen de pantalla de parámetros de PID de Temperatura

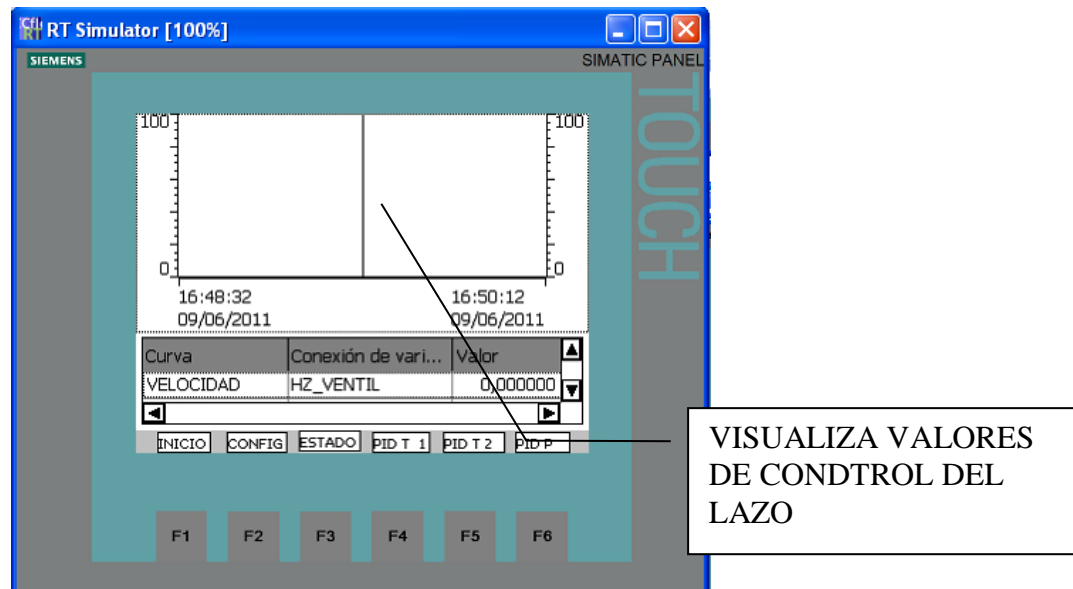
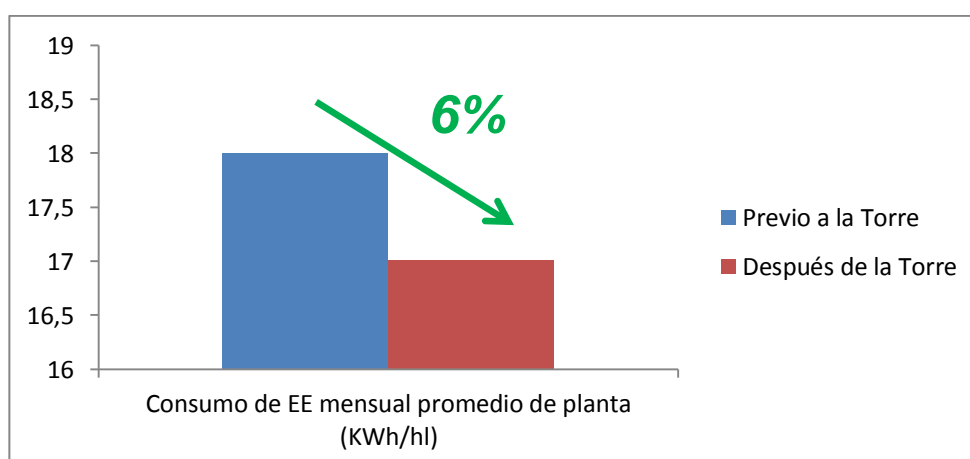


Figura 26. Imagen de pantalla de grafico de PID de Temperatura

Esta pantalla aportó bastante para realizar análisis del sistema y para tomar decisiones con respecto al proceso de enfriamiento, de acuerdo a parámetros nuevos que se estén presentando en el entorno de trabajo, debido a cualquier perturbación o cambio de estado de alguna variable de proceso. Preliminarmente las constantes del controlador PID se las obtuvo del autoajuste que se hizo en la simulación con el software TIA PORTAL, pero también estas decisiones se las ha tomado en consenso con el operador y del supervisor del sector ya que son ellos los clientes que van a requerir el sistema en las mejores condiciones.

El resultado obtenido más claro que se obtuvo luego de la instalación de esta Torre de enfriamiento con sistema automatizado de control de presión y temperatura, fue la reducción del consumo de energía eléctrica bajando un 6% comparando con índices mensuales promedios previos a la implementación de este proyecto.



**Figura 27. Gráfico de reducción de consumo de EE de planta**

Esta reducción del 6% en el consumo de energía nos dio un ahorro mensual de \$5000, lo cual nos ayudó a cumplir las metas anuales debido al cumplimiento de las políticas de ahorro de Energía y Fluidos del global de la compañía y siguiendo el sueño global de “Ser la planta cervecera más grande del mundo en un mundo mejor”.

Un aporte adicional importante que se hizo a la gestión de la Torre de enfriamiento fue que se estandarizó un nuevo sistema implementando un plan de mantenimiento periódico, el cual conlleva a realizar una inspección de parámetros PID del sistema y verificación de las gráficas e históricos de alarmas, para generar un sistema de control más dinámico y siempre se adapte a algún nuevo requerimiento del proceso. Esto gracias a las políticas de mejora continua que tiene la compañía como una de las cerveceras más grande del mundo.

# CONCLUSIONES

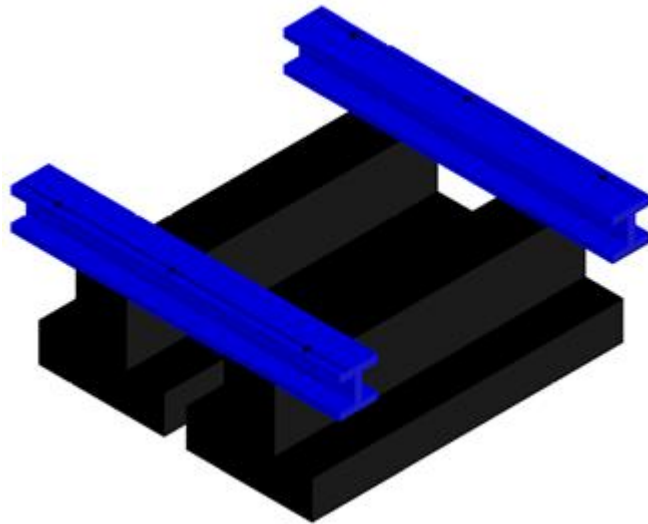
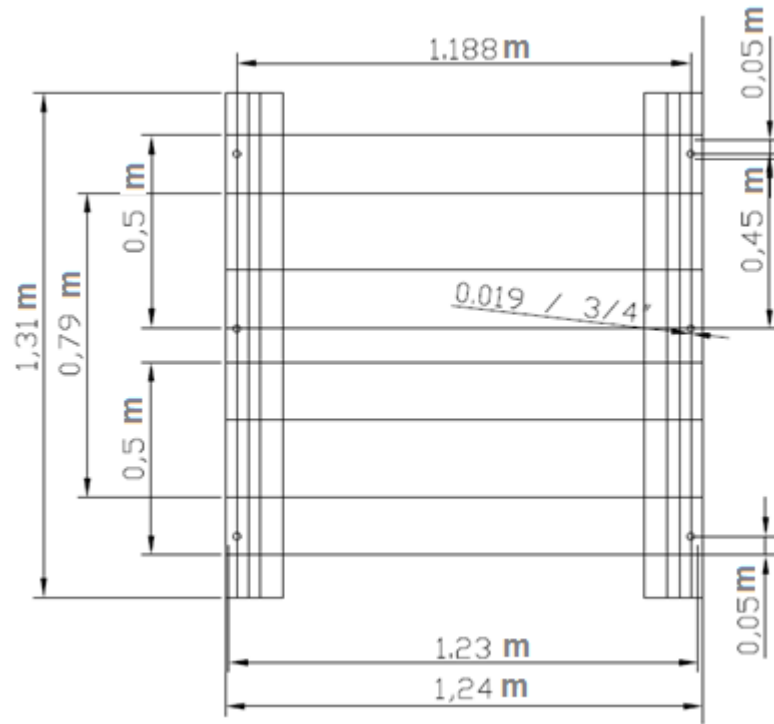
1. La problemática por la cual se desarrolló este proyecto fue similar a la de varias plantas cerveceras de varios países amigos provenientes del grupo corporativo ligado a Ambev Ecuador, por lo cual los aprendizajes y resultados que obtuvieron ellos implementado proyectos similares, se los utilizó para mejorar nuestro sistema de enfriamiento de planta.
2. El objetivo principal del proyecto se lo pudo lograr obtener y se pudo reducir el consumo de energía en el área de sala de máquinas y por ende en la planta en un 6% (\$5000 ahorro mensual para la compañía).
3. La utilización de la torre de enfriamiento en la sala de máquina pudo mejorar el rendimiento de los compresores de aire, Planta de CO<sub>2</sub> lo cual beneficio intrínsecamente a la calidad de la producción de cerveza ya que se pudo entregar energía eficiente y controlada a las áreas consumidoras, como lo son el área de envasado y de elaboración.
4. Este proyecto ayudó a conocer las ventajas de la programación en TIA PORTAL de Siemens ya que tiene la opción de programar el PLC, el IHM y hasta pueden parametrizarse los variadores de la misma marca, todo con un mismo software, lo que hace más amigable y eficiente la programación para la Automatización de un proyecto.

# RECOMENDACIONES

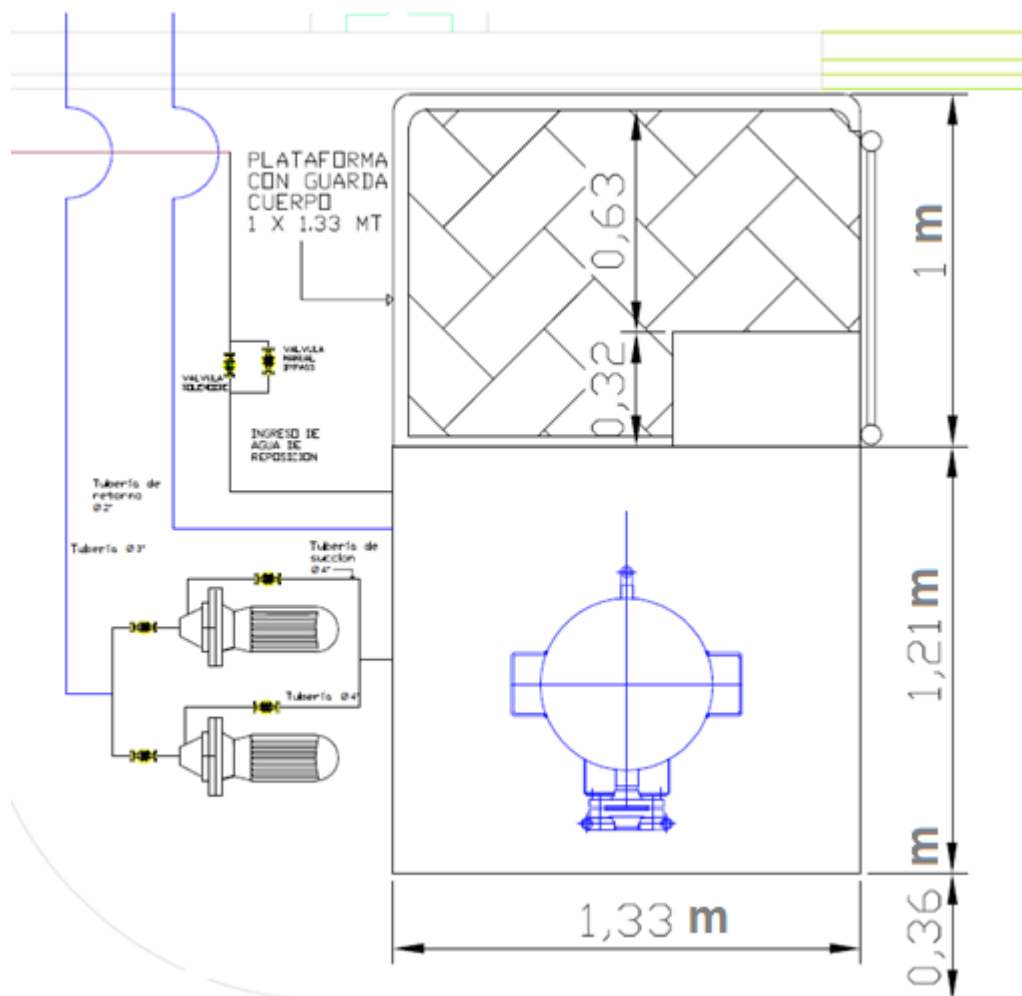
1. Es recomendable, en un futuro añadir las cargas generadas por el chiller de expansión y del tanque desaereador para las Calderas, para así mejorar el rendimiento e integrar la mayor cantidad de equipos al sistema de enfriamiento, por supuesto evaluando previamente si la capacidad actual de la torre debe ser incrementada para la realización de esta mejoría
2. Para programar en TIA PORTAL, es recomendable leer el manual de programación previamente para familiarizarse con el lenguaje y herramientas de usuario que presta este software, con ello se ganará mayor entendimiento de todas las bondades del software y se podrá sacar el mayor provecho a favor de este u otros proyectos venideros.
3. Para conectarse en línea con el PLC y el Touch Panel, es recomendable adquirir un switch de interfaz Profinet con varios puntos de conexión para interconectar a la red todos estos componentes y no tener que conectarse uno por uno debido a la poca cantidad de conectores.
4. Se recomienda el tratamiento del agua a enfriar, agregando álcalis, bactericidas y floculantes; y, realizar un análisis periódico tanto de dureza como de iones cloro ya que éstos iones son causantes de las incrustaciones y de la corrosión en los elementos de la torre.



# ANEXOS



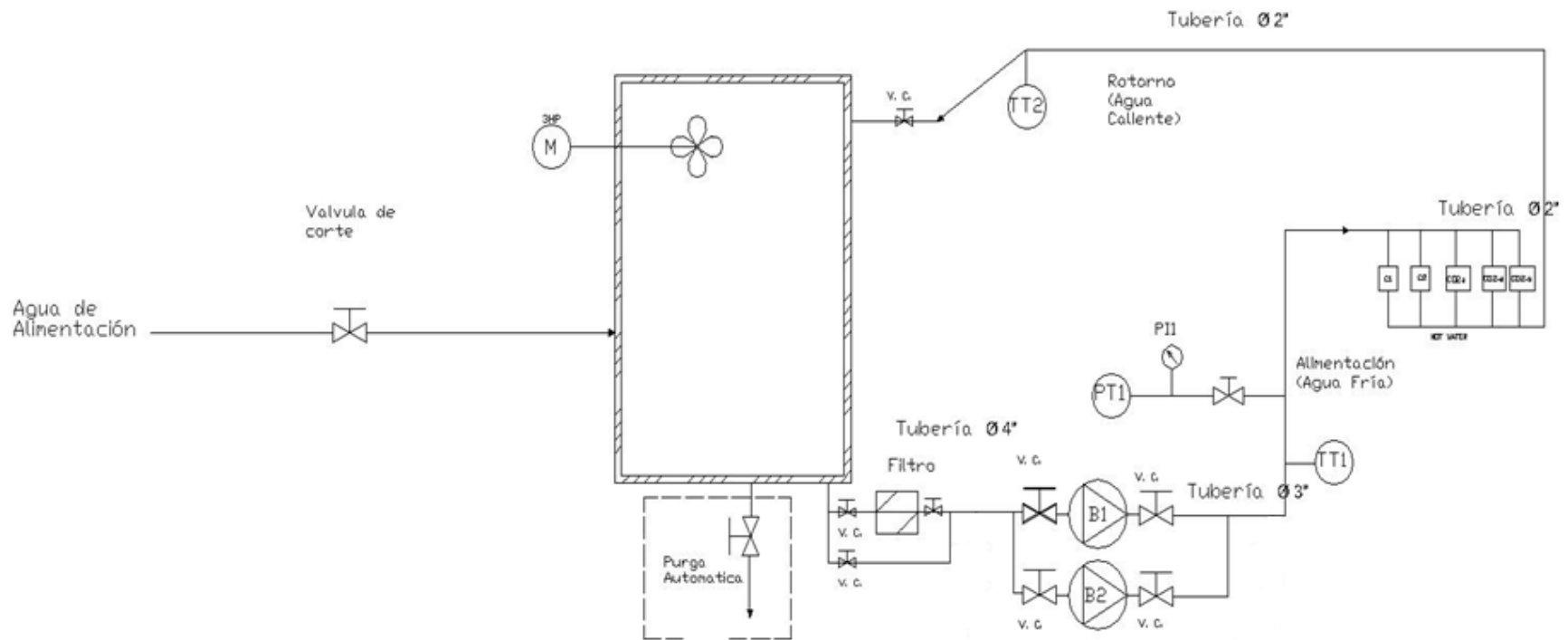
*Medidas de la base de la Torre de Enfriamiento*



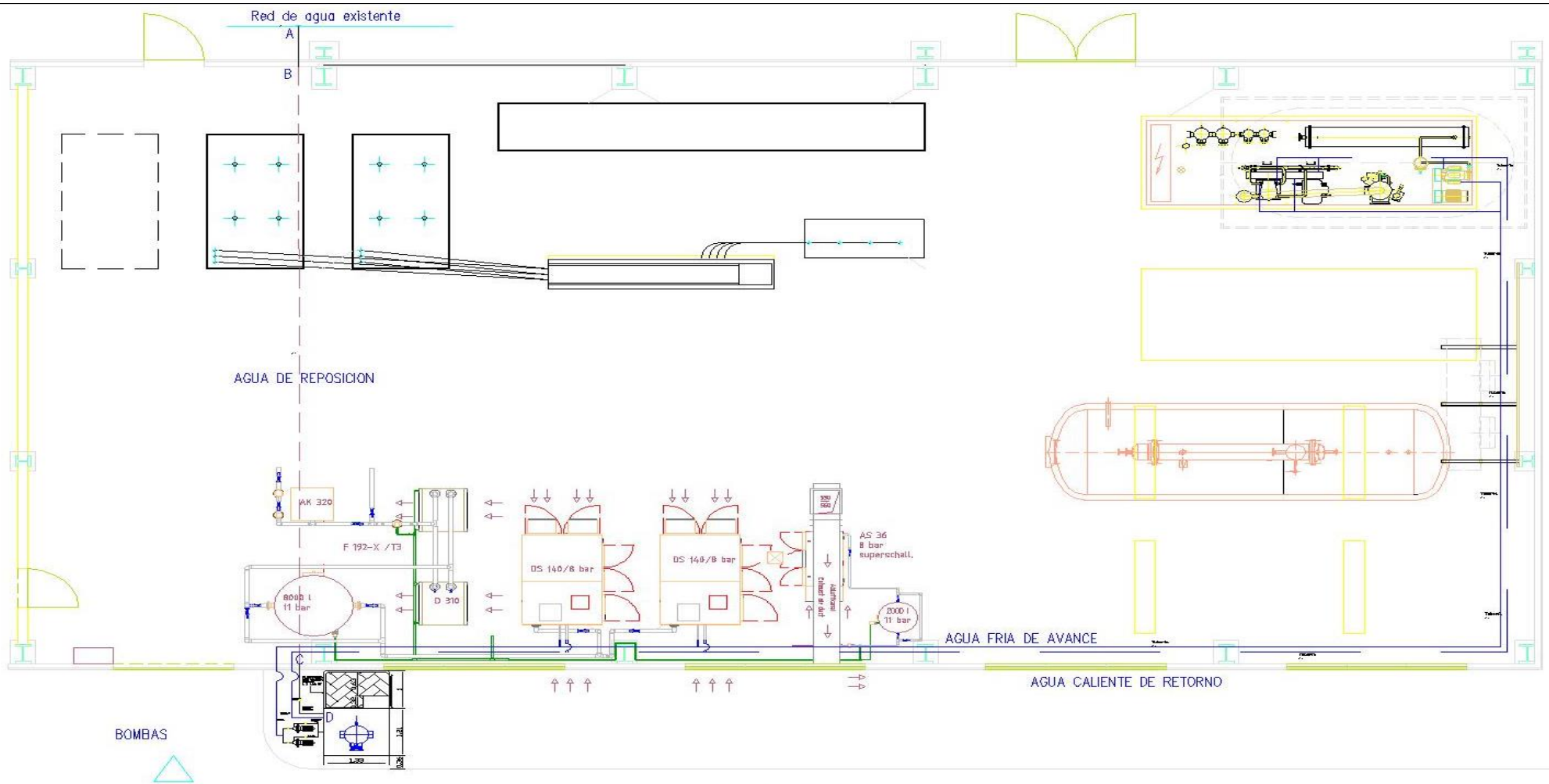
***Plano de instalación de la Torre de Enfriamiento***

**Tabla de entradas y salidas del PLC**

<b>Señal</b>	<b>Denominación</b>	<b>Tipo</b>
I0.0	Marcha ON K5 Ventilador	Entrada Digital
I0.7	Térmico dosificador	Entrada Digital
I1.1	Activación VFD del ventilador	Entrada Digital
I1.0	Arranque directo ventilador	Entrada Digital
I8.1	Paro general del sistema	Entrada Digital
I8.2	Activación carga 1	Entrada Digital
I8.3	Activación carga 2	Entrada Digital
I8.4	Falla VFD Bomba B1	Entrada Digital
I9.0	Activación carga 3	Entrada Digital
I9.1	Activación carga 4	Entrada Digital
I9.3	Señal manual del bombeo	Entrada Digital
I9.6	Falla VFD Bomba B2	Entrada Digital
I9.7	Señal automático del bombeo	Entrada Digital
Q0.0	Relé 1 K5 Ventilador	Salida Digital
Q0.1	Relé 2 K3 Bomba B1	Salida Digital
Q0.2	Relé 3 K4 Bomba B2	Salida Digital
Q0.3	Relé 4 Dosificador 1	Salida Digital
Q0.4	Relé 5 Purga 1	Salida Digital
Q0.5	Relé 6 Sirena	Salida Digital
Q12.0	Relé 7 VFD Bombeo	Salida Digital
Q12.1	Relé 8 VFD del Ventilador	Salida Digital
Q12.2	Relé 9 K1 Automático	Salida Digital
Q12.3	Relé 10 K2 Manual	Salida Digital
Q12.4	Relé 11 Arranque directo ventilador	Salida Digital
Q12.5	Relé 12 FLAS (bandera seguridad)	Salida Digital
IW70	Señal Temperatura TT1	Entrada Analógica
IW72	Señal Temperatura TT2	Entrada Analógica
IW74	Señal Presión PT1	Entrada Analógica
QW14	Velocidad Ventilador	Salida Analógica
QW16	Velocidad de bombeo	Salida Analógica



**Diagrama P&ID de la Torre de Enfriamiento**



TORRE DE ENFRIAMIENTO VENTILADORES

**Plano completo de la instalación para la Torre de Enfriamiento**



# BIBLIOGRAFÍA

- [ 1 ] EQUIPMENT LAYOUT MANUAL, For Cooling Towers, Evaporative Condensers, Closed Circuit Coolers **EVAPCO**,  
<http://www.evapco.com>
  
- [ 2 ] CATALOGOS DE COMPRESORES DE AIRE KAESER DE AMBEV ECUADOR
  
- [ 3 ] CATALOGOS DE PLANTA DE CO2 SEEGER DE AMBEV ECUADOR
  
- [ 4 ] MANUAL DE PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE TIA PORTAL V11.0,  
[https://www.automation.siemens.com/salesmaterialas/brochure/en/brochure\\_simatic-step7\\_tia-portal\\_en.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterialas/brochure/en/brochure_simatic-step7_tia-portal_en.pdf)
  
- [ 5 ] MANUAL DE PARAMTRIZACIÓN DE VARIADORES VLT2800 DANFOSS,  
<http://www.ctiautomation.net/PDF/Danfoss/Danfoss-VLT-2800-Quick-Guide.pdf>