

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL ÓPTIMO
FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE AMONIACO DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A. DE
BUCARAMANGA EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO
DEL AMBIENTE.**

MARCO JESÚS LEÓN ALDANA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL ÓPTIMO
FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE AMONIACO DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A. DE
BUCARAMANGA EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO
DEL AMBIENTE**

MARCO JESÚS LEÓN ALDANA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

Primero que todo le dedico este triunfo al todopoderoso. Dios gracias por tantas bendiciones recibidas.

A mis papás Marco León y Mirian Aldana por ser como son, los mejores padres del mundo.

A mi hermana Marian León, por el apoyo incondicional y por acompañarme a lo largo de todo mi proceso académico.

MARCO LEÓN

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Omar Gelvez por colaborarme en la elaboración de este proyecto. Para mí y para muchos el mejor profesor de la escuela.

A los ingenieros Gonzalo Ardila y Carlos Mora de la cervecería Bavaria, gracias por la oportunidad de llevar a cabo este proyecto.

A mis amigos con los cuales viví momentos inigualables a lo largo de mi carrera. De cada uno de ustedes aprendí algo positivo. Gracias por todo

MARCO LEÓN

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A DE BUCARAMANGA	19
1.1 CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	19
1.2 EQUIPOS PRINCIPALES QUE COMPONEN EL SISTEMA	21
1.2.1 Evaporadores	21
1.2.2 Compresores	23
1.2.3 Condensadores	25
1.3 CONTROL Y AUTOMATIZACION DEL SISTEMA	28
1.3.1 Control sobre la presión de succión	28
1.3.2 Control sobre la presión de Descarga	34
2. SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO EL DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN DE UNA REFERENCIA DE SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA ÓPTIMA.	43
2.1 SELECCIÓN DEL TRANSMISOR Y DEL SENSOR DE TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.	43
2.1.1 Instrumentos preseleccionados	43
2.1.2 Instrumento seleccionado	47
3. DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.	48
3.1 INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR Y SENSOR DE TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.	50
3.2 CÁLCULO DE LA CARGA DE REFRIGERACIÓN IMPUESTA SOBRE EL SISTEMA.	53

3.3 FASE DE PRUEBAS SOBRE EL SISTEMA PARA OBSERVAR LA VARIACIÓN DE LA PRESION DE DESCARGA DE LOS COMPRESORES A CONDICIONES DE CARGA Y TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE DIFERENTES.	57
3.4 CÓMPUTO DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTA LA ESTRATEGIA PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT ÓPTIMO DE PRESIÓN DE DESCARGA.	58
3.5 MODIFICACIONES QUE SE LE DEBEN HACER AL SISTEMA (SCADA Y PLC) PARA LLEVAR A CABO LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN DE UNA REFERENCIA SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA AUTOMATICA, DINAMICA Y OPTIMA.	60
3.5.1 Cambio en el sistema Scada (INTOUCH 10)	60
3.5.2 Cambios en el software del PLC (UNITY PRO)	64
4. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN DE UN SET POINT AUTOMÁTICO, VARIABLE Y ÓPTIMO DE PRESIÓN DE DESCARGA EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.	67
4.1 TOPOLOGÍA DE COMUNICACIÓN	67
4.1.1 PLC de cocinas	68
4.1.2 PLC de filtración	68
4.1.3 Transmisor de temperatura de bulbo húmedo del ambiente	68
4.1.4 PLC de refrigeración	68
4.1.5 SCADA	70
4.2 DATOS QUE AVALAN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA ESTRATEGIA PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA AUTOMATICO, DINAMICO Y ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.	71
4.2. RELACIÓN “BENEFICIO- COSTO” EN TÉRMINOS MONETARIOS DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET	

POINT ÓPTIMO DE PRESIÓN DE DESCARGA (“ <i>CONTROL POR CARGA Y BULBO HÚMEDO</i> ”).	75
4.2.1 Costo	75
4.2.2 Beneficio	76
5. CONCLUSIONES	77
6. RECOMENDACIONES	78
BILIOGRAFIA	80
ANEXOS	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga.	20
Figura 2. Rotores del compresor de tornillos.	23
Figura 3. Compresor de tornillos Mycom tipo V.	24
Figura 4. Principio de operación de un condensador evaporativo	25
Figura 5. Influencia de la temperatura de bulbo húmedo en la capacidad relativa de un condensador evaporativo.	26
Figura 6. Válvula deslizante para control de la presión de succión: a) Posición relativa para los rotores, b) Posición para máxima capacidad, c) Posición para capacidad reducida.	29
Figura 7. Parámetros del control Remote Com.	30
Figura 8. Pantalla donde se pueden modificar los parámetros de control del modo AUTO LOCAL.	31
Figura 9. Control de la presión de succión general del sistema a través de la válvula deslizante.	32
Figura 10. Variador de velocidad del compresor # 2..	33
Figura 11. Visualización de los compresores desde el sistema SCADA.	33
Figura 12. Interfaz gráfica donde se puede observar el control PID implementado en los condensadores evaporativos.	34
Figura 13. Representación real del lazo de control que se maneja en la cervecería de Bucaramanga para el control de la presión de descarga.	35
Figura 14. Parámetros del controlador PI en el sistema SCADA.	36
Figura 15. PLC Schneider TSX P57 4634.	36
Figura 16. Variadores de velocidad ALTIVAR 61	38
Figura 17. Transmisor de Presión a la descarga general del sistema.	40

Figura 18. Transmisor de humedad y temperatura “IN HWD”.	44
Figura 19. Esquema de conexión planteado para el “IN HWD”, sensor más transmisor.	45
Figura 20. Esquema Sensor de temperatura seca y temperatura húmeda “WDT-DW”.	45
Figura 21. Transmisor de temperatura y humedad “LPN-H”.	46
Figura 22. Interfaz Intouch donde se pueden visualizar las dos estrategias para la obtención del set point de presión de descarga.	48
Figura 23. Transmisor y sensor de bulbo húmedo	51
Figura 24. Configuración de la entrada analógica %IW0.6.12, del transmisor de bulbo húmedo.	52
Figura 25. Tendencia de la temperatura de bulbo húmedo en el intervalo de 1 día	53
Figura 26. Fases del proceso de fermentación de la cerveza.	54
Figura 27. Configuración específica de carga impuesta sobre el sistema de refrigeración.	56
Figura 28. Ecuación calculada por el software Minitab 11 que representa la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga.	60
Figura 29. Interfaz del INTOUCH donde se selecciona la estrategia para el establecimiento del set point de presión de descarga.	61
Figura 30. Interfaz INTOUCH donde se puede observar que evaporadores intermitentes están en funcionamiento.	63
Figura 31. Posibles configuraciones de carga impuestas sobre el sistema de refrigeración.	64
Figura 32. Oferta de la contratista ELECMER para llevar las modificaciones en el sistema (SCADA, PLC).	66
Figura 33. Topología de comunicación.	67
Figura 34. Interfaz gráfica del software UNITY PRO(PLC) donde se observa la fórmula que representa la estrategia para la obtención de un set point de presión de descarga en función de la carga y la temperatura de bulbo húmedo.	70

Figura 35. Visualización de la nueva estrategia de obtención del set point de presión de descarga del sistema teniendo en función de la carga impuesta sobre el sistema y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.	70
Figura 36. Visualización en el sistema SCADA de la tabla que llena el PLC automáticamente para calcular el % de carga impuesto sobre el sistema.	71
Figura 37. Interfaz gráfica del software Power StudioCircutor donde se pueden seleccionar los diferentes equipos que componen el sistema de refrigeración de amoníaco para conocer sus parámetros eléctricos (corriente, voltaje, potencia activa, etc.)	73
Figura 38. Analizador de redes.	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Subsistemas de enfriamiento que componen cada estación de bombeo	21
Tabla 2. Equipos evaporadores que imponen carga al sistema de refrigeración de la cervecería de Bucaramanga.	22
Tabla 3. Descripción de las capacidades de los compresores que componen el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga.	24
Tabla 4. Condensadores evaporativos que componen el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga.	27
Tabla 5. Estrategias de control para controlar la presión de succión según la apertura o cierre de la válvula deslizante.	29
Tabla 6. Información técnica de variadores de velocidad ALTIVAR 61.	39
Tabla 7. Imágenes de la planta a controlar, motor y ventilador de los condensadores evaporativos referencia Evapco CATC-367.	40
Tabla 8. Parámetros de control ON-OFF de los condensadores evaporativos.	41
Tabla 9. Información técnica del transmisor de temperatura solución 1.	46
Tabla 10. Información técnica transmisor de temperatura solución 2 vs información técnica transmisor de temperatura solución 1.	47
Tabla 11. Enfriadores que imponen una carga constante al sistema.	53
Tabla 12. Enfriadores que imponen una carga variable al sistema.	54
Tabla 13. Distribución de la carga de refrigeración impuesta por los tanques fermentadores según su volumen y la fase en que encuentre cada uno de ellos.	55
Tabla 14. Resultados de una prueba para la condición de carga calculada en la figura 27.	57

Tabla 15. Valores de porcentaje de carga, temperatura de bulbo húmedo y presión de descarga promedios obtenidos de las pruebas e ingresados al software Minitab 11.	59
Tabla 16. Tabla donde el operario deberá ingresar el estado (encendido o apagado) de cada uno de los evaporadores y la fase en la que se encuentra cada tanque.	61
Tabla 17. Carga promedio para tanques (Fermentadores y maduradores)	63
Tabla 18. Subsistemas que imponen un porcentaje de carga constante al sistema de refrigeración	68
Tabla 19. Enfriadores que imponen un porcentaje de carga intermitente sobre el sistema de refrigeración.	69
Tabla 20. “Control por presión de descarga” vs. “Control por carga y bulbo húmedo”.	72
Tabla 21. Potencia consumida por el motor del condensador evaporativo CATC 367 para diferentes valores de frecuencia de su respectivo variador de velocidad.	74
Tabla 22. Costos de la implementación de la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga de los compresores.	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Enfriadores	81
ANEXO B. Compresores	85
ANEXO C. Condensadores	89
ANEXO D. Catálogos del sensor y transmisor de temperatura de bulbo húmedo	91

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.*

AUTOR: MARCO JESÚS LEÓN ALDANA**

PALABRAS CLAVES: Sistema de refrigeración por recirculación de líquido, Temperatura de bulbo húmedo del ambiente, Carga impuesta sobre el sistema, Automatización.

DESCRIPCIÓN:

Bavaria en el interés por mejorar sus indicadores de desempeño y ascender en el escalafón mundial de Sabmiller busca siempre emplear estrategias de ahorro y mejoramiento en cada una de sus áreas de servicio teniendo en cuenta el cuidado de los recursos naturales y por ende del medio ambiente.

El principal sistema a contrarrestar es el de refrigeración por recirculación de líquido que cuenta la empresa, debido a su alto consumo de energía que equivale al 30% del total consumido por la planta. Dicho ahorro se va a realizar a través del diseño e implementación de una nueva estrategia de control sobre la presión de descarga de los compresores en función de la carga impuesta sobre el sistema y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente mediante lo cual se va obtener un valor de referencia set point de presión de descarga mínimo para dichas condiciones, esto conllevará a la reducción del consumo eléctrico del sistema porque se minimizará el trabajo hecho por los compresores.

La realización del proyecto se encuentra motivada por la intención de la Cervecería de Bucaramanga BAVARIA S.A. en reducir el consumo de potencia eléctrica del sistema. Igualmente la realización del proyecto se justifica en la intención del proyectista en aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en las áreas de refrigeración, automatización y control para resolver un problema de la industria local.

* Trabajo de grado

** Facultad De ingenierías Físico-mecánicas. Escuela De Mecánica. Director: Omar Armando Gelvez

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF A CONTROL STRATEGY FOR OPTIMUM PERFORMANCE COMPRESSOR COOLING SYSTEM AMMONIA OF BAVARIA BREWERY SA BUCARAMANGA ACCORDING TO WET BULB TEMPERATURE OF THE ENVIRONMENT.*

AUTHOR: MARCO JESUS LEON ALDANA**

KEY WORDS: Recirculating cooling system fluid, Wet bulb temperature of the environment, Load imposed on the system, Automation.

DESCRIPTION

Bavaria in the interest in improving their performance indicators and moving up the world rankings of SABMiller seeks always use savings and improvement strategies in each of its service areas considering the care of natural resources and thus the environment.

The primary system is the counter circulating cooling fluid available to the company, because of its high consumption of energy equivalent to 30% of the total consumed by the plant. This saving will be done through the design and implementation of a new control strategy on the discharge pressure of the compressors according to the load imposed on the system and the wet bulb temperature of the environment through which it will obtain a reference value set point minimum discharge pressure for such conditions, this will lead to reduced power consumption of the system because they minimize the work done by the compressors.

The realization of the project is motivated by the intent of the Bucaramanga Brewery Bavaria SA to reduce the electrical power consumption of the system. Also the realization of the project is justified on the intention of the designer to apply the knowledge acquired during the career in the areas of refrigeration, automation and control to solve a problem of local industry.

* Degree work

** Faculty of Physical and mechanical engineering. School Of Mechanics. Directed by Omar Armando Gelvez

INTRODUCCION

Bavaria S.A. como mayor cervecería de Colombia siempre se ha preocupado por brindarles a los usuarios un producto 100% confortable; debido a esto cuenta en cada una de sus áreas de servicio (cocinas, filtración, envase, etc.) con trabajadores capacitados para llevar a cabo eficazmente los diferentes procesos implementados en la elaboración y envasado de la cerveza. Entre sus diversas zonas, la empresa cuenta con un sistema de refrigeración por recirculación de líquido el cual juega un papel primordial en la obtención de un producto que cuente con los más altos estándares de calidad, ya que es el encargado de mantener las temperaturas idóneas en fases como la preparación, fermentación y maduración de dicho producto.

El consumo energético de dicho sistema representa el 30% del consumo eléctrico total de la planta, debido a lo anterior es de gran importancia mejorar todos los procesos asociados a este.

A través del diseño e implementación de una nueva estrategia de control sobre la presión de descarga de los compresores en función de la carga impuesta sobre el sistema y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente se va obtener un valor de referencia set point de presión de descarga mínimo para dichas condiciones, lo cual conllevará a la reducción del consumo eléctrico del sistema porque se minimizará el trabajo hecho por los compresores.

1. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AMONIACO DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A DE BUCARAMANGA

Para describir las generalidades del sistema de refrigeración de la cervecería se tendrá en cuenta lo siguiente:

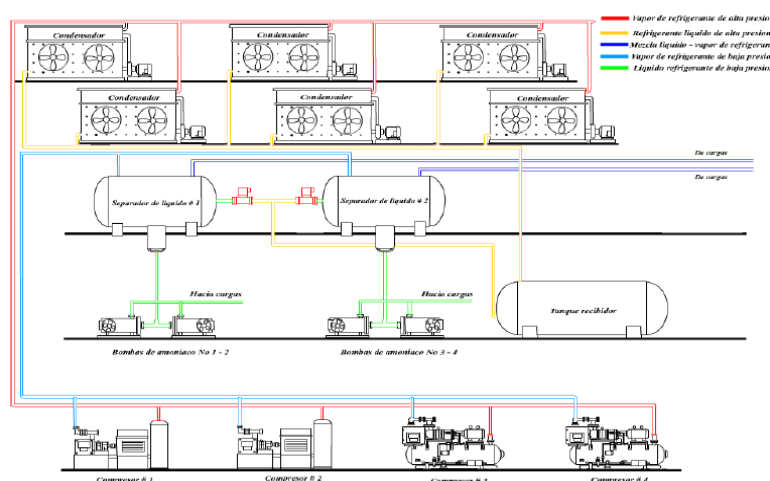
- 1.1 Características y funcionamiento del sistema.
- 1.2 Equipos principales que componen el sistema.
- 1.3 Control y automatización del sistema.

1.1 CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema de refrigeración presente en la cervecería se denomina sistema de refrigeración por recirculación de líquido, este se destaca por entregar una gran cantidad de refrigerante al evaporador pero sólo evaporar una parte de este.

El sistema consta de un grupo de compresores y condensadores conectados en paralelo permitiendo que todos los equipos trabajen a presiones iguales tanto a la entrada como a la salida de estos. En la figura 1 se muestra el diagrama general de dicho sistema.

Figura 1. Sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga.



El sistema trabaja con el refrigerante R717 amoníaco anhidro, el cual al comenzar el ciclo se encuentra en fase líquida almacenado a alta presión y temperatura en un tanque, llamado depósito de presión alta o recibidor, luego dicho refrigerante pasa a través de la válvula de expansión, esta lo estrangula y disminuye su presión enviándolo al tanque de baja o también conocido como separador de líquido. De allí el refrigerante es bombeado al evaporador donde una parte se evapora y la que no lo hace retorna al tanque de baja. De esta forma se asegura que solo ingrese refrigerante en fase vapor al compresor. El compresor cumple la función de subir la presión y temperatura del refrigerante para descargarlo al condensador donde se condensa a través de la entrega de calor al medio circundante. Por último el refrigerante retorna al tanque de alta para comenzar nuevamente el ciclo.

Las características principales del sistema de refrigeración de amoníaco de la cervecería Bavaria S.A de Bucaramanga son las siguientes:

- PRESION DE SUCCION : 2,28 bar
- PRESION DE DESCARGA : 11 bar

- TEMPERATURA DE TANQUES DE BAJA : -7°C
- TEMPERATURA DE CONDENSACION : 31°C

Los valores de presión de succión y descarga son manométricos.

1.2 EQUIPOS PRINCIPALES QUE COMPONEN EL SISTEMA

1.2.1 Evaporadores. El sistema de refrigeración de la cervecería de Bucaramanga se encuentra conformado por 10 equipos evaporadores los cuales imponen una carga al sistema. Dichos equipos se encuentran distribuidos en dos estaciones de bombeo de la siguiente manera:

Tabla 1. Subsistemas de enfriamiento que componen cada estación de bombeo

ESTACION DE BOMBEO	EVAPORADORES
TANQUE DE BAJA # 1	ENFRIADOR DE AGUA PARA MOSTO
	ENFRIADOR DE GLICOL PARA CAVA DE LEVADURA
	ENFRIADOR DE CO2
TANQUE DE BAJA # 2	ENFRIADOR DE TRASIEGO
	ENFRIADOR DE CERVEZA
	ENFRIADOR DE AGUA DESAIREADA
	TANQUES FERMENTADORES
	TANQUES MADURADORES
	ENFRIADOR DE GLICOL PARA TANQUES BBTs
	DIFUSOR DE CAVA DE LUPULO

A continuación se muestran cada uno de los equipos enfriadores asociados con su carga impuesta al sistema, temperatura de evaporación del amoniaco y tipo de evaporador.

Tabla 2. Equipos evaporadores que imponen carga al sistema de refrigeración de la cervecería de Bucaramanga.

Equipo	Carga(TR)	Temperatura de evaporación del amoníaco	Tipo de evaporador
Enfriador de agua para mosto	187,458	-1°C	Placas paralelas
Enfriador de trasiego	104,144	-4°C	Placas paralelas
Enfriador de agua desaireada	172,184	-1°C	Placas paralelas
Enfriador de cerveza	20,829	-4°C	Placas paralelas
Enfriador de glicol para BBTs	20	-4°C	Baudelot
Enfriador de glicol para cava de levadura	60	-4°C	Placas paralelas
Enfriador de descarga de CO ₂	10	-4°C	Doble tubo
Tanques fermentadores	170,34	-4°C	Chaquetas
Tanques maduradores	16,324	-4°C	Chaquetas
Difusor de cava de lúpulo	10	-4°C	Cuarto frío
Total	771,279	N.A	N.A

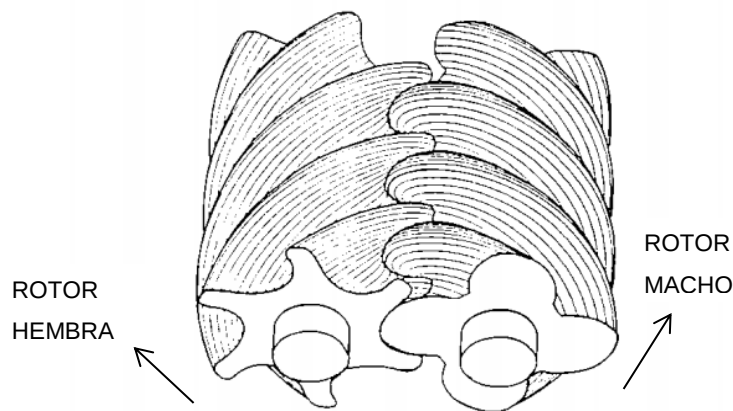
En el proyecto “ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN IMPLEMENTADO EN LA CERVECERÍA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO” realizados por estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica de la UIS en el año 2010 se llevó a cabo el cálculo de cargas de cada uno de los equipos, con lo cual se pueden corroborar los datos anteriormente mostrados.

La carga presente en la cervcería depende del funcionamiento de estos equipos, su mantenimiento y manipulación es responsabilidad del área de producción. En las condiciones actuales y para el sistema de refrigeración actual de la cervcería, la temperatura de tanques de baja sobre la cual se intenta trabajar es -7°C , para producir en la succión una presión manométrica de entre 2.2 y 2.6 Kg/cm^2 .

Las imágenes de los equipos correspondientes a cada uno de los evaporadores, y sus principales variables de funcionamiento se muestran en el anexo A.

1.2.2 Compresores. La cervcería de Bucaramanga actualmente cuenta con 4 compresores de doble tornillo de la empresa MYCOM tipo V. En dichos elementos se comprime gas refrigerante a través de la reducción de volumen entre dos rotores giratorios, el gas se aspira en el espacio entre estos dos rotores y sube la presión disminuyendo su volumen, entonces el refrigerante se descarga como gas en alta presión. Los elementos fundamentales del compresor son dos rotores ranurados que asentados sobre cojinetes en cada extremo del cárter engranan helicoidalmente. Al rotor que contiene 4 lóbulos convexos se le denomina “rotor macho o conductor” y al que posee 6 lóbulos cóncavos “rotor hembra o conducido”, el rendimiento del compresor está directamente relacionado con las forma de los lóbulos de los rotores.

Figura 2. Rotores del compresor de tornillos.



Debido a su máximo rendimiento, fácil operación y alta confiabilidad, es el preferido en aplicaciones industriales de alta demanda de refrigeración y muy bajas temperaturas.

Figura 3. Compresor de tornillos Mycom tipo V.



Las capacidades frigoríficas y la potencia eléctrica de cada uno de los compresores del sistema se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Descripción de las capacidades de los compresores que componen el sistema de refrigeración de amoníaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga.

Equipos	Capacidad[TR]	Capacidad [KW]	Potencia[HP]	Potencia [Kw]
N250SUD-L	439,9	1547,1	500	372,8
N250VSD-L	439,9	1547,1	500	372,8
N250SUD-M	434	1526,4	370	275,9
N200VLD-LI	318,5	1120,2	300	223,7
Total	1632,3	5740,8	1670	1245,3

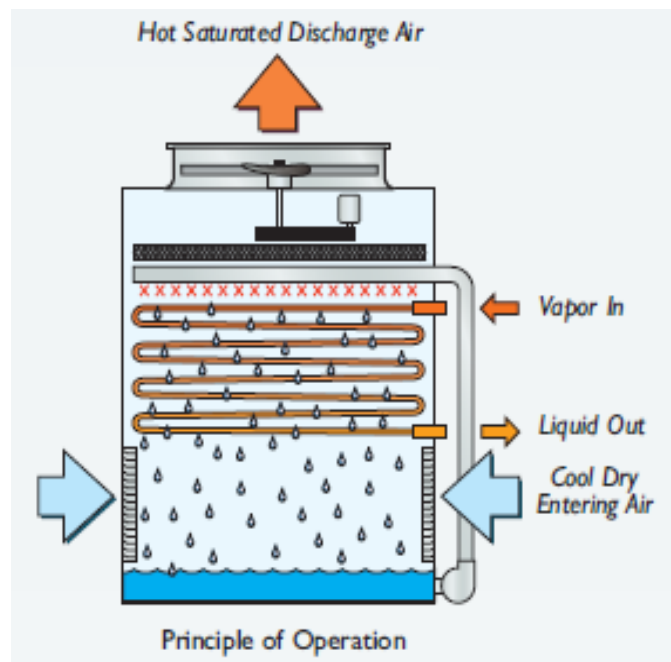
Como se puede observar las capacidades en toneladas de refrigeración que los compresores manejan es superior a la carga de refrigeración impuesta por la cervecería en cuanto a los evaporadores, esto quiere decir que en condiciones críticas de carga máxima los 2 compresores de mayor capacidad encendidos al mismo tiempo podrían soportar dicha carga.

En el sistema de refrigeración el compresor realiza el mayor trabajo mecánico, ya que se encarga de aumentar la presión y la energía del refrigerante en estado de vapor, la medición de la eficiencia de estos equipos se realiza mediante el parámetro denominado *Coefficient of performance* o COP, el cual expresa que tanto es aprovechada la energía eléctrica consumida por el compresor en energía de refrigeración para el sistema. A un COP alto, mayor capacidad de frío con menor consumo de energía mientras que a un COP bajo, menor capacidad de frío con mayor consumo de energía.

Las imágenes de los equipos correspondientes a cada uno de los compresores y sus principales variables de funcionamiento se muestran en el anexo B.

1.2.3 Condensadores. La cervecería de Bucaramanga cuenta con 6 condensadores evaporativos, 4 de ellos corresponden al modelo EVAPCO CATC-367 y 2 de ellos aun modelo más antiguo el EVAPCO PMCA 475.

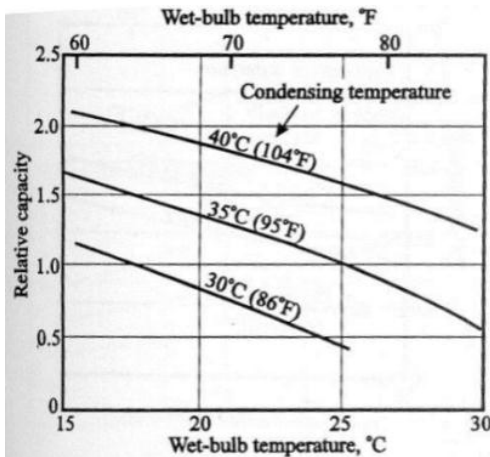
Figura 4. Principio de operación de un condensador evaporativo



Dichos condensadores son uno de los medios más modernos y mayor ampliamente utilizados por la industria de la refrigeración industrial en plantas de proceso para ahorrar energía en su operación.

Este ahorro de energía se da ya que en comparación con otros tipos de condensadores se obtienen temperaturas de condensaciones menores, por lo cual el trabajo a realizar por el compresor disminuye.

Figura 5. Influencia de la temperatura de bulbo húmedo en la capacidad relativa de un condensador evaporativo.



Un condensador evaporativo, al igual que una torre de refrigeración, forma parte de un circuito de refrigeración semiabierto. La diferencia básica entre un condensador evaporativo y una torre es que en lugar de relleno, el condensador evaporativo tiene un haz tubular a través del cual circula el refrigerante a condensar.

El condensador de tipo evaporativo funciona de la siguiente manera:

Por el interior de los tubos circula el refrigerante a condensar. Por el exterior circula agua a favor de corriente o sea ingresa por la parte superior y cae por gravedad entre los paneles hasta la pileta. El agua se impulsa por bombas

centrífugas. En contracorriente al agua, circula aire, aspirado por los ventiladores superiores.

Teóricamente el aire utilizado es más que nada para enfriar el agua que se utiliza para condensar el refrigerante, y mantener constante la temperatura del agua en la pileta. El enfriamiento del agua se realiza por evaporación, al entrar en contacto con el aire y estando pulverizado en finas gotas facilita el intercambio de calor entre el aire y el agua, y la absorción del agua evaporada por parte del aire.

El aire debe reunir ciertas condiciones para que el enfriamiento sea eficiente, y el principal es que esté lo más seco (bajo porcentaje de humedad relativa) posible, ya que debe absorber el agua evaporada para que esta se enfríe. Es decir que la temperatura de bulbo húmedo (T_{BH}) esté lo más alejada posible de la temperatura de bulbo seco (T_{BS}) para que la humedad relativa ambiente sea baja. En estas condiciones, absorbe parte del calor latente de vaporización del agua. Cuando las temperaturas de bulbo seco y húmedo se acercan, la humedad relativa, aumenta.

Tabla 4. Condensadores evaporativos que componen el sistema de refrigeración de amoníaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga.

Referencia de condensador	EVAPCO CATC 367	EVAPCO PMCA 475	TIPO DE CONTROL
Condensador 1	X		ON/OFF – PID
Condensador 2		X	ON/OFF
Condensador 3		X	ON/OFF
Condensador 4	X		ON/OFF – PID
Condensador 5	X		ON/OFF – PID
Condensador 6	X		ON/OFF – PID

Las imágenes de los equipos correspondientes a cada uno de los condensadores y sus principales variables de funcionamiento se muestran en el anexo C.

1.3 CONTROL Y AUTOMATIZACION DEL SISTEMA

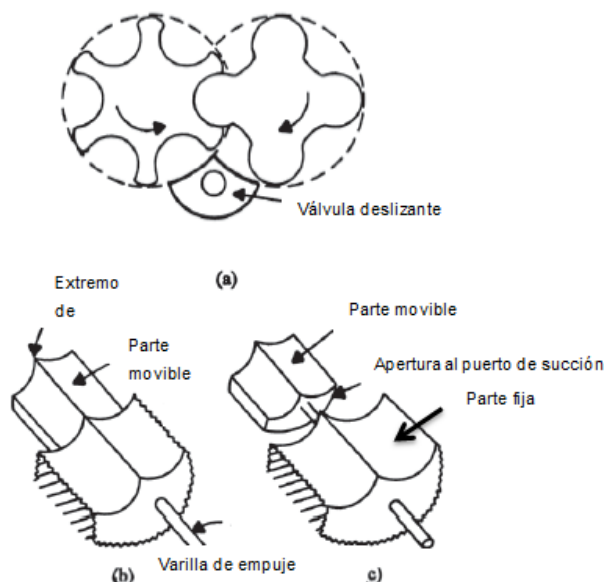
El sistema de refrigeración por recirculación de amoníaco de la cervecería, posee dos variables importantes sobre las cuales se realiza un control para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema: La presión de succión y la presión de descarga. Estas variables se ubican físicamente a la entrada y a la salida de los compresores respectivamente, la primera se puede controlar mediante la variación de la apertura de la válvula deslizante; y la segunda a través de la manipulación de la temperatura de condensación a la descarga de los condensadores evaporativos.

A continuación se describen los controles que se efectúan sobre cada una de estas variables en la cervecería de Bucaramanga.

1.3.1 Control sobre la presión de succión. Al ser un compresor de tornillos una máquina de desplazamiento positivo la regulación de su presión de succión se puede hacer a través de dos formas:

1.3.1.1 Apertura o cierre de la válvula deslizante. Con dicha válvula que se mueve en acción paralela a los filetes de los rotores se puede realizar un bypass de una porción variable del gas atrapado entre los tornillos dependiendo de la posición de la misma. Es decir si se quiere mantener una presión de succión en cierto valor pero la carga aumenta de repente, entonces se debe abrir la válvula deslizante un poco más. En caso de que la carga disminuya pues tocaría disminuir su apertura con el fin de mantener la presión de succión relativamente constante.

Figura 6. Válvula deslizante para control de la presión de succión: a) Posición relativa para los rotores, b) Posición para máxima capacidad, c) Posición para capacidad reducida.



Para controlar la presión de succión del sistema en función de la válvula deslizante los compresores de la cervecería cuentan con 3 estrategias, las cuales se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Estrategias de control para controlar la presión de succión según la apertura o cierre de la válvula deslizante.

Compresor	RemoteCom	Auto local	Manuel
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	X	X	X

- **Remote Com.** El control sobre la válvula deslizante es automático y depende de las condiciones de la presión de succión general. El control es realizado por el PLC y los parámetros de dicho control se puedan modificar desde el sistema

SCADA, es decir desde la interfaz gráfica que se ve desde el supervisorio de sala de máquinas.

Figura 7. Parámetros del control Remote Com.

Compresores de Amoniaco				
Secuencia		Presion de Succión 2.38 Kg/Cm ²		
Principal 1		CUT_OUT 2.10 Kg/Cm ²		
Modulante 4		CUT_CONTROL 2.35 Kg/Cm ²		
Standby 3		CUT_IN 2.50 Kg/Cm ²		
		Presión de Parada MOD 2.05 Kg/Cm ²		
Tiempo Espera para Alta Presion de Succion 10 s		Valores de Lazos PID		
Tiempo Transcurrido para Alta Presion de Succion 0 s				
Tiempo Espera para Baja Presion de Succion 15 s				
Tiempo Transcurrido para Baja Presion de Succion 0 s				
Apertura Sostenida del Principal 99 %				
Apertura Minima para Apagado del Modulante 10 %				

En todas las estrategias de control sobre la presión de succión de los compresores (Tabla 5), se consideran tres tipos de compresores a controlar: Principal, modulante y Stand by, tal como se muestra en la figura 7 esta configuración es modificable por parte del operario. El compresor principal entra a trabajar cuando la presión de succión sea superior al CUT_IN durante un tiempo definido mediante el parámetro tiempo espera para alta presión de succión. Este compresor controlará la presión de succión mediante la acción de un PID sobre la válvula deslizante implementado dentro del PLC, el cual posee los valores registrados en la columna PID 1 de la figura 7.

Si estando el compresor principal la presión de succión se incrementa nuevamente por encima del valor de CUT_IN, se encenderá un segundo compresor (compresor modulante), al momento de entrar este compresor se inhabilitará la acción PID sobre el compresor principal y se le asignará al compresor modulante, está estará regida por los parámetros de la columna PID 2 de la figura 7.

Igualmente como ocurre un proceso de modulación con el encendido de los compresores, para el apagado de los mismos se establece un parámetro

denominado Tiempo espera para baja presión de succión, este valor inicia el ciclo de apagado del compresor principal siempre que la presión de succión haya caído por debajo del valor establecido en CUT_OUT como se muestra en la figura 7.

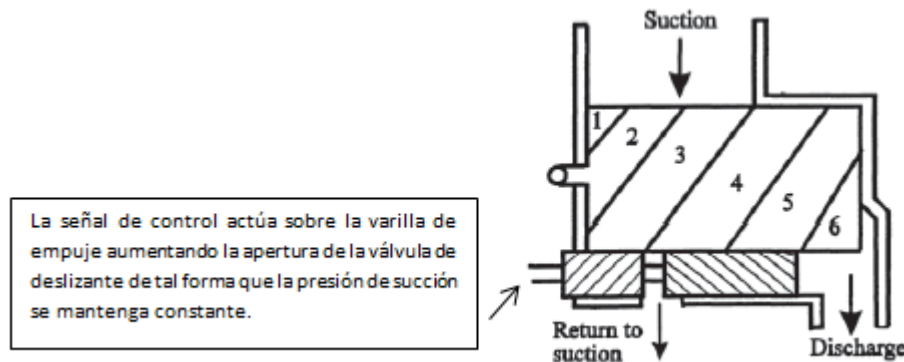
- **Auto local.** El modo auto local corresponde a uno de los tantos módulos que los compresores MYCOM poseen por defecto en sus tarjetas electrónicas internas. Este modo de operación realiza el control de la presión de succión general de acuerdo al porcentaje de apertura de la válvula deslizante a la entrada de cada uno de los compresores. A diferencia del CONTROL REMOTE COM donde el controlador es el PLC en modo AUTO LOCAL el control lo hace el procesador del compresor Mypro.

Figura 8. Pantalla donde se pueden modificar los parámetros de control del modo AUTO LOCAL.



- **Manual.** El modo manual permite establecer el porcentaje de apertura de la válvula deslizante por parte del operario, se establece un valor de apertura y se mantiene constante, esta estrategia se utiliza como respaldo cuando se solicita alguna operación en particular que los modos automáticos no puedan brindar.

Figura 9. Control de la presión de succión general del sistema a través de la válvula deslizante.



1.3.1.2 Control por variación de las RPM del motor. A través de la instalación de un variador de velocidad sobre el motor de un compresor también se puede mejorar la capacidad del sistema y reducir el consumo de potencia eléctrica del mismo.

En la cervecería el compresor Mycom #2 cuenta con un variador de velocidad Danfoss. En dicho compresor el control de la presión de succión funciona de la siguiente manera:

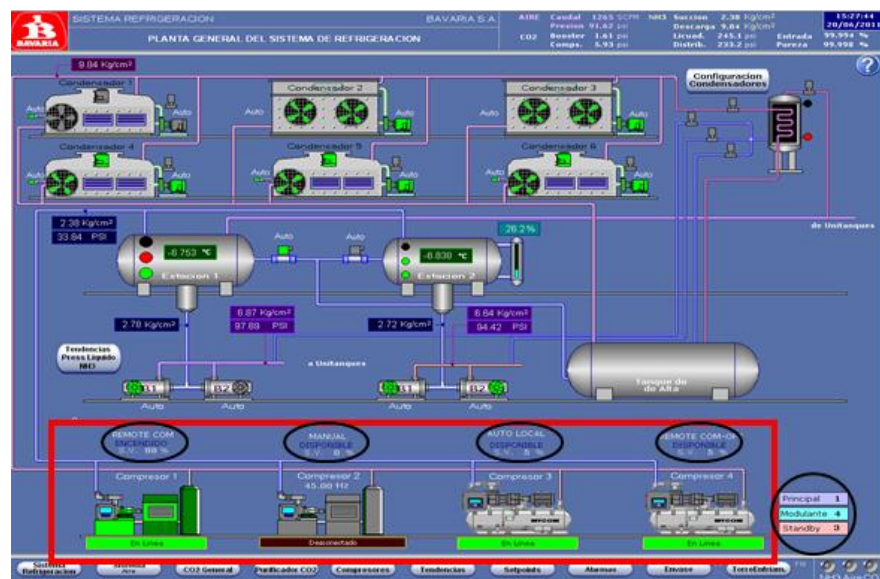
El variador posee una frecuencia mínima de trabajo de 40 Hz que se tiene como fija hasta que la válvula deslizante llega a un valor de 55%. Posterior a esto entra a trabajar el PID del variador de velocidad que tratará de mantener constante la succión, el control del variador de velocidad estará activo hasta que la válvula deslizante esté por debajo de 50%.

Figura 10. Variador de velocidad del compresor # 2..



La siguiente interfaz gráfica de monitoreo muestra los 4 compresores y encima de cada uno de ellos la estrategia de control en la que se encuentran.

Figura 11. Visualización de los compresores desde el sistema SCADA.

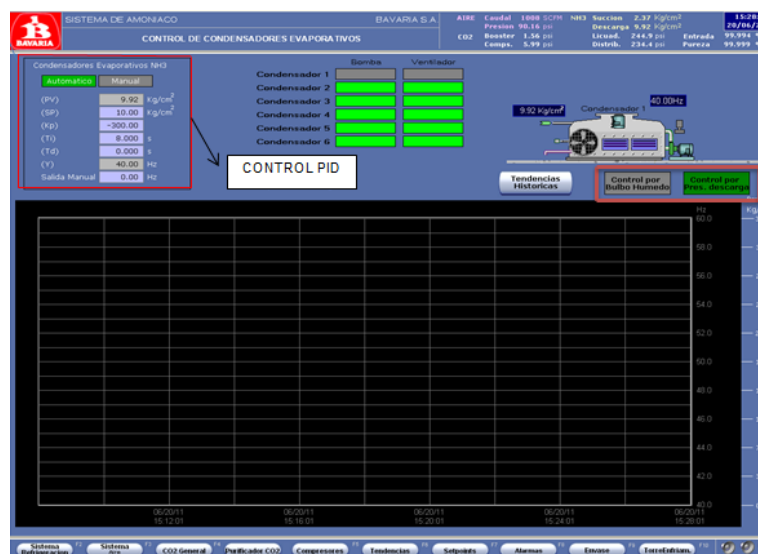


1.3.2 Control sobre la presión de Descarga. El control de la presión de descarga del sistema se realiza mediante dos estrategias de control, la primera de ellas implica el uso de un control ON/OFF sobre el encendido y apagado de los motores y las bombas de cada condensador evaporativo, dependiendo del valor de presión de descarga del sistema; y un segundo control realizado de forma continua mediante un controlador PID, el cual se encarga de variar la velocidad de los motores de los condensadores para llegar a la referencia de presión.

1.3.2.1 Control PID. El control que se realiza en el sistema de refrigeración para modificar la presión de descarga se efectúa sobre los motores de los ventiladores de los condensadores evaporativos. Dicho control se basa en la variación de velocidad de los motores entre 40 y 60 Hz, con el fin de retirar mayor o menor cantidad de calor del refrigerante.

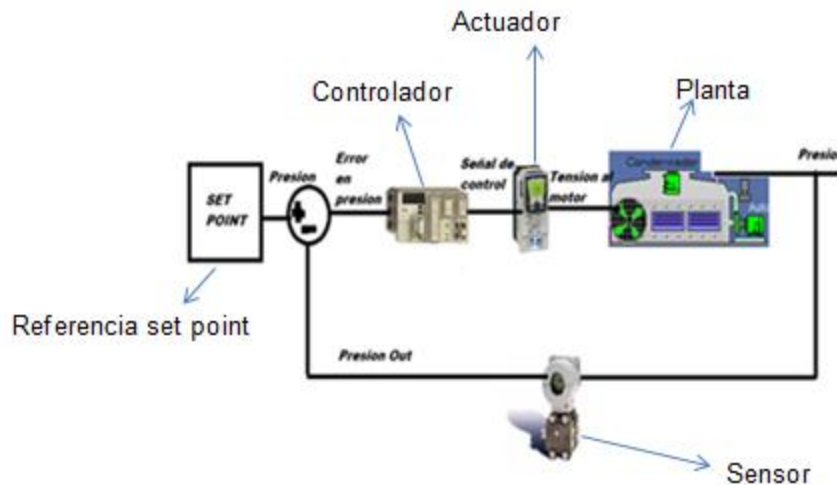
Es importante mencionar que no todos los condensadores poseen variador, 4 condensadores cuentan con variación de velocidad (EVAPCO CATC 367), los otros 2 condensadores trabajan a su máxima capacidad en todo momento.

Figura 12. Interfaz gráfica donde se puede observar el control PID implementado en los condensadores evaporativos.



El lazo de control que se encuentra implementado sobre los condensadores evaporativos corresponde a un lazo cerrado como el mostrado en la figura 13.

Figura 13. Representación real del lazo de control que se maneja en la cervecería de Bucaramanga para el control de la presión de descarga.



A continuación se describe lo existente en la cervecería y su funcionamiento para cada uno de los elementos del lazo de control de la figura 13.

- *Controlador PI.*

En el sistema físico instalado en la cervecería, la función de controlador del lazo cerrado de control se encuentra representada por el PLC que maneja el automatismo del sistema; se trata de un controlador digital por software y no por tarjeta, debido a esto permite modificar a gusto del programador los valores de constante proporcional, integral y diferencial. Estos valores se observan en la figura 14.

Figura 14. Parámetros del controlador PI en el sistema SCADA.

Condensadores Evaporativos NH3

Automatico Manual

(PV)	9.92	Kg/cm ²
(SP)	10.00	Kg/cm ²
(Kp)	-300.00	
(Ti)	8.000	s
(Td)	0.000	s
(Y)	40.00	Hz
Salida Manual	0.00	Hz

El PLC que maneja el área es un Telemecanique TSX P57 4634, dicho autómata se muestra en la figura 15.

Figura 15. PLC Schneider TSX P57 4634.



- Referencia set point.

Para el establecimiento del set point del lazo de control sobre la presión de descarga, se cuenta con dos formas, la selección de cada uno de ellos se realiza en la interfaz gráfica de la figura 12, en el extremo superior derecho.

A continuación se describe el funcionamiento y la lógica de cada una de estas estrategias de establecimiento del set point.

-Presión de descarga.

El set point se establece mediante la estrategia de *Control por presión de descarga*. En dicho control el operario es quien a su criterio asigna el valor de set point de acuerdo a la carga impuesta sobre el sistema.

Al depender de una decisión apreciativa, no es posible realizar un análisis en detalle de las condiciones del sistema y del valor de set point óptimo para el mejoramiento de la eficiencia del mismo desde el punto de vista tanto de refrigeración como de ahorro energético.

Actualmente esta es la estrategia utilizada en el sistema.

-Bulbo Húmedo

Corresponde a establecer la referencia set point mediante la estrategia de control denominada *Control por bulbo húmedo*. Esta estrategia de control está basada en el aprovechamiento de la capacidad evaporativa del ambiente, permitiendo mediante el seguimiento del comportamiento de la temperatura de bulbo húmedo establecer un set point de presión de condensación variable, estipulado como $SP = T_{BH} + 11^{\circ}C$, (en valores de presión de saturación del amoníaco).

La anterior estrategia de control permite reducir la temperatura de condensación del sistema, dependiendo de las condiciones climáticas del ambiente, a menor T_{BH} establece un set point de presión de descarga inferior, sin embargo no tiene en cuenta la carga impuesta sobre el sistema lo cual conlleva a que los valores de set point establecidos no sean alcanzados, lo que la convierte en una estrategia ineficaz en pro de la reducción del consumo eléctrico.

Por lo anterior surge la necesidad de diseñar una estrategia de control con la cual se obtenga un valor de referencia set point de presión de descarga óptimo y dinámico en función de la carga y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente con lo cual se obtenga un ahorro de energía en el sistema.

- **Actuador.**

En el sistema físico instalado en la cervecería la función de actuador del lazo cerrado de control lo realizan los variadores de frecuencia que cada uno de los condensadores evaporativos poseen (CATC-367), pertenecen a la empresa Schneider Electric, estos variadores producen una salida de frecuencia de entre 0 y 60 Hz, se encuentran conectados en serie con un arrancador suave de la misma empresa. A continuación se muestra una tabla con cierta información técnica del equipo y una imagen asociada del mismo en la figura 16.

Figura 16. Variadores de velocidad ALTIVAR 61



Tabla 6. Información técnica de variadores de velocidad ALTIVAR 61.

Información técnica
Tipo: ALTIVAR 61
Potencia 15Kw - 20HP
Voltaje alimentación: 380 /480
Corriente alimentación: 33 A
Frecuencia de salida: 0,5 – 1600 Hz

La salida de los variadores se encuentra configurada para un SPAM de 20 Hz tomando como valor máximo posible 60 Hz y como valor mínimo 40 Hz, la razón para dicha configuración es debida principalmente a la seguridad y protección del motor en lo referente a su refrigeración, ya que a frecuencias menores se determinó que el ventilador de los motores eléctricos trifásicos síncronos de jaula de ardilla no refrigeraba lo suficiente el embobinado y provocaba sobrecalentamientos y quemaduras en este, principalmente por este motivo se estableció el intervalo anteriormente mencionado.

El variador entrega al motor de los ventiladores de los condensadores evaporativos la décima parte del error comprendido entre la presión realimentada y el set point en valor de Hz, lo anterior quiere decir que a un error positivo de 0,2 Kg/cm² entre el SP y el PV, el variador aumentará su señal de salida de frecuencia a una razón de 0.2 Hz por segundo, y a un error negativo de 0.2Kg/cm², el variador disminuirá su señal de salida de frecuencia a 0.02Hz por segundo.

- **Planta**

En el sistema físico instalado en la cervecería, la función de planta del lazo cerrado de control se encuentra representada por los motores de los

condensadores evaporativos (CATC-367) que se encargan de manejar los ventiladores. La tabla 7 muestra el motor y el ventilador de dichos condensadores.

Tabla 7. Imágenes de la planta a controlar, motor y ventilador de los condensadores evaporativos referencia Evapco CATC-367.

EVAPCO CATC - 367	
MOTOR	
VENTILADOR	

- **Sensor.**

En el sistema físico instalado en la cervecería, la función de sensor para la realimentación del lazo cerrado de control se encuentra representado por un transmisor de presión ubicado en el punto donde unen las tuberías que vienen de la descarga de cada uno de los 4 compresores del circuito. Por lo tanto dicho transmisor mide la presión de descarga general del sistema, la cual con el presente proyecto se va a minimizar para disminuir el consumo eléctrico del sistema. La figura 9 muestra el transmisor utilizado.

Figura 17. Transmisor de Presión a la descarga general del sistema.



1.3.2.2 Control ON/OFF. Como se mencionó inicialmente, este tipo de control se basa en encender o sacar de funcionamiento cada uno de los 6 condensadores evaporativos. Este encendido se realiza mediante arrancadores suaves en el caso de los condensadores que no poseen variador de frecuencia, mientras que los que si poseen trabajan con un arranque en rampa.

Tabla 8. Parámetros de control ON-OFF de los condensadores evaporativos.

# de condensador	Orden de arranque	Referencia
Condensador 1	6	Evapco CATC-367
Condensador 2	2	Evapco PMCA-475
Condensador 3	1	Evapco PMCA-475
Condensador 4	5	Evapco CATC-367
Condensador 5	3	Evapco CATC-367
Condensador 6	4	Evapco CATC-367

En la tabla 8 se muestra el orden de modulación que se ha asignado a los condensadores para su entrada y salida de funcionamiento, según esto, y partiendo desde un estado en el cual todos los condensadores se encuentren apagados, el primer condensador en encenderse será el condensador 3, el segundo en encenderse el condensador 2, el tercero en encenderse el condensador 5, el cuarto en encenderse el condensador 6, el quinto en encenderse el condensador 4 y el último en encenderse el condensador 1. El orden de apagado se realizará de forma inversa a la anteriormente descrita, empezando por el condensador 1 y terminando con el 3. Cabe destacar que este orden no es fijo, el programa da la posibilidad de cambiar este orden por parte del operario.

1.3.3 Control actual sobre la presión de descarga del sistema. Ambos controles se realizan intercaladamente (ON/OFF – PID), de acuerdo a ciertas condiciones. Partiendo de un estado donde un solo condensador tipo PMCA 475 se encuentre encendido, el sistema intenta llegar al valor de referencia set point de

presión de descarga impuesto por la estrategia “control por presión descarga” que es la utilizada actualmente ya que la de “control por bulbo húmedo “ como lo mencionábamos antes no es eficiente. En caso de no conseguirlo se activa el segundo condensador tipo PMCA 475, este segundo equipo también entra a trabajar a un 100% de su capacidad ya que no cuenta con variador. En el momento del encendido del tercer condensador comienza a hacer efecto el controlador PID, el cual mediante la variación de velocidad de los ventiladores intenta llegar al valor de referencia establecido. Si el condensador consigue llegar a dicho valor se mantiene allí, de lo contrario comenzará a ejecutarse el control ON/OFF lo cual permitirá la entrada del siguiente condensador. De esta manera alternando la funcionalidad de ambos controles el sistema conseguirá el valor de presión de referencia impuesto manualmente por el operario.

2. SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO EL DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN DE UNA REFERENCIA DE SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA ÓPTIMA.

2.1 SELECCIÓN DEL TRANSMISOR Y DEL SENSOR DE TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.

Debido a los distintos fenómenos que ocurren en el ambiente tales como el cambio de humedad relativa de acuerdo a las condiciones del día, la temperatura tiene varias formas bajo las cuales puede ser medida. Para efectos del presente proyecto es de interés realizar la medición de la temperatura de bulbo húmedo ya que esta infiere en la obtención de una referencia de set point de presión de descarga general de los compresores del sistema.

Para la selección del instrumento se tuvo principalmente en cuenta la disponibilidad del equipo en el mercado. Adicional a esto se tuvieron en cuenta aspectos como la aceptación termodinámica por parte del ingeniero mecánico de la empresa, el cual definiría si el equipo cumplía con los parámetros termodinámicos solicitados, la precisión, el rango de medición, el tipo de salida, la facilidad en el montaje y el tipo de alimentación.

2.1.1 Instrumentos preseleccionados. El mercado de la instrumentación se encuentra actualmente acaparado por gran cantidad de empresas, unas muy reconocidas y otras casi desconocidas pero distribuidas por pequeñas agencias comercializadoras especializadas. Los equipos preseleccionados, se limitaron a los ofrecidos por una firma denominada Instrumatic, la cual distribuye equipos de diferentes empresas internacionales como Intechinstruments Ltda. Dicha firma ofreció dos soluciones completas, a buen precio y con buenos tiempos de entrega a la cervecería Bavaria S.A. A continuación se describe cada una de ellas.

2.1.1.1 Solución 1. Realizar la adquisición de dos equipos, inicialmente un transmisor de temperatura denominado “*IN HWD*”, el cual corresponde a un conversor de humedad y temperatura de bulbo húmedo. El equipo se encarga de recibir la señal de dos sensores de temperatura, uno que realiza la medición de temperatura de bulbo seco y el otro la medición de temperatura de bulbo húmedo del ambiente. De acuerdo a estos valores recibidos, internamente se realizan las operaciones correspondientes para que el equipo genere dos salidas analógicas de 4 a 20mA correspondientes a un valor del porcentaje de humedad relativa del ambiente y a un valor de la temperatura de bulbo húmedo.

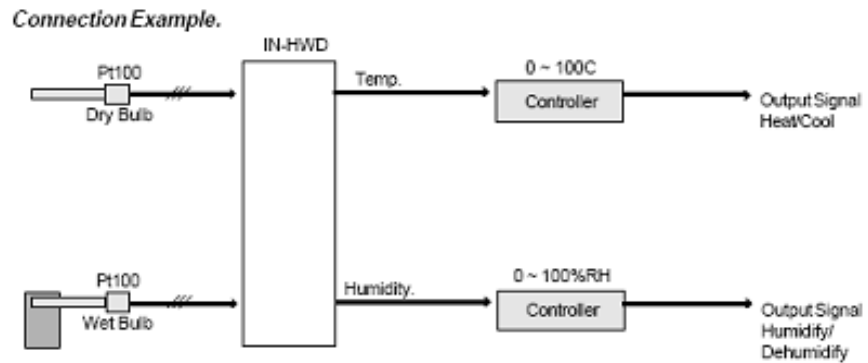
Ver Anexo D.

La figura 18 muestra elequipo mencionado y la figura 19 muestra el esquema planteado de conexión con los sensores.

Figura 18. Transmisor de humedad y temperatura “IN HWD”.



Figura 19. Esquema de conexión planteado para el “IN HWD”, sensor más transmisor.



El segundo equipo que sería necesario adquirir correspondería al instrumento que tiene las dos Pt 100 mencionadas en la figura 19. Este sensor se denomina “WDT-DW”. Dicho sensor consta de dos varillas y un tanque dentro del cual circulará un flujo de agua constante. Una de las varillas estará seca y será la encargada de medir la temperatura de bulbo seco del ambiente la otra estará forrada por un paño húmedo y medirá la temperatura de bulbo húmedo. La figura 20 muestra una imagen del equipo mencionado.

Figura 20. Esquema Sensor de temperatura seca y temperatura húmeda “WDT-DW”.



La tabla 9 muestra la información técnica de la propuesta expuesta en la solución 1.

Tabla 9. Información técnica del transmisor de temperatura solución 1.

	HUMEDAD	TEMPERATURA
Precisión	1%	0.1%
Intervalo de medición	0-100%	0-100°C
Salida	4-20mA	4-20mA
Temp de operación	0-70°C	
Temp almacenamiento	-20 a 80°C	
Alimentación	110/230 VAC	
Frecuencia del voltaje	50/60Hz	

2.1.1.2 Solución 2. Realizar la adquisición de un equipo denominado “LPN-H”, correspondiente a un transmisor de temperatura y humedad, integrado en un mismo equipo, de sencilla instalación, el cual genera dos salidas analógicas de 4 a 20mA, una correspondiente a la temperatura ambiente de bulbo seco y otra correspondiente a un porcentaje de humedad relativa existente en el ambiente. La figura 21 muestra una imagen del equipo mencionado.

Figura 21. Transmisor de temperatura y humedad “LPN-H”.



La tabla 10 muestra la información técnica de la propuesta expuesta para la solución 2 contrastada con la propuesta expuesta para la solución 1.

Tabla 10. Información técnica transmisor de temperatura solución 2 vs información técnica transmisor de temperatura solución 1.

SOLUCION	1		2	
TIPO	HUMEDAD	TEMPERATURA	HUMEDAD	TEMPERATURA
Precisión	1%	0.1%	2%	0.1%
Intervalo de medición	0-100%	0-100°C	0-100%	0-100°C
Salida	4-20mA	4-20mA	4-20mA	4-20mA
Temp de operación	0-70°C		0-70°C	
Temp almacenamiento	-20 a 80°C		-30 a 85°C	
Alimentación	110/230 VAC		9-33 VDC	
Frecuencia del voltaje	50/60Hz		0	

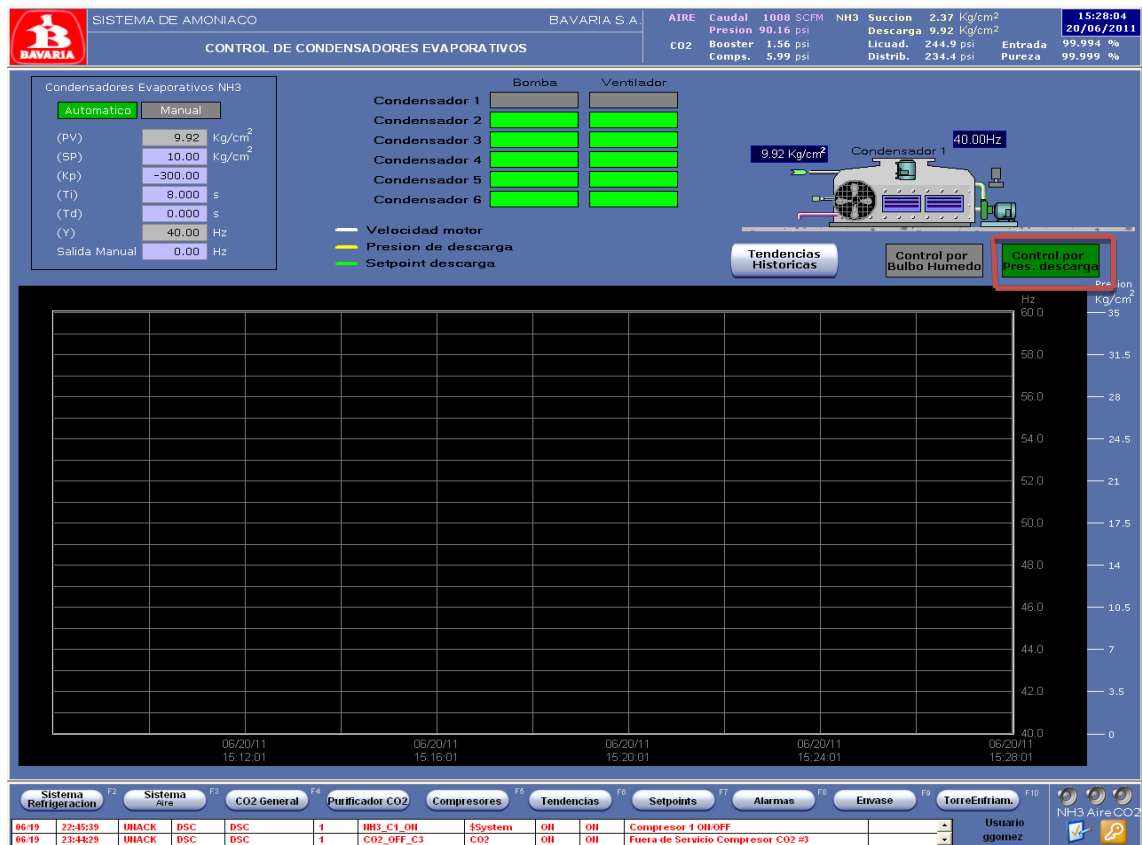
2.1.2 Instrumento seleccionado. Se escoge la solución 1 ya que el sensor WDT-DW es más confiable debido principalmente a que:

- ✓ Brinda la posibilidad de circular un flujo de agua en el interior del tanque, con lo cual se asegura en todo momento tener agua fresca y a una temperatura adecuada y de esta manera se puede confiar más en la medición, a diferencia del otro equipo donde el flujo de agua es nulo.
- ✓ Una de las salidas corresponde a la temperatura que se necesita para la aplicación: temperatura de bulbo húmedo; mientras que en el otro equipo es necesario realizar una serie de tratamiento a los valores de temperatura y humedad para llegar a dicho valor.
- ✓ Los intervalos de medición de ambas variables en ambos equipos son los mismos, y mediante programación se puede trabajar con dichos valores.

3. DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.

Actualmente en el sistema de refrigeración de amoníaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga el set point de presión de descarga se establece mediante la estrategia *Control por presión de descarga*, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 22. Interfaz Intouch donde se pueden visualizar las dos estrategias para la obtención del set point de presión de descarga.



Dicha estrategia se encuentra sesgada y afectada directamente por la apreciación y decisión del operario de sala de máquinas que establece de manera manual el set point de presión de descarga del sistema según la carga impuesta sobre el sistema.

Al depender de una decisión apreciativa, no es posible realizar un análisis en detalle de las condiciones del sistema y del valor de set point óptimo para el mejoramiento de la eficiencia del mismo desde el punto de vista tanto de refrigeración como de ahorro energético.

Por lo mencionado anteriormente surge la necesidad de diseñar una estrategia con la cual se pueda obtener un set point automático, dinámico y óptimo de presión de descarga con el fin de minimizar el consumo eléctrico del sistema, el cual se representa por el C_{ce} (Consumo de los condensadores evaporativos) y el C_c (Consumo de los compresores).

Costo del sistema = $C_{ce} + C_c$ = Valor mínimo

A continuación se explicarán cada una de las actividades llevadas a cabo para el diseño de la nueva estrategia de obtención del set point de presión de descarga, que estará en función de la carga y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

- 3.1 Instalación del transmisor y sensor de temperatura de bulbo húmedo.
- 3.2 Cálculo de la carga de refrigeración impuesta sobre el sistema.
- 3.3 Fase de pruebas sobre el sistema para observar la variación de la presión de descarga de los compresores a condiciones de carga y temperatura de bulbo húmedo del ambiente diferentes.

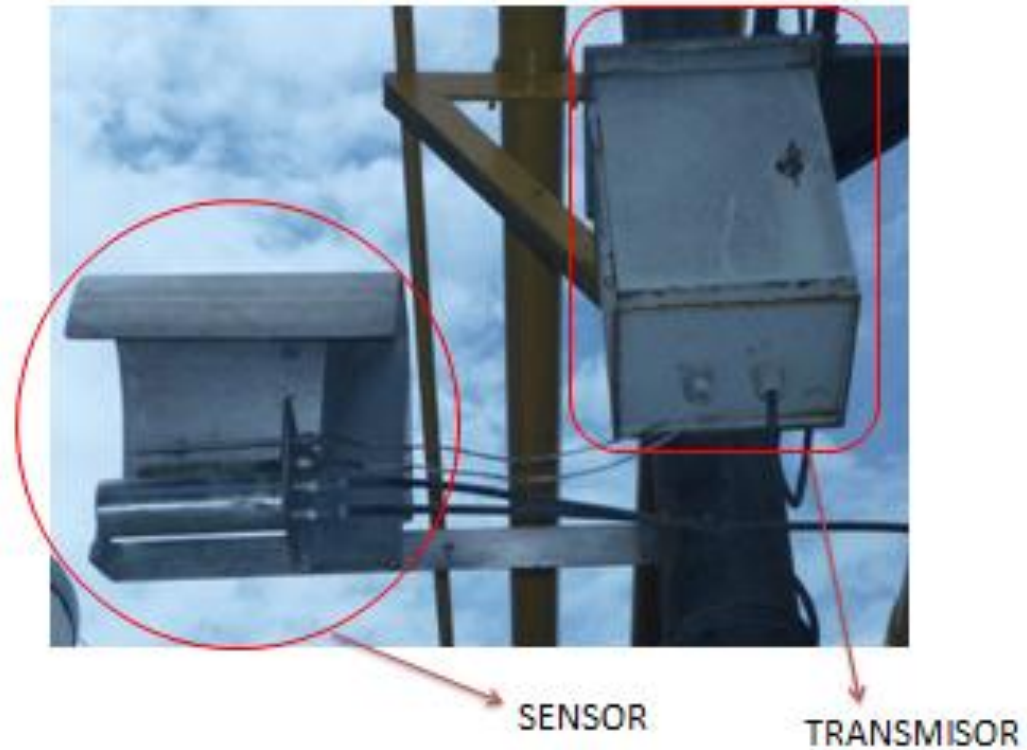
- 3.4 Computo de la ecuación que representa la estrategia para la obtención de un set point óptimo de presión de descarga.
- 3.5 Modificaciones que se le deben hacer al sistema (SCADA y PLC) para llevar a cabo la nueva estrategia de control.

3.1 INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR Y SENSOR DE TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.

Como se mencionó en el capítulo 2 la medición de la temperatura de bulbo húmedo del ambiente juega un papel importante en el presente proyecto ya que esta influye en la obtención de una referencia set point de presión de descarga. A menor temperatura de bulbo húmedo del ambiente la referencia de set point de presión de descarga general de los compresores va a disminuir, siempre y cuando la carga impuesta sobre el sistema se mantenga constante.

Como no se contaba con el instrumento para la medición de dicha variable en la cervecería, se realizó la instalación del sensor y transmisor seleccionado en el capítulo 2.

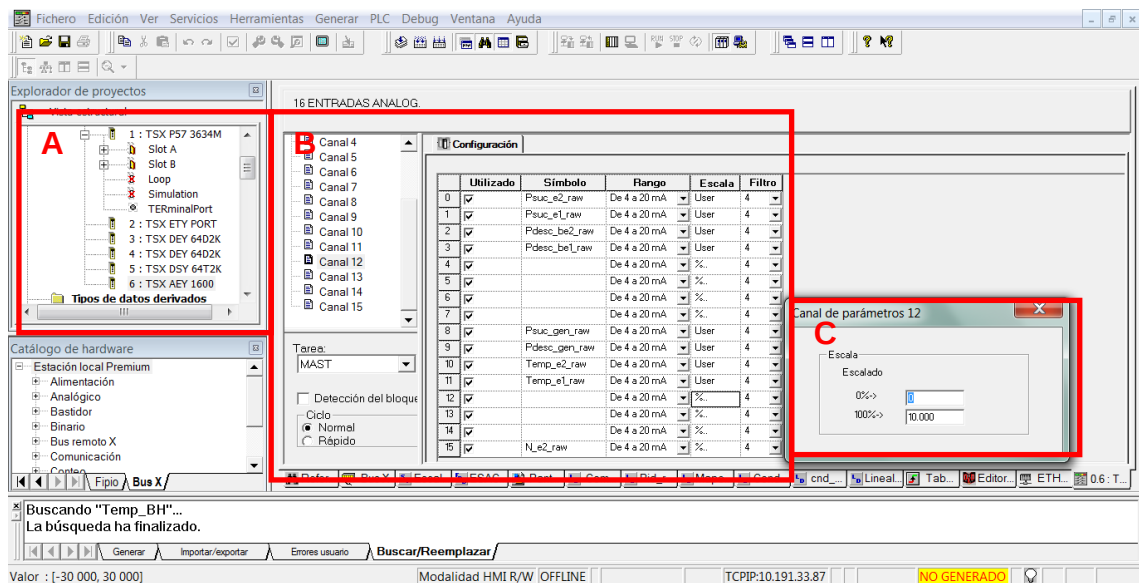
Figura 23. Transmisor y sensor de bulbo húmedo



Además se llevó a cabo el tendido de la acometida desde el transmisor hasta el módulo del PLC en el cuarto de control. La conexión se realizó a 2 hilos con fuente de alimentación pasiva.

El equipo instalado posee las características expuestas en el capítulo anterior, para su conexión con el PLC, se seleccionó el módulo TSX AEY 1600, canal 12. Por tal motivo se le asignó la posición de memoria %IW0.6.12 al interior del PLC.

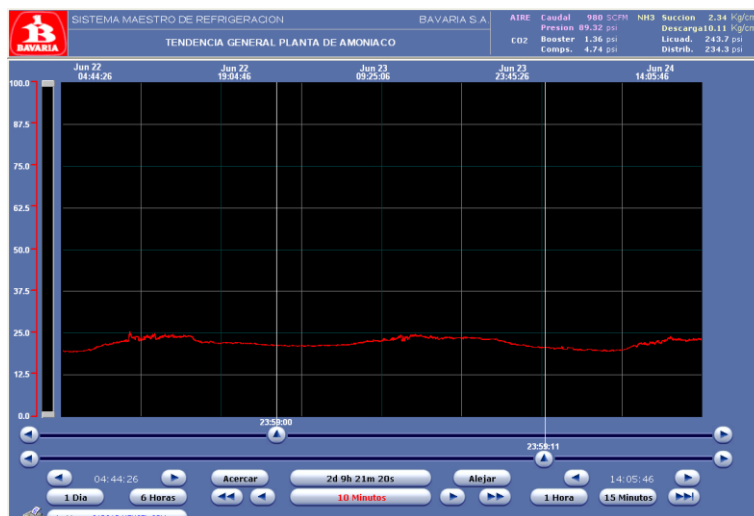
Figura 24. Configuración de la entrada analógica %IW0.6.12, del transmisor de bulbo húmedo.



La Figura 24 muestra la configuración que se realizó en el software de programación del autómatas, la parte A comprende la vista estructural desde donde se accede al módulo de hardware encargado de administrar las entradas análogas del PLC. La parte B visualiza los canales disponibles en el módulo para recibir las señales análogas. Allí se especifica el símbolo que tendrá la variable IW y el rango de medición (4-20mA). La parte C muestra la escala que se va a utilizar para la señal de entrada. En el caso de la señal del transmisor de temperatura de bulbo húmedo, se especifica una escala de 0°C (para 4mA) a 10000°C (para 20mA).

Se asigna la palabra de entrada %IW0.6.12 a una marca interna del sistema para poder trabajar con dicho valor de forma más accesible y con menos consumo de memoria, almacenando en la marca %MW1612 una variable de tipo entero (INT), denominada *Temp_BH*.

Figura 25. Tendencia de la temperatura de bulbo húmedo en el intervalo de 1 día



3.2 CÁLCULO DE LA CARGA DE REFRIGERACIÓN IMPUESTA SOBRE EL SISTEMA.

Los perfiles de carga impuestos sobre el sistema están determinados por el estado (encendido o apagado) de los diferentes evaporadores y por la fase de proceso en que estén los 33 tanques de fermentación y maduración.

Se observó que en el caso de los evaporadores algunos imponen una carga de refrigeración permanente (siempre están en funcionamiento) y otros imponen una carga intermitente.

Tabla 11. Enfriadores que imponen una carga constante al sistema.

Enfriadores que siempre están encendidos	Carga(TR)
Glicol para tanques BBTs	20
Glicol para cava de levadura	60
Descarga de CO ₂	10
Difusor de la cava de lúpulo	10
TOTAL	100

Tabla 12. Enfriadores que imponen una carga variable al sistema.

Enfriadores intermitentes	Carga (TR)
Agua para mosto	187,458
Agua desaireada	104,144
Trasiego	172,184
Cerveza	20,829

En el caso de los 19 tanques fermentadores la carga de cada uno de ellos dependerá del volumen del tanque y de la fase del proceso de fermentación en la que se encuentre.

Figura 26. Fases del proceso de fermentación de la cerveza.

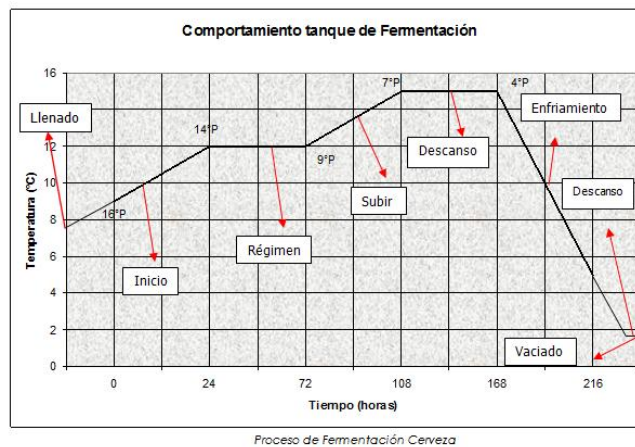


Tabla 13. Distribución de la carga de refrigeración impuesta por los tanques fermentadores según su volumen y la fase en que encuentre cada uno de ellos.

Para tanques de 1800 HI		
Etapas	Q(TR)	
Llenado	0	No hay frío
Inicio fermentación	0	No hay frío
Regimen de control	9,87	
Subir diacetilo	0	No hay frío
Descanso diacetilo	4,93	
Enfriamiento	13,4	
Descanso recolección	2,66	
Vaciado	0	No hay frío
Para tanques de 2700 HI		
Etapas	Q(TR)	
Llenado	0	No hay frío
Inicio fermentación	0	No hay frío
Regimen de control	14,72	
Subir diacetilo	0	No hay frío
Descanso diacetilo	7,32	
Enfriamiento	20	
Descanso recolección	4	
Vaciado	0	No hay frío

Para la carga impuesta por los 14 tanques maduradores basta con llamar al área de filtración y preguntar cuántos de ellos están madurando. La carga de refrigeración impuesta por cada tanque madurador es de 1,166 TR.

Con ayuda de los datos mostrados anteriormente se realizó un programa en el software EXCEL en el cual con sólo indicar el estado (encendido o apagado) de cada enfriador y la fase en la que se encuentra cada tanque, este se encarga de calcular la carga y el porcentaje de carga impuesta sobre el sistema. Dicho programa se muestra a continuación.

Figura 27. Configuración específica de carga impuesta sobre el sistema de refrigeración.

EQUIPOS		ESTADO
Enfriador de agua para mosto		INTERMITENTE
Enfriador de trasiego		INTERMITENTE
Enfriador de agua desaireada		INTERMITENTE
Enfriador de cerveza		INTERMITENTE
Enfriador de glicol para BBts		SIEMPRE
Enfriador de glicol para cava de		SIEMPRE
Enfriador de descarga de CO2		SIEMPRE
Difusor cava de lupulo		SIEMPRE

TANQUES FERMENTADORES										Tanques maduradores	
Tanques	Tanque #	Fermentación							vaciado	Tanque #	estado
		Llenado	inicio	Regimen	Subir	Descanso	Enfriamiento	Descanso			
Tanques pequeños	15									1	
	16									2	
	17									3	
	18									4	
	19									5	
	20									6	
	21									7	
	22									8	
Tanques grandes	23									9	
	24									10	
	26									11	
	27									12	
	28									13	
	29									14	
	30										
	31										
	32										
	33										
	34										

Carga por enfriadores	563,786
Carga por tanques fermentacion	105,38
Carga por tanques Maduracion	12,76
CARGA TOTAL	681,926
Porcentaje de carga	74,5%

ENCENDIDO		ENCENDIDO	
APAGADO		APAGADO	

3.3 FASE DE PRUEBAS SOBRE EL SISTEMA PARA OBSERVAR LA VARIACIÓN DE LA PRESION DE DESCARGA DE LOS COMPRESORES A CONDICIONES DE CARGA Y TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE DIFERENTES.

Para realizar el diseño de la nueva estrategia para la obtención de un set point automatico,dinámico y óptimo de presión de descarga de los compresores en el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería Bavaria S.A. se llevaron a cabo una serie de pruebas(19 en total) que relacionaban el efecto de la temperatura de bulbo húmedo del ambiente y la carga de refrigeración impuesta por los diferentes subsistemas que requieren enfriamiento sobre la presión de descarga de los compresores manteniendo en cada prueba los 6 condensadores evaporativos encendidos por lo cual se obtuvo la presión de descarga mínima que se podría alcanzar en esas condiciones de carga y temperatura.

Tabla 14. Resultados de una prueba para la condición de carga calculada en la figura 27.

TABLA DE DATOS					
%Carga	Tbh	%C1	%C2	Frecuencia	Presión de descarga
74,5	19,46	100	63	60	9,57
74,5	19,41	100	49	60	9,55
74,5	19,4	100	30	60	9,52
74,5	19,39	100	20	60	9,48
74,5	19,4	100	17	60	9,47
74,5	19,39	100	12	60	9,43
74,5	19,4	100	15	60	9,42
74,5	19,4	100	23	60	9,43
74,5	19,41	100	29	60	9,44
74,5	19,42	100	39	60	9,46
74,5	19,43	100	40	60	9,47
74,5	19,44	100	43	60	9,49
74,5	19,45	100	47	60	9,5
74,5	19,48	100	46	60	9,5
74,5	19,49	100	45	60	9,5
74,5	19,51	100	44	60	9,51
74,5	19,5	100	44	60	9,5
74,5	19,52	100	37	60	9,49
74,5	19,53	100	26	60	9,47
74,5	19,38	100	74	55	9,54
74,5	19,38	100	58	55	9,52
Presión de descarga promedio					9,49
Tbh promedio					19,44

Dónde:

%carga=Porcentaje de carga (calculado con el programa de Excel mostrada en la figura 28); Tbh=Temperatura de bulbo húmedo del ambiente en °C; %C1=Porcentaje de apertura de la válvula deslizante del compresor 1; %C2=Porcentaje de apertura de la válvula deslizante del compresor 2; Frecuencia=Frecuencia en Hz del variador de velocidad del 6to condensador evaporativo; Presión de descarga=Presión mínima de descarga obtenida en esas condiciones de carga y temperatura de bulbo húmedo(Kg/cm²).

3.4 CÁLCULO DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTA LA ESTRATEGIA PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT ÓPTIMO DE PRESIÓN DE DESCARGA.

La ecuación que representa la estrategia para la obtención de una referencia set point de presión de descarga dinámica y óptima consta de 3 variables: 2 independientes (porcentaje de carga y temperatura de bulbo húmedo) y una dependiente (presión de descarga).

Con ayuda del software Minitab 11 se realizó la regresión lineal múltiple para obtener la ecuación que representa dicha estrategia de control.

Se ingresaron los porcentajes de cargas, y los valores de temperatura de bulbo húmedo y presión de descarga promedios obtenidos para las 19 diferentes pruebas realizadas sobre el sistema.

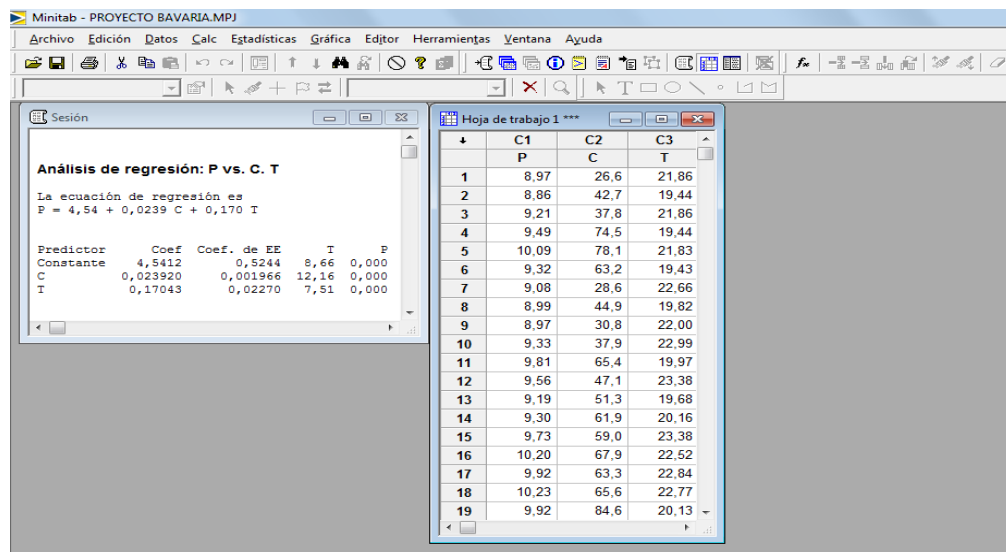
Tabla 15. Valores de porcentaje de carga, temperatura de bulbo húmedo y presión de descarga promedios obtenidos de las pruebas e ingresados al software Minitab 11.

#	C1	C2	C3
	P	C	T
1	8,97	26,6	21,86
2	8,86	42,7	19,44
3	9,21	37,8	21,86
4	9,49	74,5	19,44
5	10,09	78,1	21,83
6	9,32	63,2	19,43
7	9,08	28,6	22,66
8	8,99	44,9	19,82
9	8,97	30,8	22,00
10	9,33	37,9	22,99
11	9,81	65,4	19,97
12	9,56	47,1	23,38
13	9,19	51,3	19,68
14	9,30	61,9	20,16
15	9,73	59,0	23,38
16	10,20	67,9	22,52
17	9,92	63,3	22,84
18	10,23	65,6	22,77
19	9,92	84,6	20,13

Dónde:

P=Presión de descarga; C=Porcentaje de carga; T=Temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Figura 28. Ecuación calculada por el software Minitab 11 que representa la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga.



La ecuación que representa la estrategia es:

$$P = 4,54 + 0,0239 \cdot C + 0,170 \cdot T$$

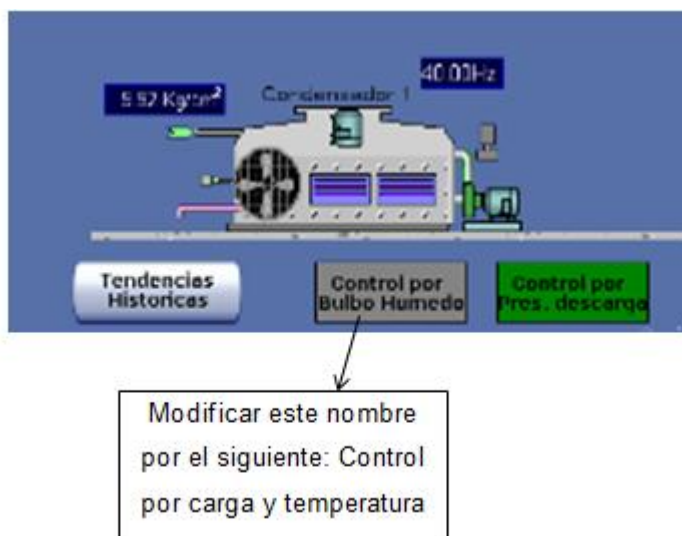
Dónde:

P=Presión de descarga; C=Porcentaje de carga; T=Temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

3.5 MODIFICACIONES QUE SE LE DEBEN HACER AL SISTEMA (SCADA Y PLC) PARA LLEVAR A CABO LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN DE UNA REFERENCIA SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA AUTOMÁTICA, DINÁMICA Y ÓPTIMA.

3.5.1 Cambio en el sistema Scada (INTOUCH 10). En la interfaz gráfica del INTOUCH donde se puede seleccionar las formas de establecimiento del set point de presión de descarga se va a modificar el icono “control por bulbo húmedo” por “control por carga y bulbo húmedo”.

Figura 29. Interfaz del INTOUCH donde se selecciona la estrategia para el establecimiento del set point de presión de descarga.



Al seleccionar el operario este control deberá aparecer la siguiente tabla donde el maquinista tendrá que seleccionar el estado (encendido o apagado) de cada uno de los enfriadores del sistema, por lo cual tendrá que ir a las diversas estaciones de servicios a preguntar cuales evaporadores intermitentes están encendidos y en qué fase se encuentran los 33 tanques destinados a los procesos de fermentación y maduración de la cerveza.

Tabla 16. Tabla donde el operario deberá ingresar el estado (encendido o apagado) de cada uno de los evaporadores y la fase en la que se encuentra cada tanque.

EQUIPOS	ESTADO	
Enfriador de agua para mosto		INTERMITENTE
Enfriador de trasiego		INTERMITENTE
Enfriador de agua desaireada		INTERMITENTE
Enfriador de cerveza		INTERMITENTE
Enfriador de glicol para BBts		SIEMPRE
Enfriador de glicol para cava de		SIEMPRE
Enfriador de descarga de CO2		SIEMPRE
Difusor cava de lupulo		SIEMPRE

TANQUES FERMENTADORES										Tanques maduradores	
Tanques	Tanque #	Fermentacion								Tanque #	estado
		Llenado	inicio	Regimen	Subir	Descanso	Enfriamiento	Descanso	vaciado		
Tanques pequeños	15									1	
	16									2	
	17									3	
	18									4	
	19									5	
	20									6	
	21									7	
	22									8	
Tanques grandes	23									9	
	24									10	
	26									11	
	27									12	
	28									13	
	29									14	
	30										
	31										
	32										
	33										
	34										

APAGADO	
ENCENDIDO	

En pro de aumentar la automatización en el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería y evitar la pérdida de tiempo que conlleva que el operario se desplace a las diferentes áreas de servicios para saber el estado de cada uno de los subsistemas de enfriamiento, se habló con el ing. Gonzalo Ardila del área de mantenimiento para llevar a cabo un mini proyecto con el cual se llevarán las señales de temperatura de entrada y salida de los enfriadores intermitentes y la fase en la que se encuentra cada tanque al PLC, con el fin de que estas variables puedan ser visualizadas por el operario en la interfaz gráfica del SCADA.

El mini proyecto se realizó, pero sólo una parte de este. Se llevaron las señales de los enfriadores intermitentes (enfriador de agua para mosto, trasiego, cerveza y agua desaireada). En el caso de los tanques, sus señales se llevarán próximamente.

Figura 30. Interfaz INTOUCH donde se puede observar que evaporadores intermitentes están en funcionamiento.



Analizando los datos obtenidos de cada una de las 19 pruebas hechas sobre el sistema; se concluyó que la carga impuesta por los tanques es relativamente constante por lo cual para facilitar cálculos se va a tomar de esa forma.

Tabla 17. Carga promedio para tanques (Fermentadores y maduradores)

Fermentación y maduración	
Prueba 1	14,20%
Prueba 2	15,10%
Prueba 3	15,60%
Prueba 4	13%
Prueba 5	12,90%
Prueba 6	20,70%
Prueba 7	17,70%
Prueba 8	14,60%
Prueba 9	14,80%
Prueba 10	15%
Prueba 11	15,40%
Prueba 12	15,30%
Prueba 13	15,40%
Prueba 14	15,90%
Prueba 15	16,20%
Prueba 16	15,40%
Prueba 17	15,54%
Prueba 18	15,42%
Prueba 19	15,87%
Valor mínimo	12,90%
Vlor promedio	15,475%
Valor máximo	20,70%

De esta manera al operario ya no le toca llenar la tabla 14 sino que el mismo PLC internamente la podría llenar, y saber qué porcentaje de carga se está imponiendo al sistema de refrigeración en todo momento.

Figura 31. Posibles configuraciones de carga impuestas sobre el sistema de refrigeración.

SIEMPRE		FER Y MA		MOSTO	TRASIEGO	DESAIREADA	CERVEZA	CARGA	
Carga TR	Porcentaje	Carga TR	Porcentaje					TR	%
100	10,93%	141,57	15,475%					241,57	26,41%
100	10,93%	141,57	15,475%					429,028	46,90%
100	10,93%	141,57	15,475%					345,714	37,79%
100	10,93%	141,57	15,475%					413,754	45,23%
100	10,93%	141,57	15,475%					262,399	28,68%
100	10,93%	141,57	15,475%					533,172	58,28%
100	10,93%	141,57	15,475%					601,212	65,72%
100	10,93%	141,57	15,475%					449,857	49,17%
100	10,93%	141,57	15,475%					517,898	56,61%
100	10,93%	141,57	15,475%					366,543	40,07%
100	10,93%	141,57	15,475%					434,583	47,50%
100	10,93%	141,57	15,475%					705,356	77,10%
100	10,93%	141,57	15,475%					622,041	67,99%
100	10,93%	141,57	15,475%					554,001	60,56%
100	10,93%	141,57	15,475%					538,727	58,89%
100	10,93%	141,57	15,475%					726,185	79,38%

3.5.2 Cambios en el software del PLC (UNITY PRO). Insertar la ecuación que rige el establecimiento del set point automático, dinámico y óptimo de presión de descarga de los compresores.

$$SPP= 4,54 + 0,0239*\%Q + 0,170*Twb$$

Donde:

SPP= Valor set point de presión de descarga.

%Q= Porcentaje de carga impuesta sobre el sistema.

Twb= Temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Además toca insertar los % de carga de cada uno de los evaporadores que componen el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería. Los cuales son:

CARGA CONSTANTE

- -Enfriador de glicol para BBTs= 2,186%
- -Enfriador de glicol para cava de levadura= 6,558%
- -Enfriador de descarga de CO₂= 1,093%
- -Difusor cava de lúpulo= 1,093%
- -Carga promedio de tanques fermentadores y maduradores = 15,475%

CARGA INTERMITENTE

- -Enfriador de agua para mosto =20,485%
- Enfriador de agua desaireada=18,815%
- Enfriador de trasiego=11,375%
- Enfriador de cerveza =2,265%

Las señales de temperatura de entrada y salida de las sustancias a enfriar por los evaporadores intermitentes ya llegan al PLC; por ende se puede saber cuáles están encendidos.

El valor de temperatura de bulbo húmedo del ambiente es medido por su respectivo sensor y dicha señal llega al PLC.

Al seleccionar la opción “control por carga y bulbo húmedo” inmediatamente se establecerá una referencia set point de presión de descarga que cambiará según las variaciones de carga y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Dichas modificaciones se le enviaron vía email a la Ing. Natalia Plazas de la contratista ELECMER, dicha contratista se encarga de realizar montajes eléctricos y electrónicos en la cervecería.

La oferta presentada por ELECIMER para llevar a cabo las modificaciones en el SCADA (INTOUCH 10) y el PLC (Unity pro) para la implementación de la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga es la siguiente:

Figura 32. Oferta de la contratista ELECIMER para llevar las modificaciones en el sistema (SCADA, PLC).



Duitama, 12 de Julio de 2012

Oferta: NP.141.133.12.R1

SEÑORES
BAVARIA BUCARAMANGA
ATN:
ING CARLOS MORA

Fecha de Solicitud	10/07/2012
Fecha de Elaboración	12/07/2012

REF: MODIFICACIONES SCADA Y PROGRAMA PLC PARA LA OPTIMIZACION DEL CONTROL POR BULBO HUMEDO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION

APRECIADOS SEÑORES:

En respuesta a su cordial solicitud y de acuerdo a sus especificaciones, presentamos nuestra oferta para la referencia. Cualquier inquietud con gusto la aclararemos.

ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CNT	UND	TIEMPO EN ENTREGA	UNIT. MATER.	SUBTOTAL	UNIT. M.O.BRA	T. MANO OBRA	TOTAL ITEM
1		SERVICIO DE INGENIERIA, PROGRAMACION DE SCADA Y PLC PARA REALIZAR MODIFICACIONES EN EL SISTEMA DE REFRIGERACION	1	GLB		\$ 0	\$ 0	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000
							\$ 0		\$ 2.250.000	\$ 2.250.000

TOTAL COSTO DIRECTO									\$ 2.250.000
FLETES Y EQUIPO									\$ 0
SUBTOTAL									\$ 2.250.000
A.I.U.									16 %
SUBTOTAL									\$ 337.500
I.V.A									16 %
VALOR TOTAL DE LA OFERTA									\$ 414.000
									\$ 3.001.500

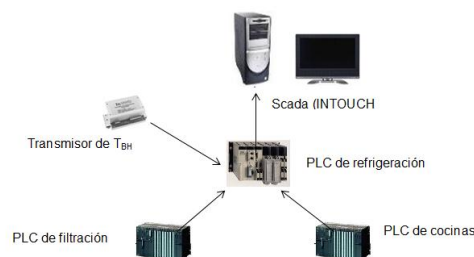
4. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA CERVECERÍA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE OBTENCIÓN DE UN SET POINT AUTOMÁTICO, VARIABLE Y ÓPTIMO DE PRESIÓN DE DESCARGA EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.

La oferta presentada por la contratista ELECMER (Figura 36) fue aprobada por el Ing. Gonzalo Ardila del área de mantenimiento de la cervecería, por lo cual se realizaron las modificaciones sobre el sistema SCADA y el PLC mostradas en el capítulo 3, para finalmente llevar a cabo la implementación de la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga con el fin de reducir el consumo energético del sistema.

4.1 TOPOLOGÍA DE COMUNICACIÓN

En la siguiente figura se muestra la topología de comunicación que se realizó entre los diversos PLCs que tiene la cervecería en sus diferentes áreas y el SCADA del sistema de refrigeración de amoníaco para obtener una referencia de set point automática, dinámica y óptima de presión de descarga de los compresores.

Figura 33. Topología de comunicación.



A continuación se explica la función de cada elemento de la topología de comunicación:

4.1.1 PLC de cocinas. A este PLC llegan las señales de flujo y temperatura de entrada y salida del agua del enfriador intermitente de agua para mosto.

4.1.2 PLC de filtración. A este PLC llegan las señales de flujo y temperatura de entrada y salida de la sustancia a enfriar en los enfriadores intermitentes de agua desaireada, cerveza y trasiego.

4.1.3 Transmisor de temperatura de bulbo húmedo del ambiente. Envía una señal de corriente entre 4 y 20 mA al PLC de refrigeración, dicho valor de corriente corresponde a un valor de temperatura de bulbo húmedo.

4.1.4 PLC de refrigeración. Este es el PLC principal del área de refrigeración, el cual está conectado directamente al SCADA. A este PLC llegan las señales obtenidas en los PLCs de cocinas y filtración. Con dichas señales el PLC de refrigeración sabrá que evaporadores intermitentes están en funcionamiento. Para el caso de los evaporadores que imponen carga constante sobre el sistema, se ingresó en este, la suma del % de carga impuesto por estos.

Tabla 18. Subsistemas que imponen un porcentaje de carga constante al sistema de refrigeración

SUBSISTEMAS DE CARGA FIJA	% DE CARGA
Enfriador de glicol para tanques BBTs	2,186
Enfriador de glicol para cava de levadura	6,558
Enfriador de descarga de CO ₂	1,093
Difusor de la cava de lúpulo	1,093
Tanques(fermentadores y maduradores)	15,475
Total	26,405

Tabla 19. Enfriadores que imponen un porcentaje de carga intermitente sobre el sistema de refrigeración.

SUBSISTEMAS DE CARGA FIJA	% DE CARGA
Enfriador de agua para mosto	20,485
Enfriador de agua desaireada	18,815
Enfriador de trasiego	11,375
Difusor de cerveza	2,265

Ya sabiendo el % de carga total impuesto sobre el sistema en todo momento y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente, se insertó la ecuación que representa la estrategia de obtención de un set point automatico,dinamico y optimo de presión de descarga de los compresores en el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga

$$\text{SPP} = 4,54 + 0,0239 * \%Q + 0,170 * \text{Twb}$$

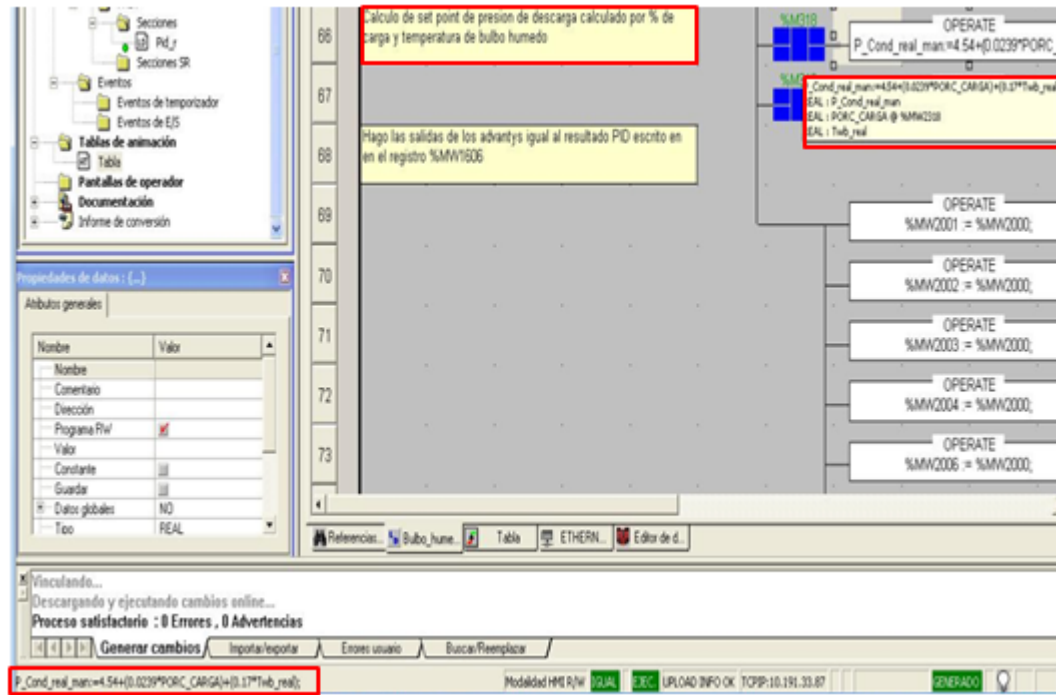
Donde:

SPP= Valor set point de presión de descarga.

%Q= Porcentaje de carga impuesta sobre el sistema.

Twb= Temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Figura 34. Interfaz gráfica del software UNITY PRO(PLC) donde se observa la fórmula que representa la estrategia para la obtención de un set point de presión de descarga en función de la carga y la temperatura de bulbo húmedo.



4.1.5 SCADA. En la cervecería Bavaria se trabaja con el sistema Scada “INTOUCH 10”. En la siguiente figura se muestra como quedó la interfaz gráfica donde se puede seleccionar la nueva estrategia de obtención del set point de descarga del sistema en función de la carga y la temperatura de bulbo húmedo.

Figura 35. Visualización de la nueva estrategia de obtención del set point de presión de descarga del sistema teniendo en función de la carga impuesta sobre el sistema y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.



Figura 36. Visualización en el sistema SCADA de la tabla que llena el PLC automáticamente para calcular el % de carga impuesto sobre el sistema.



4.2 DATOS QUE AVALAN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA ESTRATEGIA PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT DE PRESIÓN DE DESCARGA AUTOMATICO, DINAMICO Y ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO DEL AMBIENTE.

A continuación se muestran los datos de potencia eléctrica consumida por el sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería (consumo de compresores + consumo de condensadores evaporativos) trabajando a condiciones de carga y temperatura de bulbo húmedo específicas; en las dos estrategias de obtención de la referencia set point de presión de descarga.

Tabla 20. “Control por presión de descarga” vs. “Control por carga y bulbo húmedo”.

EOSP	%C	Twb	SP	Pd	Pot C1(HP)	Pot C2(HP)	POT CE(HP)	POT T(HP)	#CE	F
V	28,6	22,66	9,6	9,6	339,28	N.A.	89,52	428,8	5	40
N	28,6	22,66	9,08	9,08	304,82	N.A.	117,78	422,6	6	60
V	42,7	19,44	9,06	9,06	303,5	N.A.	106,47	409,97	6	40
N	42,7	19,44	8,87	8,86	290,74	N.A.	114,952	405,69	6	55
V	63,2	19,43	9,44	9,44	328,69	90,79	112,123	531,60	6	50
N	63,2	19,43	9,35	9,31	319,97	85,51	114,952	520,43	6	55

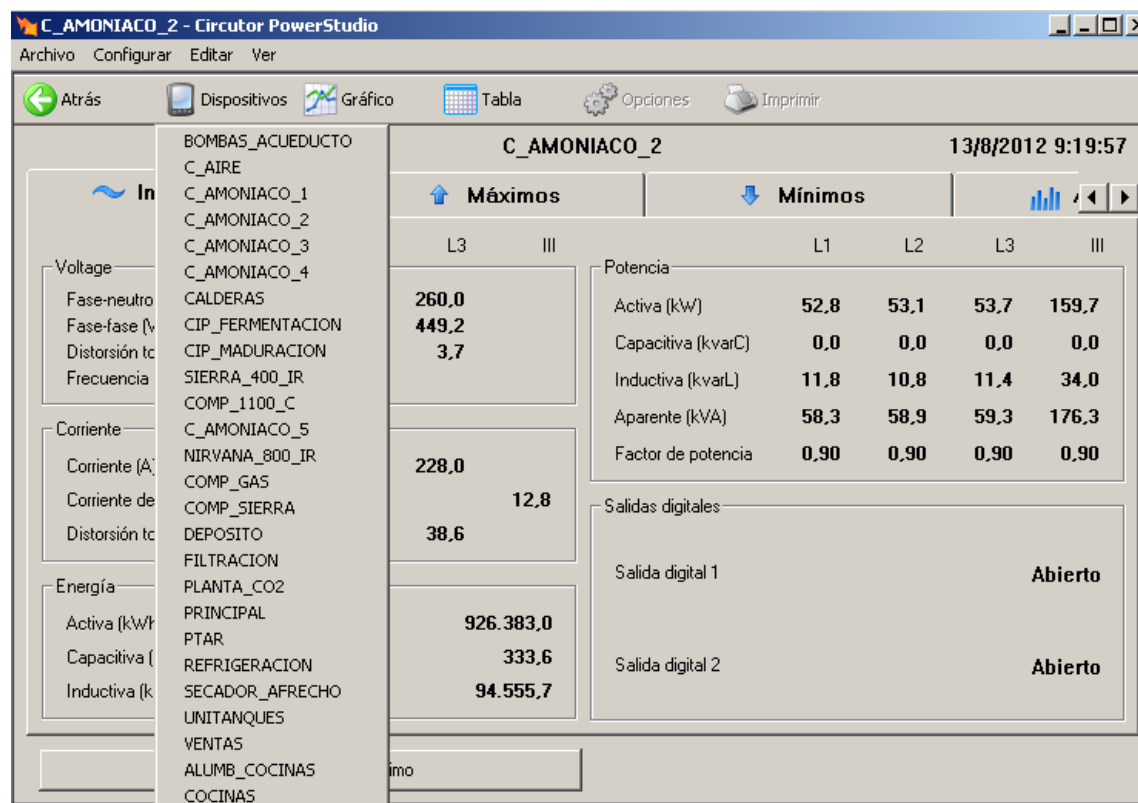
DONDE:

EOSP: Estrategia para la obtención de un set point de presión de descarga ; V: Vieja estrategia “control por presión de descarga” ; N: Nueva estrategia “control por carga y bulbo húmedo” ; %C: Porcentaje de carga ; Twb: Temperatura de bulbo húmedo en °C ; SP=Set point de presión de descarga impuesto sobre el sistema en kg/cm² ; Pd: Presión de descarga alcanzada por el sistema en kg/cm² ; Pot C1: Potencia compresor #1 ; Pot C2: Potencia compresor #2 ; Pot CE: Potencia condensadores evaporativo ; Pot T: Potencia total ; #CE:Número de condensadores evaporativos que están funcionando ; F: Frecuencia en Hz del variador del último condensador evaporativo.

De la tabla anterior se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Los datos de potencia consumida por los compresores de amoniaco del sistema se obtuvieron del software Power StudioCircutor. Este software se encuentra en comunicación ONLINE con el scada (INTOUCH 10) del sistema de refrigeración.

Figura 37. Interfaz gráfica del software Power StudioCircutor donde se pueden seleccionar los diferentes equipos que componen el sistema de refrigeración de amoniaco para conocer sus parámetros eléctricos (corriente, voltaje, potencia activa, etc.)



- En dicho software no se encuentran los parámetros eléctricos de los condensadores evaporativos por lo cual se conversó con el ing. Hermes Puentes para que nos colaborará con ese inconveniente ya que era necesario saber el consumo de potencia eléctrica de los condensadores evaporativos a diferentes frecuencias de trabajo del variador de velocidad.

Dichos parámetros se obtuvieron gracias a la instalación por parte del ing. Hermes Puentes de un analizador de redes en un condensador Evapco CATC – 367.

Figura 38. Analizador de redes.



Tabla 21. Potencia consumida por el motor del condensador evaporativo CATC 367 para diferentes valores de frecuencia de su respectivo variador de velocidad.

F (Hz)	Pot(HP)
60	16,945
55	14,117
50	11,288
45	8,46
40	5,631

- Los valores de potencia de los condensadores evaporativos corresponden a la suma de la potencia consumida por cada condensador evaporativo que esté encendido. En el caso de los condensadores Evapco PMCA 475 los cuales no tienen variador para efectos de cálculos se consideró que consumían 25 HP siempre.
- Para diversas condiciones de carga y temperatura de bulbo húmedo la nueva estrategia de obtención de un set point de presión descarga automático, dinámico y óptimo nos brinda un ahorro energético considerable con respecto a la anterior estrategia utilizada en la cervecería.

- Con la implementación de la nueva estrategia de obtención de un set point de presión de descarga automático, dinámico y óptimo en función de la carga y la temperatura de bulbo húmedo se ahorrarán un promedio de 168KWh por día en comparación con la estrategia” control por presión de descarga.

4.2. RELACIÓN “BENEFICIO- COSTO” EN TÉRMINOS MONETARIOS DE LA NUEVA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA LA OBTENCIÓN DE UN SET POINT ÓPTIMO DE PRESIÓN DE DESCARGA (“CONTROL POR CARGA Y BULBO HÚMEDO”).

Una forma de saber que tan eficiente es un sistema o producto es a través del análisis de su relación beneficio – costo.

Así como en los compresores dicha relación es conocida como Coefficient Of Performance o COP y expresa que tanto es aprovechada la energía eléctrica consumida por el compresor(costo) en energía de refrigeración al sistema(beneficio) en la nueva estrategia de control estos parámetros están definidos por lo siguiente:

4.2.1 Costo. El costo de la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga de lo del sistema de refrigeración de amoniaco está representado por la compra e instalación del sensor y del transmisor de bulbo húmedo, y por el valor que cobró la contratista ELECMER (Ver figura.32) para realizar los cambios al sistema (SCADA Y PLC) que conllevarán a la puesta a punto de la nueva estrategia.

Tabla 22. Costos de la implementación de la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga de los compresores.

Elemento	Costo
Compra e instalación del sensor y transmisor de temperatura de bulbo húmedo	3'000.000
Realización de modificaciones en el sistema(SCADA-PLC)	3'001.500
Total	6,001.500

4.2.2 Beneficio. El beneficio de la nueva estrategia de control sobre la presión de descarga de los compresores está representada por el ahorro energético que se obtiene con la implementación de dicha estrategia, con respecto a la antigua estrategia utilizada en el sistema.

El ahorro energético promedio que se obtiene en un día en la cervecería con la utilización de la estrategia de control por carga y temperatura de bulbo húmedo es de 168 KW/h con respecto a la antigua estrategia; multiplicando este valor por \$380 pesos que le cuesta a la cervecería Bavaria cada KWh consumido da un total de \$1'915.200 ahorrados en un mes.

Analizando los parámetros beneficio – costo nos damos cuenta que en más o menos 13 semanas se estará recuperando la inversión inicial ya que se trata de datos promedios.

Por lo anterior se puede deducir que la relación beneficio – costo de la nueva estrategia de control es eficiente y va en pro de la reducción del consumo total de energía consumida en la cervecería Bavaria S.A de Bucaramanga.

5. CONCLUSIONES

- ✓ La implementación de la nueva estrategia de obtención de una referencia set point de presión de descarga automática, dinámica y optima según la carga de refrigeración y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente conllevó a la minimización del consumo eléctrico del sistema de refrigeración de amoniaco de la cervecería. Con respecto a la anterior estrategia utilizada en el sistema “control por presión de descarga” se obtuvo un ahorro promedio de 168 KWh por día.
- ✓ Se hizo el montaje físico del sensor y transmisor de temperatura de bulbo húmedo del ambiente seleccionado en el capítulo 2, además se realizó la instrumentación y programación necesaria para la llegada de las señales del transmisor al PLC y del PLC al SCADA, desde el cual se puede realizar el monitoreo de dicha temperatura en todo momento.
- ✓ Con el envío de las señales de flujo, temperatura de entrada y salida de las sustancias a enfriar en los evaporadores intermitentes al PLC de refrigeración se trabajó en pro de la mayor automatización del sistema ya que ahora no le toca al operario llamar a las diversas estaciones de servicios para saber que enfriadores están en funcionamiento.
- ✓ La elaboración de este proyecto permitió conocer de qué manera incide la refrigeración industrial en el proceso de la elaboración de la cerveza a gran escala.
- ✓ Este proyecto permitió un encuentro entre el alumno y la industria, logrando relacionar la formación académica con situaciones reales de procesos llevados a cabo en grandes empresas del país.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar la instalación de sensores de nivel en los 19 tanques fermentadores que envíen sus señales PLC, para que esté automáticamente sepa en qué fase se encuentran cada uno de ellos. Conociendo la fase y el volumen de cada tanque podríamos calcular la carga total impuesta por estos sobre sistema.
- ✓ Como ya se cuenta con las señales de los flujos y temperaturas de entrada y salida de las sustancias a enfriar en los evaporadores intermitentes de placas paralelas (mosto, desaireada, trasiego y cerveza) en el PLC. En pro de la automatización del sistema se podría insertar en el PLC la siguiente ecuación para que este calcule la carga impuesta ONLINE por cada uno de estos evaporadores.

$$Q = D * F * (T_{IN} - T_{OUT})$$

Dónde:

Q= Carga impuesta por el evaporador sobre el sistema.

D= Densidad de la sustancia a enfriar.

F = Flujo volumétrico de la sustancia a enfriar.

T_{IN} = Temperatura de entrada de la sustancia a enfriar.

T_{OUT} = Temperatura de salida de la sustancia a enfriar.

- ✓ Ya que el sistema cuenta con dos tanques de baja trabajando ambos a una temperatura de -7°C, y algunos enfriadores como el de agua para mosto y el de agua desaireada trabajan a una temperatura de evaporación de -1°C de amoníaco se plantea la necesidad de realizar modificaciones al sistema para que un tanque de baja trabaje a una temperatura de -1°C y podamos obtener un ahorro de energía en el compresor que tenga su succión conectada a este

tanque ya que dicha presión sería mayor y por lo tanto el trabajo realizado por este disminuiría.

- ✓ Realizar el montaje de medición necesario en los condensadores evaporativos para que los parámetros eléctricos de estos lleguen al software Circutor Power Studio como si lo hacen los de los compresores, bombas, etc.

BILIOGRAFIA

- ✓ JOHNSON, Whilliam M.; WHITMAN, William. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Thomson. 2002
- ✓ STOCKER, Wilbert. Refrigeración industrial. McGraw-Hill Professional publishing. Enero 1998.
- ✓ DOSSAT, Roy .Principios de refrigeración. Compañía editorial Continental S.A de C.V. México, 1998.

ANEXOS

ANEXO A. Enfriadores

Enfriador de agua para mosto.



Variable	valor
Tin	22°C
Tout	2°C
Flujo	270 HI/Hr

Enfriador de agua para mosto. – Tabla de variables enfriador de agua para mosto

Enfriador de trasiego.



Variable	valor
Tin	4°C
Tout	-2°C
Flujo	500 HI/Hr

Enfriador de trasiego – Tabla de variables enfriador de Trasiego

Enfriador de agua desaireada.



Variable	valor
Tin	27°C
Tout	2,2°C
Flujo	200 HI/Hr

Enfriador de agua desaireada. – Tabla de variables enfriador de agua desaireada

Enfriador de Cerveza.



Variable	valor
Tin	-1°C
Tout	-2.5°C
Flujo	400 HI/Hr

Enfriador de Cerveza filtrada. – Tabla de variables enfriador de Cerveza filtrada.

Enfriador de Glicol para BBTs



Variable	valor
PinA	30.7 psi
PoutA	35 psi
PM	3-32

Enfriador de Glicol tanques BBTs – Tabla de variables Enfriador de Glicol tanques BBTs

Enfriador de Glicol para cava levadura.



Variable	valor
PinA	29.93 psi
PoutA	35 psi
PM	3-50

Enfriador de Glicol Cava de levadura – Tabla de variables Enfriador de Glicol Cava de levadura

Enfriador de descarga de CO₂.



Variable	valor
PinA	29.8 psi
PoutA	35 psi
PM	3-20

Enfriador de Descarga de CO₂ – Tabla de variables Descarga de CO₂.

Tanques (Fermentación – Maduración).



Tanques (fermentación – Maduración)

ANEXO B. Compresores

Compresor #1.



Compresor de amoniaco #1

Compresor 1
Modelo N250SUD-L, Serial 80666
Bomba MYCOM Modelo M80P 6PM

Información general Compresor # 1

Información técnica		
Compresor 1	MOTOR	BOMBA
Potencia (HP)	500	9
Velocidad (RPM)	3520	1160
Voltaje (Volt)	460	220/440
Corriente(Amp)	570	28,6/14,3

Información técnica Compresor # 1

Compresor #2.



Compresor de amoniaco #2

Compresor 2
Modelo N250VSD-L, Serial 2556055
Bomba MYCOM Modelo M80P 6PM
Información general Compresor # 2

Información técnica		
Compresor 2	MOTOR	BOMBA
Potencia (HP)	533	9
Velocidad (RPM)	3600	1160
Voltaje (Volt)	440	220/440
Corriente(Amp)	600	28,6/14,3

Información técnica Compresor # 2

Compresor #3.



Compresor de amoniaco #3

Compresor 3
Modelo N250SUD-M, Serial 2552845
Motor inducción Type BDA-BI
Información general Compresor # 3

Información técnica		
Compresor 3	MOTOR	BOMBA
Potencia (HP)	496	5,36
Velocidad (RPM)	3540	1710
Voltaje (Volt)	440	440
Corriente(Amp)	565	

Información técnica Compresor # 3

Compresor #4.



Compresor de amoniaco #4

Compresor 4
Modelo N200VMD-L, Serial 2035097
Bomba MYCOM Modelo M50P - PM
Información general Compresor # 4

Información técnica		
Compresor 4	MOTOR	BOMBA
Potencia (HP)	300	3
Velocidad (RPM)	3570	
Voltaje (Volt)	460	220/440
Corriente(Amp)	340	9,9/4,8

Información técnica Compresor # 4

ANEXO C. Condensadores

Condensador EVAPCO CATC – 367



Condensador evaporativo CATC-367 en la cervecera de Bucaramanga.

Condensador	EVAPCO CATC - 367 - Tcond 33°C - Tbh 24°C - Ventilador 20 HP; Bomba 3HP
Motor	20HP, 1800 RPM, 230/460 V, 49,6/24,8A

Información General Condensador evaporativo CATC-367

Condensador EVAPCO PMCA 475.



Condensador evaporativo PMCA 475 en la cervecera de Bucaramanga.

Condensador	EVAPCO PMCA 475- Tcond 35.72°C - Tbh 25,5- Ventilador 25 HP; Bomba 5HP
Motor	20HP, 1800 RPM, 230/460 V, 49,6/24,8A

Información General Condensador evaporativo PMCA 475.

ANEXO D. Catálogos del sensor y transmisor de temperatura de bulbo húmedo

IN-HWD Humidity and Temperature Converter.

The IN-HWD uses a microprocessor with formulae and look-up tables to obtain better than 1% accuracy for relative humidity over the complete temperature range of 0~100C.

Features.

- Independent Temperature and Relative Humidity Outputs.
- %RH Accurate to 1.0%.
- Temperature Accurate to 0.1%.
- Low Cost.
- Easy to Install.
- Internal Zero and Span Adjustments.

Ordering Information.

IN-HWD-X Standard Calibration.
 IN-HWD-☐ - ☐ - Special Range Calibration.
 IR OR

INPUT RANGES		OUTPUT RANGES	
Input	IR	Output	OR
Pt100 RTD	1	0~10mV	A
0~100mV	2	0~100mV	B
0~1V	3	0~1V	C
0~5V	4	0~5V	D
1~5V	5	1~5V	E
0~20mA	6	0~20mA	F
4~20mA	7	4~20mA	G
Special Input Range	Z	Special Output Range	Z



The Standard Calibration for the IN-HWD is:
 (i) DIN Pt100 inputs, both calibrated for 0~100C temperature range;
 (ii) 4~20mA outputs for both relative humidity and temperature.

Specifications.

Inputs	-Standard	2 X Pt100 DIN RTD (3 Wire Type).
	-RTD Sensor Current	2mA.
	-RTD Lead Resistance	5Ω/Wire Max. Other Types of RTD Input Available.
	-Optional -mA:	Input Impedance = 100Ω.
	-mV & V:	Input Impedance = 200kΩ.
Outputs	-Standard -mA	2 X 4~20mA.
		Max Load Resistance at 20mA = 450Ω.
	-Optional -mV & V	Max Output Drive = 5mA.
Resolution of Inputs & Outputs		0.025% FSO (4096 Steps).
Humidity measuring range		0~100%RH Over 0~100C.
Humidity Accuracy & Linearity		to <±1% FSO Typical.
Temperature Measuring Range		0~100C.
Temperature Accuracy & Linearity		to <±0.1% FSO Typical.
Ambient Drift		<±0.005%/C FSO Typical for Temperature. <±0.02%/C FSO Typical for Humidity.
Operating Temperature		0~70C.
Storage Temperature		-20~80C.
Operating Ambient Humidity		90%RH Max. Non-condensing.
Power Supply		110/230Vac 50/60Hz.
Mounting		DIN Rail or Rear Panel.

Note 1. Specifications based on Standard Calibration Unit, unless otherwise specified.

Note 2. Due to ongoing research and development, designs, specifications, and documentation are subject to change without notification. No liability will be accepted for errors, omissions or amendments to this specification.

Quality Assurance Programme.

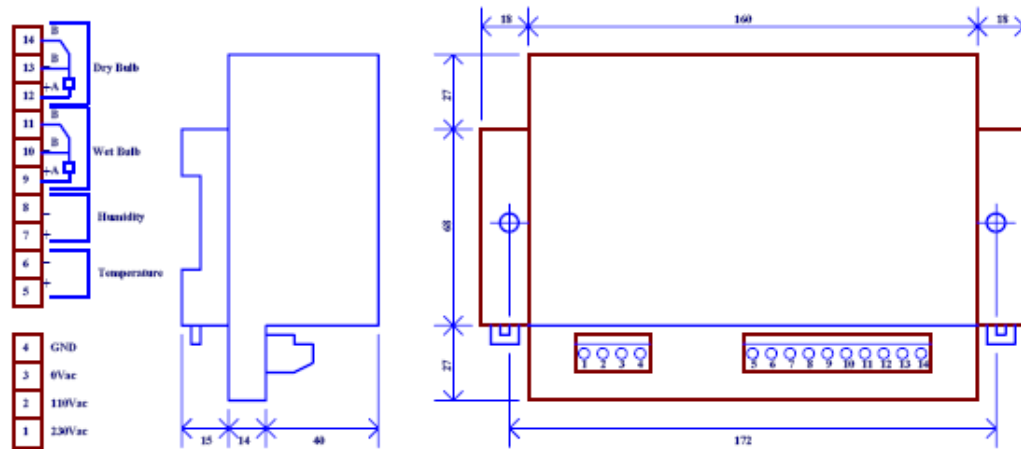
The modern technology and strict procedures of the ISO9001 Quality Assurance Programme applied during design, development, production and final inspection grant long term reliability of the instrument.

4.01-1

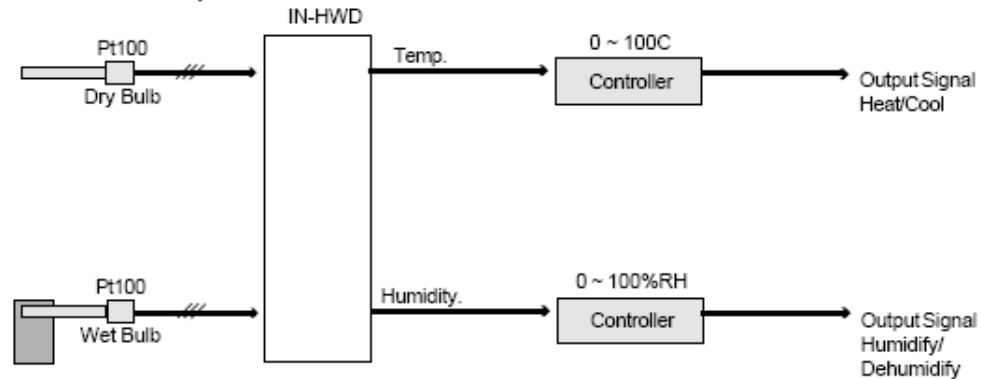
direccion
Carrera 47a # 91 - 86
pbx
(571) 616 4169
real
ventas@instrumatic.com.co



IN-HWD Terminal Arrangement and Enclosure Dimensions.



Connection Example.



Formulae Information.

The IN-HWD formulae and look-up table is based on the ASTM Standards and takes the psychrometric constant:

$$A = 6.60 \times 10^{-4} (1 + 0.00115 \text{ tw})$$

tw = Wet bulb temperature and the atmospheric pressure P = 101325 Pa.

Note: 'A' is still under dispute by different organisations.

Most relative humidity tables are within 1% of the ASTM relative humidity tables.

Intech INSTRUMENTS LTD.

Christchurch
Ph: 03 343 0646
Fx: 03 343 0649
4.01-2

Nelson
Ph: 03 546 6840
Fx: 03 546 8797

Auckland
Ph: 09 827 1930
Fx: 09 827 1931

hwd_2pg.p65
ISSUE 020799

WDT-DW Wet & Dry Humidity Tank Assembly

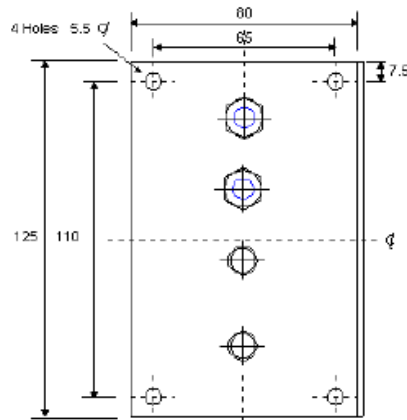
Humidity Wet & Dry
Tank Assembly

The WDT-DW has been developed specifically to meet the requirements for Wet & Dry Humidity Tank installations.

Ordering Information:

WDT-DW Sensors; RTD, Pt100, Band 5. 4.8ø x 150. Others by request.
Fill port; 1/8"BSP nipple.
Overflow port; 1/8"BSP nipple.
Mount; Wall or duct mount.
Cable; 4 meters.

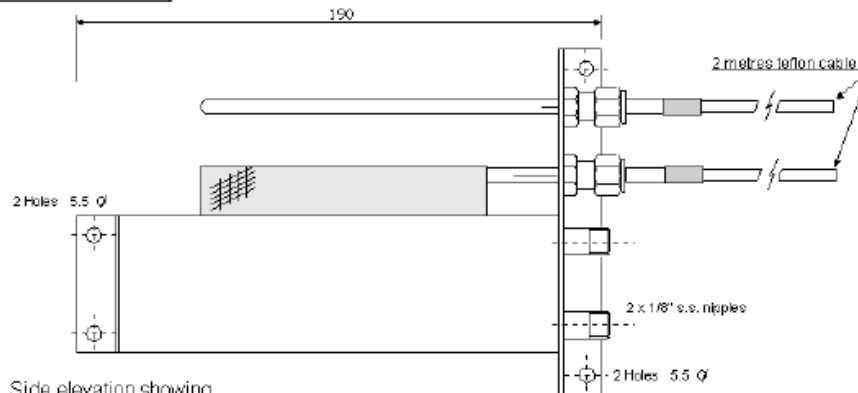
WDT-WICK Spare wick for wet bulb sensor



End elevation showing
duct mount fixings
(cutout 96 x 52mm)



INSTRUMATIC
Cra 47A No 91-86 Bogota-Colombia
PBX : 6164169 - FAX : 2572005
E-mail : ventas@instrumatic.com.co
www.instrumatic.com.co



Side elevation showing
wall mount fixings

Product Liability. This information describes our products. It does not constitute guaranteed properties and is not intended to affirm the suitability of a product for a particular application. Due to ongoing research and development, designs, specifications, and documentation are subject to change without notification. Regrettably, omissions and exceptions cannot be completely ruled out. No liability will be accepted for errors, omissions or amendments to this specification. Technical data are always specified by their average values and are based on Standard Calibration Units, unless otherwise specified. Each product is subject to the 'Conditions of Sale'.
Warning: These products are not designed for use in, and should not be used for patient connected applications. In any critical installation an independent fail-safe back-up system must always be implemented.

Intech INSTRUMENTS LTD
www.intech.co.nz

4.03

WDT-DW.p65
ISSUE 131206