

FEDERICO LORENZON CIAN



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

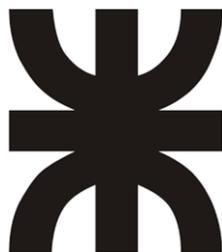
Facultad Regional Reconquista

**AUTOMATIZACION DE UN SISTEMA DE ATMOSFERA
CONTROLADA PARA UNA HILANDERIA Y TEJEDURIA
UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE RECONQUISTA**

Reconquista, Santa Fe

Año 2020

FEDERICO LORENZON CIAN



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Reconquista

**AUTOMATIZACION DE UN SISTEMA DE ATMOSFERA
CONTROLADA PARA UNA HILANDERIA Y TEJEDURIA
UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE RECONQUISTA**

Proyecto final presentado en cumplimiento de las exigencias de la Carrera
Ingeniería Electromecánica de la Facultad Regional Reconquista, realizada
por el estudiante Federico Lorenzón Cian

Asesores: Profesor.: Dr. Antonio Ferramosca

Profesor: Ing. Juan Pablo Suligoy

Profesor: Ing. Iván Talijancic

Reconquista, Santa Fe

República Argentina

Año 2020

DEDICATORIA

Dedico este logro académico y profesional a mi familia, por ser el mayor apoyo en mis estudios. Y también es para mi compañera de vida y mis más cercanos amigos, por darme la motivación y el acompañamiento en estos 10 años de carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la comunidad de la Facultad Regional Reconquista, profesores y amigos. Quiero mencionar especialmente a todo el equipo que conforma y fueron parte del GRUDIM.

A los profesores que brindaron conocimiento en este trabajo, el Dr. Antonio Ferramosca, el Ing. Juan Pablo Suligoy y el Ing. Iván Talijancic.

Al Ing. Santiago Goldaraz por su especial aporte y acompañamiento en este proyecto.

RESUMEN

Durante el proceso de hilado y tejido de las fibras sintéticas y de algodón se requiere, para el correcto funcionamiento de los equipos de proceso, entre otras cosas un control de la atmósfera con rango acotado de humedad y temperatura. De esta manera, el sistema de producción permite mantener un nivel de estandarizado en la calidad de sus productos al minimizar variables dependientes directamente a las condiciones climáticas del sector. Estas variables alteran las propiedades de las fibras durante su manufactura; actuando directamente sobre la resistencia a la tracción, elasticidad, alargamiento, carga electroestática y flexibilidad entre otras.

Para mantener controladas estas dos variables la planta industrial opera con centros de refrigeración.

En cada uno de los sectores de trabajo se ubica un panel de control, en el cual se especifica el nivel de temperatura y humedad. Cada uno de estos dispositivos utiliza un sistema de control neumático que acciona la operación de los distintos componentes también de forma neumática.

Es aquí donde esta tecnología, debido a las grandes dimensiones del establecimiento, y a las distancias entre los dispositivos de medición y control, tiene sus falencias. Donde los contratiempos causados por el sistema de control neumático, con el correr del tiempo requiere un mantenimiento constante, y a su vez acarrea inconvenientes a la producción.

El presente proyecto releva la operación de cada uno de estos sistemas, y realiza una implementación que se adecúe a las necesidades propuestas. Además, el proceso de mejora plantea posibles actualizaciones abocadas en gran parte a mejorar la confiabilidad y modernidad de los elementos de maniobras utilizados actualmente. Para ello se analizan las propiedades de cada componente desde el punto de vista funcional, con el correspondiente algoritmo de control.

Es importante destacar que el proyecto realiza un relevamiento completo con posible reemplazo y adición de sensores que permite mejorar la medición de las variables de interés.

A su vez el estudio incluye simulaciones para los ensayos sobre la planta con cada una de las mejoras obtenidas. Con los resultados se realizó el detalle de la configuración de los nuevos sistemas para su implementación y los materiales necesarios para la puesta en marcha.



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA.....	5
3	CLIMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	6
4	SISTEMA DE ATMÓSFERA CONTROLADA EN LA PLANTA	8
5	PROCESOS DE AIRE HÚMEDO	11
6	RELEVAMIENTO DE LA CENTRAL 1	14
6.1	Descripción de la central de climatización	14
6.2	Sensores y Actuadores	18
6.3	Ejemplo de funcionamiento actual de la central de climatización.....	19
7	PROBLEMAS, CONSECUENCIAS Y POSIBLES MEJORAS	20
8	IDEA PROPUESTA	22
8.1	Sensores	22
8.2	Controlador	22
8.3	Actuadores	23
8.3.1	Alternativa I.....	23
8.3.2	Alternativa II.....	23
9	COMPONENTES EN DETALLE DEL SISTEMA DE CONTROL.....	24
9.1	Controlador RECOTECH SG10.....	24
9.2	Toma de datos: Sensores.....	26
9.2.1	Sensor de humedad y temperatura ambiente	26
9.2.2	Sensores de temperatura en agua.....	26
9.2.3	Sensor de temperatura promedio	27
9.3	Actuadores neumáticos (Alternativa I).....	28
9.4	Actuadores eléctricos (Alternativa II).....	30
10	NUEVO ESQUEMA DE CONTROL.....	31
10.1	Descripción general	31
10.2	Utilización en la central de climatización.....	32
10.3	Alternativa I.....	34
10.4	Alternativa II.....	34
11	MODELOS PARA SIMULACIÓN DEL CLIMA Y LA CENTRAL.....	35
11.1	Modelo matemático de la central.....	36
11.2	Modelo matemático del ambiente interior	41
12	CONTROLADOR.....	43



12.1	Controlador RATIO	43
12.2	Controlador PID.....	45
12.3	Esquema lógico de control del proyecto	47
12.3.1	Control de temperatura	48
12.3.2	Control de humedad	49
13	CONFIGURACION DE LOS CONTROLADORES MULTIPROPOSITO.....	51
14	OPERACIÓN Y CONTROL DEL NUEVO SISTEMA.....	57
15	COSTOS, INSTALACIÓN Y MONTAJE	58
16	CONCLUSIÓN	60
17	REFERENCIAS	61
	ANEXO I RELEVAMIENTO COMPLETO Y PLANOS.....	62
	ANEXO II CÁLCULOS – MEDICIÓN – MODELOS MATEMÁTICOS.....	73
	ANEXO III DISEÑO DE CONTROLADORES	101
	ANEXO IV SIMULACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL.....	108
	ANEXO V CONFIGURACIÓN DE CONTROLADORES MULTIPROPÓSITO ..	134
	ANEXO VI DETALLE DE PRESUPUESTO	151

1 INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de hilado y tejido de las fibras sintéticas y de algodón se requiere, para el correcto funcionamiento de los equipos de proceso, entre otras cosas un control de la atmósfera con rango acotado de humedad y temperatura. De esta manera, el sistema de producción permite mantener un nivel de estandarizado en la calidad de sus productos al minimizar variables dependientes directamente a las condiciones climáticas del sector. Estas variables alteran las propiedades de las fibras durante su manufactura; actuando directamente sobre la resistencia a la tracción, elasticidad, alargamiento, carga electrostática y flexibilidad entre otras.

Para mantener controladas estas dos variables la planta industrial, dedicada a la hilandería y tejeduría, opera con varios centros de refrigeración. Cada uno está integrado por sensores y actuadores como los son: válvulas reguladoras de caudal, apertura y cierre de ventilas, sensores de humedad y temperatura, tableros de maniobra para el conjunto de ventiladores y bombas, entre otros.

En cada uno de los sectores de trabajo se ubica un panel de control, en el cual se especifica el nivel de temperatura y humedad. Cada uno de estos dispositivos utiliza un sistema de control neumático que acciona la operación de los distintos componentes también de forma neumática.

Es aquí donde esta tecnología, debido a las grandes dimensiones del establecimiento, y a las distancias entre los dispositivos de medición y control, tiene sus falencias. Donde los contratiempos causados por el sistema de control neumático, con el correr del tiempo requiere un mantenimiento constante, y a su vez acarrea inconvenientes a la producción.

A partir de lo expuesto anteriormente, se desarrollará el presente proyecto. Sobre el mismo, se pretende relevar la operación de cada uno de estos sistemas, y realizar una implementación que se adecúe a las necesidades propuestas. Además, el proceso de mejora contempla posibles actualizaciones abocadas en gran parte a mejorar la confiabilidad y modernidad de los elementos de maniobras utilizados actualmente. Para ello se analizarán las propiedades de cada componente desde el punto de vista funcional, con el correspondiente algoritmo de control.



Es importante destacar que el proyecto contempla, entre otros factores, la realización de un relevamiento completo con posible reemplazo y adición de sensores que permitan mejorar la medición de las variables de interés.

A su vez el estudio incluye simulaciones para los ensayos sobre la planta con cada una de las mejoras propuestas. Con los resultados obtenidos se realizará el detalle de la configuración de los nuevos sistemas para su implementación y los materiales necesarios para la puesta en marcha.

2 PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA

Para una rápida interpretación, se muestra en el diagrama (esquema 1), los procesos más importantes, junto con datos fehacientes, de las tareas que se realizan en la planta industrial donde se desarrolla el proyecto.

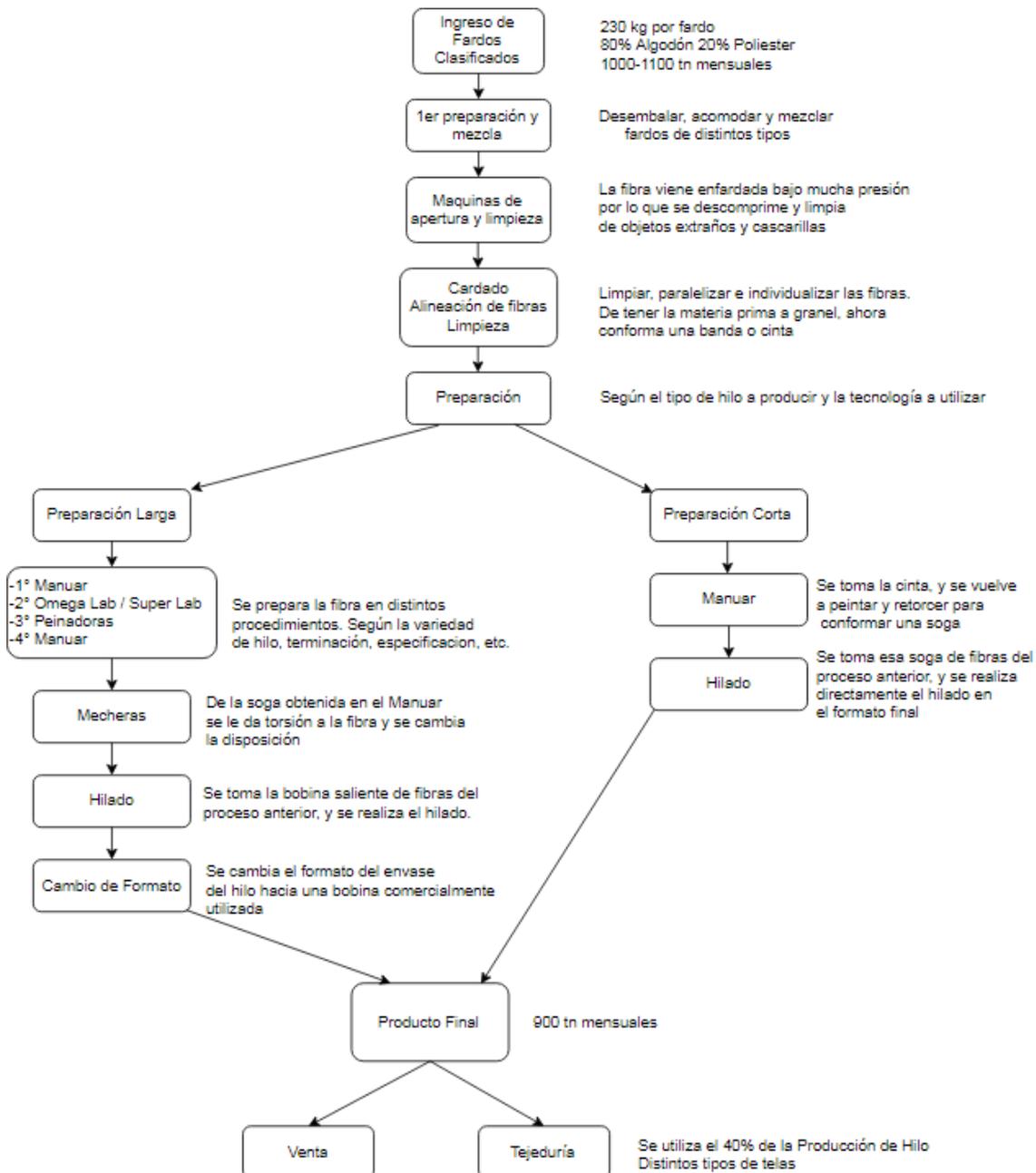


Figura 1. Etapas y procesos de la planta industrial

3 CLIMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Existen dos tipos de instalaciones utilizadas en la industria textil (de grandes volúmenes de producción).

- *Instalaciones con enfriamiento adiabático:* que mantienen constante solo la humedad relativa del aire, con temperatura interna variable determinada e influenciada por las condiciones del aire exterior (termómetro húmedo).
- *Instalaciones de acondicionamiento integral:* que mantienen constante todo el año tanto la humedad relativa del aire como su propia temperatura. Este tipo de instalaciones requieren de la utilización de un fluido frío (agua refrigerada generada por grupos de refrigeración mecánicos u otros) que permita también efectuar una deshumidificación del aire en los sistemas de humidificación (lavadores de aire).

El aire ambiente es retomado de la sala a través de rejillas que se insertan en el piso en modo uniforme, y tan cerca como sea posible de los puntos donde se genera el polvo.

El aire aspirado desde el suelo de la planta, es transportado en conductos de mampostería situados debajo del piso; llega a la filtración, donde se lo libera del polvo y del polvillo.

Los ventiladores de retorno entonces expulsan el aire sobrante hacia el exterior o bien lo hacen recircular, mezclándolo con el aire externo.

Las cantidades de aire expulsado-recirculado de aire externo son ordenadas automáticamente por el sistema de regulación neumática y ventanillas de sobrepresión.

Una parte del caudal total atraviesa luego el lavador de aire donde se humidifica. Se hace pasar el caudal restante a través de un by-pass.

Las válvulas de by-pass y de volumen dosifican automáticamente los dos diversos caudales de aire para obtener el valor deseado de humedad relativa para el aire tomado.

Los ventiladores de impulsión hacen entrar el aire en los conductos de distribución. Estos conductos están dotados de orificios dispuestos en modo regular que aseguran una distribución uniforme del aire en los diversos sectores de producción.

En el caso de una instalación de acondicionamiento de aire integral, el principio de funcionamiento es similar al descripto.

El lavador de aire, no obstante, en lugar de ser alimentado con agua normal de red (humidificación adiabática) es alimentado con agua refrigerada cuya temperatura es mantenida constante por medio de una maquina frigorífica.

El aire entonces es humidificado y contemporáneamente enfriado mediante el intercambio de calor directo entre agua y aire. Como resultado se obtiene la posibilidad de contar con una gama de valores bastante amplia con respecto a la humedad absoluta (gr H₂O/kg aire seco) que se quiere obtener.

Estas instalaciones utilizan los dos tipos de procesos en las mismas centrales, dependiendo la época del año, aprovechando las condiciones exteriores de baja temperatura. Por lo que trabaja con agua natural o refrigerada.

Esta planta por sus dimensiones tanto como el caudal de producción requirió a lo largo del tiempo que lleva en funciones, un total de diez centrales para la climatización. Debido a que la maquinaria que realiza los distintos procesos necesita condiciones, de humedad y temperatura, distintas unas de otras.

Solamente, como muestra de lo explicado anteriormente, los procesos utilizan estas condiciones para su correcto desarrollo, como se muestra en la tabla (1). Los valores dependen también, aunque en menor medida, de la materia prima que se esté procesando.

OPERACIONES	HUMEDAD RELATIVA [%]	TEMPERATURA [°C]
Cardado	50-55	26-29
Preparación para hiladura	50-55	26-29
Hiladura	45-50	26-29
Bobinado	55-60	26-29
Preparación para tejeduría	60-65	26-28
Tejeduría	70-75	26-28

Tabla 1: Valores usuales de Temperatura y Humedad en procesos de hilado.

4 SISTEMA DE ATMÓSFERA CONTROLADA EN LA PLANTA

Las diez centrales que cuenta el emplazamiento industrial operan cada una en un sector particular, manteniendo las condiciones de clima constante las 24 horas del día en todo el ambiente. Se consideran pequeñas variaciones entre las zonas de operación a fin de que los procesos industriales se realicen eficientemente.

Estos valores de temperatura y humedad son el resultado de ensayos, pruebas, relevamiento y recopilación de datos de producción. A su vez son respaldados con los estudios de laboratorio que la misma planta posee, donde se verifica la calidad del producto.

Los valores promedio que se utilizan actualmente en el establecimiento son los que se muestran en la tabla 2.

	RELE – RCP10 (neumático) LOSSATEX(SAURER)	RELE – RCP20 (neumático) LOSSATEX(SAURER)	
Parámetros: Central N°:	Temperatura Punto de Rocío [°C]	Temperatura Ambiente [°C]	Humedad Relativa Ambiente [%]
3	15 +/- 1	29 +/- 1	50 +/- 2.5
5	15 +/- 1	30 +/- 1	50 +/- 2.5
6	18 +/- 1	29 +/- 1	60 +/- 2.5
7	15 +/- 1	30 +/- 1	50 +/- 2.5
8	16 +/- 1	28 +/- 1	55 +/- 2.5
10	18 +/- 1	28 +/- 1	60 +/- 2.5
		Termómetro - ST56 LUWA(neumático)	Higrómetro - HS64 LUWA (neumático)
Parámetros: Central N°:		Temperatura Ambiente [°C]	Humedad Relativa Ambiente [%]
1 "A"		29 +/- 1	50 +/- 2.5
1 "B"		29 +/- 1	50 +/- 2.5
2		29 +/- 1	50 +/- 2.5
4		29 +/- 1	50 +/- 2.5
9 "A"		29 +/- 1	50 +/- 2.5
9 "B"		28 +/- 1	60 +/- 2.5
9 "C"		28 +/- 1	55 +/- 2.5

Tabla 2, valores de humedad relativa y temperatura normales en cada sector.

Estos son valores de referencia para este establecimiento. Luego, en cada caso, los valores dependen de la calidad y característica de la materia prima que estén utilizando. En este caso el laboratorio emite un informe con los parámetros de humedad y Temperatura a respetar. De esta manera siendo el algodón un material muy higroscópico, el clima hace el aporte de humedad que necesite para que dentro de las maquinas en cada proceso la humedad de la fibra sea homogénea y correcta para la estandarización de la producción.

Estas centrales, como se mencionó anteriormente, operan cada una en una zona particular, y bajo las condiciones que muestra el cuadro anterior.

Esta distribución por zonas sobre el área emplazada del edificio (figura 2) se puede apreciar más en detalle, en el plano N°1, adjunto en el anexo 1, *relevamiento completo*.

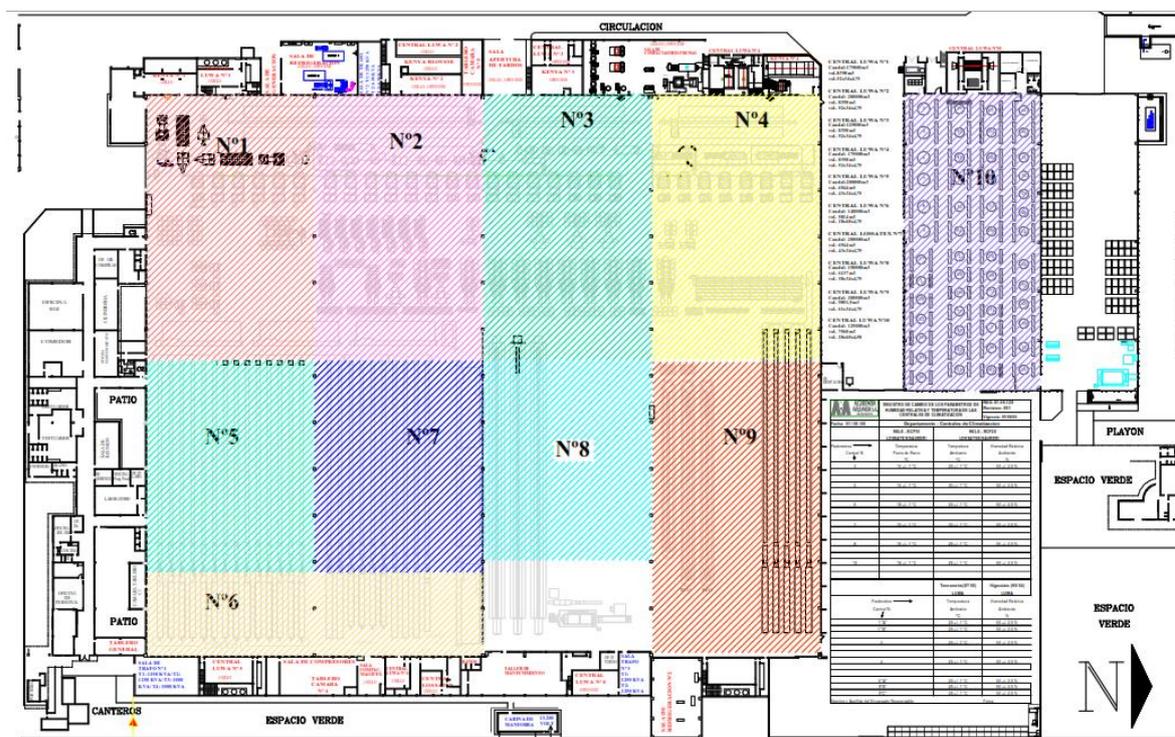


Figura 2, Áreas de cobertura de cada central de climatización.

La refrigeración del agua, para el uso en las centrales se realiza en dos Salas de Frío. La primera alimenta a las centrales 1, 2, 3, 4 y 10. Y la segunda las centrales 5, 6, 7, 8 y 9. La ubicación de las salas se puede apreciar en el mismo plano de la figura 2 que se adjunta en el anexo.

Las salas de frío, equipadas de igual manera y con los mismos componentes, están destinadas a enfriar el agua del circuito. Este circuito es prácticamente cerrado, solo se agrega de la red la cantidad equivalente de agua que se incorpora al aire húmedo en las centrales al evaporarse.

El agua se toma de los pozos e ingresa a las tuberías del circuito. De ahí pasa a través de los intercambiadores de calor de los compresores que están en serie, y se dirigen a cada una de las centrales.

El agua es transportada, y de la misma manera retorna por tuberías principales y por medio de derivaciones se va dando ingreso y egreso a cada una de las centrales.

Cada central posee una pileta donde ingresa el agua, se la mezcla con otro caudal proveniente de la red para regular su temperatura. Y es la que se utiliza en los rociadores para humectar y bajar la temperatura del aire. El agua que recolecta el separador de gotas es filtrada y se envía al circuito de retorno para iniciar de nuevo el ciclo. El esquema de la figura 3, muestra cómo funciona el sistema en conjunto.

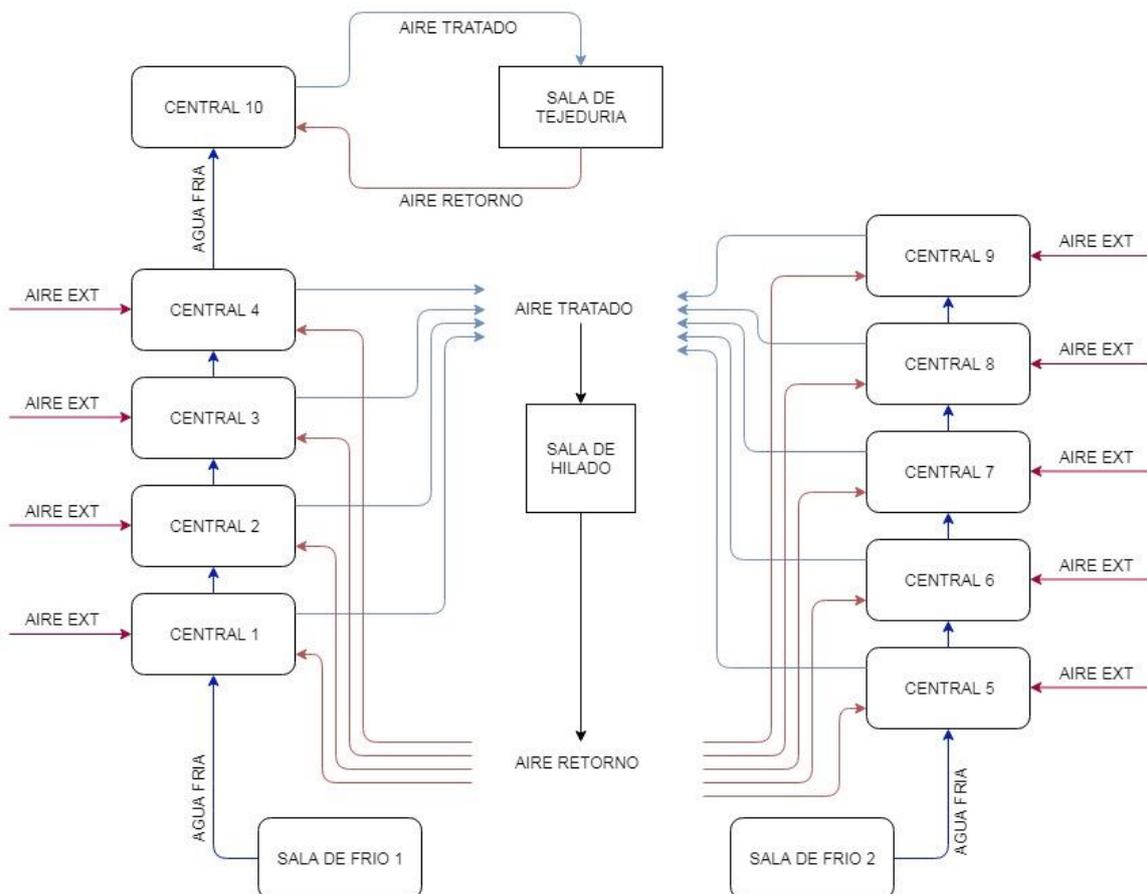


Figura 3, diagrama de funcionamiento en conjunto de la climatización

5 PROCESOS DE AIRE HÚMEDO

Antes de hacer una descripción completa de las partes y componentes de una central en particular, como de acciones que realiza, es importante conocer los procesos termodinámicos que se desarrollan en su interior. A su vez en cada etapa se proporcionará datos obtenidos mediante una medición en el sitio.

En un diagrama sencillo se aprecia como es la central por dentro y qué operaciones o procesos realiza. Figura 4

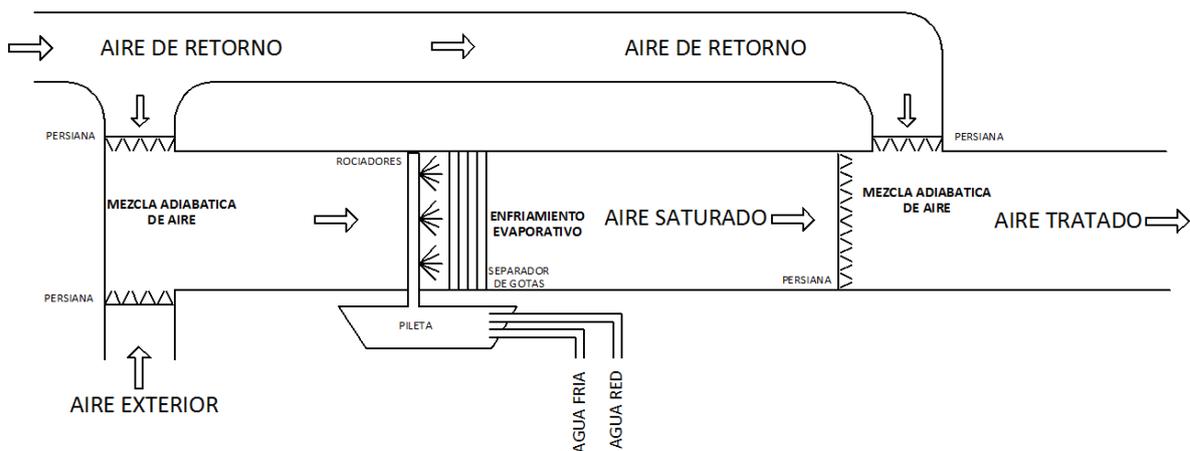


Figura 4, procesos de aire húmedo dentro de una central

Principalmente son dos procesos los que se realiza dentro de la central, en tres etapas distintas que se detallan a continuación.

1er Etapa: “Mezcla adiabática de aire”

En la sala de pileta antes del “lavador”, se mezcla aire exterior con aire de retorno de la planta. La proporción del caudal de aire exterior se regula dependiendo de la temperatura afuera de la planta. Un termómetro mide las condiciones de este caudal de aire, y dependiendo de su valor (menor temperatura que el proveniente de retorno) opera las ambas persianas.

Como se observa en la figura 5, ambos caudales de aire ingresan ciertas características, de temperatura y humedad relativa, y luego de la mezcla según la proporción de cada caudal adquieren la nueva condición.

Ejemplo: - Tbs exterior: 13.1 °C -Hr exterior: 38%
 - Tbs retorno: 30.2°C -Hr retorno: 52.8%
 - Tbs mezcla: 28°C -Hr mezcla: 54.2%

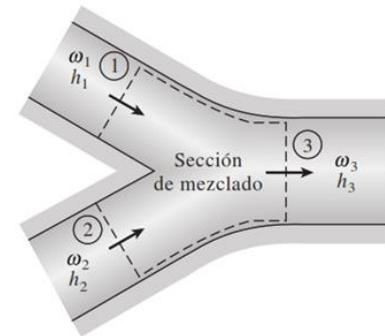


Figura 5, “mezcla de aire”

2da Etapa: “Enfriamiento Evaporativo”

El sistema clásico para producir este tipo de enfriamiento es el llamado LAVADOR DE AIRE (paso del aire por una cortina de agua, figura 6), que en su esencia consiste en una cámara provista de una batea que mantiene un cierto nivel de agua la cual, con ayuda de una bomba centrífuga es finalmente pulverizada dentro de la cámara, por la cual al mismo tiempo está circulando el aire a enfriar. Por efecto de la gran superficie de contacto que se obtiene entre el agua finamente pulverizada y el aire, se transfiere calor entre el agua y el aire, dando como resultado que el caudal de aire, originalmente más caliente, se enfríe, y el agua a expensas de ese calor se evapore. Se obtiene entonces a la salida del lavador, aire a menor temperatura que la inicial y a mayor contenido de humedad.

A lo largo de este proceso se mantiene constante la temperatura de bulbo húmedo del aire, o sea que el aire que sale del lavador tiene la misma temperatura de bulbo húmedo que tenía a la entrada. El agua pulverizada también mantiene constante su temperatura y esta es la de bulbo húmedo del aire.

El caudal de aire al atravesar la cortina de agua, sale prácticamente saturado de humedad, a razón del 95%.

Junto al separador de gotas se encuentra un termómetro asociado a un regulador de presión. Este instrumento se encarga de medir las condiciones del aire saturado y controlar la temperatura del agua de los rociadores. El instrumento mide la “temperatura de rocío” o saturación que se necesita en la planta, y acciona para mantenerla constante.

La temperatura del agua se la controla de la siguiente manera. El termómetro de punto de rocío, opera dos válvulas, una da ingreso de agua refrigerada a la pileta con una temperatura a alrededor de 8°C , y la otra envía el caudal restante de agua fría hacia el circuito cerrado nuevamente a la sala de frío. Luego por medio de un flotante de control de nivel, se compensa la falta de agua con un caudal que proviene de la red, donde el agua que trae está a una temperatura media, entre 18 y 25°C .

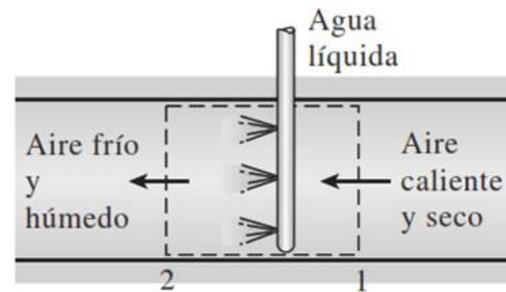


Figura 6, paso del aire por una cortina de agua

Ejemplo: - Tbs: 20.02°C - Trocío: 19°C - Hr 95%

- Tagua: 18.8°C

3er Etapa: “Mezcla adiabática de aire”

En la sala de mezcla antes de la inyección, se mezcla aire saturado proveniente del lavador con aire de retorno (figura 7). La proporción de aire de una u otra condición la controla un sensor de humedad en la zona de la fábrica donde esta central trabaja. De esta manera mueve las persianas tanto de aire saturado como de retorno logrando la mezcla necesaria para mantener la humedad en el punto determinado por la producción.

Ejemplo: - Tbs ret.: 30.2°C - Hr ret.: 52.8%

-Tbs lav: 20.02°C -Hr lav 95% (saturado)

-Tbs mezcla: 23.6°C -Hr mezcla: 75.5%

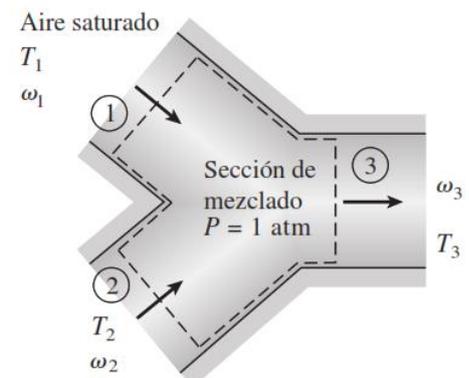


Figura 7, mezcla aire saturado y aire de retorno

6 RELEVAMIENTO DE LA CENTRAL 1

6.1 Descripción de la central de climatización

El ciclo comienza con la aspiración del aire de la planta desde el piso, donde extrae el aire que fue contaminado con polvo y fibrillas, y a su vez elevado su temperatura al extraer el calor generado por las máquinas de producción, iluminación, etc.

Debajo de la nave o espacio de trabajo a nivel del piso se encuentran rejillas con bocas de respiración por donde se aspira el aire caliente y pulverulento retornando a la central. Para esto las rejillas dan ingreso al flujo de aire a los túneles. Estos túneles conducen el aire hacia filtros rotativos ubicados en la base de la central.

El aire ingresa y se filtra a través de mantas. Estos filtros son cilíndricos y giratorios para permitir la limpieza automática de los mismos.

Al atravesar la etapa de filtrado el aire ingresa a una primera cámara, donde en el nivel superior (nivel del suelo) se encuentran ventiladores de aspiración que generan depresión en los túneles permitiendo el ingreso de aire, que luego de ser filtrado, es forzado a ingresar a una segunda cámara llamada túnel de by pass.

Subiendo un nivel, se encuentra una segunda sala, donde forzada por los ventiladores y a través de persianas (controladas), la columna de aire, en distintas proporciones puede ingresar a la sala de pileta y/o ingresar en un nivel superior haciendo un by-pass.

Las persianas de retorno, regulan o controlan el flujo de aire que va a dirigirse hacia el sector de humidificación. O si no se lo requiere, al optar por cerrar total o progresivamente el ingreso de aire de retorno, el sobrante se libera por rejillas de sobrepresión a la atmosfera.

La sala de humidificación y acondicionamiento de temperatura está dividida en dos partes, una primera dentro del recinto en el cual se mezcla aire exterior con retorno, donde encontramos a nivel del suelo una pileta, donde se trata el agua a la temperatura necesaria para los rociadores. Y como división física se encuentra el palen de rociadores y separador de gotas, el cual es atravesado por el flujo de aire, saturando de humedad y disminuyendo su temperatura. En este nuevo ambiente, el aire saturado se encolumna en

un túnel vertical de dos pisos, vinculando persianas que utilizan este flujo para una segunda mezcla de aire.

A modo de detalle, a la humectación llegan (o puede llegar) dos tipos de aire con características distintas. Uno proveniente del exterior, y otro proveniente del aire de retorno de la planta, mencionado con anterioridad. Estos dos caudales de aire son operados también por servos neumáticos. Según las condiciones del exterior (sensor de temperatura exterior) se requiere uno u otro, o una mezcla de ambos.

Algo a tener en cuenta es que todo el aire que se toma del exterior se trata en rociadores, pero el aire de retorno puede ser tratado o no.

A esta sala llega un conducto con agua proveniente de la sala de enfriamiento, que, según la temperatura exterior de la industria, puede estar o no en funcionamiento. En sí, es un conducto que provee agua a baja temperatura.

Este conducto se divide en dos. Una de sus ramificaciones se dirige al pozo de retorno a la central de frío, y el segundo conducto se dirige a la pileta. Estas dos tuberías están controladas por dos válvulas de mariposa operadas por un mismo servo. Estas válvulas que operan en paralelo, esta una cerrada 0% y una abierta al 100%. Este servo lo que controla es el caudal de agua fría o tratada que ingresa a la pileta.

En la pileta concurren dos flujos de agua. Uno de agua fría tratada, y otro caudal proveniente de la red para contrarrestar el agua que se incorporó al aire. Las válvulas de mariposa, que son operadas por el servo, lo que hacen es modificar la temperatura del agua de la pileta, como consecuencia, regular la temperatura del agua que llega a los rociadores. Esta operación se controla a través de un sensor de temperatura de rocío (temperatura del aire húmedo a unos teóricos 100% de saturación Hr a la salida de los rociadores).

Una bomba centrífuga toma el agua de la pileta y presuriza hacia los rociadores. Esta bomba junto con los rociadores es de caudal constante. Opera un solo cuerpo de rociadores por lo que no hay otro tipo de regulación posible más que cambiar la temperatura de la pileta.

Existe un separador de gotas que esta continuo a los rociadores. Aquí se atrapa el agua condensada que se recolecta hacia la pileta nuevamente. Pero antes de retornar a la

pileta, debe pasar por un filtro que de alguna manera contiene toda la polución que atrapa del aire que pasa por el separador de gotas.

En el separador de gotas es donde se toma la temperatura del aire húmedo. En este caso LUWA (empresa que diseñó e instaló la central de climatización) considera al parámetro como *punto de rocío*.

Una vez que la mezcla de aire pasa por la cortina de agua saturándose de humedad, ingresa a cámara vertical por donde el aire húmedo al 95% Hr o muy próximo, asciende hacia dos niveles superiores.

Allí se encuentran dos salas más de mezcla de aire. Ambas persianas de entrada de aire húmedo son operadas por servos. Para de esta manera regular el caudal de aire con gran contenido de humedad que ingresa en la próxima sala adjunta a cada persiana.

Ambas salas de mezcla son prácticamente iguales y cumplen la misma función. Pero una sala la opera un controlador con las condiciones ambientales de la zona de “apertura” y otro controlador opera la segunda sala para las condiciones de la zona de “mecheras”.

Ya dentro de la sala de mezcla, por una persiana ingresa el aire con alta humedad proveniente de la sala inferior. Al aire saturado se le adiciona aire de retorno que no ha sido humedecido (de ahí el nombre by-pass), también controladas por servos. Esta segunda mezcla permite hacer otra regulación de las condiciones mezclando las proporciones de aire saturado de humedad a temperatura relativamente baja, con aire cálido de retorno. Por el túnel de by-pass existen ventilas de sobrepresión, de manera que si se cierran las persianas de aire (es decir si se recircula poco, y se utiliza el aire exterior solamente) el caudal sobrante se libera al exterior.

Dentro de la misma sala de mezcla, se encuentran los ventiladores de inyección. Estos fuerzan la mezcla de aire hacia los túneles que pasan por el techo de la fábrica, y dirigen el aire ya tratado hacia las rejillas en la zona que climatiza la central.

Dentro del recinto de la planta, precisamente en el área que la central climatiza, se encuentra el panel de control neumático LUWA. EL sensor de humedad se regula manualmente (mas humedad o menos) y se observa en un higrómetro digital (adicionado en el tablero) el cambio de humedad hasta que se llega al punto deseado. A partir de este punto, se deja que el controlador mantenga constante el nivel de humedad.

Con la temperatura es algo similar. Se ajusta la aguja del termómetro hasta la temperatura de Set point, y luego el controlador efectúa las correcciones necesarias para mantener la temperatura constante.

El sensor digital de temperatura y humedad, envía la señal a la computadora central de monitoreo (figura 8).

*The data collected by clicking the "Gather Current Readings" button, is not reflected in the Graph Display.

Group	Remote Unit	Channel 1	Channel 2	Gathering Time
AireComp	AC1	Communication Failure	---	02/07/2019 09:26:08
Central	C1B	27.9[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C2	27.4[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C3	25.4[°C]	53[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C4	25.6[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C5	27.5[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C6	26.1[°C]	56[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C7	27.8[°C]	47[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C8	22.7[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C9A	26.0[°C]	52[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C9BB	Communication Failure	---	02/07/2019 09:27:01
Central	C9C	24.5[°C]	53[%]	02/07/2019 09:27:01
Exterior	Ext	8.4[°C]	98[%]	02/07/2019 09:26:21
Kenya	K1	Communication Failure	---	02/07/2019 09:26:47
Kenya	K2	7.345[V]	---	02/07/2019 09:26:47
Kenya	K3	0.195[V]	---	02/07/2019 09:26:47

Current readings have been gathered.

RTR-5W Web Viewer T&D Corporation

Figura 8, captura de la pantalla de control de temperatura y humedad de las centrales de climatización

La información o características ambientales dentro de la planta, como de cada una de las zonas, está determinada por las particularidades específicas del algodón que se está procesando en el momento. Esto se determina en el laboratorio que cuenta la empresa, donde se emite un informe con los sets point corregidos (figura 9).

ALGODONERA

CAMBIO DE PARAMETROS DE CLIMATIZACION SOLICITADOS POR PRODUCCION

R. SGI 000123
Revisión: 003

Central N°	Humedad Relativa (%) (H- 3%)	Temperatura (°C) (H- 1°C)	Humedad Específica (g/m³)
1A	52	29	13,32208891
1B	52	29	13,32208891
2	55	29	14,09067096
3	55	29	14,09067096
4	52	29	13,32208891
5	55	27,5	12,83251231
6	56	27	12,66476198
7	48	28,5	11,91983453
8	55	26	11,68669487
9A	48	28,5	11,91983453
9B	48	29,5	12,68674516
9C	52	28	12,51677191
10			

Producción: [Firma] Fecha: 1/7/2019

Humedad de Torno: [Firma] OBSERVACION:

Figura 9, informe de parámetros a cumplir por las centrales de climatización.

6.2 Sensores y Actuadores

En el anexo I, correspondiente al relevamiento en la planta, se adjunta el diagrama de control actual de la central 1 (Plano N°2). Donde se puede consultar para el acompañamiento del presente título.

El sistema de regulación de la presente instalación de climatización, es del tipo neumático. El aire comprimido producido por un grupo compresor, es conducido a los instrumentos de regulación, los cuales, a su vez, lo transmiten a los elementos de mando.

De la línea de compresores que opera a 7 kg/cm^2 tiene un reductor y regulador de presión a 1.5 kg/cm^2 , que alimenta a la red de aire tanto para control como de potencia a fin de operar centrales.

La línea de potencia opera a 1.5 kg/cm^2 constantes donde distintos relés, comandados por los instrumentos, que en el caso de la central de estudio actúan de controladores, operan los servos de las distintas persianas o válvulas.

Los tres sensores que utiliza el control de la central 1 son neumáticos, es decir, según las condiciones de temperatura o humedad, regulan la presión de las líneas de control. Estas líneas son las que utilizan de señal de entrada, los relés neumáticos mencionados anteriormente.

Internamente el sensor puede operar en dos modos, RA o DA. Es decir, si el valor de medición está por encima del valor establecido o determinado, y la presión de salida del instrumento aumenta, se dice que opera en forma DIRECTA DA. De la misma manera, si la lectura es inferior al valor establecido, la presión de salida disminuye.

En forma contraria, si el valor de medición es superior, y el instrumento opera en forma INVERSA o RA, la presión de control baja. Por el mismo caso, si la medición es inferior, la presión de control se elevaría.

De esta manera también funcionan los relés neumáticos, entonces uno de los instrumentos puede dar señal a dos o más relés, cada uno luego efectuará la acción hacia los servos en RA o DA.

La señal neumática de control trabaja de 0 a 1.5 kg/cm^2 y la línea de potencia opera a $1,7 \text{ kg/cm}^2$ de presión de aire.

6.3 Ejemplo de funcionamiento actual de la central de climatización

Supongamos que sea invierno es decir la temperatura exterior es baja. El higrostató de sala en fabrica detecta humedad alta, por lo que su respuesta en RA es bajar la presión, un relé DA asociado manda a abrir la persiana de BY PASS y a cerrar la persiana de humedad. Si la humedad de sala es baja, la persiana de BY PASS se cierra por lo que abre la persiana de humedad. Estas persianas deben estar enclavadas entre sí, si una abre la otra cierra.

El termostato que está a la salida del lavador es DA si el aire sale demasiado caliente, la presión de salida es alta. Por lo que abre el servo que comanda la válvula mariposa del agua de refrigeración.

Próximo a la persiana de toma exterior se encuentra el termostato de doble etapa, de bulbo húmedo. Si la temperatura exterior sube hasta más de 20 °C, indica que debe ponerse a funcionar la planta de refrigeración. Si la temperatura exterior sigue subiendo se cierra la 2da etapa del termostato por lo que cierra totalmente la persiana de aire exterior.

La temperatura de aire a la salida del lavador de aquí en más se mantendrá la apertura o cierre de la válvula de mezcla de agua, comandada por el termómetro del lavador.

El termómetro exterior lo que hace es si hay menos de 20°C permite usar el aire exterior, y si hace más calor avisa que se encienda el equipo de frío y que se use el agua fría no el aire exterior como control de temperatura. Hay que tener en cuenta que en verano a veces a la tarde noche, hay una temperatura exterior de 28 o 30°C, y el retorno vuelve a 34°C, entonces si el operador de la central lo considera, expulsa parte del aire de retorno, y toma aire exterior. Pero esta operación se hace manualmente.

7 PROBLEMAS, CONSECUENCIAS Y POSIBLES MEJORAS

Durante el relevamiento realizado, de los sistemas de climatización y su funcionamiento, se pudieron observar diferentes inconvenientes con posibles propuestas de mejoras. Se considerarán también opiniones de los operarios, como del ingeniero a cargo, que son quienes más conocen su funcionamiento.

Problemas:

- Las distancias (entre elementos de control y de potencia)
- El sensor y controlador de temperatura utilizado dentro de la central 1 no es el correcto para la función
- El desgaste de los componentes de control
- El desgaste y deterioro de los conductos de aire (mangueras)
- El tipo de relé neumático utilizado (se llena de algodón, requiere calibración con el pasar del tiempo)
- Las dificultades en encontrar pérdidas de aire que causan caída de presión
- El monitoreo se realiza con otros instrumentos, no los usados para control de las centrales
- El control actual no posee alarmas, depende de un operario esté haciendo el monitoreo constantemente.
- El ajuste de temperatura y humedad se realizan manualmente sobre los instrumentos
- El operario al ajustar el set point de humedad o temperatura, lo que hace es modificar la regulación sobre la presión de control. Luego debe esperar y observar con un instrumento el cambio del parámetro en el ambiente, hasta llegar al deseado.

Consecuencias:

- Los problemas en la parte de control son frecuentes, lo que requiere ocupar personal para la solución.
- Al ocurrir una pérdida de aire, toda la presión del sistema cae, tanto la humedad como temperatura se alteran rápidamente.
- Al alterarse el clima, las máquinas de hilado no procesan eficientemente. Se debe bajar la velocidad, y suceden más paradas de máquina por atascamiento y cortes de hilo.
- Disminuye la calidad de los productos
- La baja en la calidad del producto final causa pérdidas monetarias.
- Se altera la estandarización de la producción.

Mejoras:

- Constancia en la Humedad y Temperatura
- Sistema de alertas ante variaciones de los parámetros
- Independencia de monitoreo constante
- Reducción en el mantenimiento del sistema de control de clima
- Sencillez al modificar los parámetros
- Rápida detección de problemas.
- Reducción de las paradas de máquinas y disminución de la producción provocadas por las alteraciones en el clima.
- Mejora en la estandarización de la producción, menos pérdidas.
- Utilizar un controlador modular, que sea reemplazable fácilmente en caso de fallas.
- En un sistema SCADA, tanto el monitoreo como la modificación de los parámetros se puede realizar en la misma computadora, liberando al operario de intervenir cada controlador de cada central por separado.

8 IDEA PROPUESTA

Completado el periodo de relevamiento en la hilandería durante 11 semanas, donde se recopiló información tanto de funcionamiento, individual y en conjunto de las 10 centrales de climatización. Revisada la bibliografía propia que contaba la firma, como ser manuales de operación y planos del esquema de control provistos por el fabricante. Complementado con la información aportada por los operarios, mecánicos e ingeniero a cargo del área de Climatización, y de Producción.

Considerando como objeto de estudio principal, la Central 1, responsable de la atmosfera controlada de las zonas “1A de máquinas de apertura” y “1B de maquinaria conformadoras de mechas” se procede a describir punto por punto, la siguiente propuesta:

8.1 Sensores

En referencia al conjunto de sensores, se optará por el reemplazo de cada uno de los que cuenta la central. Actualmente estos sensores son neumáticos, donde regulan la presión de control de la señal de salida. Se considerará utilizar sensores modernos tanto de temperatura como de humedad, para medir estos parámetros en el ambiente y flujos de aire dentro y fuera de la central. Se aumentarán los puntos de medición, como la temperatura del agua en la pileta, condiciones del aire de retorno, humedad exterior. Se utilizará un sensor de temperatura promedio, para la salida del lavador. Cabe aclarar que cada uno de los instrumentos utilizados serán directa o indirectamente, de señal de salida eléctrica o digital.

8.2 Controlador

Como hardware de controlador, se va a utilizar un equipo capaz de recibir los distintos tipos de señales eléctricas (analógica, digital, entre otros) provenientes de los sensores, como así también de enviar las señales de control a los distintos actuadores. A su vez el controlador tendrá la capacidad de poner a correr un programa en el cual se impondrá la lógica de control adoptada.

8.3 Actuadores

Aquí se van a evaluar dos propuestas o soluciones posibles las cuales se analizarán en profundidad en los capítulos siguientes. De esta manera se da la opción de elección al futuro beneficiario del proyecto.

La primera es mantener el sistema de potencia actual, de accionamiento de persianas y válvulas a través de servos neumáticos, pero utilizando reguladores electro neumáticos en lugar de relés. Y una segunda alternativa de remplazar todo lo anterior mencionado por actuadores eléctricos.

8.3.1 Alternativa I

Mantener el esquema actual de potencia neumática de accionamiento como así también utilizar los mismos servos. Teniendo presente el criterio técnico económico, se mantiene la sencillez del esquema de potencia, y, por otro lado, pero no menos importante, se evita la gran inversión necesaria para el reemplazo por un conjunto de servos eléctricos.

Se pretende reemplazar los actuales relés neumáticos utilizados en la conversión de señal neumática de control a potencia, por conversores electro neumáticos. De esta manera se utiliza la nueva comunicación eléctrica, pero manteniendo el mismo esquema de potencia neumática para los servos actuadores.

8.3.2 Alternativa II

Se propone implementar el uso de servos eléctricos para el accionamiento de persianas y válvulas, dejando de lado totalmente el equipamiento neumático dentro de la central. Este sistema tiene la ventaja de trabajar directamente con el controlador. La importancia del libre mantenimiento dentro del ambiente industrial es muy favorable.

Aunque la sencillez del sistema, y el muy bajo mantenimiento indiquen que esta es la mejor alternativa, se requiere una muy alta inversión para el uso de esta tecnología.

9 COMPONENTES EN DETALLE DEL SISTEMA DE CONTROL

9.1 Controlador RECOTECH SG10

Para la gestión de todo el sistema desde los sensores, la comunicación, el accionamiento de servos, la lógica de control, y la transmisión de datos se utilizará un Controlador Multipropósito.

¿Qué realiza?

El controlador multipropósito posee la capacidad de realizar ciertas tareas pre-automatizadas las cuales son configuradas mediante una interfaz web. Las tres principales tareas que realiza son la de manipuleo automático de información mediante varios tipos de puentes de comunicación como ser RS485, Ethernet y Radio. Además, dispone de variedades de controles fuertemente utilizados en la industria como ser PID, Feed Forward, Ratio, Fuzzy Logic, Linealizadores, Alarmas, entre otros. Por último, el controlador puede realizar tareas de traducción de protocolos, data logging y es capaz de mostrar la información en tiempo real mediante la pantalla LCD incorporada y la página web embebida.

¿Cómo se compone?

El controlador dispone de distintas variedades de entradas y salidas que permiten conectar sensores de distinto tipo a ella. En el caso particular de controlador SG10, dispone de 2 entradas analógicas 0-20mA, dos salidas analógicas 0-20mA, dos entradas digitales de 5 a 30 volts, dos salidas tipo relé, 2 entradas para termistores como ser PT100, PT1000, NTC entre otros. Adicionalmente, posee entradas digitales que permite conectar una amplia variedad de sensores a ella. En el caso particular del presente proyecto, se utilizará un sensor digital para la medición temperatura y humedad en el ambiente.

De igual manera, el dispositivo de control posee una pantalla de 4.3 pulgadas en su exterior la cual permite visualizar de manera instantánea y sin necesidad de ninguna aplicación externa, las variables de interés.

Es importante destacar la disposición interna de datos del controlador. El mismo posee 4 tablas de entradas y salidas. Dos de estas tablas permite configurar registros de entrada y salida digital. Las siguientes dos tablas, permiten setear registros de entrada y salida analógicos, normalmente en un campo de 16 bits.

Finalmente, la característica más destacada es la capacidad de comunicarse inalámbricamente a grandes distancias media un módulo de radio ya incorporado.

Configuración:

El instrumento de control permite ser configurado completamente mediante una página web embebida, a la cual se puede acceder mediante el puerto de ethernet, ubicado en el interior. El acceso a ella requiere una autenticación de usuario y contraseña. Una vez que el usuario ingresa, se dispone de varias pestañas de configuración divididas en Configuración de IO, Control, Data Logging y Display.

La categoría de Configuración de IO, permite setear valores en cada uno de los protocolos de comunicación. Las más importante involucran la configuración de las direcciones de trabajo y el seteo del modo de trabajo entre Servidor y Cliente. En el caso de Servidor, se habilita una tabla para cargar transacciones de información hacia los esclavos. El siguiente sub módulo de configuración, destaca los parámetros principales que se requiere en la configuración de los controles. Cada una de las características, requiere especificar direcciones de entrada y salida, las cuales son mapeadas al control bajo configuración.

Por último, el entorno grafico permite la configuración de variables y nombres dinámicos que se muestran en el display. De esta forma se puede personalizar la aplicación según la necesidad.

Interfaz de Usuario:

El controlador posee dos interfaces de usuario. La principal se da mediante la página web, la cual requiere conocimiento específico para su programación y/o configuración. La segunda, por otro lado, está pensada para visualizar de forma rápida y concisa las variables de interés. Esta última, habilita a cualquier persona a registrar valores sin la necesidad de ningún equipo especial.

¿Cómo lo utiliza el operador?

En el caso particular de este proyecto, el operador de la central puede monitorear los parámetros de interés mediante la pantalla y por sobre todo permite modificar los sets point de temperatura y humedad que se necesitan en la zona de cobertura de esta central. Además de esto, el usuario más avanzado, puede recorrer los menús de la pantalla y visualizar los distintos lazos de control como así también variables puntuales. No obstante, las limitaciones de modificar datos importantes quedan restringidas por el controlador. En este caso, el usuario avanzado requiere ingresar al interior de la página para la gestión necesaria.

Finalmente, la configuración del controlador, se dejará preparada para en un futuro muy próximo, adicionar el uso de un SCADA conectado a la misma red de la placa, habilitando el monitoreo personalizado y centralizado del ambiente a controlar.

9.2 Toma de datos: Sensores

9.2.1 Sensor de humedad y temperatura ambiente

Este dispositivo (figura 10) se lo monta en el gabinete del mismo controlador, dentro de un casquillo el cual protege los sensores del polvillo o fly de algodón. Consta de un sensor de humedad y de temperatura para medir directamente el estado ambiente.

Vamos a utilizar uno para las condiciones del clima exterior, fuera del edificio, que registrara los parametros del aire que ingresa a la central. Otro instrumento estara ubicado dentro de la central, en el tunel por donde circula el aire de retorno. Este par, seran los que registren las variables para que el programa de control trabaje sobre la mezcla de aire exterior con retorno, antes del humectador. Un tercer y cuarto dispositivo estaran sensando el clima en el area de trabajo, es decir, en la zona *1a* del sector de apertura, y en la zona *1b* donde hay maquinaria conformadoras de mechas.

Características:

- Sensor de temperatura: -20°C a -70°C $\pm 1\%$ error
- Sensor de humedad relativa: 0 a 100% $\pm 1,2\%$ error



Imagen 10, a modo ilustrativo controlador con sensor de condiciones ambiente

9.2.2 Sensores de temperatura en agua

Este es un parametro nuevo a medir, que el sistema anterior de control no utilizaba. La necesidad de conocer la temperatura del agua en la pileta será importante no solo para controlar la temperatura de rocío luego del lavador, sino para la eficiencia en la utilización del equipo enfriador de agua.

El sensor¹ (figura 11) estará ubicado dentro de la pileta que abastece el agua para los rociadores. Con este parametro el sistema de control, dentro de otras utilidades,

¹ KDK Argentina. Proveedores industriales de electrónica y automatización. (28/09/2019) <http://www.kdk-argentina.com/catalogos/.../>

regulará el caudal de agua que ingrese proveniente del sistema de enfriamiento. De esta manera se puede controlar la temperatura del agua en los rociadores.

Características:

- Sensor: Termoresistencia PT-1000
- Coneccion: cable siliconado de tres hilos por 3 metros
- Montaje: vaina inox. Ø6.35x200mm + rosca inox. 1/4"bsp



Figura 11, termoresistencia con vaina inoxidable.

Otros dos nuevos parámetros a medir será la temperatura de los dos caudales que ingresan a la pileta. Ambos son conducidos por conductos hasta el lugar, por lo que se instalaran sensores dentro de una vaina² (figura 12) montada en las tuberías.

Uno de los sensores ira montado en la tubería del agua de red, y el otro sobre la tubería de agua refrigerada.

Características:

- PT100 clase B normalizada hasta 200 °C.
- Vaina largo 50 mm Ac. Inox Diámetro Ø 6,35 mm. (1/4").
- Cabezal de conexión AL DIN B tapa a rosca.
- Zócalos de conexión: cerámico de 3 contactos
- Rosca a proceso 1/2" BSP.



Figura 12, termoresistencia para insercion en tuberia

9.2.3 Sensor de temperatura promedio

Aquí se obtiene un avance importante en la calidad de la medición de este parámetro a la salida del “lavador”. Actualmente la temperatura del caudal de aire saturado de humedad se mide con un sensor colocado dentro de una vaina de acero de 30 [cm] en el medio del área total comprendida por el separador de gotas. Esto causa una gran incertidumbre en la consistencia de la medición, ya que no contempla los problemas que puedan tener los rociadores, o la acumulación de suciedad e incrustaciones el separador de gotas mismo.

Por este motivo se aconseja utilizar un “sensor de temperatura promedio”³ (figura 13), que realice esta medición a lo largo de todo el ancho del separador de gotas.

² ³ KDK Argentina. Proveedores industriales de electrónica y automatización. (02/10/2019) http://www.kdk-argentina.com/catalogos/DWYER/...

Constructivamente, al ser un capilar de 24 [pies] (figura 13), se lo colocará alrededor de un tubo de PVC (figura 14), logrando un montaje seguro.

Otra característica importante, es que se seleccionó un sensor tipo NTC, el cual puede ser conectado directamente al controlador.



Figura 13, sensor de temperatura promedio.



Figura 14, ejemplo de montaje del sensor

Características:

- Termistor NTC 10K Tipo III
- Longitud 24 pies
- Diámetro 0.35 pulgadas

9.3 Actuadores neumáticos (Alternativa I)

En este caso se opta por solo cambiar el sistema de control actual en la central, y mantener el sistema de potencia neumático para la operación de las persianas y válvulas de caudal de agua. Como ventaja inmediata impacta en gran medida sobre la inversión necesaria, ya que se utilizarían los mismos servos ya instalados, sin modificación tanto en montaje como las vinculaciones mecánicas en sus distintas aplicaciones.

Los servos neumáticos lineales (figura 15) instalados son modelo SM63 los cuales según donde van colocados llevan o no relé asociado. Es decir, el controlador le envía el orden a un relé el cual abre o cierra una persiana o una válvula. En el caso que estas persianas o válvulas estén controlando caudales, siempre que se restrinja un flujo, se debe hacer lo contrario con el otro caudal que forma la mezcla. Por ejemplo, si cerramos el aire proveniente del retorno, se debe abrir más la persiana que da ingreso al aire exterior para mantener constante el caudal de salida. Este enclavamiento neumático, permite utilizar un solo relé para operar varios servos.

Otro punto importante es que los problemas que suelen tener estos servos ya son conocidos, por lo tanto, utilizando el stock de repuestos que ya dispone el establecimiento

industrial, y el conocimiento del personal se puede dar solución al inconveniente en poco tiempo.

Características del actuador⁴:

- Marca y modelo: LUWA SM 63
- Presión mín. y máx. de trabajo: 0.7-1.3 [kg/cm²]
- Longitud de desplazamiento: 3,5 pulgadas
- Fuerza: 50 kg



Figura 15, vista de un sermo neumático utilizado



Figura 16, vinculacion de un servo al mecanismo de una persiana

Regulador Electroestático

Se optará por reguladores electroestáticos o convertidor de señal eléctrica analógica a presión (figura 17). Cumplirá la función del relé neumático, operado por el controlador. De esta manera se evitaría una gran cantidad de problemas que estos acarrearán, como ser, mal funcionamiento por suciedad, humedad del ambiente, calibración esporádica, pérdidas de presión por fugas de aire, entre otras.

De esta manera el circuito de aire dentro de las centrales solo se limitará a darle la potencia necesaria a los servos para su funcionamiento, ya no para el control.

Se optimizará no solo en la disminución de las fallas, sino en la eficiencia del funcionamiento.

Características del regulador⁵:

- Señal de entrada: 4-20 [ma]
- Presión min y máx. de salida: 0.15-1.4[kg/cm²]
- Presión de alimentación: 2.1 [kg/cm²]



Figura 17, vista de un controlador electro neumático

⁴ Manual de la empresa SEMPERE & COHEN. 1979. Perteneciente a la biblioteca de ALGODONERA AVELLANEDA

⁵ Convertidor Electro neumático EAS PC 13. (27/08/2019)
https://www.escarre.com/sites/default/files/PC13_esp_V6.pdf

9.4 Actuadores eléctricos (Alternativa II)

Una segunda alternativa sería reemplazar totalmente el equipo neumático de accionamiento al utilizar un sistema de potencia totalmente eléctrico. Para ello contamos con servos (figura 18) compuestos por motores de corriente continua, que operan un eje roscado lineal en el cual la carrera, la velocidad, y la fuerza son totalmente controlados y exactos. En este caso queda excluida totalmente toda la red neumática de la central, y es reemplazada por una fuente eléctrica para la alimentación de los servos.

Otra ventaja es que requiere un dispositivo menos, es decir, directamente nuestro controlador emite la señal que necesita el servo para las operaciones, sin necesidad de un traductor. Aparte de no necesitar mantenimiento, se elimina en gran medida las posibles fallas.

Aunque técnicamente es la opción más correcta, esta alternativa es altamente costosa, por lo que se deberá analizar en detalle.

Características del Servo⁶:

- Fuerza: 100 [lbf]
- Velocidad de desplazamiento: 0-7 [in/seg]
- Potencia del motor CC: 100 [W]
- Desplazamiento: 3.75 [in]



Figura 18, servo lineal eléctrico

⁶ Servo Eléctrico ULTRAMOTION. (10/10/2019). <https://www.ultramotion.com/servo-cylinder/>

10 NUEVO ESQUEMA DE CONTROL

10.1 Descripción general

El nuevo control propuesto (figura 19), al ser un controlador multipropósito, tiene incorporado distintas formas de comunicación posibles, en el cual no solo en la utilización de varios tipos de sensores como actuadores, sino lo más importante poder comunicar entre sí por radio distintos controladores separados a una gran distancia.

Para comprender rápidamente, dejamos de lado lo que son las fuentes necesarias de energía para que el equipo y los asociados funcionen, simplemente nos enfocamos en la comunicación.

El controlador multipropósito propuesto, puede funcionar como “maestro” o como “esclavo” dentro del esquema de comunicación. En este caso como muestra el esquema de ejemplo, tenemos un controlador maestro, donde otros cuatro, respondiendo como esclavos, interactúan en conjunto.

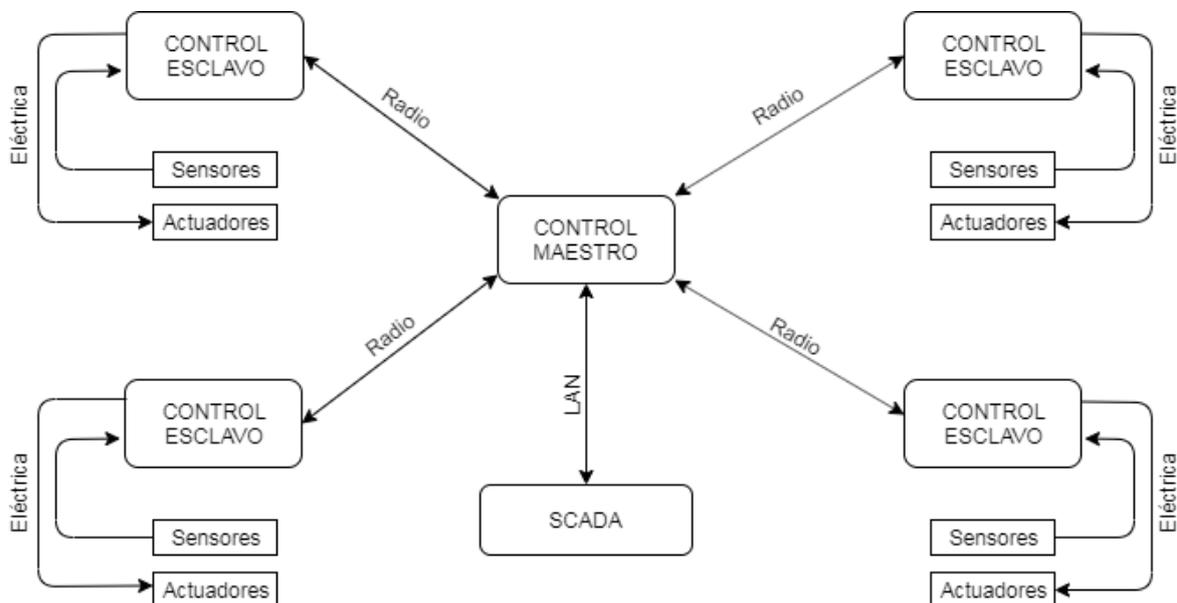


Figura 19, esquema ejemplo de comunicación entre controladores, sensores y actuadores

De esta manera, el control maestro, es el que lleva internamente la lógica de control. Y los demás controladores, funcionan como “mediadores” entre los parámetros leídos, la lógica de control, y finalmente las operaciones de los actuadores.

La utilización de radios permite eliminar la necesidad de comunicación cableada. Facilita la sencillez de la solución propuesta, y por consecuencia disminuye el índice de fallas.

El control maestro entonces, se encarga de hacer correr el programa del controlador, lee los parámetros de entrada, los procesa, y ejecuta una orden. Esa interacción es la compartida con sus esclavos. Cada esclavo se encarga de comunicar físicamente con los sensores y actuadores asociados, enviar datos y recibir instrucciones del maestro.

10.2 Utilización en la central de climatización

Ya referido a este proyecto, se presentará la disposición de los controladores dentro y fuera de la central de climatización, junto con cada sensor y actuador asociado (figura 20).

Controlador Principal (MASTER): Estará ubicado en el tablero eléctrico general de maniobra de la central 1. Este actuará de MAESTRO, portador de la lógica de control, recibiendo los parámetros de los demás controladores, procesando y emitiendo las ordenes.

Controlador Zona 1A (SLAVE): Estará dispuesto en la zona 1A, máquinas de apertura. Tendrá asociado los sensores de temperatura y humedad ambiente en este sector. Actuará como ESCLAVO, enviando las lecturas por radio al maestro. Desde su interfaz, se podrá ver las condiciones del clima en el lugar.

Controlador Zona 1B (SLAVE): Estará dispuesto en la zona 1B, máquinas conformadoras de mechas. Cumplirá la misma función que el controlador de la zona 1A.

Controlador Pileta (SLAVE): Se encargará de relevar dos sensores de temperatura, referentes a la mezcla de agua utilizada para humidificar el aire. Temperatura del agua de red, del caudal proveniente de los equipos de frío. Y tendrá a cargo la operación del servo para la mezcla de estos caudales.

Controlador Exterior (SLAVE): Proporciona temperatura y humedad del flujo de aire que se toma del exterior, mediante el sensor de ambiente que tiene acoplado.

Controlador Preinyección Apertura (SLAVE): Ubicado en la sala de mezcla previo a ser inyectado a la planta. Este controlador ejecutara no solo las órdenes para los actuadores de las persianas en esta sala (dedicada al clima de la zona 1A), sino también para la sala que está en el nivel superior, que climatiza el sector 1B.

Controlador Túnel Retorno (SLAVE): Esta unidad de control va a tener conectado el sensor de temperatura ambiente y humedad, para medir las condiciones del caudal de aire de retorno. También relevará el sensor de temperatura promedio, que mide la condición a la salida del lavador, y un sensor más para la temperatura del agua en la pileta. A su vez se conectará una salida para operar los servos de las persianas de aire exterior y de retorno.

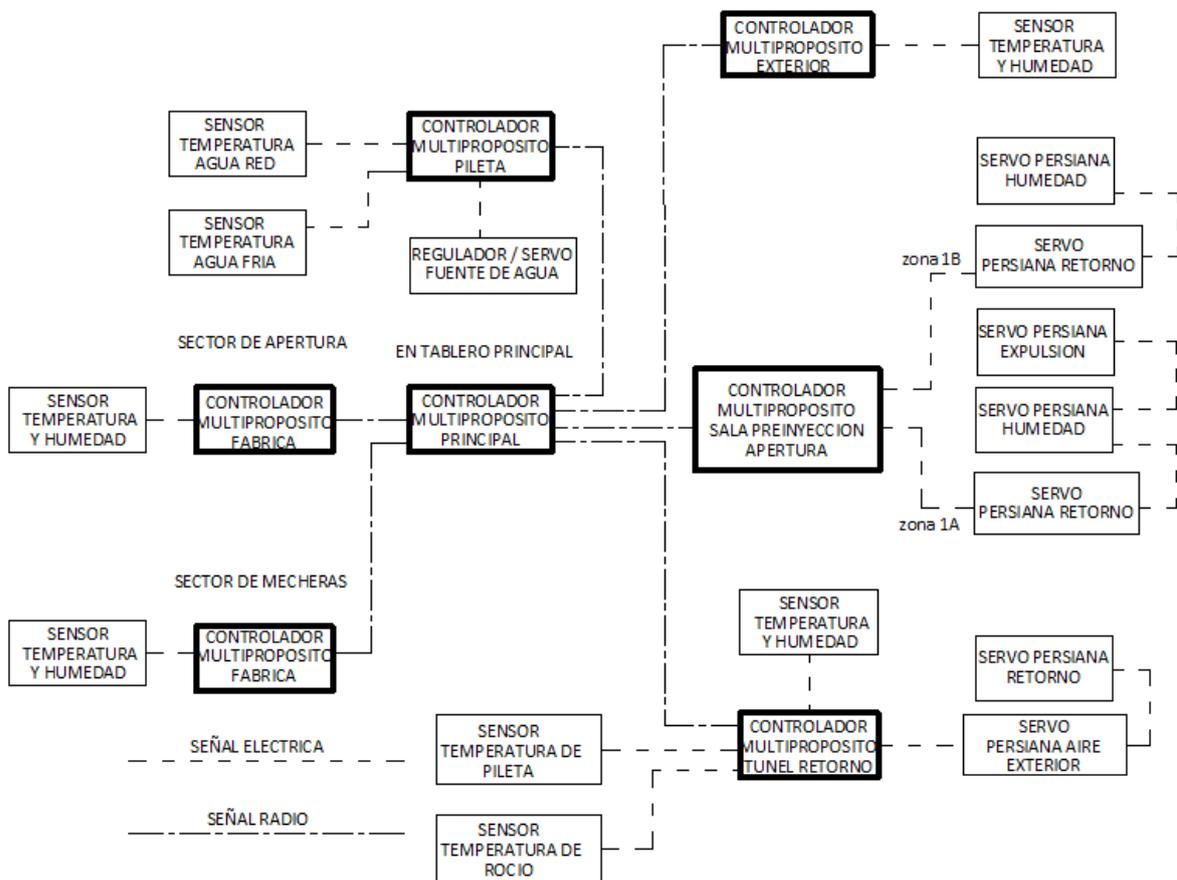


Figura 20. Esquema de comunicación adoptado para el proyecto.



10.3 Alternativa I

Para ambas alternativas planteadas, el esquema de control (Figura 20) es el mismo. La diferencia es que, al mantener el sistema de potencia neumática para el movimiento de los servos, se utiliza un dispositivo que convierte esta señal eléctrica analógica en regulación de presión de aire. Para ello, al controlador se le conectan conversores electro neumáticos.

10.4 Alternativa II

Para la segunda alternativa, utilizando como actuadores de potencia servos eléctricos, el esquema completo es tal cual al mostrado en la figura 20. Es decir, el servo se comunica directamente desde el controlador. Es aquí donde se independiza totalmente del sistema neumático utilizado actualmente.

11 MODELOS PARA SIMULACIÓN DEL CLIMA Y LA CENTRAL

Al realizar un proyecto, como en este caso sobre climatización dentro de una planta industrial, se necesitan hacer en muchos casos ensayos, y analizar las respuestas o comportamientos de los distintos parámetros involucrados. Por ejemplo, medir las alteraciones del ambiente en el interior del recinto, cuando en el exterior cambia la temperatura, y la central hace correcciones para mantener constante las condiciones interiores.

En el establecimiento donde se lleva a cabo este trabajo esto es muy difícil por el funcionamiento las 24 horas durante todo el año. Bajo ningún concepto se pueden alterar las condiciones interiores ya que provocan disminución en la producción o problemas en las maquinas.

Por lo tanto, el mejor camino es realizar un modelo matemático lo más aproximado posible, el cual simule las condiciones ambientales, y tenga asociado también el comportamiento de cada uno de los procesos dentro de la central de climatización. De esta manera se puede hacer y simular una multiplicidad de ensayos, con todas las combinaciones de variables posibles y evaluar las condiciones finales.

Una vez obtenido el modelo matemático de la central, como el del comportamiento del ambiente en el interior de la planta, se puede comenzar a diseñar y ensayar el controlador, o más precisamente la lógica de control, que da solución a la estabilidad climática en el área de importancia del establecimiento.

El modelo matemático mencionado anteriormente, que se simuló para este proyecto se compone de tres partes. Uno es el modelo que describe la central de climatización, y sus procesos internos, el segundo el que describe el ambiente en el área de la fábrica donde esta central acondiciona. Y el tercero y más importante, el que simula la central funcionando, controlando el clima de la planta, junto con la lógica de control o controlador que será la que opere automáticamente la central para mantener las condiciones deseadas en el ambiente interior.

Para trabajar sobre el modelo matemático, la simulación del mismo, y el diseño del controlador se utilizó el software MATLAB y una de sus herramientas SIMULINK.

11.1 Modelo matemático de la central

Utilizando como referencia el esquema siguiente, lo que se hace con el modelo es describir las ecuaciones de los procesos, en este caso son resueltas con fórmulas para aire húmedo. Lo importante es seguir siempre el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa.

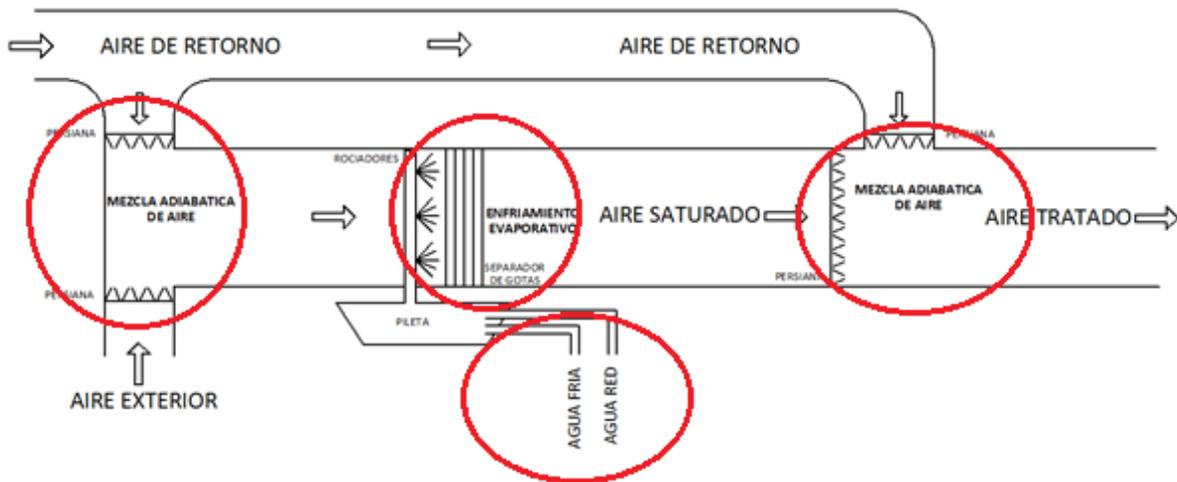


Figura 21. Esquema ilustrativo de los procesos que realiza una central y que serán foco del control.

Si se aprecian los círculos, en la central ocurren cuatro procesos, primero una mezcla de flujos de aire, luego la mezcla de dos caudales de agua en la pileta, un tercero donde al aire se lo atraviesa por una cortina de agua, y el último donde se mezcla aire saturado de humedad con aire de retorno.

1er Mezcla de aire

Mezcla de aire de retorno, con aire ambiente exterior.

Temperatura:
$$T_{bs_{ext}} \dot{m}_{a_{ext}} + T_{bs_{ret}} \dot{m}_{a_{ret}} = T_{bs_{mez1}} \times \dot{m}_{a_{mez1}}$$

Humedad:
$$\omega_{ext} \dot{m}_{a_{ext}} + \omega_{ret} \dot{m}_{a_{ret}} = \omega_{mez1} \dot{m}_{a_{mez1}}$$

Caudal de aire:
$$\dot{m}_{a_{ext}} + \dot{m}_{a_{ret}} = \dot{m}_{a_{mez1}}$$

Referencias:

- T_{bs} = Temperatura de bulbo seco [K]
- \dot{m}_a = Flujo másico de aire [kg/seg]
- ω = Humedad absoluta [kg agua/kg aire seco]
- *ext* = Proveniente del exterior de la planta
- *ret* = Retorno de aire ambiente del interior de la planta
- *mez1* = Mezcla de aire retorno y exterior

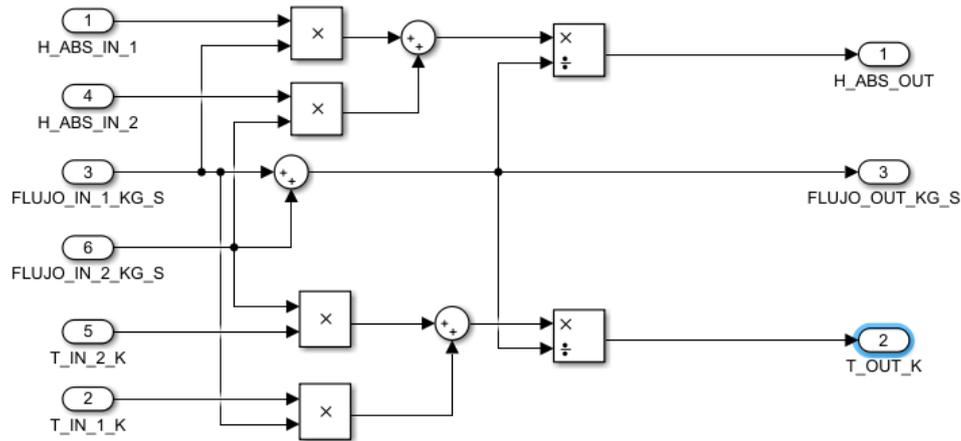


Figura 22, diagrama de bloque de MATLAB del modelo de mezcla 1

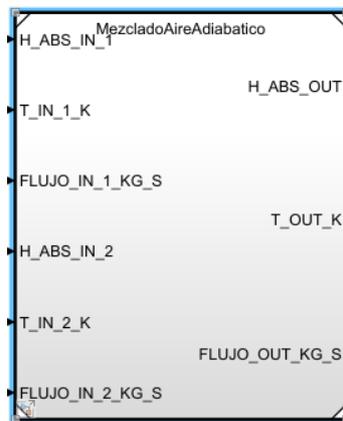


Figura 23. Bloque modelo de la primera mezcla de aire

Enfriamiento Evaporativo

A la mezcla de aire anterior se la hace pasar por una cortina de agua. De esta manera se baja la temperatura saturándose de humedad. El fenómeno se da dado que los rociadores pulverizan el agua, estas gotas absorben la energía del aire, para cambiar de estado, de esta manera se satura de humedad y se enfría.

Humedad:

Condición salida es que la humedad relativa del caudal de aire sea el 100%

$$\phi_{lav} \cong 100\%$$

$$Pv(T_{rocio}) = e^{\left(\frac{65,8094}{T_{rocio}[K]} - \frac{7066,27}{T_{rocio}[K]^2} - 5,976 \log(T_{rocio}[K])\right)} [Pa]$$

$$\omega_{lav} = 0.622 \times \frac{Pv}{101325[Pa] - Pv} [\text{kg agua/kg aire seco}]$$

Temperatura:

Mediante ensayos y mediciones, y para que el modelo matemático se aproxime a la realidad de la central, se comprobó una relación de implicancia en la temperatura a la salida del lavador, que depende en un 75% la temperatura del agua de los rociadores y en un 25% la temperatura del aire que ingresa a la cortina.

$$T_{H20} \times 0,75 + T_{bs_{mez1}} \times 0,25 = T_{bs_{sal\ lav}}$$

Caudal de aire: es constante

Referencias:

- ϕ = Humedad Relativa
- P_v = Presión de vapor
- $T_{rocío}$ = Temperatura de saturación que se necesita a la salida del lavador
- lav = salida del lavador

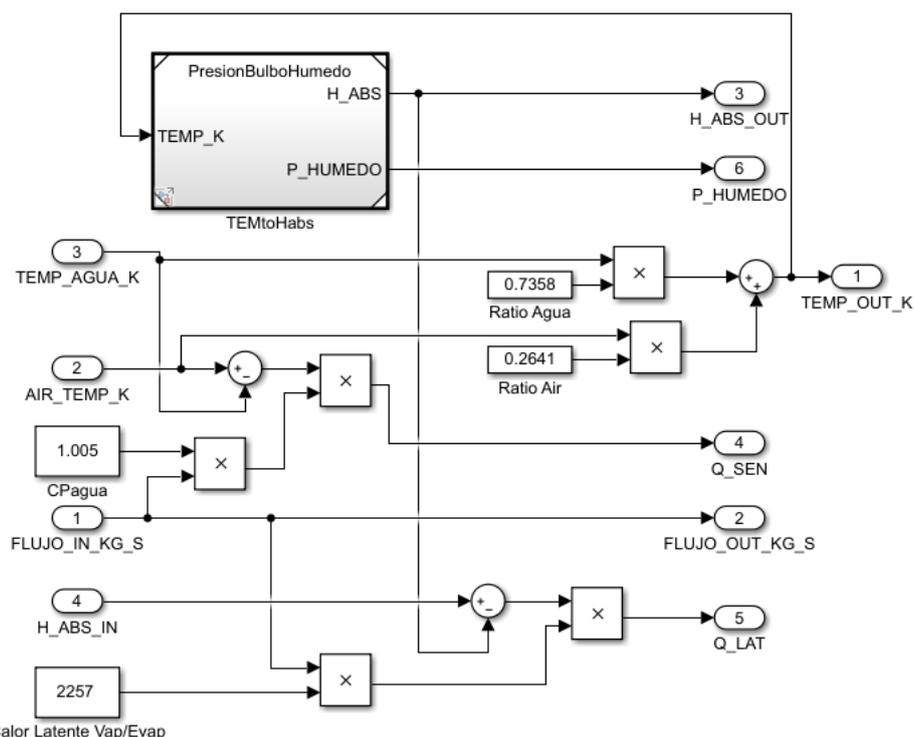


Figura 24. Diagrama de bloque completo del proceso termodinámico en el lavador de aire.

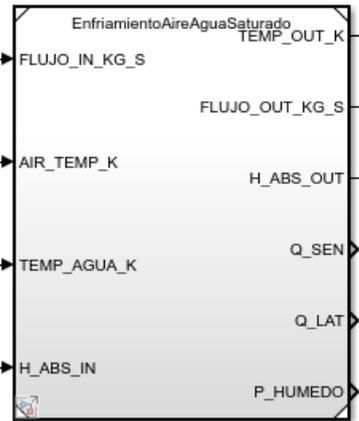


Figura 25, bloque modelo del lavador de aire en la central.

Temperatura del agua de pileta:

Aquí el modelo realizado debe emular la mezcla de agua para control de temperatura de la pileta, la cual abastece de agua a los rociadores. Para ello se trabajó sobre la mezcla agua de red y agua fría, y a su vez sobre el retardo que se produce desde que se comienza a mezclar el agua hasta que baja la temperatura de los rociadores.

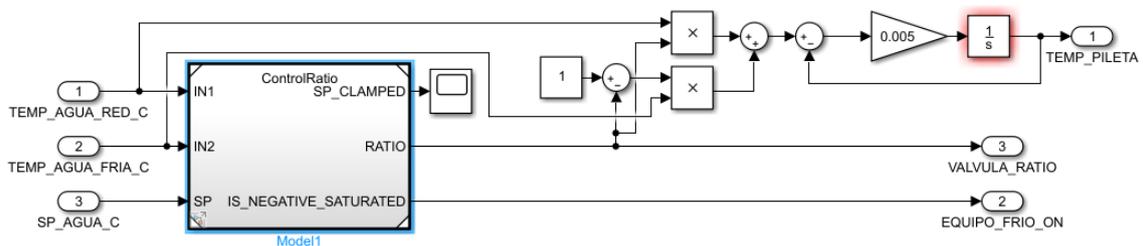


Figura 26. Diagrama de bloques del modelo de temperatura en la pileta

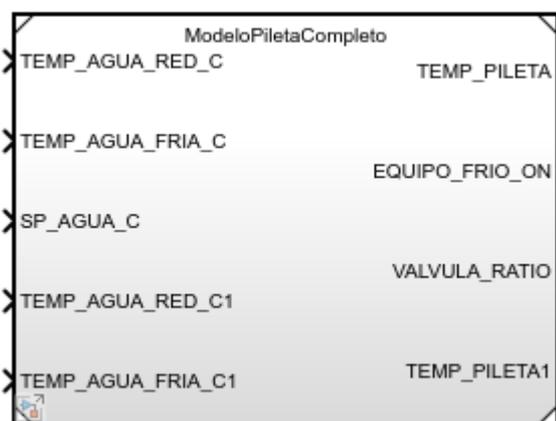


Figura 27. Bloque modelo de pileta en mezcla de agua.

2da Mezcla de Aire

Es exactamente el mismo modelo de la 1er mezcla, la diferencia es que procesa dos caudales de aire, el saturado de humedad proveniente del lavador, con aire de retorno. En este punto lo que se hace es bajar la humedad al nivel requerido en el ambiente donde opera la maquinaria.

Temperatura: $Tbs_{sal\ lav} m_{a\ sal\ lav} + Tbs_{ret} m_{a\ ret} = Tbs_{mez2} \times m_{a\ mez2}$

Humedad: $\omega_{sal\ lav} m_{a\ sal\ lav} + \omega_{ret} m_{a\ ret} = \omega_{mez2} m_{a\ mez2}$

Caudal de aire $m_{a\ sal\ lav} + m_{a\ ret} = m_{a\ mez2}$

Referencias: mez2= Segunda etapa de mezcla de aire

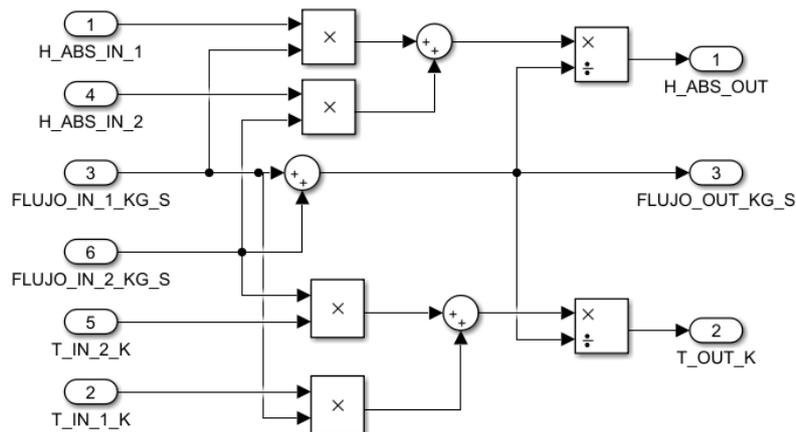


Figura 28, diagrama de bloque de la segunda mezcla de aire

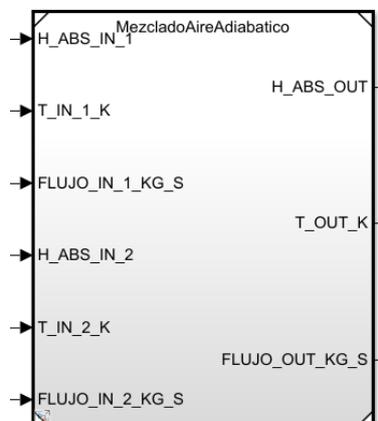


Figura 29, bloque modelo de la segunda mezcla de aire

11.2 Modelo matemático del ambiente interior

Se trabaja en dos bloques distinto la humedad y la temperatura por separado. Se simula el cambio del clima bajo las condiciones interiores del recinto (maquinaria), y las que aporta el sistema de climatización.

Temperatura Ambiente:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{m}_a (C_p (T_{in} - T_{out}) + Q_{sen})}{C_v Vol \rho_{aire}}$$

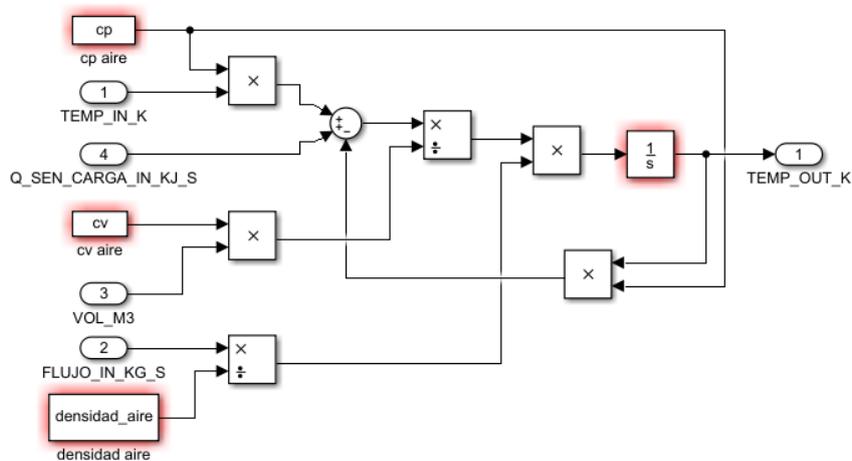


Figura 30, diagrama de bloque del cambio de temperatura en el ambiente interior

Humedad ambiente:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\dot{m}_a}{Vol \rho_{aire}} \left((\omega_{in} - \omega_{out}) + \frac{Q_{lat}}{Hfg} \right)$$

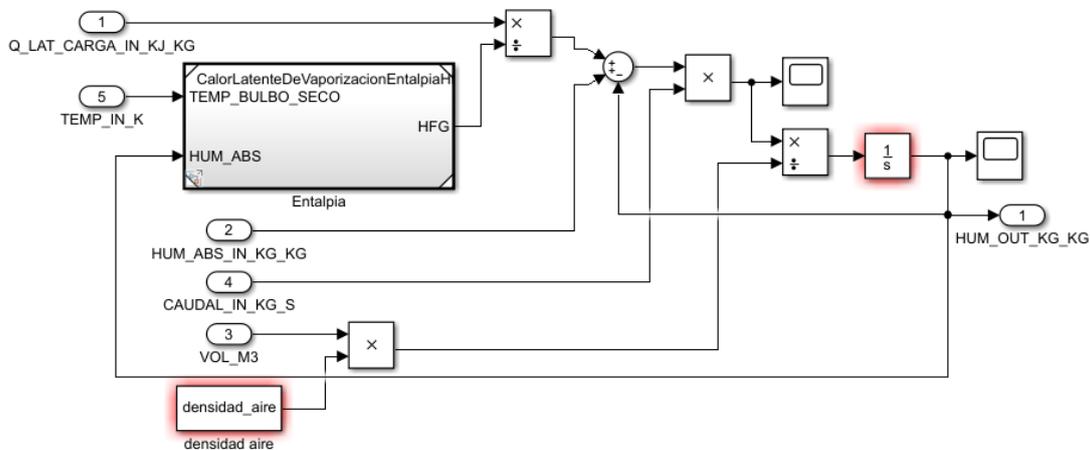


Figura 31, diagrama de bloque del cambio de humedad en el ambiente interior

Referencias:

- $\frac{dT}{dt}$ = Variación de temperatura ambiente
- $\frac{d\omega}{dt}$ = Variación de humedad absoluta ambiente
- ρ_{aire} = Densidad del aire
- T_{in} = Temperatura ingreso a la sala
- T_{out} = Temperatura salida de la sala
- ω_{in} = Humedad absoluta del caudal de ingreso de aire
- ω_{out} = Humedad absoluta salida de aire
- Q_{lat} = Calor latente aportado/cedido
- Q_{sen} = Calor sensible aportado/cedido
- Hfg = Calor latente de vaporización
- Vol = Volumen del ambiente

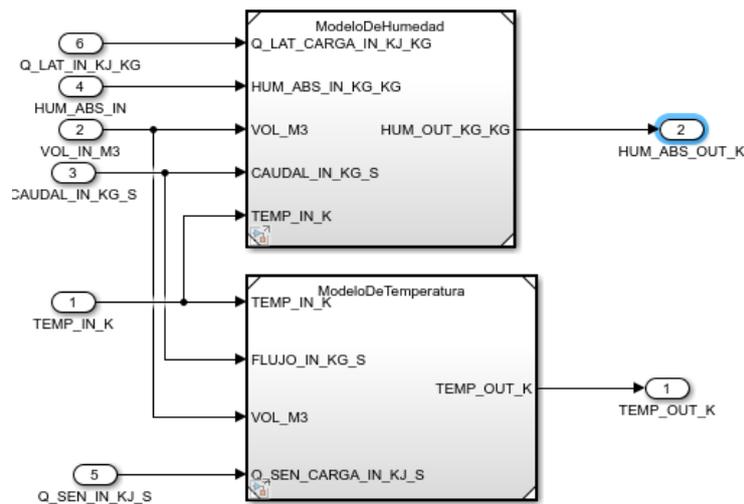


Figura 32, bloque modelo del cambio de humedad y temperatura en el ambiente interior

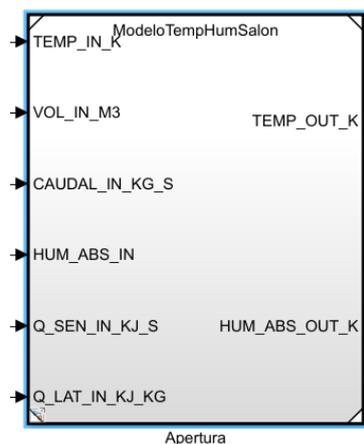


Figura 33, simplificación del bloque modelo del ambiente interior

12 CONTROLADOR

La lógica de control de este complejo sistema de automatización, fue diseñada utilizando como base, el modelo matemático que emula el comportamiento termodinámico de la central, junto con las operaciones físicas, como la apertura o cierre de las persianas y válvulas, analizando las consecuencias de estas acciones sobre el modelo matemático del ambiente que se está climatizando.

Para ello se utilizaron dos tipos de controladores distintos, los cuales se adaptaban de la mejor manera con vista a la solución que venían a ofrecer. Por lo tanto, se utilizó controladores del tipo RATIO y controladores PID.⁷

Cabe destacar la versatilidad de la herramienta SIMULINK de MATLAB utilizada en este proyecto, la cual permite vincular los distintos controladores sobre el mismo modelo matemático. De esta manera el diseño puede ser simulado a medida que se desarrollan las estrategias de soluciones, como así también analizar fácilmente el comportamiento bajo las condiciones ambientales cambiantes que se pretenda estudiar.

Nuevamente se destaca las ventajas del uso de estas herramientas, lo cual permiten aumentar las posibilidades de éxito de la solución, como así también disminuir ampliamente el periodo de puesta a punto del proyecto definitivo al momento de instalarlo en la industria.

12.1 Controlador RATIO

Este tipo de estrategia de control se aplica cuando dos flujos ingresan a un recipiente y los fluidos están en relación, por ejemplo, mantener la proporción entre los dos fluidos a un valor predeterminado.

Para este proyecto, se lo utilizo el control RATIO para manejar las mezclas de aire, es decir, para determinar las proporciones de apertura de las persianas que manipulan estos caudales con el fin de, establecer en la mezcla un valor de temperatura o humedad predeterminada.

El siguiente uso que se le dio a este control, es el de la temperatura del agua de pileta, debido a que este valor se logra mezclando dos caudales, el proveniente de agua

⁷ FERRAMOSCA, Antonio. Apuntes de cátedra TEORIA DE SISTEMAS Y CONTROL AUTOMATICO. 2018.

de red (generalmente a mayor temperatura), con el agua proveniente de los equipos de frío (a baja temperatura).

Ecuación característica
$$\frac{SP-A}{B-A} = R$$

SP = Set Point de temperatura

A = Temperatura Caudal A

B = Temperatura Caudal B

R = Proporción

En SIMULINK de MATLAB se lo plantea de la siguiente manera:

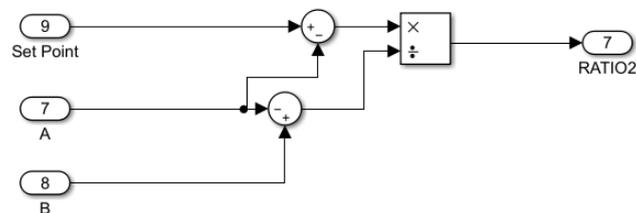


Figura 34. Diagrama de bloque del controlador RATIO

A esta configuración, se le agrego además un comparador de máximo y mínimo, que seleccionara de una manera más eficiente la utilización de un caudal o el otro.

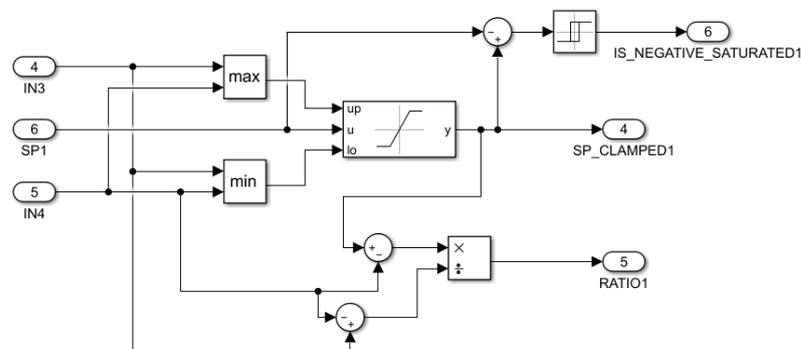


Figura 35. Diagrama de bloque del controlador RATIO utilizado en el proyecto.

Luego en el modelo se apreciaría un bloque de esta manera:

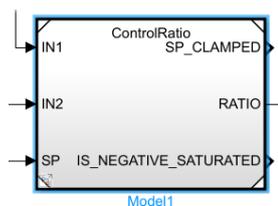


Figura 36. Bloque modelo del controlador RATIO utilizado.

12.2 Controlador PID

Un controlador PID, se compone de un controlador proporcional, integral y derivativo. En sí es un mecanismo de control simultaneo por realimentación. Este calcula la desviación o el error entre un valor medido y el set point o valor deseado.

El algoritmo de control PID consta de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor proporcional depende del error actual, el integral depende de los errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar el proceso por medio de un elemento de control, es decir, un actuador.

La salida de estos tres términos, el proporcional el integral y el derivativo, son sumados para calcular la salida del controlador PID, lo que da lugar a la ecuación característica en el dominio del tiempo.

$$\text{Ecuación característica} \quad y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

K_p = Constante de proporcionalidad. Se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de la banda proporcional.

K_i = Constante de integración. Indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional

K_d = Constante de derivación. Hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique.

La función que cumplirán los PIDs para este proyecto, será el de calcular los sets point de los controladores RATIO, con la información de los sensores de entrada de datos.

A su vez, uno de los controladores PID utilizados, tiene la particularidad de poder cambiar las constantes (de proporcionalidad, integral y derivativa) según las condiciones que presentan las distintas situaciones parametrizadas detalladas más adelante.

El cálculo de las constantes (ajuste del controlador), se realizó con el método de ZIEGLER-NICHOLS descrito en el anexo DISEÑO CONTROLADORES PID.

En SIMULINK de MATLAB se lo plantea de la siguiente manera:

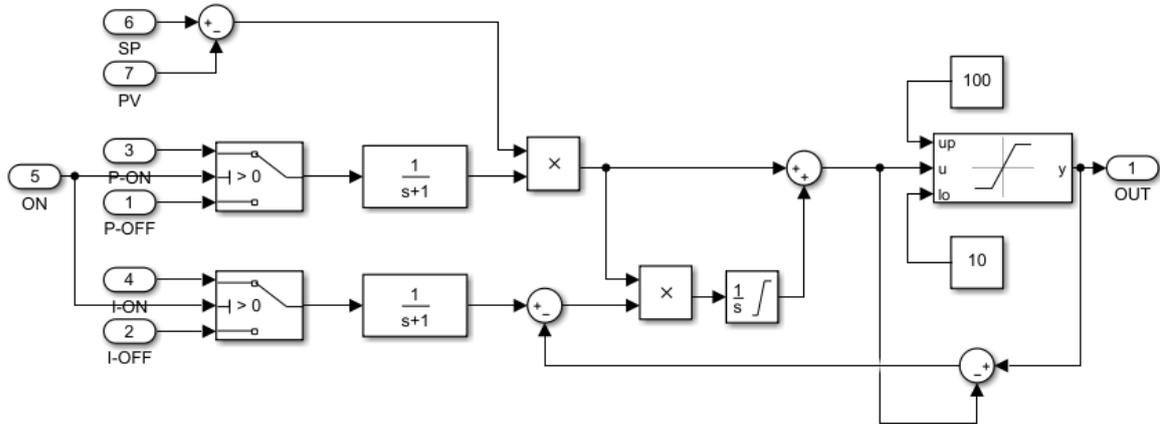


Figura 37. Diagrama de bloque del controlador PID utilizado en el proyecto.

Luego en el modelo se apreciaría un bloque de esta manera:

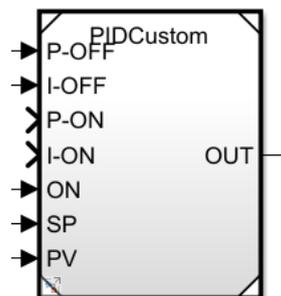


Figura 38. Bloque modelo del controlador PID con cambio de parámetros utilizado para el control de saturación del aire.

12.3 Esquema lógico de control del proyecto

Tal como se observa en los esquemas constructivos de la central de climatización, se entiende que el control de temperatura, y el control de humedad se realizan de formas separadas. Es decir, la primer mezcla de aire, junto con el lavador (rociadores), opera modulando la temperatura. Y la segunda etapa de mezcla de aire, se realiza con el fin de trabajar sobre la humedad del recinto. Es esta una de las condiciones que se utilizo a la hora de desarroyar el control.

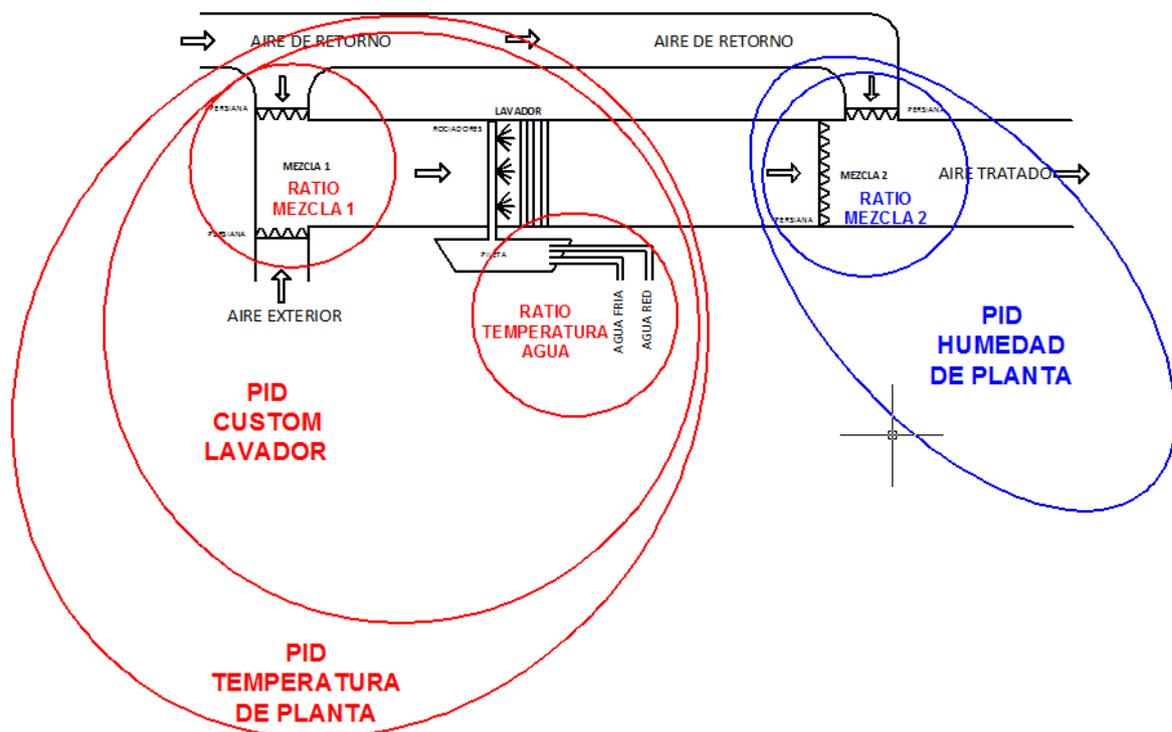


Figura 39. Diagrama ilustrativo de jerarquías entre controladores considerado en el proyecto.

En la imagen se representa el nivel de jerarquia de cada controlador que se detallara en el siguiente titulo.

El control PID principal de temperatura, opera en cascada con un PID que ejecuta acciones a dos controladores RATIO de porporcion. Por lo tanto el control de temperatura en la planta será consecuencia de la mezcla de aire de retorno y exterior.

Habra un segundo PID principal para el control de humedad, que opera sobre un controlador RATIO responsable de la segunda mezcla de aire, saturado de humedad con aire de retorno.

12.3.1 Control de temperatura

El proceso de control comienza, con la información del sensor de temperatura en el área de importancia, en nuestro caso el sector 1 donde operan las máquinas de apertura y conformadoras de mechas. Por lo tanto, se obtiene la *variable de proceso* o *process value*.

El PID encargado del control de temperatura (identificado como PID Temperatura Planta), compara este valor con el *punto fijo* de temperatura, o *set point* establecido para el área, y calcula el error. Este error debe ser corregido, por lo tanto, el PID tiene procesar el cálculo, que en este caso será modificar la temperatura de saturación a la salida del lavador.

El siguiente PID (identificado como PID Custom Lavador), utiliza como *set point* el valor establecido por el PID anterior, y lo compara con el valor de temperatura que el sensor AVG está relevando a la salida del lavador (*process value*). Una vez calculado el error, el controlador debe ejecutar una orden, con el fin de corregir el error con las herramientas que tiene disponible. En este caso son dos, que dependen de las condiciones del clima en el exterior.

El PID opta primero por corregir la temperatura de saturación operando la modulación de la mezcla 1 (aire de retorno y aire exterior). Por lo tanto, establece el *set point* del controlador RATIO Mezcla 1 que maneja las persianas de aire de retorno y exterior. De esta manera el controlador RATIO compara la información de los sensores de temperatura exterior y de retorno, y devuelve la proporción de mezcla de aire más correcta para corregir el error.

En el caso de, por ejemplo, un día de altas temperaturas, donde el controlador RATIO de persianas de aire de mezcla 1, no pueda solucionar el error, opta por utilizar el 100% del caudal de menor temperatura (de retorno o de aire exterior). Ocurrido esta condición, el PID Custom Lavador, cambia sus constantes características, y habilita su segunda herramienta, el control RATIO Válvulas de mezcla de agua. Este nuevo control, compara dos condiciones relevadas por sus respectivos sensores de temperatura, agua proveniente de la red, y agua proveniente de los equipos de enfriamiento. De esta manera utilizando mayor proporción de agua a la fuente de menor temperatura, se logra que la cortina de agua del lavador controle la temperatura de saturación necesaria.

Si el error persiste, temperatura de saturación aún demasiado alta, el mismo control RATIO Válvulas de mezcla de agua, emite una condición la cual informa de la necesidad de poner en funcionamiento los equipos de enfriamiento, y así bajar la temperatura del agua hasta el set point establecido por el PID Lavador.

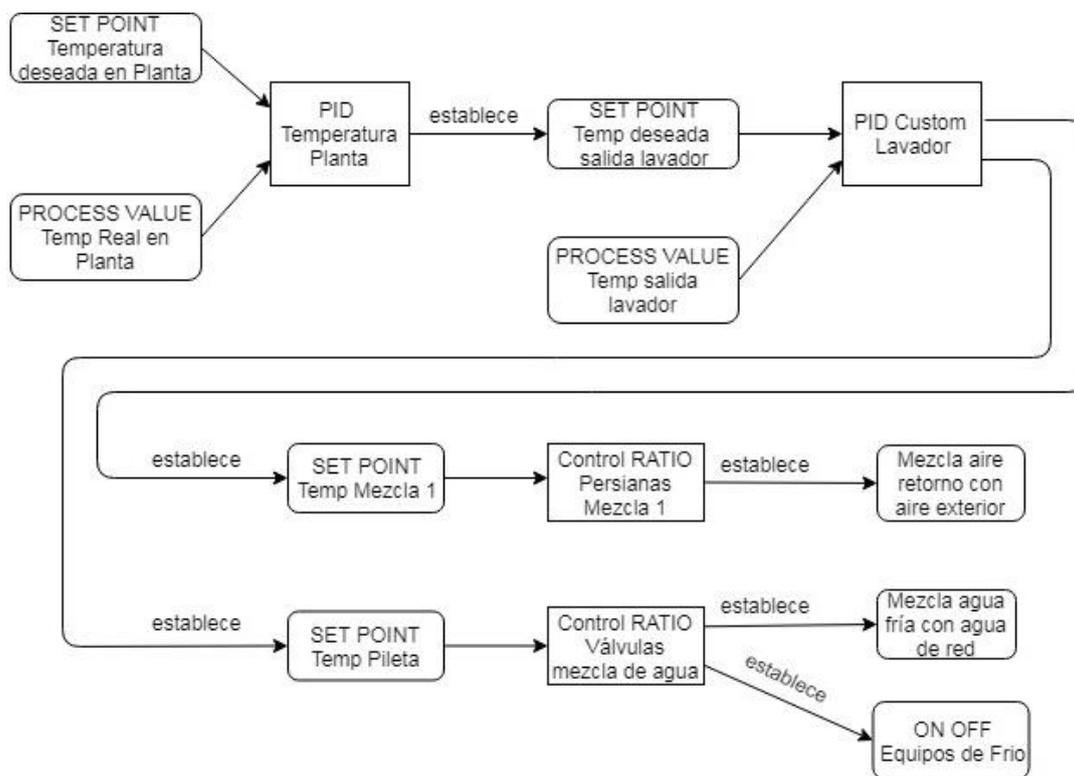


Figura 40. Diagrama ilustrativo de tareas realizadas por cada controlador responsables del control de temperatura.

12.3.2 Control de humedad

De la misma manera que lo hace el PID control de Temperatura, se realiza el control de humedad en el mismo sector de la planta. El *PID Humedad Planta* compara el valor de humedad sensada en el area, con el set point acordado. Procesa estos valores, calcula el error y ejecuta una accion, en este caso establecer el set point del control *RATIO de Mezcla 2* y establecer la proporción de aire de retorno con aire saturado justa, con la cual en el area de interez se establezca la humedad requerida.

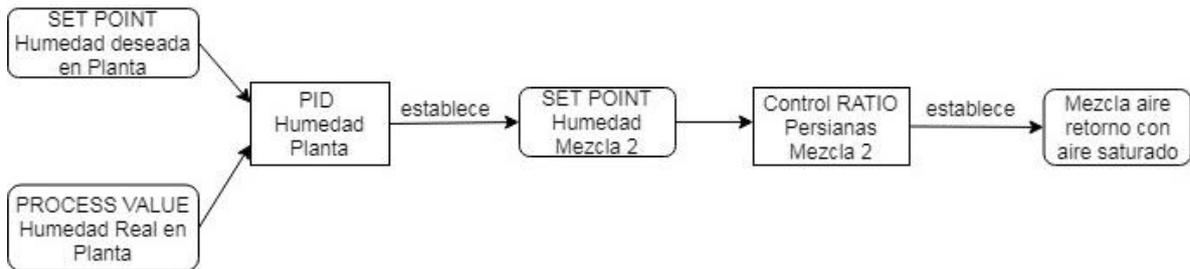


Figura 41. Diagrama ilustrativo de tareas realizadas por cada controlador responsables del control de humedad.

Cabe mencionar que el sector o área 1, el cual climatiza esta central, está dividida a su vez en dos sub áreas como se detalló con anterioridad en este informe.

El área 1A de apertura y el área 1B de mecheras pueden o no compartir las mismas condiciones “humedad y temperatura”, del mismo modo que la producción afecte de distinta manera por lo tanto implique en la maquinaria aporte más o menos energía calórica a un sector en particular.

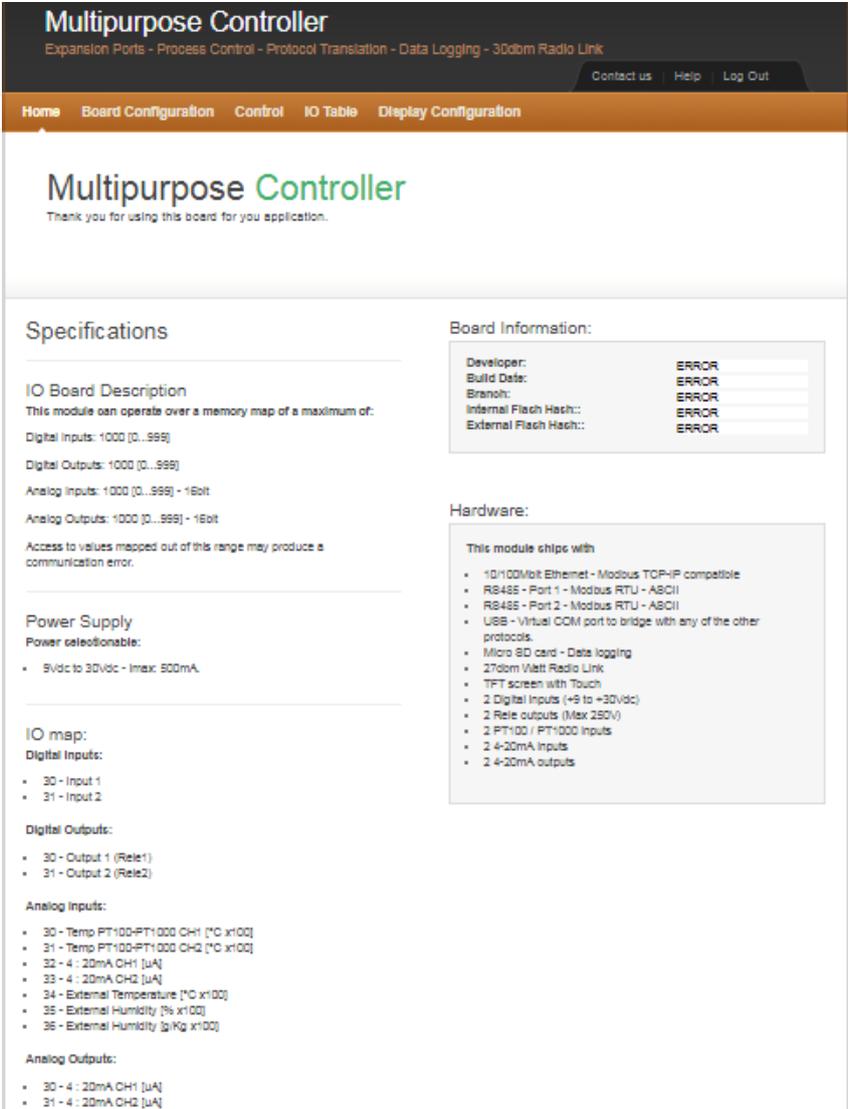
Es por esto que el proceso de mezcla 2 (entre aire saturado de humedad y aire de retorno), se realiza en dos salas, constructivamente iguales, operadas por dos PID de humedad distintos (uno por cada área de interés).

El controlador de temperatura en cambio, debe ser el mismo para toda el área 1. El cual quedará a criterio del operador de la central (bajo asesoramiento del laboratorio), el valor del set point a utilizar.

13 CONFIGURACION DE LOS CONTROLADORES MULTIPROPOSITO

Una vez que se tiene el esquema de conexión del sistema de control, descrito en la figura 20, y se establecieron las rutas de la información como se aprecia en la figura 37 y 38 del informe se procede a configurar los mapas de comunicación de los controladores.

Para ello el controlador multipropósito, cuenta con un sistema embebido accesible para el usuario en el cual a través de su interfaz permite realizar todas las configuraciones necesarias. A la página web que tiene cada controlador multipropósito se accede desde una computadora conectada a través de USB o conexión RS485. En la página principal se describe las características principales del controlador multipropósito.



Multipurpose Controller
Expansion Ports - Process Control - Protocol Translation - Data Logging - 30dbm Radio Link

Contact us Help Log Out

Home Board Configuration Control IO Table Display Configuration

Multipurpose Controller

Thank you for using this board for you application.

Specifications

IO Board Description

This module can operate over a memory map of a maximum of:

Digital Inputs: 1000 [0..999]

Digital Outputs: 1000 [0..999]

Analog Inputs: 1000 [0..999] - 16bit

Analog Outputs: 1000 [0..999] - 16bit

Access to values mapped out of this range may produce a communication error.

Power Supply

Power selectable:

- 5Vdc to 30Vdc - Imax: 500mA.

IO map:

Digital Inputs:

- 30 - Input 1
- 31 - Input 2

Digital Outputs:

- 30 - Output 1 (Rele1)
- 31 - Output 2 (Rele2)

Analog Inputs:

- 30 - Temp PT100-PT1000 CH1 [°C x100]
- 31 - Temp PT100-PT1000 CH2 [°C x100]
- 32 - 4 - 20mA CH1 [uA]
- 33 - 4 - 20mA CH2 [uA]
- 34 - External Temperature [°C x100]
- 35 - External Humidity [% x100]
- 36 - External Humidity [g/Kg x100]

Analog Outputs:

- 30 - 4 - 20mA CH1 [uA]
- 31 - 4 - 20mA CH2 [uA]

Board Information:

Developer:	ERROR
Build Date:	ERROR
Branch:	ERROR
Internal Flash Hash:	ERROR
External Flash Hash:	ERROR

Hardware:

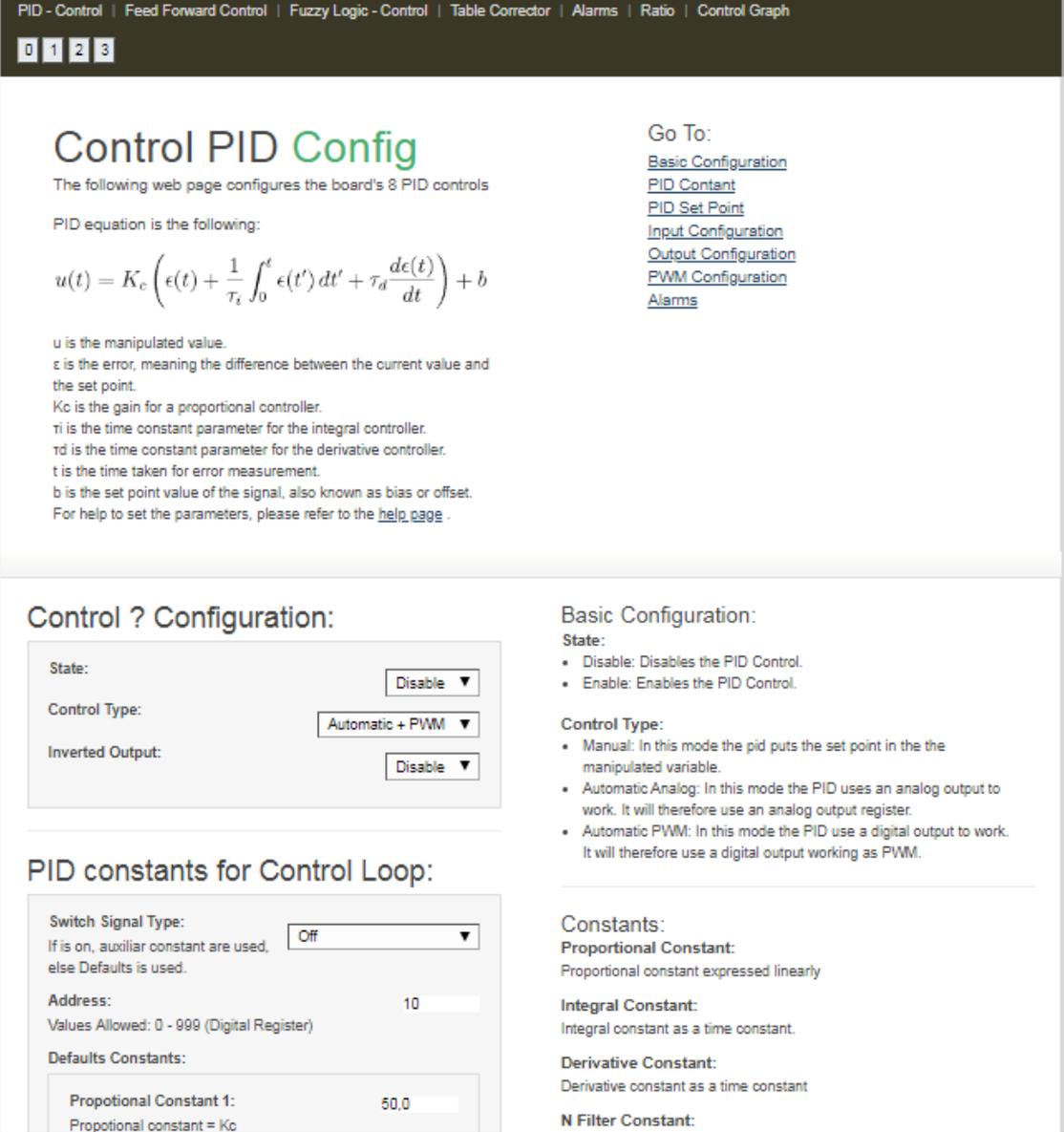
This module ships with

- 10/100Mbit Ethernet - Modbus TCP-IP compatible
- RS485 - Port 1 - Modbus RTU - ASCII
- RS485 - Port 2 - Modbus RTU - ASCII
- USB - Virtual COM port to bridge with any of the other protocols.
- Micro SD card - Data logging
- 2700m Vext Radio Link
- TFT screen with Touch
- 2 Digital Inputs (4-9 to +30Vdc)
- 2 Relay outputs (Max 250V)
- 2 PT100 / PT1000 inputs
- 2 4-20mA inputs
- 2 4-20mA outputs

Figura 42. Página inicial de la web del controlador.

Si se observa el MENU, se encuentran las distintas pestañas para configuración de cada una de las funciones que posee el controlador multipropósito.

En BOARD CONFIGURATION se configuran las direcciones de todas las comunicaciones y conexiones posibles del controlador (Ethernet, Radio, conexión directa de sensores, entradas y salidas analógicas y digitales). En la pestaña siguiente se encuentran las configuraciones de CONTROL. Aquí se debe configurar los controladores utilizados en el proyecto, PID-Control y RATIO.



PID - Control | Feed Forward Control | Fuzzy Logic - Control | Table Corrector | Alarms | Ratio | Control Graph

0 | 1 | 2 | 3

Control PID Config

The following web page configures the board's 8 PID controls

PID equation is the following:

$$u(t) = K_c \left(\epsilon(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t \epsilon(t') dt' + \tau_d \frac{d\epsilon(t)}{dt} \right) + b$$

u is the manipulated value.
 ϵ is the error, meaning the difference between the current value and the set point.
 K_c is the gain for a proportional controller.
 τ_i is the time constant parameter for the integral controller.
 τ_d is the time constant parameter for the derivative controller.
t is the time taken for error measurement.
b is the set point value of the signal, also known as bias or offset.
For help to set the parameters, please refer to the [help page](#).

Go To:

- [Basic Configuration](#)
- [PID Constant](#)
- [PID Set Point](#)
- [Input Configuration](#)
- [Output Configuration](#)
- [PWM Configuration](#)
- [Alarms](#)

Control ? Configuration:

State: ▼

Control Type: ▼

Inverted Output: ▼

PID constants for Control Loop:

Switch Signal Type: ▼
If is on, auxiliar constant are used, else Defaults is used.

Address:
Values Allowed: 0 - 999 (Digital Register)

Defaults Constants:

Proportional Constant 1:	<input type="text" value="50.0"/>
Proportional constant = K_c	

Basic Configuration:

State:

- Disable: Disables the PID Control.
- Enable: Enables the PID Control.

Control Type:

- Manual: In this mode the pid puts the set point in the the manipulated variable.
- Automatic Analog: In this mode the PID uses an analog output to work. It will therefore use an analog output register.
- Automatic PWM: In this mode the PID use a digital output to work. It will therefore use a digital output working as PWM.

Constants:

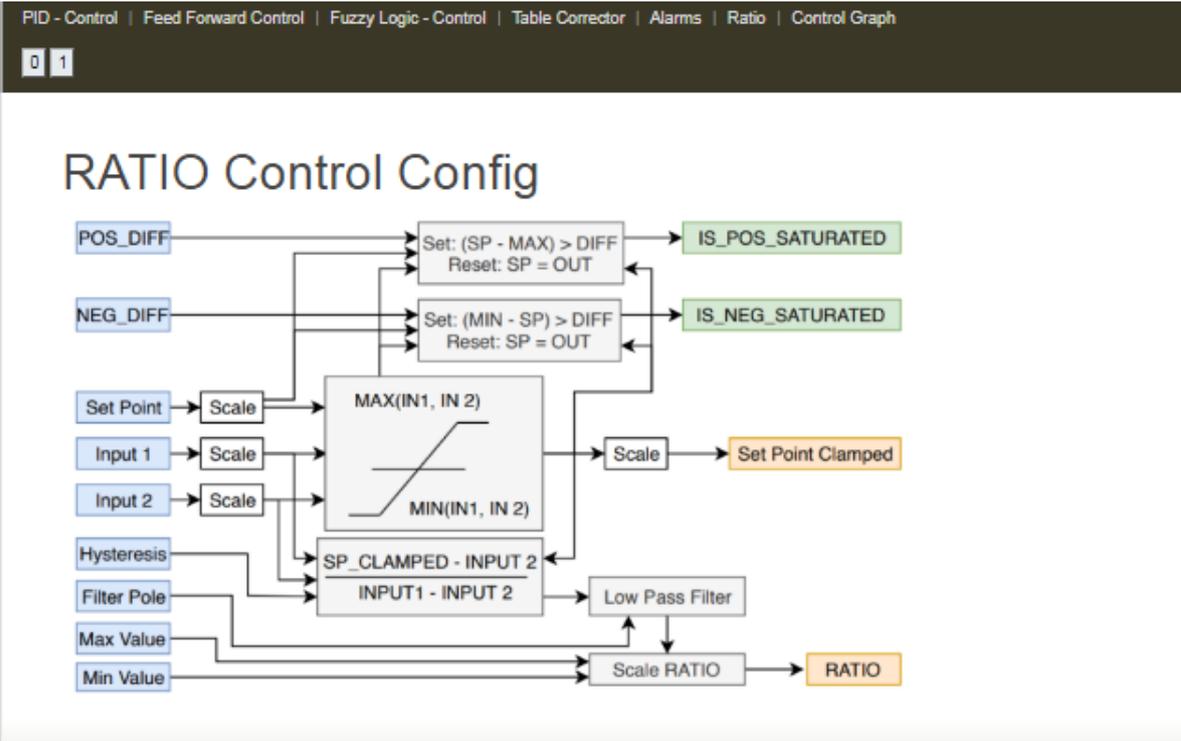
Proportional Constant:
Proportional constant expressed linearly

Integral Constant:
Integral constant as a time constant.

Derivative Constant:
Derivative constant as a time constant

N Filter Constant:

Figura 43. Inicio de la página de configuración para el controlador PID.



RATIO Control ? Configuration:

State:

Input 1 Type:

Where to get the Input 1 Value:

Input 1 Address:
Values Allowed: 0 - 999 (Analog Input/Output Register)

Input 1 Scale Factor:
Input 2 scale factor value

Input 2 Type:

Where to get the Input 2 Value:

Input 2 Address:
Values Allowed: 0 - 999 (Analog Input/Output Register)

Input 2 Scale Factor:
Input 2 scale factor value

Set Point Type:

Where to get the Set Point Value:

Set Point Address:

Basic Configuration:

State:

Figura 44. Inicio de la página de configuración del controlador RATIO

Cada acción a cargo de cada controlador multipropósito esclavo (lectura de sensores, señales de salida a actuadores) tiene asignado una serie de direcciones internas en su software para las variables de entrada y otras para las variables de salida. Esta serie de parámetros acopiado por cada esclavo, son escritas en la memoria de registro del maestro, cada una en su dirección correspondiente)

Por ejemplo, la dirección 30 del registro de entradas del esclavo 1 (temperatura del aire a la salida del lavador leída por el sensor correspondiente) escribe en la dirección

200 del registro de entradas del maestro. De esta manera cada uno de los 6 esclavos escribe en las direcciones asignadas dentro de la memoria del maestro.

El maestro (que contiene internamente la lógica de control), con lo cual debe tomar todos los parámetros almacenados en su registro de entrada (por los esclavos) y procesarlos a través del programa de control (donde operan los PIDs y RATIOS).

El PID0 (control de temperatura en la planta), lee el set point establecido en la dirección 150 del registro del master (escrita por el usuario en la pantalla del controlador multipropósito, almacenada en la dirección 150 como salida analógica en el master), junto con el valor de temperatura actual en la planta en la dirección 244 (escrita por el esclavo 5 que posee el sensor de temperatura en el interior), procesa estos datos, emite la acción correctiva y la escribe en la dirección 151.

El PID1 lee lo escrito en la 151 (que es el set point de temperatura de saturación), lee la actual en la dirección 201, procesa y escribe la orden para los controladores RATIO0 (mezcla de aire) y RATIO1(mezcla de agua) en la dirección 152.

De esta manera cada sensor y actuador conectado a cada esclavo, y cada controlador lee procesa y escribe en sus direcciones correspondientes.

Cada tipo de variable (entrada o salida analógica, entrada o salida digital, etc.) está escrita en la dirección de registro correspondiente a cada variable.

De esta manera para la carga y configuración de cada controlador multipropósito se realizó una serie de tablas con todas las características requeridas en la página web mostradas. Estas tablas estarán en el anexo III CONFIGURACION CONTROLADORES MULTIPROPOSITO. A su vez, al realizarlo de esta forma, se tiene un respaldo de cada controlador, que, en caso de fallas, se puede remplazar rápidamente uno por otro nuevo con la misma configuración.

A modo de ejemplo se presentan las siguientes tablas de configuración:

UTILIDAD	REFERENCIA	UBICACIÓN	DIRECCION											
Esclavo		1 Tunel de Retorno	10											
ENTRADAS ANALOGICAS				SALIDAS ANALOGICAS				ENTRADAS DIGITALES			SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE			
DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO
30	Termistor CH1	PT1000 TEMP PILETA	30	4-20 OUT 1	PERSIANA EXTERIOR MEZCLA1	30	Entrada 1	no conectado	30	Rele 1	no conectado	30	Rele 1	no conectado
31	Termistor CH2	NTC 10K TEMP ROCIO	31	4-20 OUT 2	no conectado	31	Entrada 2	no conectado	31	Rele 2	no conectado	31	Rele 2	no conectado
32	4-20 IN 1	no conectado	32			32			32			32		
33	4-20 IN 2	no conectado	33			33			33			33		
34	TEM	USADO	34			34			34			34		
35	HUM %	USADO	35			35			35			35		
36	HUM ABS	USADO	37			37			37			37		

Figura 45. Variables de entrada y salida del esclavo 1.

DETALLES	ID	DIRECCION ESCLAVO	DIR INICIAL	CANTIDAD	TYP0	DIR MASTER	PERIODO	INPUT
Esclavo 1 - Lectura entradas analogicas	0	10	30	7	Read Input Registers	200	100ms	VERDADERO
Esclavo 1 - Escritura de salidas analogicas	1	10	30	1	Write multiples registers	153	100ms	VERDADERO
Esclavo 2 - Lectura entradas analogicas	2	11	30	no	no	210	no	no
Esclavo 2 - Escritura de salidas analogicas	3	11	30	2	Write multiples registers	158	100ms	VERDADERO
Esclavo 3 - Lectura entradas analogicas	4	12	30	7	Read Input Registers	220	100ms	VERDADERO
Esclavo 3 - Escritura de salidas analogicas	5	12	30	no	no	220	no	no
Esclavo 4 - Lectura entradas analogicas	6	13	30	2	Read Input Registers	230	100ms	VERDADERO
Esclavo 4 - Escritura de salidas analogicas	7	13	30	1	Write multiples registers	154	100ms	VERDADERO
Esclavo 5 - Lectura entradas analogicas	8	14	30	7	Read Input Registers	240	100ms	VERDADERO
Esclavo 5 - Escritura de salidas analogicas	9	14	30	no	no	240	no	no
Esclavo 6 - Lectura entradas analogicas	10	15	30	7	Read Input Registers	250	100ms	VERDADERO
Esclavo 6 - Escritura de salidas analogicas	11	15	30	no	no	250	no	no

Figura 46. Direcciones de escritura y lectura de los esclavos en el maestro.

ENTRADAS ANALOGICAS		SALIDAS ANALOGICAS		SALIDAS DIGITALES	
DIR.	DESCRIPCION	DIR.	DESCRIPCION	DIR.	DESCRIPCION
30		30		100	Alarma Humedad APERTURA
31		31		101	Alarma Humedad MECHERAS
32		32		102	Empieza a controlar con agua
33		33		103	Equipo Frio Mode ON
34		34			
35		35			
36		36			
151	Set Point Temp Rocío (salida PID0-entrada PID1)	150	Set Point Temp Planta (entrada PID0)		
152	Set Point Temp Mezcla1/Temp Agua (salida PID1-Entrada RATIO0 y RATIO1)	151	Set Point Humedad Planta APERTURA (entrada PID2)		
153	RATIO ventana exterior MEZCLA 1(salida RATIO0)	152	Set Point Humedad Planta MECHERAS (entrada PID3)		
154	RATIO valvula agua (salida RATIO1)				
155					
156	Set Point Humedad MEZCLA 2 APERTURA (salida PID2-entrada RATIO2)				
157	Humedad preinyeccion MEZCLA 2 APERTURA (salida RATIO2)				
158	RATIO ventana retorno APERTURA (salida RATIO2)				
159	RATIO ventana retorno MECHERAS (salida RATIO3)				
160	Set Point Humedad Mezcla2 MECHERAS (salida PID3-entrada RATIO3)				
161	Humedad preinyeccion MEZCLA 2 MECHERAS (salida RATIO3)				
162					
163	Humedad Relativa Salida del Lavador				
164	Temperatura MEZCLA 1 (salida PID1)				
165	Temperatura PILETA (salida PID1)				
200	Temperatura Agua Pileta	200			
201	Temperatura Rocío	201			
202		202			
203		203			
204	Tbs retorno	204			
205	Hr retorno	205			
206	Habs retorno	206			

Figura 47. Parte de la tabla de direcciones de escritura y lectura de los esclavos en el registro del maestro.



PID 0 - PRINCIPAL TEMPERATURA		
PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
Estado	enable	
Tipo	Automatico	
Salida invertida	Disable	
CONSTANTES		
Cambio de Parámetros	Disable	
Dirección		
KP1	0,1	valor de matlab
KI1	33,33333333	la inversa de lo que use en matlab
KD1	0	
N1	10 mseg	tau de tiempo
KP2	0	
KI2	0	
KD2	0	
N2	0	
SET POINT		
Modo	Disable	Lee desde registro
Tipo	Output Variable Register	
Dirección	150	Registro en maestro de Temp planta
Factor de escala	0,01	
Valor Local	0	
PROCESS VALUE		
Tipo	Input Variable Register	
Dirección	244	Sensor Tbs esclavo 5
OUTPUT		
Tipo	Input Variable Register	
Dirección	151	sp temp lavador, entrada al PID1
Maximo 1	4000	40 grados max
Minimo 1	1000	10 grados minimo
Maximo 2	0	
Minimo 2	0	
PWM		
Periodo	1000	
Dirección	0	
ALARMA 1		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Dirección		
ALARMA 2		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Dirección		
DISPLAY		
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	°C	
Process Value Presicion	x,xx	
Process Value Unidad	°C	

Figura 48. Configuración del PID0

Control RATIO 0 - MEZCLA 1 TEMPERATURA		
PARAMETRO	VALOR/ESTADO	COMENTARIO
Estado	enable	
Entrada 1 Tipo	Input	
Dirección	224	Temp Exterior
Factor de escala	0,01	
Entrada 2 Tipo	Input	
Dirección	204	Temp Retorno
Factor de escala	0,01	
Set Point Tipo	Input	
Set Point Dirección	152	Salida PID 1
Factor de escala	0,01	
FILTRO		
Histerisis	1	grado centigrado
Filtro/Tiempo	10 seg	
SALIDA		
Tipo	Input	
Factor de escala	100	
Dirección	164	Temp MEZCLA 1
Typo Ratio	Input	
Dirección	153	Ratio MEZCLA 1
Maximo	20000	20 miliamper
Minimo	4000	4 miliamper
SATURACION		
Diferencia Positiva	10	
Dirección	0	
Diferencia Negativa	5	
Dirección	102	
DISPLAY		
Imput 1 Presicion	x,xx	
Imput 1 Unidad	°C	
Imput 2 Presicion	x,xx	
Imput 2 Unidad	°C	
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	°C	

Figura 49. Configuración del RATIO 0

14 OPERACIÓN Y CONTROL DEL NUEVO SISTEMA

La operación y control de funcionamiento de la central será más sencilla. En el tablero eléctrico de alimentación y operación de los motores de los ventiladores y bombas utilizados en las centrales se montará uno de los controladores utilizados. Esta unidad será la que esté configurada como maestro (MASTER).

Este controlador estará habilitado para que el operario de turno a cargo de las centrales pueda hacer el monitoreo de rutina y establecer los parámetros del clima necesarios en el área.

Posee una interfaz sencilla, de rápida lectura en su pantalla táctil de 4 pulgadas. En la parte inferior en la misma pantalla posee botones para navegar por los diferentes menús y pantallas, lo que posibilita y permite monitorear la información de todos los sensores que se encuentran dentro de la central, sin necesidad de ingresar al interior a verificar personalmente las lecturas de los mismos en los controladores correspondientes.

La información de lectura es en tiempo real (actualizada cada 100 milisegundos). El sistema actual de monitoreo releva los datos cada 15 minutos.



Figura 50. Lectura del sensor de humedad y temperatura ambiente en el controlador.

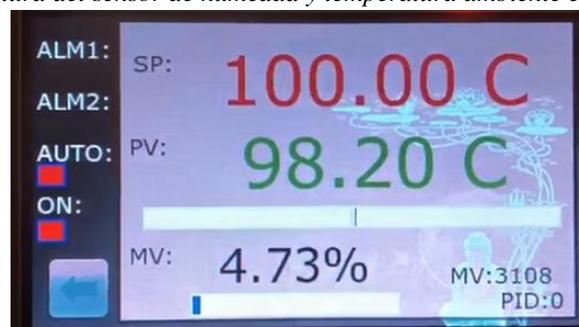


Figura 51. Vista en pantalla de parámetros de entrada y salida de un controlador PID (Set Point, Process Value y respuesta)

15 COSTOS, INSTALACIÓN Y MONTAJE

La empresa se propuso invertir desde hace algunos años en mejoras, las cuales permiten hacer uso más eficiente de la energía, disminuir costos de operación, disminuir la carga térmica interior, seguridad, y muy importante, mejorar aún más en calidad y estandarización de sus productos.

Para ello se equipó de maquinaria de hilado de última tecnología, remplazo de las luminarias por tecnología led (aumento en la calidad de iluminación y gran disminución de carga térmica), y actualmente a la par, llevar a cabo un plan de modernización de las centrales de clima.

La firma realizará la instalación, montaje y configuración del nuevo sistema con su mismo personal bajo la dirección del Ingeniero a cargo de la climatización.

Dentro del cuerpo de este proyecto, se describe con detalle los sensores requeridos y los parámetros a relevar. De la misma manera se realizó con los actuadores (de ambas alternativas propuestas), la distribución y conexión con los siete controladores (un maestro y seis esclavos). Queda a disposición del ingeniero a cargo y el personal, la elección de los lugares para el montaje del conjunto de dispositivos, dentro y fuera de la central de climatización, pero respetando la configuración establecida por el proyectista.

ALTERNATIVA I		IMPORTE	ALTERNATIVA II		IMPORTE
Sensores y Controladores		3731	Sensores y Controladores		3731
Convertor de presion		4176	Servos electricos		25720
Cables		68	Cables		100
Insumos Montaje		90,65	Insumos Montaje		90,65
	Total usd	8065,65		Total usd	29641,65

Se convertirán estos costos al valor del dólar USA el día 05/02/2020, \$60,58 según cotización del banco nación, obtenido de <https://www.bna.com.ar/Empresas>

	IMPORTE EN DÓLARES	VALOR DEL DÓLAR USA	IMPORTE EN PESOS ARGENTINOS
ALTERNATIVA I	u\$s 8065,65	\$60,58	\$488617,07
ALTERNATIVA II	u\$s 29641,65		\$1795691,16

INSTALACION Y MONTAJE

Para ello se proporcionan planos con la descripción de la ubicación de cada controlador y sensor requeridos en el proyecto. (PLANOS 4.1 4.2 y 4.3)

A su vez se proporciona diferentes TIPICOS de montaje para la colocación de sensores y controladores. (TIPICOS 1 2 3 y 4 en los PLANOS 5.1 5.2 5.3 y 5.4)

Para la instalación de cada controlador, sensor, o soportes para un sensor en particular, queda a criterio del instalador o su responsable, la selección de la burlonería a utilizar para fijar los gabinetes del controlador o montantes de sensores, en muros de ladrillos o paneles metálicos.

Los conductores a utilizar para la conexión entre controladores, actuadores y sensores están descriptos en el esquema del PLANO 3

La conexión de cada conductor (proveniente de los sensores y actuadores) en el controlador se encuentran impresas en la misma placa PCB donde están las borneras.

La alimentación de los controladores se realizará según proyecto del departamento eléctrico de la empresa el cual debe cumplir los 12 voltios y 2 amperes de corriente continua.

16 CONCLUSIÓN

A partir de lo desarrollado: en el presente informe puedo concluir lo siguiente:

El relevamiento que se logró para el proyecto fue muy completo y necesario. En el cual se recabó información, junto con ensayos y mediciones para el estudio de esta solución. Gran parte del logro del trabajo fue la realización de un modelo matemático, el cual representé el comportamiento de la central de climatización y el ambiente donde opera. Esto fue realmente una herramienta muy ventajosa, que permitió realizar simulaciones bajo cambios de cada una de las distintas variables que el sistema involucre.

Quiero destacar la implementación del controlador multipropósito. Que permitió la solución moderna, práctica y económica que buscaba para este proyecto. Y como es un producto totalmente adaptable, se abre un abanico importante de posibilidades para salir al mercado, ofreciendo soluciones de control con esta herramienta.

Se reconoce que los costos en parte de la automatización son muy altos, por lo cual se hizo hincapié en dos alternativas. Algo que veo muy beneficioso, porque, aunque la firma decida invertir en la implementación de los servos eléctricos, se le ofrece una alternativa en la cual se pueda evaluar resultados, y corregir defectos, utilizando parte del sistema existente.

Este proyecto da como resultado una solución moderna y automatizada para la operación diaria de la central. La cual mostrará rápidamente beneficios en la independencia del control constante de los operarios como en la solución de problemas, en la eficacia de los mandos, y en la continuidad del servicio en las condiciones impuestas. A su vez el algoritmo de control se diseñó priorizando la eficiencia y el uso racional de la energía. De esta manera el programa de control decidirá, de forma automática, cuando se haya agotado el abanico de posibilidades, poner en marcha los equipos enfriadores de agua, fuente de uno de los mayores consumos puntuales de energía de la planta.

Este conjunto de mejoras impacta directamente en la estandarización del producto manufacturado en la hilandería, y por lo tanto el rédito monetario para la firma.

17 REFERENCIAS

- Manual de la empresa SEMPERE & COHEN. 1979. Perteneciente a la biblioteca de ALGODONERA AVELLANEDA
- FERRAMOSCA, Antonio. Apuntes de cátedra TEORIA DE SISTEMAS Y CONTROL AUTOMATICO. 2018
- CENGEL, Yules & BOLES, Michael. TERMODINÁMICA. 7ed. Mc Graw Gill. Cap 14. 737p
- HENS, Hugo. Building Physics - Heat, Air and Moisture. 1ered. Ernst & Sohn. 2012.
- JING-NANG Lee, TSUNG-MIN Lin, & CHIEN-CHIH Chen. Modeling Validation and Control Analysis for Controlled Temperature and Humidity of Air Conditioning System”. Publicado en Scientific World Journal. 2014. Citado en 09/2019. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4163474/>
- WEB OPTICONTROLS. (18/5/2011). Ziegler-Nichols Open-Loop Tuning Rules <https://blog.opticontrols.com/archives/477> Consulta (09/2019)
- KDK Argentina. Proveedores industriales de electrónica y automatización. (2019) <http://www.kdk-argentina.com/catalogos/.../>
- Servo Eléctrico ULTRAMOTION. (10/2019). <https://www.ultramotion.com/servo-cylinder/>
- Convertidor Electro neumático EAS PC 13. (27/08/2019) https://www.escarre.com/sites/default/files/PC13_esp_V6.pdf



ANEXO I RELEVAMIENTO COMPLETO Y PLANOS

RELEVAMIENTO COMPLETO EN CAMPO DE LA CENTRAL DE CLIMATIZACIÓN 1

El ciclo comienza con la aspiración del aire de la planta desde el piso, donde extrae el aire que fue contaminado con polvo y fibrillas, y a su vez elevado su temperatura al extraer el calor generado por las máquinas de producción, iluminación, etc.



Imagen 1, vista de uno de los túneles de aspiración de aire retorno en el subsuelo de la planta

Debajo de la nave o espacio de trabajo a nivel del piso se encuentran rejillas con bocas de respiración por donde se aspira el aire caliente y pulverulento retornando a la central. Para esto las rejillas dan ingreso al flujo de aire a los túneles. Estos túneles (imagen 1) conducen el aire hacia filtros rotativos (imagen 3) ubicados en la base de la central.



Imagen 2, vista desde el túnel de retorno a un filtro rotativo



Imagen 3, vista de los tres filtros rotativos de aire de retorno

El aire ingresa y se filtra a través de mantas. Estos filtros (imagen 2 y 3) son cilíndricos y giratorios para permitir la limpieza automática de los mismos.



Imagen 4, vista interna del filtro rotativo desde la habitación siguiente, en el subsuelo.

Al atravesar la etapa de filtrado (imagen 4) el aire ingresa a una primera cámara, donde en el nivel superior (nivel del suelo) se encuentran ventiladores de aspiración (imagen 5) que generan depresión en los túneles permitiendo el ingreso de aire, que luego de ser filtrado, es forzado a ingresar a una segunda cámara llamada túnel de by pass.



Imagen 5, vista desde el subsuelo hacia los ventiladores de aire de retorno

Subiendo un nivel, se encuentra una segunda sala, donde forzada por los ventiladores y a través de persianas (controladas), la columna de aire, en distintas

proporciones puede ingresar a la sala de pileta y/o ingresar en un nivel superior haciendo un by-pass. (imagen 6)



Imagen 6, viste a nivel del suelo de los ventiladores de retorno. A la izquierda se aprecia la persiana que da ingreso a la sala de pileta donde se mezcla con aire exterior.

Esa Persiana que se observa en la imagen 6, regulan o controlan el flujo de aire que va a dirigirse hacia el sector de humidificación. O si no se lo requiere, al optar por cerrar total o progresivamente el ingreso de aire de retorno, el sobrante se libera por rejillas de sobrepresión a la atmosfera.

La sala de humidificación y acondicionamiento de temperatura está dividida en dos partes, una primera dentro del recinto en el cual se mezcla aire exterior con retorno, donde encontramos a nivel del suelo una pileta, donde se trata el agua a la temperatura necesaria para los rociadores. Y como división física se encuentra el palen de rociadores y separador de gotas, el cual es atravesado por el flujo de aire, saturando de humedad y disminuyendo su temperatura. En este nuevo ambiente, el aire saturado se encolumna en un túnel vertical de dos pisos, vinculando persianas que utilizan este flujo para una segunda mezcla de aire.

A modo de detalle, a la humectación llegan (o puede llegar) dos tipos de aire (imagen 7). Uno proveniente del exterior, y otro proveniente del aire de retorno de la planta. Estos dos caudales de aire son operados también por servos neumáticos. Según las condiciones del exterior (sensor de temperatura exterior) se requiere uno u otro, o una mezcla de ambos.

Algo a tener en cuenta es que todo el aire que se toma del exterior se trata en rociadores, pero el aire de retorno puede ser tratado o no.



Imagen 7, vista desde la sala de humectación, las persianas de mezcla de aire

A esta sala (imagen 8) llega un conducto con agua proveniente de la sala de enfriamiento, que, según la temperatura exterior de la industria, puede estar o no en funcionamiento. En si es un conducto que provee agua a baja temperatura.



Imagen 8, vista del conducto de agua fría que abastece a la pileta, y de las válvulas de control de temperatura.

Este conducto (imagen 8) se divide en dos. Uno de los conductos se dirige al pozo de retorno a la central de frío, y el otro conducto (imagen 9) se dirige a la pileta. Estos dos conductos están controlados por dos válvulas de mariposa operadas por un mismo

servo. Estas válvulas que operan en paralelo, esta una cerrada 0% y una abierta al 100%. Este servo lo que controla es el caudal de agua fría o tratada que ingresa a la pileta.



Imagen 9, a la izquierda se aprecia el conducto que abastece a la pileta, sobre el lado izquierdo la válvula tipo flotante de agua de red.

En la pileta (imagen 9) concurren 2 flujos de agua. Uno de agua fría tratada, y otro caudal proveniente de la red para contrarrestar el agua que se incorporó al aire. Las válvulas de mariposa, que son operadas por el servo, lo que hacen es modificar la temperatura del agua de la pileta, como consecuencia, regular la temperatura del agua que llega a los rociadores. Esta operación se controla a través de un sensor de temperatura de rocío (temperatura del aire húmedo a unos teóricos 100% de saturación Hr a la salida de los rociadores).



Imagen 10, bomba centrífuga para los rociadores.

En la imagen 10 se puede ver la bomba que toma el agua de la pileta y presuriza hacia los rociadores. Esta bomba junto con los rociadores es de caudal constante. Opera un solo cuerpo de rociadores por lo que no hay otro tipo de regulación posible más que cambiar la temperatura de la pileta.



Imagen 11, Sensor de temperatura de saturación junto al panel separador de gotas.

En la imagen 11 se ve el separador de gotas que esta continuo a los rociadores. Aquí se atrapa el agua condensada que se recolecta hacia la pileta nuevamente. Pero antes de retornar a la pileta, debe pasar por un filtro (imagen 9), que de alguna manera contiene toda la polución que atrapa del aire que pasa por el separador de gotas.

En el separador de gotas es donde se toma la temperatura del aire húmedo. En este caso LUWA (empresa que diseñó e instaló la central de climatización) considera al parámetro como “Punto de Rocío”.



Imagen 12, túnel vertical de aire saturado de humedad. Se aprecian en los niveles superiores persianas de ingreso de aire saturado a la segunda etapa de mezcla.

En la imagen 12 se observa la cámara vertical por donde el aire húmedo al 95% Hr o muy próximo, asciende hacia dos niveles superiores. Ambas persianas de entrada de aire húmedo son operadas por servos. Para de esta manera regular el caudal de aire con gran contenido de humedad que ingresa en la próxima sala adjunta a cada persiana.



Imagen 13, vista interior de una de las cámaras de la segunda mezcla de aire. A la derecha persianas de aire de retorno, a la izquierda de aire saturado.

Ambas salas de mezcla son prácticamente iguales y cumplen la misma función. Pero una sala la opera un controlador con las condiciones ambientales de la zona de “apertura” y otro controlador opera la segunda sala para las condiciones de la zona de “mecheras”.

La persiana más alta (a la izquierda de la imagen 13) da el ingreso del aire con alta humedad proveniente de la sala inferior. De las dos persianas restantes, viene aire de retorno que no ha sido humedecido (de ahí el by-pass). También controladas por servos, lo que permite es hacer otra regulación de las condiciones mezclando las proporciones de aire humedecido al 100% a temperatura relativamente baja, con aire caliente de retorno. Por el túnel de by-pass existen ventilas de sobrepresión, de manera que si se cierran las persianas de aire (es decir si se recircula poco, y se utiliza el aire exterior solamente) el caudal sobrante se libera al exterior.



Imagen 14 ventiladores de inyección que envían el caudal de aire desde la sala de mezcla anterior al interior del establecimiento.

En la imagen 14, dentro de la misma sala de mezcla, se encuentran los ventiladores de inyección. Estos fuerzan la mezcla de aire hacia los túneles que pasan por el techo de la fábrica, y dirigen el aire ya tratado hacia las rejillas en la zona que climatiza la central.

En la imagen 15 se aprecia los conductos que salen desde la sala de mezcla a través del espacio de servicio, hacia el interior del cielorraso ramificándose luego en las ventilas.



Imagen 15, vista de los conductos de inyección desde la sala de servicios.

En la imagen 16 se encuentra el controlador neumático LUWA. EL sensor de humedad se regula manualmente (mas humedad o menos) y se observa en un higrómetro digital el cambio de humedad hasta que se llega al punto deseado. A partir de este punto, se deja que el controlador mantenga constante el nivel de humedad.

Con la temperatura es algo similar. Se ajusta la aguja del termómetro hasta la temperatura de Set point, y luego el controlador efectúa las correcciones necesarias para mantener la temperatura constante.



Imagen 16, tablero de operación



Imagen 17, sensor digital

En la imagen 17 se puede apreciar un sensor digital de temperatura y de humedad, que envía la señal a la computadora central de monitoreo (imagen 18).

*The data collected by clicking the "Gather Current Readings" button, is not reflected in the Graph Display.

Group	Remote Unit	Channel 1	Channel 2	Gathering Time
AireComp	AC1	Communication Failure	---	02/07/2019 09:26:08
Central	C1B	27.9[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C2	27.4[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C3	25.4[°C]	53[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C4	25.6[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C5	27.5[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C6	26.1[°C]	56[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C7	27.8[°C]	47[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C8	22.7[°C]	54[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C9A	26.0[°C]	52[%]	02/07/2019 09:27:01
Central	C9BB	Communication Failure	---	02/07/2019 09:27:01
Central	C9C	24.5[°C]	53[%]	02/07/2019 09:27:01
Exterior	Ext	8.4[°C]	98[%]	02/07/2019 09:26:21
Kenya	K1	Communication Failure	---	02/07/2019 09:26:47
Kenya	K2	7.345[V]	---	02/07/2019 09:26:47
Kenya	K3	0.195[V]	---	02/07/2019 09:26:47

Current readings have been gathered.

RTR-5W Web Viewer T&D Corporation

Imagen 18 captura de la pantalla de control de temperatura y humedad de las centrales de climatización

La información o características ambientales dentro de la planta, como de cada una de las zonas, está determinada por las particularidades específicas del algodón que se está procesando en el momento. Esto se determina en el laboratorio que cuenta la empresa, donde se emite un informe con los sets point corregidos (imagen 19).



AGROPECUARIO		CAMBIO DE PARAMETROS DE CLIMATIZACION SOLICITADOS POR PRODUCCION		R. SGI 000123 Revisión: 003
Central N°	Humedad Relativa (%) (+/- 2%)	Temperatura (°C) (+/- 1°C)	Humedad Específica (gr/m ³)	
1A	52	29	13,32208891	
1B	52	29	13,32208891	
2	55	29	14,09067096	
3	55	29	14,09067096	
4	52	29	13,32208891	
5	55	27,5	12,83251231	
6	56	27	12,66476198	
7	48	28,5	11,91983453	
8	55	26	11,68669487	
9A	48	28,5	11,91983453	
9B	48	29,5	12,68674516	
9C	52	28	12,51677191	
10				
Problemas:		Fecha:	1/7/2019	
Mecánico de Torno:		OBSERVACION:		

Imagen 19, informe de parámetros a cumplir por las centrales de climatización



ANEXO II CÁLCULOS – MEDICIÓN – MODELOS MATEMÁTICOS

CÁLCULOS

MEDICIÓN DE CAMPO

MODELOS MATEMÁTICOS

CALCULO ANALÍTICO - MEDICIÓN DE CAMPO - MODELO MATEMÁTICO

Para desarrollar y ensayar el funcionamiento de la central con el nuevo sistema de control, se creó un modelo matemático que simula las condiciones de funcionamiento de la central como del ambiente del establecimiento.

Por este motivo se contrasta el modelo simulado por computadora, contra el procedimiento de cálculo manual y las mediciones en campo.

CÁLCULO ANALÍTICO

Se comienza considerando los parámetros fundamentales que son temperatura de bulbo seco y humedad relativa del ambiente donde funciona la maquinaria de interés en la hilandería.

Hay cuatro puntos que deben ser medidos para comenzar el desarrollo:

- Aire de retorno
- Aire exterior
- Condición a cumplir en el área
- Temperatura del agua de los rociadores

Cada par de valores, temperatura y humedad, se refleja en el diagrama psicométrico. Se considera punto de partida la condición a cumplir del sector “1A y 1B”:

Por exigencia de la producción $Tbs_1: 28^\circ\text{C}$ y $\phi_1: 59\%$ PUNTO 1

Tomando una medición en el punto de interés, obtenemos: $Tbs: 28^\circ\text{C}$ y $\phi: 59\%$ y reflejando esto en el diagrama psicométrico: (ver figura 1)

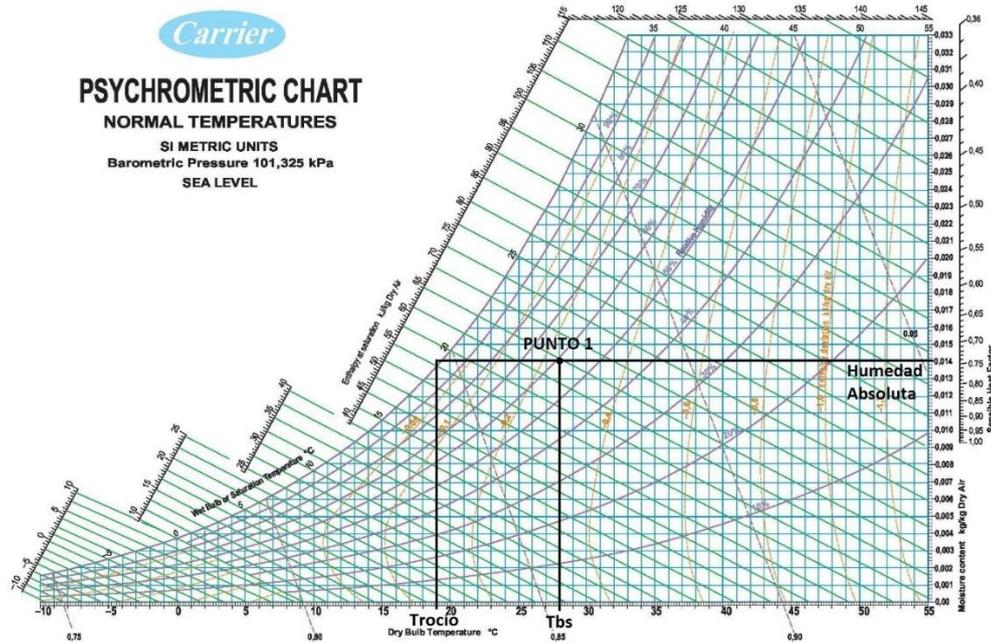


Figura 1, condición de temperatura y humedad de planta en el diagrama psicrométrico

Del cual destaco los parámetros necesarios para las operaciones:

- Temperatura de Rocío: 19°C
- Humedad Absoluta: 0.0139 [kg H₂O/kg aire seco]

Este va a ser nuestro punto de partida y final, es decir que el sistema en este momento está estabilizado, condiciones ambientales de planta normal. La central opera en este momento para mantener constante las condiciones del clima interior.

La temperatura de rocío es la temperatura que reflejaría el termómetro al estar saturado al 100% de humedad. Es decir, es el valor que necesitamos obtener a la salida del lavador (rociadores) si medimos en el caudal de aire.

Por lo tanto, la primera mezcla de aire (entre retorno y exterior) junto con las condiciones del agua de los rociadores, van a ser los responsables de que a la salida del lavador tengamos un caudal de aire saturado de humedad, a la temperatura de rocío exigida. En este caso 19°C.

El otro parámetro es la humedad absoluta (cantidad de agua en aire seco). Este parámetro lo controla la segunda etapa de mezcla de aire. Aquí se combina aire saturado de humedad proveniente del lavador, nuevamente con aire de retorno. La proporción de

esta mezcla nos determinará las condiciones de humedad, 59% en la zona de interés. En este caso por la temperatura que hay equivalente a 0.0139 kg de agua en 1 kg de aire seco.

1er Mezcla adiabática de flujos de aire

La mezcla se produce a la entrada de la central, dando el ingreso a aire que retorna de la fábrica con aire exterior. La proporción de mezcla viene determinada por la temperatura de rocío necesaria en la planta. Las ecuaciones son extraídas del capítulo 14 de libro TERMODINAMICA⁸.

Las ecuaciones que gobiernan el fenómeno son:

Temperatura: $Tbs_{ext} \dot{m}_a_{ext} + Tbs_{ret} \dot{m}_a_{ret} = Tbs_{mez1} \times \dot{m}_a_{mez1}$ ec.1

Humedad: $\omega_{ext} \dot{m}_a_{ext} + \omega_{ret} \dot{m}_a_{ret} = \omega_{mez1} \dot{m}_a_{mez1}$ ec.2

Caudal masico de aire: $\dot{m}_a_{ext} + \dot{m}_a_{ret} = \dot{m}_a_{mez1}$ ec.3

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{\dot{v}}$$

ec.4

Caudal volumetrico de aire $\dot{V} = \dot{V}_{total} \times apertura$ ec.5

Nomenclatura:

- Tbs = Temperatura de bulbo seco [K]
- \dot{m}_a = Flujo másico de aire [kg/seg]
- ω = Humedad absoluta [kg agua/kg aire seco]
- ϕ = Humedad Relativa [%]
- *ext* = Proveniente del exterior de la planta
- *ret* = Retorno de aire ambiente del interior de la planta
- *mez1* = Mezcla de aire retorno y exterior
- \dot{V} = Caudal volumétrico [m^3/seg]
- \dot{v} = volumen específico [m^3/kg aire seco]
- *apertura* = Apertura de la ventana [0 a 1]

⁸ CENGEL, Yules & BOLES, Michael. TERMODINÁMICA. 7ed. Mc Graw Gill. Cap 14. 737p



Condiciones medidas de entrada: Es necesario medirlas, porque le definen al controlador junto con los parámetros de temperatura y humedad en la sala de fábrica, las estrategias a seguir.

- Aire exterior $Tbs_{ext}: 13,1\text{ °C}$ $\phi_2: 38\%$ $\omega_2: 0.0032\text{ kg/kg}$ PUNTO 2
- Aire retorno $Tbs_{ret}: 30,2\text{ °C}$ $\phi_3: 52,8\%$ $\omega_3: 0.0139\text{ kg/kg}$ PUNTO 3

Ambos caudales de entrada son desconocidos, pero podemos obtener un parámetro que refleja el caudal de igual manera, que es el porcentaje de apertura de las persianas. El caudal que pasa por el lavador es de $60\text{ [m}^3/\text{seg]}$.

Cabe aclarar que esta aproximación puede tener errores, debido al formato de las persianas, la filtración de aire por los sellos deteriorados. Utilizando la ecuación 8:

- Persiana de aire exterior: 15%
- Persiana de aire de retorno: 85%

$$\dot{V}_{ret} = \dot{V}_{total} \times 0,85 = 60[\text{m}^3/\text{seg}] \times 0,85 = 51[\text{m}^3/\text{seg}]$$

$$\dot{V}_{ext} = \dot{V}_{total} \times 0,15 = 60[\text{m}^3/\text{seg}] \times 0,15 = 9[\text{m}^3/\text{seg}]$$

Aplicando la ecuación 7:

$$\dot{m}_{aret} = \frac{\dot{V}_{ret}}{\dot{v}_{ret}} = \frac{51[\text{m}^3/\text{seg}]}{0,875[\text{m}^3/\text{kg}]} = 58,28[\text{kg}/\text{seg}]$$

$$\dot{m}_{aext} = \frac{\dot{V}_{ext}}{\dot{v}_{ext}} = \frac{9[\text{m}^3/\text{seg}]}{0,83[\text{m}^3/\text{kg}]} = 10,84[\text{kg}/\text{seg}]$$

Condición de mezcla final: ecuaciones 1 y 2

Temperatura:

$$Tbs_{ext}\dot{m}_{aext} + Tbs_{ret}\dot{m}_{aret} = Tbs_{mez1} \times \dot{m}_{amez1}$$

$$13,1[\text{°C}] \times 10,84[\text{kg}/\text{seg}] + 30,2[\text{°C}] \times 58,28[\text{kg}/\text{seg}] = Tbs_{mez1} \times 69,12[\text{kg}/\text{seg}]$$

$$Tbs_{mez1} = 27,51[\text{°C}]$$

Humedad:

$$\omega_{ext} \dot{m}_{a\ ext} + \omega_{ret} \dot{m}_{a\ ret} = \omega_{mez1} \dot{m}_{a\ mez1}$$

$$0,0032 [kg/kg] \times 10,84 [kg/seg] + 0,0137 [kg/kg] \times 58,28 [kg/seg] = \omega_{mez1} \times 69,12 [kg/seg]$$

$$\omega_{mez1} = 0.0123 [kg/kg]$$

Calculado PUNTO 4 (ver figura 2)

$$Tbs_{mez1} = 27,51 [^{\circ}C] \quad \omega_{mez1} = 0.0123 [kg/kg] \quad \phi_{mez1} = 53\%$$

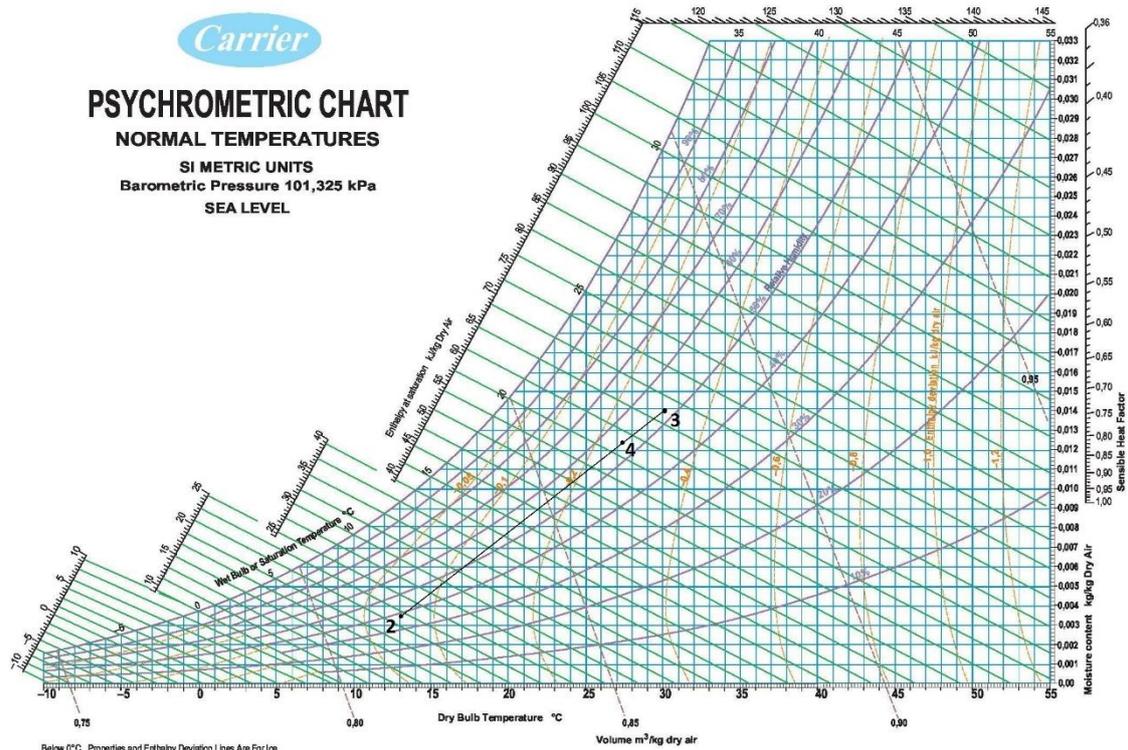


Figura 2, representación en el diagrama psicrométrico de la recta en la cual se produce la mezcla de aire.

Enfriamiento Evaporativo

Aquí al aire proveniente de la primera etapa de mezcla se lo hace pasar por una cortina de agua.

Las ecuaciones o criterios que gobiernan el fenómeno son:

$$\text{Temperatura de bulbo húmedo} \quad Tbh \cong \text{constante}$$

$$\text{Entalpía} \quad h \cong \text{constante}$$

No obstante, se debe tener en cuenta las condiciones del agua. Al comparar la temperatura del agua, con la temperatura de rocío y de bulbo húmedo del aire, el flujo puede ganar o ceder calor, perder o acumular agua.

Referencias:

- ϕ = Humedad Relativa
- sal lav= salida del lavador

Condición de entrada al lavador: PUNTO 4

- $Tbs_{mez1} = 27,51[^\circ C]$ $\omega_{mez1} = 0,0123[kg/kg]$ $\phi_{mez1} = 53\%$
- Temperatura del agua de rociado Tagua: $17,4^\circ C$

Condición de salida del lavador: PUNTO 5

- $Tbs_{sal\ lav} = 19[^\circ C]$ $\omega_{sal\ lav} = 0.0137[kg/kg]$ $\phi_{sal\ lav} = 100\%$

Conociendo las particularidades del caudal de aire que ingresa a la cortina de agua, junto con la temperatura del agua líquida podemos establecer que:

- Temperatura de bulbo húmedo de entrada $Tbh_{mez1} = 20,2[^\circ C]$
- Temperatura del agua $T_{agua} = 17,4[^\circ C]$

$T_{agua} < Tbh_{mez1}$ el aire se enfriará, perderá energía

Y conociendo las condiciones a la que debe salir del lavador (porque así lo define el controlador de la central), saturado de humedad y a la temperatura de rocío del área que esta central climatiza:

$\omega_{sal\ lav} > \omega_{mez1}$ Por lo tanto ganó humedad absoluta

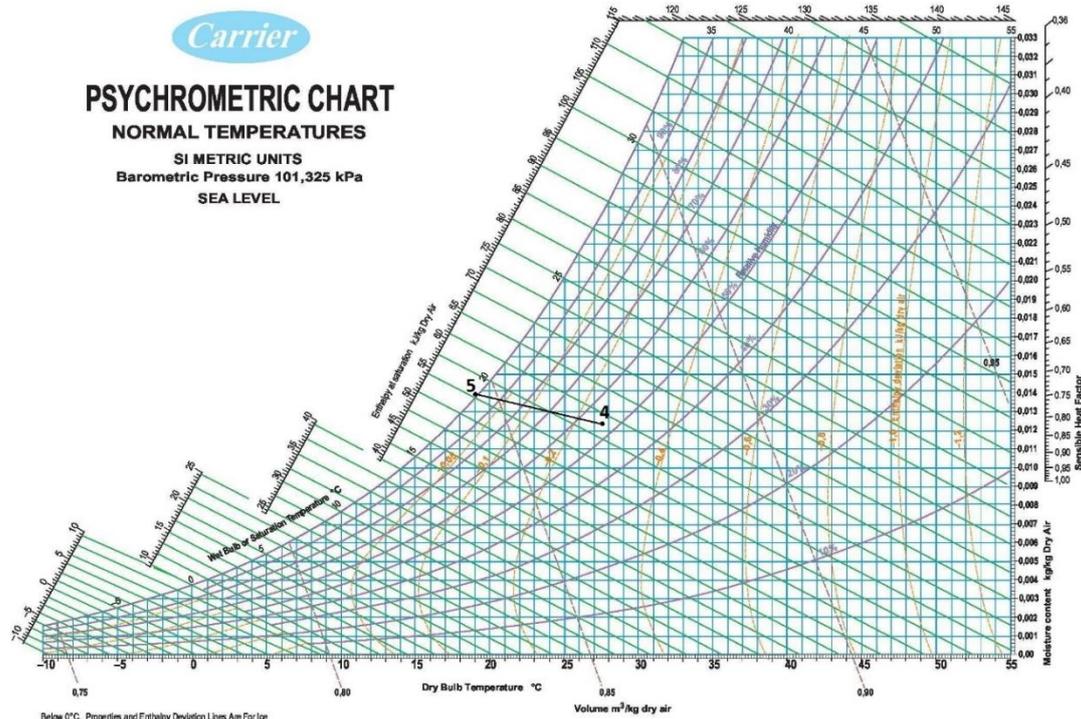


Figura 3, representación de la transformación desde el punto 4 a la condición 5 en la carta psicrométrica

2da Mezcla adiabática de flujos de aire

La mezcla se produce a la entrada de la central, dando el ingreso a aire que retorna de la fábrica con aire exterior. La proporción de mezcla viene determinada por la temperatura de rocío necesaria en la planta.

Las ecuaciones que gobiernan el fenómeno son:

$$\text{Temperatura: } T_{bs_{lav}} \dot{m}_{a_{lav}} + T_{bs_{ret}} \dot{m}_{a_{ret}} = T_{bs_{mez2}} \times \dot{m}_{a_{mez2}} \quad \text{ec.8}$$

$$\text{Humedad: } \omega_{lav} \dot{m}_{a_{lav}} + \omega_{ret} \dot{m}_{a_{ret}} = \omega_{mez2} \dot{m}_{a_{mez2}} \quad \text{ec.9}$$

$$\text{Caudal masico de aire: } \dot{m}_{a_{lav}} + \dot{m}_{a_{ret}} = \dot{m}_{a_{mez2}} \quad \text{ec.10}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v} \quad \text{ec.11}$$

$$\text{Caudal volumetrico de aire } \dot{V} = \dot{V}_{total} \times \text{apertura} \quad \text{ec.12}$$

Nomenclatura:

- *lav* = Proveniente del lavador
- *ret* = Retorno de aire ambiente del interior de la planta
- *mez2* = Mezcla de aire retorno y saturado (pre inyección)



Condiciones medidas/calculadas de entrada:

- Aire saturado Tbs_{lav} : 19 °C ϕ_{lav} : 100% ω_{lav} : 0.0137 kg/kg PUNTO 5
- Aire retorno Tbs_{ret} : 30,2°C ϕ_{ret} : 52,8% ω_{ret} : 0.0137 kg/kg PUNTO 3
- Persiana de aire retorno: 35%
- Persiana de aire de saturado: 65%

Utilizando la ecuación 12

$$\dot{V}_{ret} = \dot{V}_{total} \times 0,85 = 60[m^3/seg] \times 0,35 = 21[m^3/seg]$$

$$\dot{V}_{lav} = \dot{V}_{total} \times 0,15 = 60[m^3/seg] \times 0,65 = 39[m^3/seg]$$

Aplicando ecuación 11

$$\dot{m}_{a_{ret}} = \frac{\dot{V}_{ret}}{\dot{v}_{ret}} = \frac{21[m^3/seg]}{0,875[m^3/kg]} = 24[kg/seg]$$

$$\dot{m}_{a_{lav}} = \frac{\dot{V}_{lav}}{\dot{v}_{lav}} = \frac{39[m^3/seg]}{0,845[m^3/kg]} = 46,15[kg/seg]$$

Condición de mezcla final: ecuaciones 8 y 9

Temperatura:

$$\begin{aligned} Tbs_{lav}\dot{m}_{a_{lav}} + Tbs_{ret}\dot{m}_{a_{ret}} &= Tbs_{mez2} \times \dot{m}_{a_{mez2}} \\ 19[^\circ C] \times 46,15[kg/seg] + 30,2[^\circ C] \times 24[kg/seg] & \\ &= Tbs_{mez2} \times 70,15[kg/seg] \\ Tbs_{mez2} &= 22,83[^\circ C] \end{aligned}$$

Humedad:

$$\begin{aligned} \omega_{lav}\dot{m}_{a_{lav}} + \omega_{ret}\dot{m}_{a_{ret}} &= \omega_{mez2}\dot{m}_{a_{mez2}} \\ 0,0139[kg/kg] \times 46,15[kg/seg] + 0,0139[kg/kg] \times 24[kg/seg] &= \omega_{mez2} \times 70,15[kg/seg] \\ \omega_{mez2} &= 0,0139[kg/kg] \end{aligned}$$

Calculado PUNTO 6 (figura 4)

$$Tbs_{mez2} = 22,83[^\circ C] \quad \omega_{mez2} = 0,0139[kg/kg] \quad \phi_{mez2} = 81\%$$

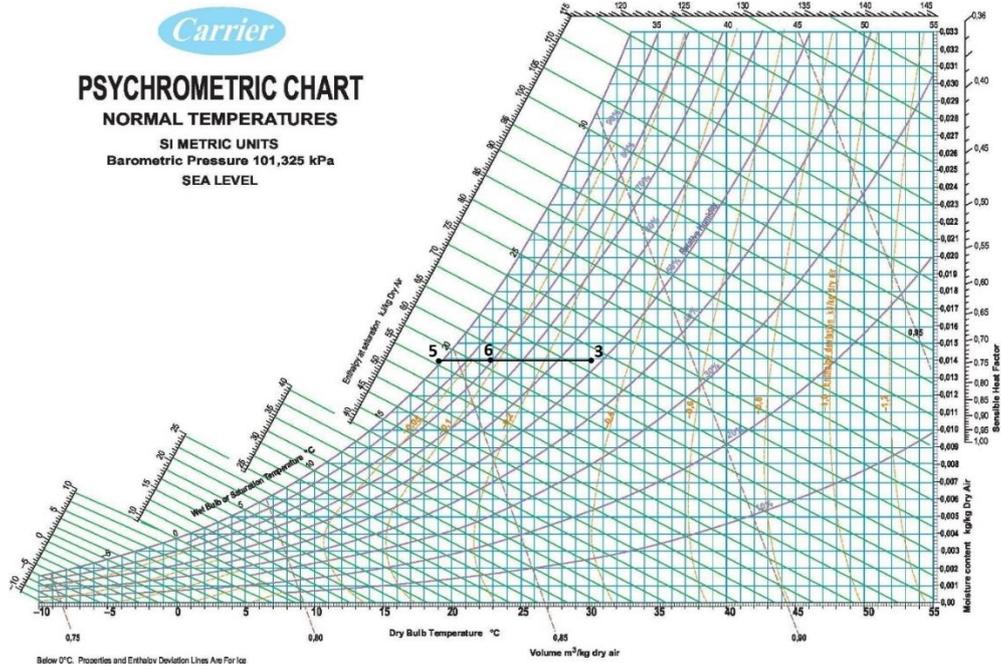


Imagen 4, representación del punto 6, producto de la mezcla de aire en la condición del punto 5 y 3

Diagrama final del proceso completo con cálculo analítico (figura 5)

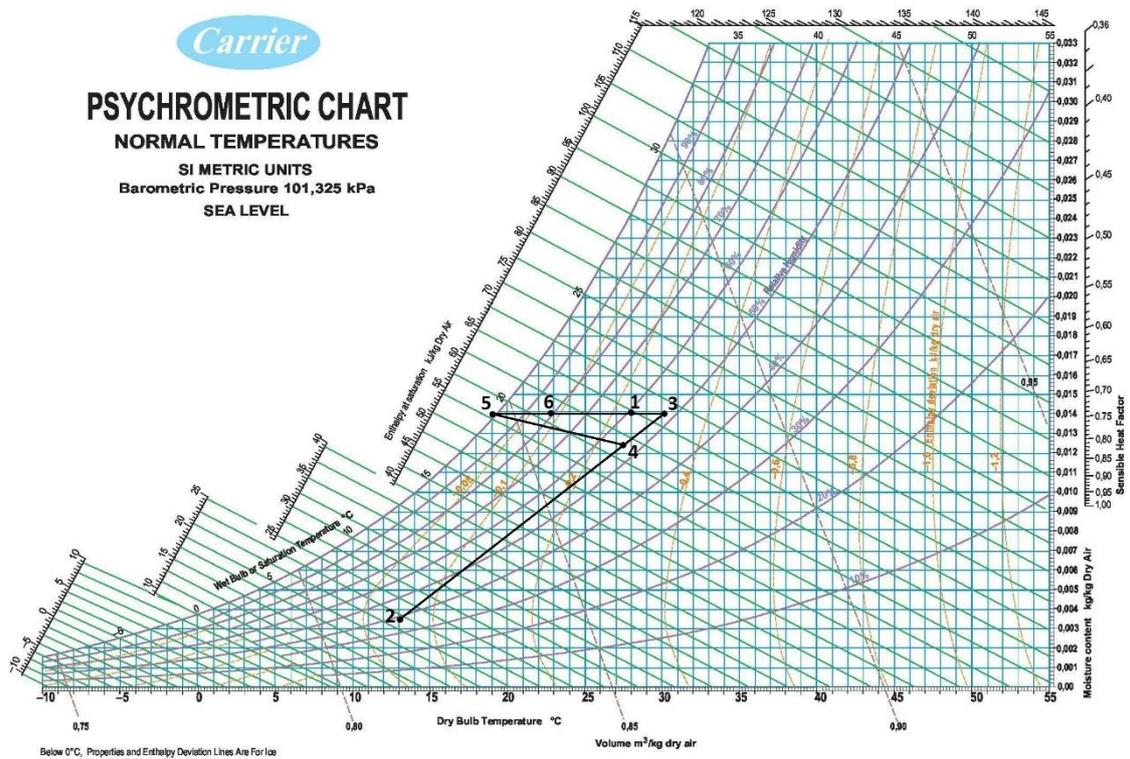


Figura 5, carta psicrométrica con la transformación completa representada



En la tabla 1 se muestra la compilación de resultados obtenidos en cada punto.

	CÁLCULO ANALÍTICO	
	Tbs[°C]	Hum. relativa[%]
Sala de fábrica	28	59
Aire exterior	13,1	38
Aire retorno	30,2	52,8
Mezcla 1	27,51	53
Temp. Agua	17,4	-
Aire saturado	19	100
Mezcla 2	22,83	81

Tabla 1. Resultados del cálculo analítico.

MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CAMPO

Para realizar las mediciones correspondientes se utilizaron dos instrumentos certificados que poseen en el establecimiento.

- Medidor de temperatura y humedad relativa FLUKE 971
- Medidor de temperatura de agua FLUKE 124

	MEDICIÓN	
	Tbs[°C]	Hum. relativa[%]
Sala de fábrica	28	59
Aire exterior	13,1	38
Aire retorno	30,2	52,8
Mezcla 1	28	54,2
Temp. Agua	17,4	-
Aire saturado	20,2	94
Mezcla 2	23,6	75,5

Tabla 2. Medición de campo

MODELO MATEMÁTICO

Se ha compilado el cálculo analítico y las ecuaciones que describen el diagrama psicrométrico para ensayar los procesos de aire húmedo dentro y fuera de la central. De esta manera se obtiene un modelo matemático simulado por software MATLAB, en el

cual se pueden hacer infinidad de cambios y combinaciones de los parámetros de entrada, y ver su impacto dentro y fuera de la central.

El modelo fue realizado utilizando las mismas ecuaciones de aire húmedo extraídas del libro TERMODINAMICA mencionado anteriormente. Pero fueron planteadas de manera que su resolución sea automática mediante el software, respondiendo al cambio de los parámetros de entrada en el tiempo. De esta manera, cada situación de “modela” concatenando las sucesivas ecuaciones que dan resolución a los fenómenos termodinámicos que ocurren dentro de la central como a su vez su impacto en el ambiente donde opera.

De esta manera se obtiene un modelo matemático, el cual refleja el comportamiento del sistema lo más certero posible con la realidad.

1er Mezcla de aire

Para una comprensión rápida de los sucesivos casos, esta primera parte se la detallará de manera de relacionar las ecuaciones analíticas, con la metodología de resolución de la herramienta SIMULINK del software MATLAB utilizada en este proyecto.

Mezcla de aire de retorno, con aire ambiente exterior.

Temperatura: $Tbs_{ext}m_{a\ ext} + Tbs_{ret}m_{a\ ret} = Tbs_{mez1} \times m_{a\ mez1}$ ec.13

Humedad: $\omega_{ext}m_{a\ ext} + \omega_{ret}m_{a\ ret} = \omega_{mez1}m_{a\ mez1}$ ec.14

Caudal másico de aire: $m_{a\ ext} + m_{a\ ret} = m_{a\ mez1}$ ec.15

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v}$$

ec.16

Caudal volumétrico de aire $\dot{V} = \dot{V}_{total} \times apertura$ ec.17

Los parámetros de entrada y salida del modelo de la primera mezcla de aire utilizan los siguientes nombres:

- | | |
|---|------------------------------------|
| - Temperatura bulbo seco exterior [K] | $Tbs_{ext} = T_IN_2_K$ |
| - Temperatura bulbo seco retorno [K] | $Tbs_{ret} = T_IN_1_K$ |
| - Caudal másico de aire exterior [kg/seg] | $m_{a\ ext} = FLUJO_IN_2_KG_S$ |
| - Caudal másico de aire exterior [kg/seg] | $m_{a\ ret} = FLUJO_IN_1_KG_S$ |
| - Humedad absoluta exterior [kg H2O/kg aire seco] | $\omega_{ext} = H_ABS_IN_2$ |
| - Humedad absoluta retorno [kg H2O/kg aire seco] | $\omega_{ret} = H_ABS_IN_1$ |
| - Temperatura bulbo seco mezcla1 [K] | $Tbs_{mez1} = T_OUT_K$ |
| - Caudal másico mezcla1 [kg/seg] | $m_{a\ mez1} = FLUJO_OUT_KG_S$ |
| - Humedad absoluta mezcla1 [kg H2O/kg aire seco] | $\omega_{mez1} = H_ABS_OUT$ |

Antes de comenzar a describir lo que se hace es despejar la variable desconocida de las ecuaciones que necesitamos. Por ejemplo:

De la ecuación 13 despejamos la temperatura del aire de mezcla final:

$$\frac{Tbs_{ext}m_{a\ ext} + Tbs_{ret}m_{a\ ret}}{m_{a\ mez1}} = Tbs_{mez1} \quad \text{ec.18}$$

Y lo que se efectúa en el programa, son las mismas operaciones con las herramientas que ofrece. Al observar el círculo con referencia “ec.18” en el diagrama de bloque se aprecia cómo se toma ambas temperaturas de entrada, se multiplica cada una por el caudal de aire, se las suma, y luego se divide por la suma de los caudales dando como resultado la temperatura de mezcla final.

Lo mismo se realiza con la ecuación 19, cuya variable desconocida es la humedad absoluta de la mezcla, por lo que se escribe esta fórmula y se la representa en el bloque con un círculo de referencia “ec.19”.

$$\frac{\omega_{ext}m_{a\ ext} + \omega_{ret}m_{a\ ret}}{m_{a\ mez1}} = \omega_{mez1} \quad \text{ec.19}$$

Así también se realiza la sumatoria de caudales de aire de la ecuación 15, dando como resultado el caudal total de la mezcla que luego ingresa al lavador. No se lo resalto

en el gráfico, pero se aprecia rápidamente los parámetros FLUJO_IN_1 y FLUJO_IN_2 ingresando a un sumador y como resultado FLUJO_OUT.

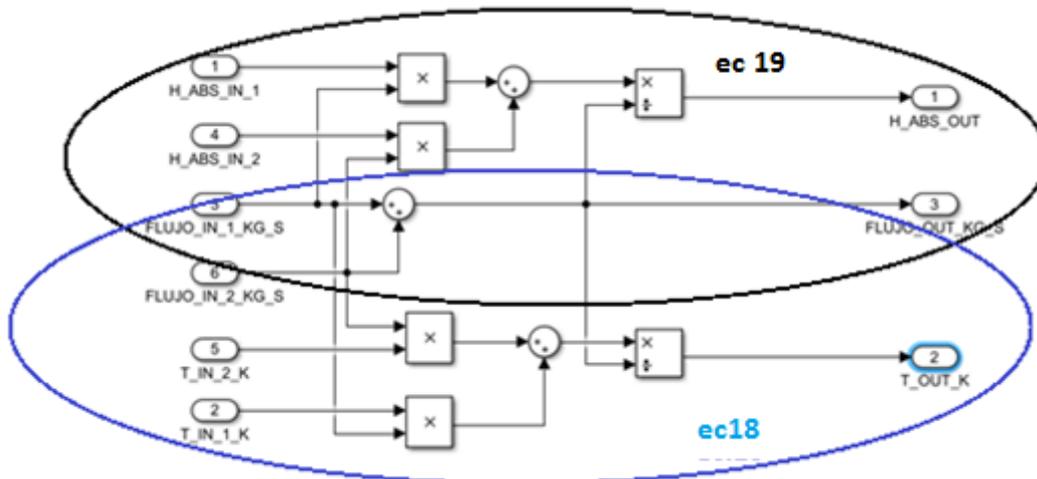


Figura 6, diagrama de bloque de MATLAB del modelo de mezcla 1

De esta manera queda conformada una lógica de resolución de las tres ecuaciones con los parámetros de entrada definidos y los parámetros de salida que es nuestra información de interés. Por lo tanto, se elaboró el modelo matemático de la primera mezcla de aire.

Este diagrama resolutivo, para un uso más práctico, se lo ingresa a un solo bloque, donde solo se aprecia las entradas y las salidas como se aprecia en la imagen de la figura 7.

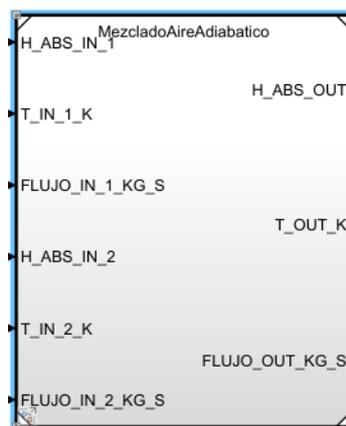


Figura 7. Bloque modelo de la primera mezcla de aire

Enfriamiento Evaporativo

A la mezcla de aire anterior se la hace pasar por una cortina de agua. De esta manera se baja la temperatura saturándose de humedad. El fenómeno ocurre dado

que los rociadores pulverizan el agua, estas gotas absorben la energía del aire, para cambiar de estado, de esta manera, el aire, se satura de humedad y se enfría.

Nomenclatura:

- ϕ = Humedad Relativa
- P_v = Presión de vapor
- T_{H_2O} = Temperatura agua de pileta
- lav = salida del lavador

Los parámetros de entrada y salida del modelo de la primera mezcla de aire utilizan los siguientes nombres:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| - Temperatura agua de rociadores [K] | $T_{H_2O} = \text{TEMP_AGUA_K}$ |
| - Temperatura bulbo seco mezcla1 [K] | $T_{bs_{mez1}} = \text{AIR_TEMP_K}$ |
| - Temperatura bulbo seco salida lavador [K] | $T_{bs_{lav}} = \text{TEMP_OUT_K}$ |
| - Temperatura rocío [K] | $T_{rocío} = \text{TEMP_K}$ |
| - Humedad absoluta lavador [kg H ₂ O/kg aire seco] | $\omega_{lav} = \text{H_ABS_OUT}$ |
| - Caudal másico entrada [kg/seg] | $m_{a_{mez1}} = \text{FLUJO_IN_KG}$ |
| - Caudal másico salida [kg/seg] | $m_{a_{lav}} = \text{FLUJO_OUT_KG}$ |

Temperatura:

Mediante ensayos y mediciones, y para que el modelo matemático se aproxime a la realidad de la central, se comprobó una relación de implicancia en la temperatura a la salida del lavador, que depende aproximadamente en un 75% la temperatura del agua de los rociadores y en un 25% la temperatura del aire que ingresa a la cortina.

$$T_{H_2O} \times 0,75 + T_{bs_{mez1}} \times 0,25 = T_{bs_{lav}} \quad \text{ec.20}$$

La realización de esta ecuación es totalmente empírica y en base a mediciones y ensayos. Pero da un resultado muy satisfactorio para este estudio.

Se opera de la misma manera explicada anteriormente, se efectúa el cálculo automático desarrollando la ecuación como diagrama de bloques dando como resultado para el cálculo de temperatura:

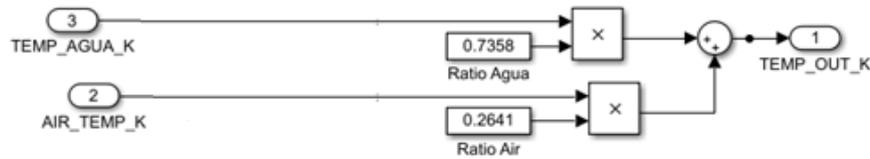


Figura 7, diagrama de bloque temperatura salida del lavador

Humedad:

Para el cálculo de humedad absoluta que se obtiene a la salida del lavador, se utilizó una serie de ecuaciones extraídas del libro Building Physics⁹.

La condición salida es que la humedad relativa del caudal de aire al pasar por el lavador sea del 100%. Aunque en la realidad al contrastar el valor de humedad resultado de este cálculo, con la temperatura a la salida del lavador, la humedad relativa resulta alrededor del 95%, lo cual es perfectamente respaldado y validado por las mediciones.

Consideración: $\phi_{lav} \cong 100\%$

Primero se necesita calcular la presión de vapor del aire saturado. Depende de la temperatura de rocío que se necesita en el aire de importancia en la fábrica.

$$Pv(T_{rocío}) = e^{(65,8094 - \frac{7066,27}{T_{rocío}[K]} - 5,976 \text{ Log}(T_{rocío}[K]))} [Pa]$$

ec.21

$$\omega_{lav} = 0.622 \times \frac{Pv}{101325[Pa] - Pv} [\text{kg agua/kg aire seco}]$$

ec.22

Ambas ecuaciones expresadas en SIMULINK (figura8) quedan representadas de la siguiente manera:

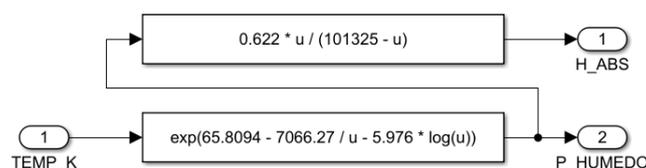


Figura 8, diagrama de bloque de humedad absoluta a la salida del lavador

⁹ HENS, Hugo. Building Physics - Heat, Air and Moisture. 1^{er}ed. Ernst & Sohn. 2012.

Incorporando las ecuaciones dentro de un bloque (figura 9) para simplificar

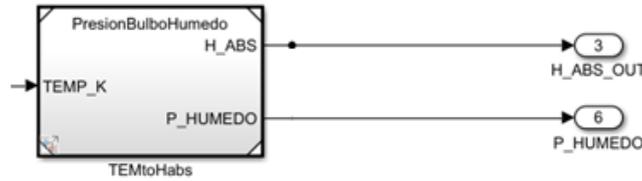


Figura 9, bloque modelo de humedad absoluta a la salida del lavador

Caudal de aire: es constante

Como complemento se observa (figura 10) el cálculo de calor sensible y calor latente, pero solo fue agregado a método de respaldo y seguimiento de cálculos por lo que no se va a entrar en detalle.

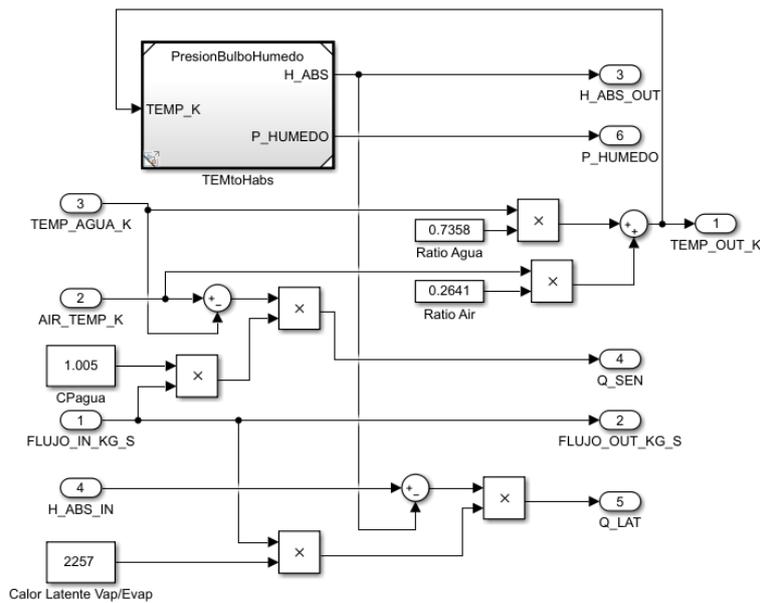


Figura 10, diagrama de bloque completo del proceso termodinámico en el lavador de aire.

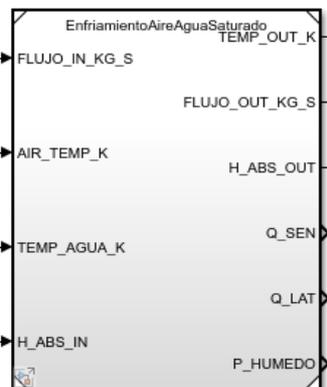


Figura 11, bloque modelo del lavador de aire en la central.

Temperatura del agua de pileta

Aquí se modela la pileta de donde se extrae el agua para luego utilizar en los rociadores del lavador de aire.

Se mezclan dos corrientes de agua, una proveniente del sistema de enfriamiento, y otra con agua de la red. Ambas de distinta temperatura.

- Temperatura agua de pileta [K] $T_{H2O} = \text{TEMP_PILETA}$
- Temperatura agua de red [°C] $T_{\text{agua red}} = \text{TEMP_AGUA_RED_C}$
- Temperatura agua refrigerada [°C] $T_{\text{agua fria}} = \text{TEMP_AGUA_FRIA_C}$
- Temperatura rocío [K] $T_{\text{rocío}} = \text{TEMP_K}$
- Humedad absoluta lavador [kg H2O/kg aire seco] $\omega_{\text{lav}} = \text{H_ABS_OUT}$
- Caudal másico entrada [kg/seg] $m_{\text{mez1}} = \text{FLUJO_IN_KG}$

Este modelo se compone de dos partes, la primera (figura 12) utiliza un bloque con un control de proporción, el cual ingresan dos corrientes de agua a diferente temperatura y se mezclan. Donde luego esa corriente de agua entra a un acumulador (en nuestro caso una pileta).

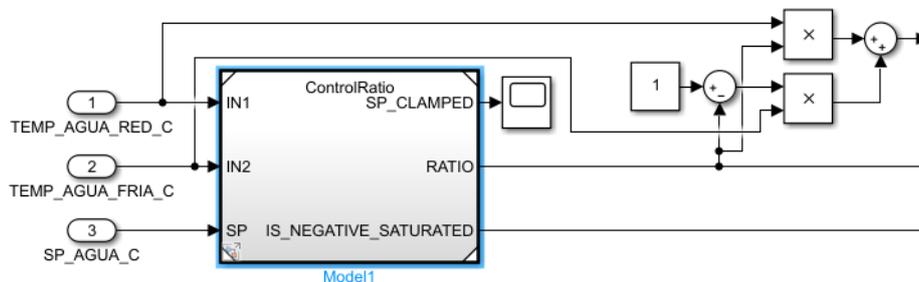


Figura 12, diagrama de bloques de mezcla de agua

Luego demora un tiempo en ir variando la temperatura en forma exponencial, que es lo que describe la segunda parte (figura 13) del modelo. Conformada por un filtro pasa bajo, afectado por una ganancia la cual refleja el tiempo que demora en cambiar la temperatura de la pileta.

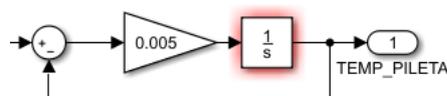


Figura 13, esquema del filtro pasa bajo.

El modelo completo (figura 14) de la mezcla de agua en la pileta quedaría de esta manera.

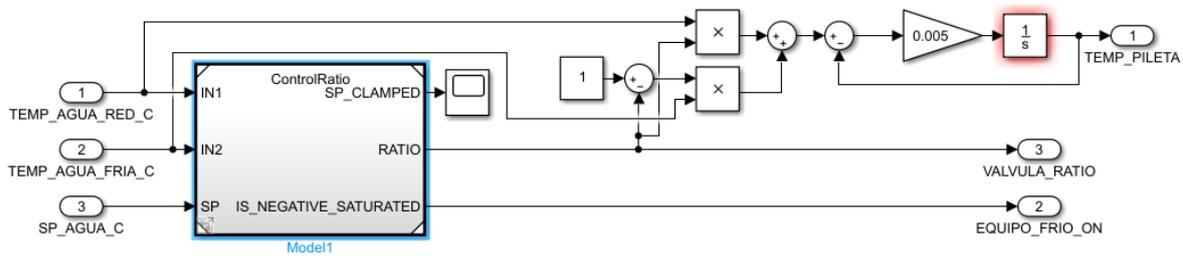


Figura 14. Diagrama de bloques del modelo de temperatura en la pileta

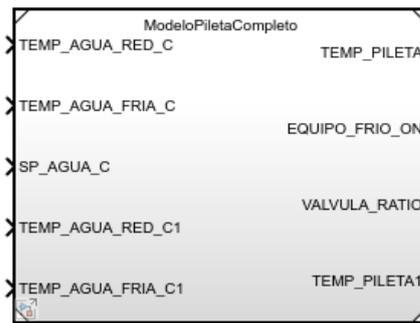


Figura 15. Bloque modelo de pileta en mezcla de agua.

2da Mezcla de Aire

Es exactamente el mismo modelo de la 1er mezcla, la diferencia es que procesa dos caudales de aire, el saturado de humedad proveniente del lavador, con aire de retorno. En este punto lo que se hace es bajar la humedad al nivel requerido en el ambiente donde opera la maquinaria.

Despejo de las ecuaciones 23 y 25 las variables de interés y obtengo las ecuaciones 24 y 26.

Temperatura: $Tbs_{lav}m_a \dot{m}_{a\ lav} + Tbs_{ret}m_a \dot{m}_{a\ ret} = Tbs_{mez2} \times m_a \dot{m}_{mez2}$ ec.23

$$\frac{Tbs_{lav}m_a \dot{m}_{a\ lav} + Tbs_{ret}m_a \dot{m}_{a\ ret}}{m_a \dot{m}_{mez2}} = Tbs_{mez2} \quad \text{ec.24}$$

Humedad: $\omega_{lav}m_a \dot{m}_{a\ lav} + \omega_{ret}m_a \dot{m}_{a\ ret} = \omega_{mez2}m_a \dot{m}_{mez2}$ ec.25

$$\frac{\omega_{lav}m_a \dot{m}_{a\ lav} + \omega_{ret}m_a \dot{m}_{a\ ret}}{m_a \dot{m}_{mez2}} = \omega_{mez2} \quad \text{ec.26}$$

Caudal másico de aire: $m_{a\,lav} + m_{a\,ret} = m_{a\,mez2}$ ec.27

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v} \quad \text{ec.28}$$

Caudal volumétrico de aire $\dot{V} = \dot{V}_{total} \times apertura$ ec.29

Nomenclatura: -mez2= Segunda etapa de mezcla de aire

Los parámetros de entrada y salida del modelo de la segunda mezcla de aire utilizan los siguientes nombres:

- Temperatura bulbo seco del lavador [K] $Tbs_{lav} = T_IN_2_K$
- Temperatura bulbo seco retorno [K] $Tbs_{ret} = T_IN_1_K$
- Caudal másico de aire del lavador [kg/seg] $m_{a\,lav} = FLUJO_IN_2_KG_S$
- Caudal másico de aire retorno [kg/seg] $m_{a\,ret} = FLUJO_IN_1_KG_S$
- Humedad absoluta lavador [kg H2O/kg aire seco] $\omega_{lav} = H_ABS_IN_2$
- Humedad absoluta retorno [kg H2O/kg aire seco] $\omega_{ret} = H_ABS_IN_1$
- Temperatura bulbo seco mezcla2 [K] $Tbs_{mez2} = T_OUT_K$
- Caudal másico mezcla2[kg/seg] $m_{a\,mez2} = FLUJO_OUT_KG_S$
- Humedad absoluta mezcla2 [kg H2O/kg aire seco] $\omega_{mez2} = H_ABS_OUT$

La resolución de las ecuaciones y su planteo en el SIMULINK de MATLAB van a ser exactamente iguales al de la primera mezcla. Por lo tanto:

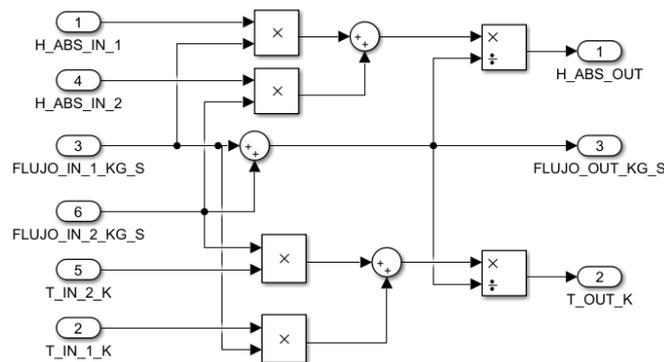


Figura 16, diagrama de bloque de la segunda mezcla de aire

- Q_{sen} = Calor sensible aportado/cedido [kJ/seg] $Q_SEN_CARGA_IN_KJ_S$
- Hfg = Calor latente de vaporización [kJ/kg] HFG
- Vol = Volumen del ambiente [m^3] VOL_M3
- Cp = Calor específico a presión constante [kJ/kg K] CP_AIRE
- Cv = Calor específico a volumen constante [kJ/kg K] CV_AIRE

Temperatura ambiente

Para la temperatura en el ambiente interior lo que se utiliza es una ecuación que describe la variación de la misma. Donde la diferencia de temperatura entre los parámetros de entrada y de salida, como el calor sensible aportado por la maquinaria y/o también por el sol hacia el interior del recinto, afectan directamente esta relación.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{m_a (Cp (T_{in} - T_{out}) + Q_{sen})}{Cv Vol \rho_{aire}}$$

ec.30

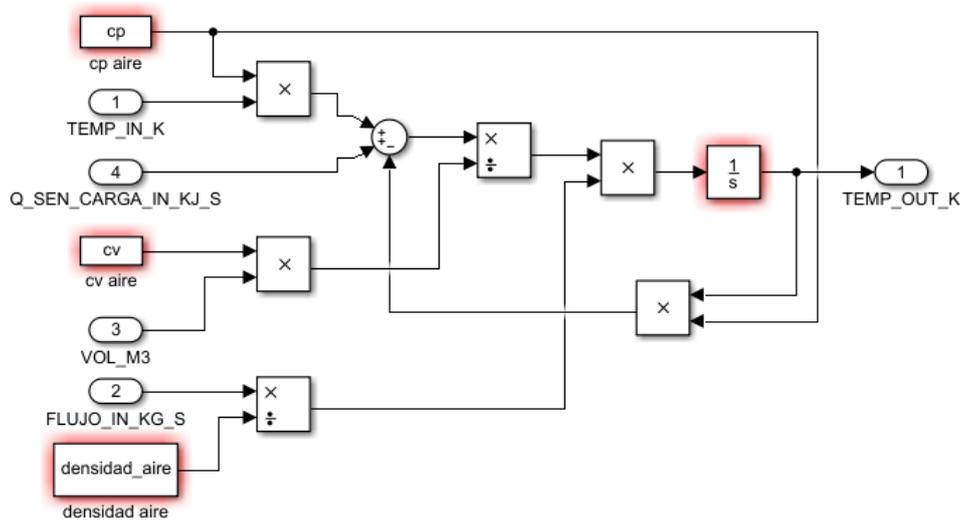


Figura 18, diagrama de bloque del cambio de temperatura en el ambiente interior

Humedad ambiente

La variación de la humedad en el ambiente, provocada por la central de climatización en interacción con los factores, que agregan o quitan humedad de la sala, se describen con la ecuación 31. Donde se puede observar que la diferencia de humedad,

en este caso absoluta, entre el caudal de aire de entrada y la humedad que posee el recinto, junto con el calor latente cedido o aportado, afectan directamente la relación.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\dot{m}_a}{Vol \rho_{aire}} \left((\omega_{in} - \omega_{out}) + \frac{Q_{lat}}{Hfg} \right) \quad \text{ec.31}$$

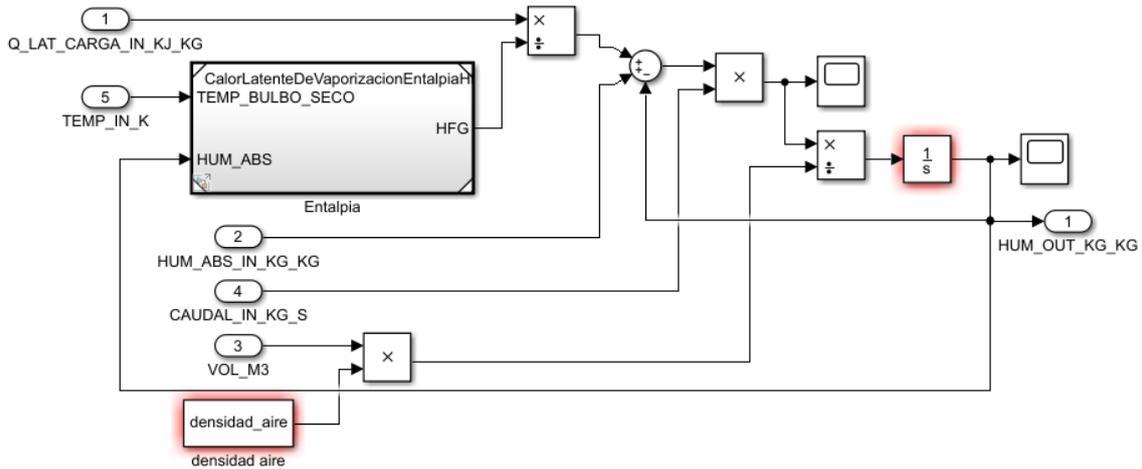


Figura 19, diagrama de bloque del cambio de humedad en el ambiente interior

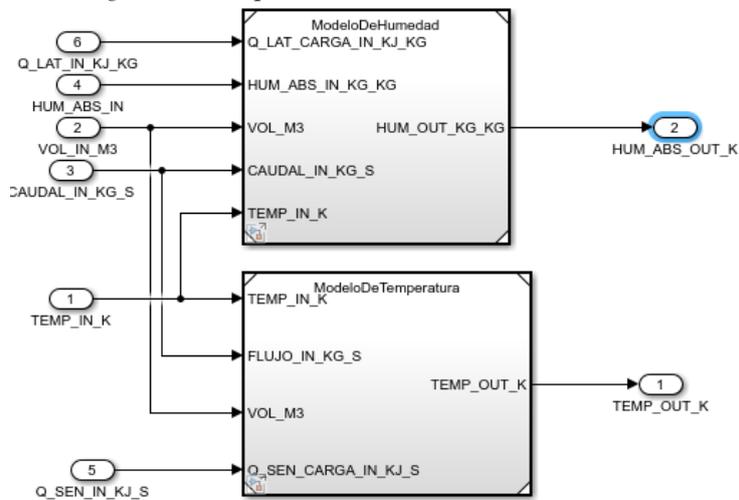


Figura 20, bloque modelo del cambio de humedad y temperatura en el ambiente interior

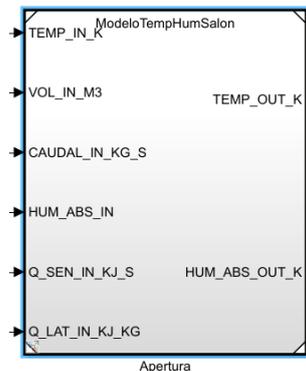


Figura 21, simplificación del bloque modelo del ambiente interior

Para comprobar el funcionamiento se realiza una simulación con las mismas condiciones de entrada en la cual se utilizó para el cálculo analítico, y se contrastará posteriormente con las mediciones.

Condición a cumplir e inicial:

- Condiciones a cumplir en la planta $Tbs_1: 28^\circ\text{C}$ y $\phi_1: 59\%$
- Aire exterior $Tbs_{ext}: 13,1^\circ\text{C}$ $\phi_2: 38\%$ $\omega_2: 0.0032 \text{ kg/kg}$
- Aire retorno $Tbs_{ret}: 30,2^\circ\text{C}$ $\phi_3: 52,8\%$ $\omega_3: 0.0139 \text{ kg/kg}$
- Temperatura del agua de pileta $17,4 [^\circ\text{C}]$
- Calor sensible aportado por la maquinaria 4 [kJ/seg]

El ensayo se realizó para 6000 ciclos, con los parámetros de ingreso constantes. Como se aprecia alrededor de los 2000 ciclos de simulación, las oscilaciones propias del control, una vez que los controladores evalúan y corrigen las distintas situaciones, el modelo comienza a estabilizarse.

Como resultado de la simulación se muestran las siguientes graficas:

-Temperatura Exterior:

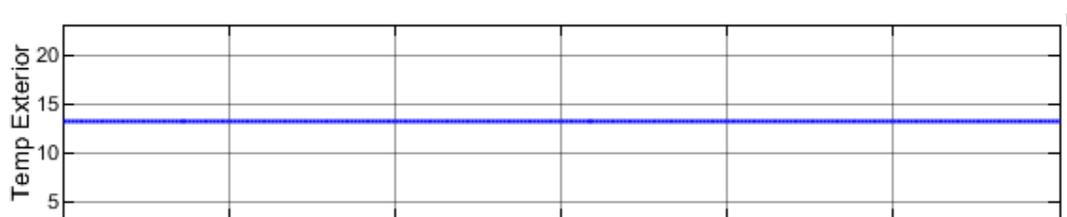


Figura 22, grafica temperatura exterior durante la simulación

-Temperatura de Retorno:

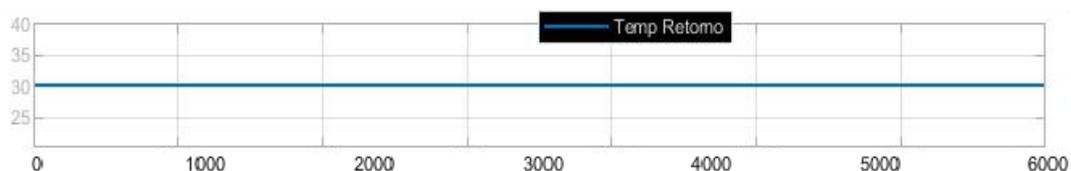


Figura 23, grafica temperatura de retorno durante la simulación



-Temperatura Mezcla 1:

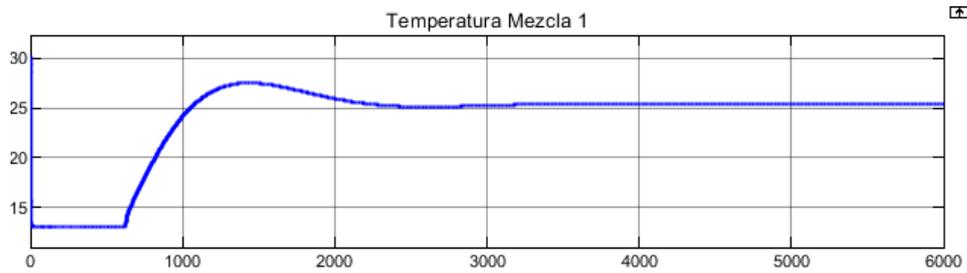


Figura 24, grafica temperatura resultado de la primer mezcla durante la simulacion

-Humedad Mezcla 1:

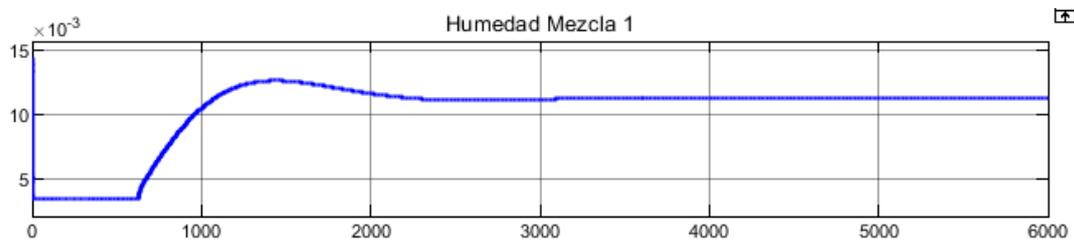


Figura 25, grafica humedad absoluta resultado de la primer mezcla de aire

-Temperatura salida del Lavador:

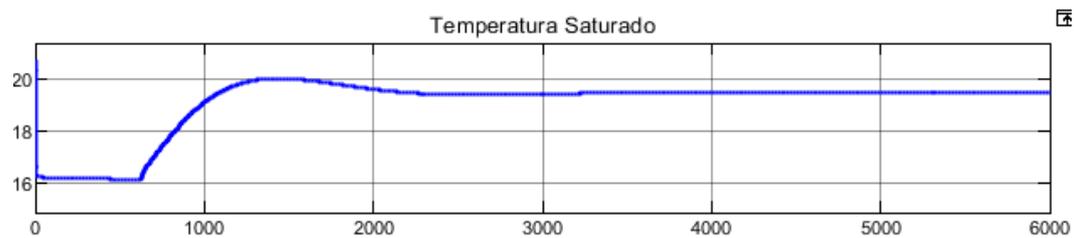


Figura 26, grafica temperatura de saturacion al pasar por la cortina de agua

-Humedad salida del Lavador:

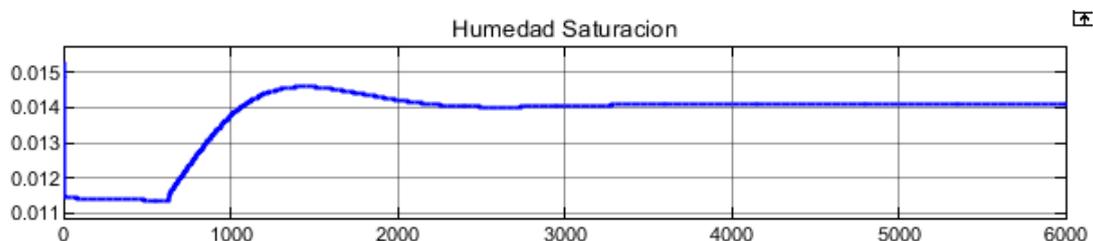


Figura 27, grafica humedad absoluta al pasar por la cortina de agua



-Temperatura Mezcla 2:

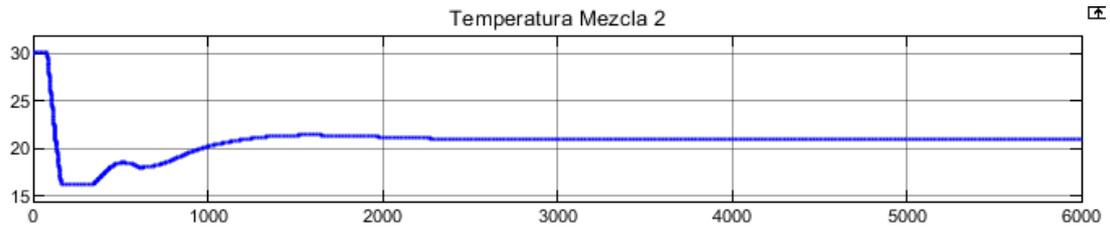


Figura 28, temperatura de la segunda mezcla de aire.

-Humedad Mezcla 2:

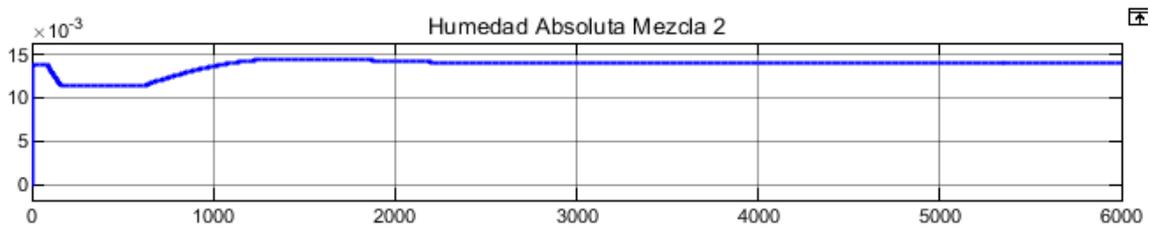


Figura 29, humedad resultado de la segunda mezcla de aire.

-Temperatura área Planta:

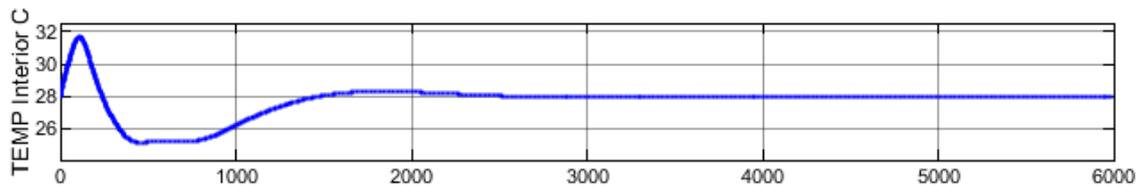


Figura 30, temperatura del interior de la planta

-Humedad área Planta:

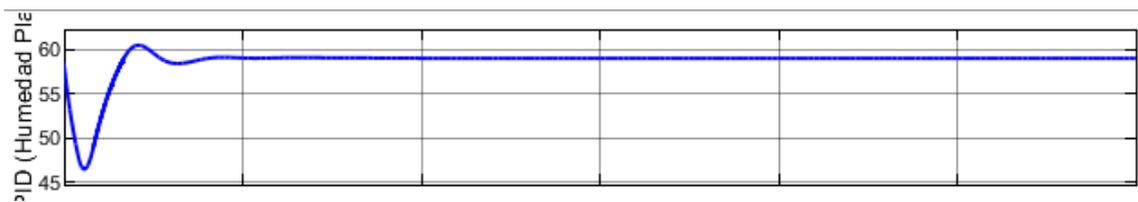


Figura 31, humedad relativa del interior de la planta

Relevando estos valores de los parámetros de interés, más otros que no se graficó, pero se pudo extraer del software, se completó la siguiente tabla de la misma manera que se hizo con los dos métodos anteriores, para luego realizar la validación del modelo.

	MODELO	
	Tbs[°C]	Hrel[%]
Sala de fábrica	28	59
Aire exterior	13,1	38
Aire retorno	30,2	52,8
Mezcla 1	25,3	55
Temp. Agua	17,4	-
Aire saturado	19,4	96
Mezcla 2	24	76

Tabla 3. Resultados de la simulación del modelo matemático de la central de climatización

RESULTADOS COMPARATIVOS

Se muestran en simultaneo los resultados obtenidos por calculo analítico, medición en campo y el modelo matemático de la central.

	CÁLCULOS		MEDICIÓN		MODELO	
	Tbs[°C]	Hrel[%]	Tbs[°C]	Hrel[%]	Tbs[°C]	Hrel[%]
Sala de fábrica	28	59	28	59	28	59
Aire exterior	13,1	38	13,1	38	13,1	38
Aire retorno	30,2	52,8	30,2	52,8	30,2	52,8
Mezcla 1	27,51	53	28	54,2	25,3	55
Temp. Agua	17,4	-	17,4	-	17,4	-
Aire saturado	19	100	20,2	94	19,4	96
Mezcla 2	22,83	81	23,6	75,5	22	76

Tabla 4. Tabla comparativa de los resultados de los 3 métodos utilizados



Cabe aclarar que solo se representó solo un caso. El modelo matemático además fue evaluado, respaldado y corregido hasta el momento por 25 mediciones, en las cuales se simuló cada una permitiendo hacer ajustes que mejoran la precisión del modelo bajo distintas circunstancias.

A posterior se pretende dentro de la central y alrededores instalar equipos data logging para relevar mediciones durante varios días, y así ajustar aún más el modelo al realizar las simulaciones.



ANEXO III DISEÑO DE CONTROLADORES

DISEÑO DE CONTROLADORES PID

DISEÑO DE CONTROLADORES PID

En este capítulo se describe el método utilizado para el diseño de los controladores PID de este proyecto. Los mismos fueron implementados en el modelo matemático de la central de climatización, simulando el desempeño real para lo que fueron diseñados.

Ecuación característica del controlador PID $y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$

K_p = Constante de proporcionalidad.

K_i = Constante de integración.

K_d = Constante de derivación.

Cada sistema (por ejemplo, la mezcla de dos caudales distintos de aire, el paso del aire a través de una cortina de agua, o el cambio de temperatura y humedad en un ambiente) tiene distintas respuestas naturales a los cambios que pueden ser sometidos.

Pero no todos los sistemas responden de la misma manera. Es por ello que cada controlador PID aplicado, para un caso en particular, debe “ajustarse” para tal fin.

Para ello hay distintos métodos utilizados. Uno de ellos, es el método de Ziegler-Nichols, que fue el utilizado para el cálculo de las constantes de los PIDs de este proyecto.

ZIEGLER-NICHOLS¹¹

Método de ajuste de lazo abierto o método de reacción del proceso

Para utilizar el método de ajuste de lazo abierto de ZIEGLER-NICHOLS, debe realizar los siguientes pasos:

- 1) Haga un ensayo del modelo en lazo abierto aplicando un escalón (step).
- 2) A partir de la curva de reacción del proceso, determine el retraso τ_{dead} , la constante de tiempo τ , y el valor final que alcanza la respuesta en estado estacionario, M_o , para una entrada en escalón (step) de X_o .

¹¹ WEB OPTICONTROLS. (18/5/2011). Ziegler-Nichols Open-Loop Tuning Rules <https://blog.opticontrols.com/archives/477> Consultado (14/9/2019)

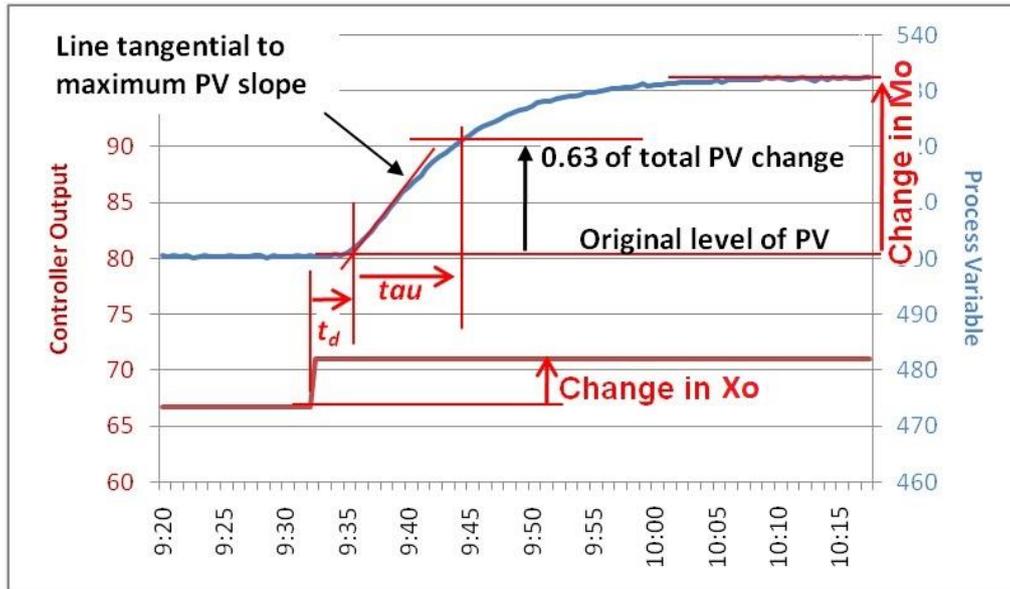


Figura 1. Diagrama ejemplo de parámetros a considerar.

$$K_0 = \frac{X_0}{M_0} \frac{\tau}{\tau_{dead}} \quad \text{ec.1}$$

3) Determine las constantes de ajuste del lazo. Inserte los valores de velocidad de reacción y tiempo de retraso a las ecuaciones de ajuste de laso abierto de ZIEGLER-NICHOLS para el controlador apropiado (P, PI, PID) para calcular las constantes del controlador. Use la tabla a continuación:

	KP	KI	KD
P	K_0		
PI	$0.9 K_0$	$3.3 \tau_{dead}$	
PID	$1.2 K_0$	$2 \tau_{dead}$	$0.5 \tau_{dead}$

Tabla 1. Parámetros de ajuste

Se mostrará el diseño de uno de los cuatro controladores PID utilizados en el proyecto utilizando como guía las reglas de ZIEGLER-NICHOLS.

El ejemplo se realizará sobre el PID Principal de Humedad, el encargado de controlar y establecer los niveles de humedad requeridos en el ambiente interior del área.

RESOLUCIÓN:

El sistema que se quiere controlar está compuesto por, la sala de mezcla de aire saturado y aire de retorno, un controlador RATIO que opera las persianas para la mezcla de aire, y el modelo matemático del ambiente de la fábrica (donde se necesita controlar la humedad).

Para ello se recurre al modelo matemático del sistema realizado en MATLAB SIMULINK.

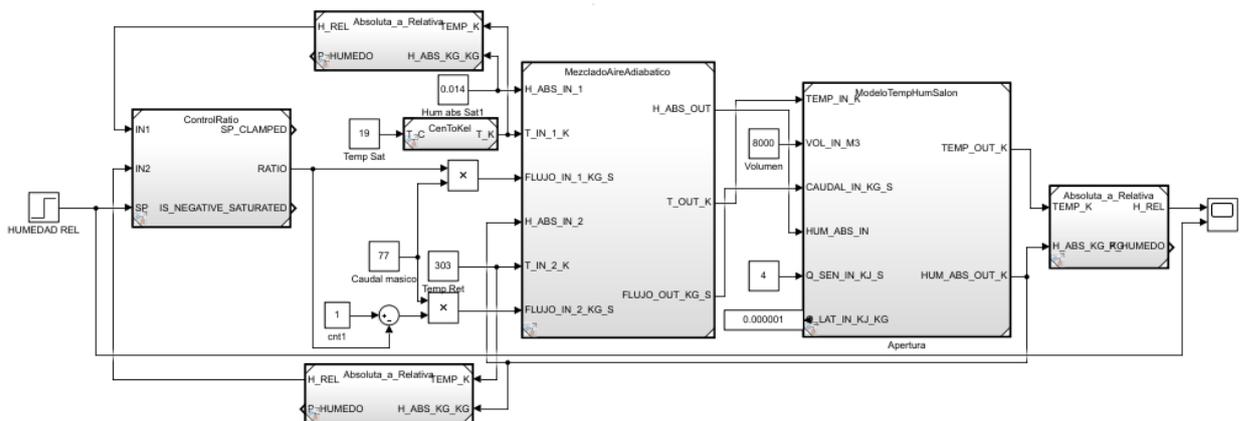


Figura 2. Modelo matemático del control de humedad en planta

1) Realizar un ensayo del sistema frente a una entrada en escalón, y evaluar la respuesta.

-Tiempo de ensayo: 10000 segundos

-Entrada escalón:

- Set Point Humedad interior inicial = 50%

- Set Point Humedad interior final = 60% a los 5000 seg.

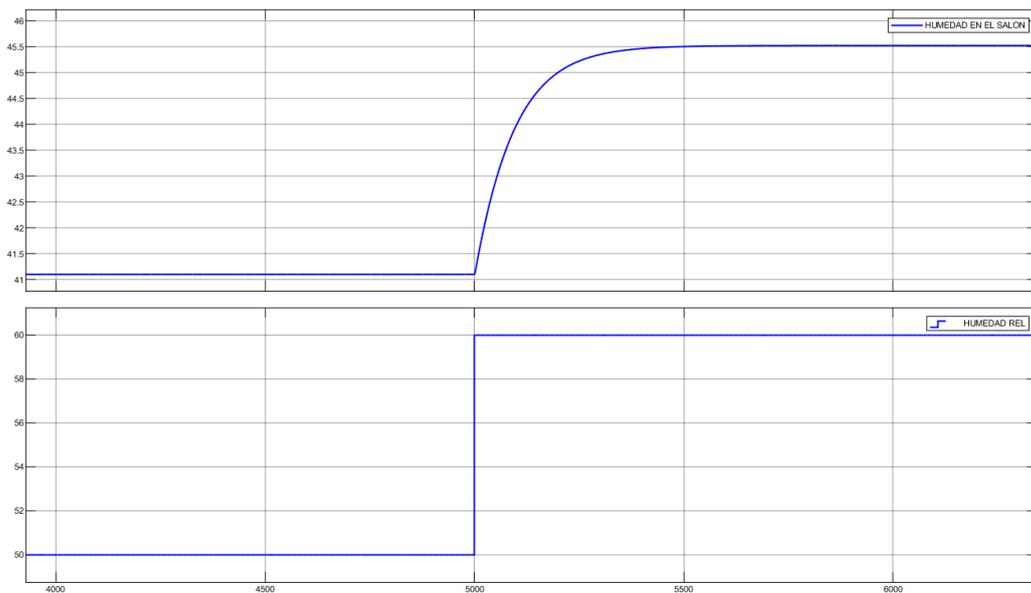


Figura 3. Ensayo del modelo matemático de humedad a una entrada Escalón.

2) Análisis de la curva de reacción del proceso:

Observando la gráfica resultante del modelo matemático de humedad en el interior del recinto, se encuentra que la humedad establecida en el set point, no es en ningún momento coincidente con la real del ambiente. Es por ello la necesidad de utilizar algún tipo de control que permita lograr el objetivo.

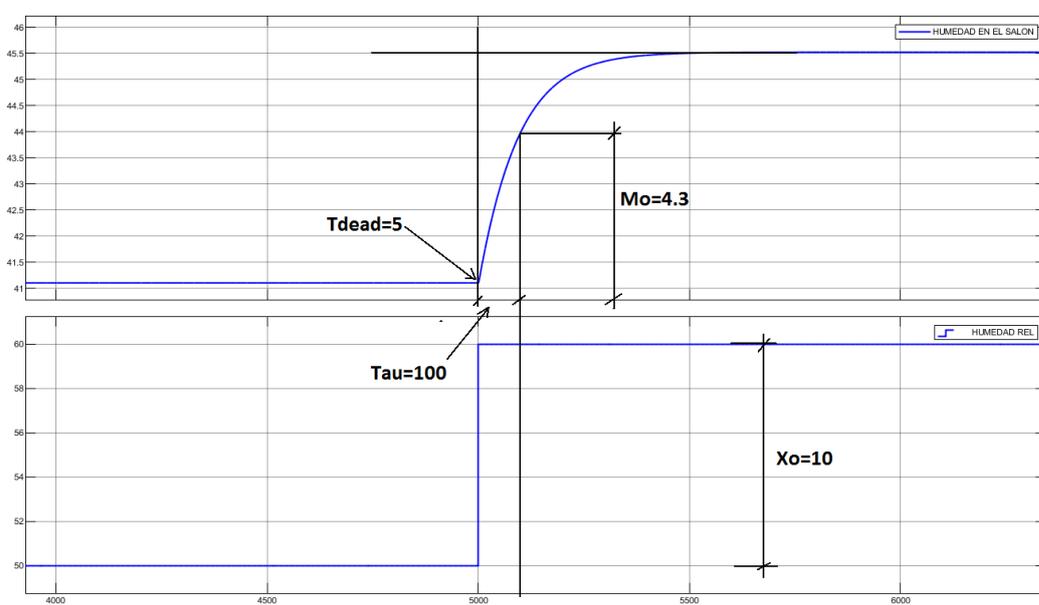


Figura 4. Análisis del ensayo del modelo matemático de humedad a una entrada Escalón.

$$K_0 = \frac{X_0}{M_0} \times \frac{\tau}{\tau_{dead}} = \frac{10}{4.3} \times \frac{100}{5} = 46.51 \quad \text{ec. 2}$$

3) Constantes de ajustes del lazo

Debido al largo tiempo de respuesta del modelo completo de la central y el interior de la fábrica, no se utilizó la componente derivativa del controlador, por producir oscilación muy sostenida en el tiempo lo que dificulta la estabilización rápida del sistema. Por lo tanto, se ajustará como controlador Proporcional Integral PI

	KP	KI	KD
P	K_0		
PI	$0.9 K_0$	$3.3 \tau_{dead}$	
PID	$1.2 K_0$	$2 \tau_{dead}$	$0.5 \tau_{dead}$

Tabla 2.

$$KP = 0.9 \times K_0 = 0.9 \times 46.51 = 41.86 \quad \text{ec. 3}$$

$$KI = 3.3 \times \tau_{dead} = 3.3 \times 5 = 16.5 \quad \text{ec. 4}$$

Lo siguiente es agregar al modelo del sistema, el controlador PI. Luego realizar el mismo ensayo, y analizar la respuesta. De esta manera, el método de ZIEGLER-NICHOLS, muestra el punto de partida para que luego el diseñador, realice su ajuste hasta lograr la respuesta deseada.

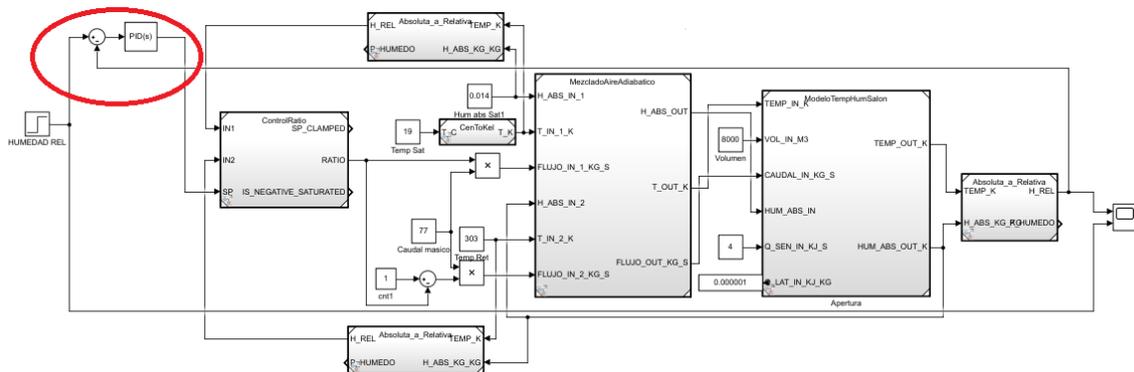


Figura 5. Modelo matemático del control de humedad en planta con la adición del PID

Realizado nuevamente el ensayo del modelo ante una entrada escalón de aumento en el 10% de la humedad relativa, pero ahora con el controlador PI funcionando:

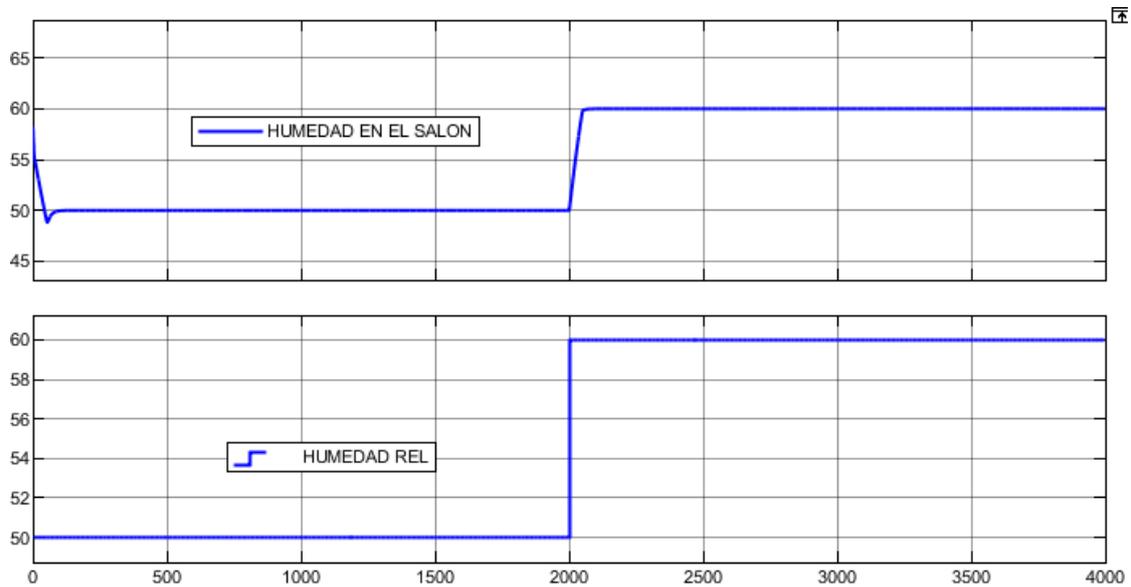


Figura 6. Gráfica de la simulación con controlador PI.

Como se aprecia la humedad interior del salón se estableció desde el comienzo hasta el final en los valores de set point establecidos. Y que la respuesta al cambio de humedad fue corregida rápidamente sin oscilaciones.

Para una mejor comprensión se hizo la misma simulación, pero en un lapso de tiempo más acotado, de esta manera se aprecia la rampa que dura 50 segundos en establecer el nuevo valor de humedad.

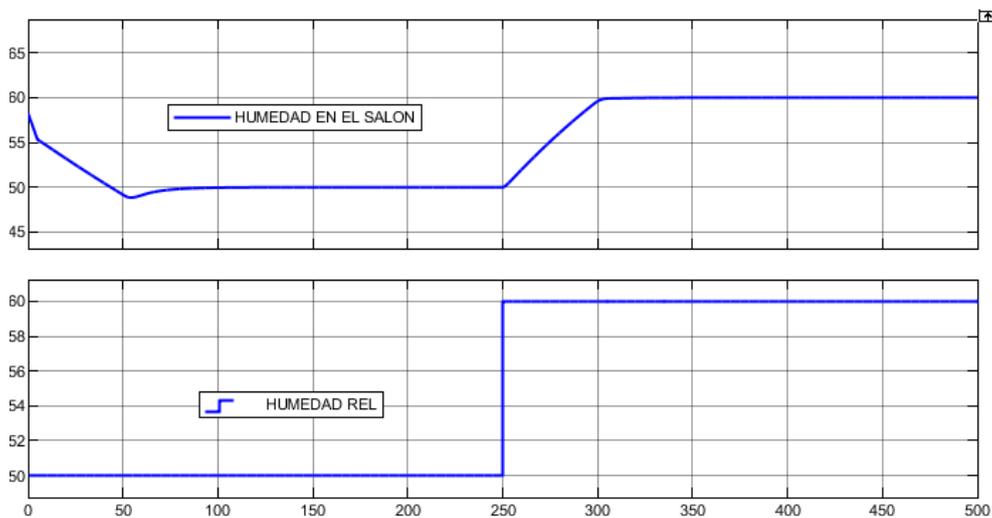


Figura 7. Gráfica de la simulación con controlador PI.



ANEXO IV SIMULACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

SIMULACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

Las descripciones de las simulaciones serán detalladas paso a paso respetando la jerarquía (Figura 1 y 2) de cada controlador, desde que los sensores toman la información hasta que los actuadores ejecuten las ordenes de cada unidad de control.

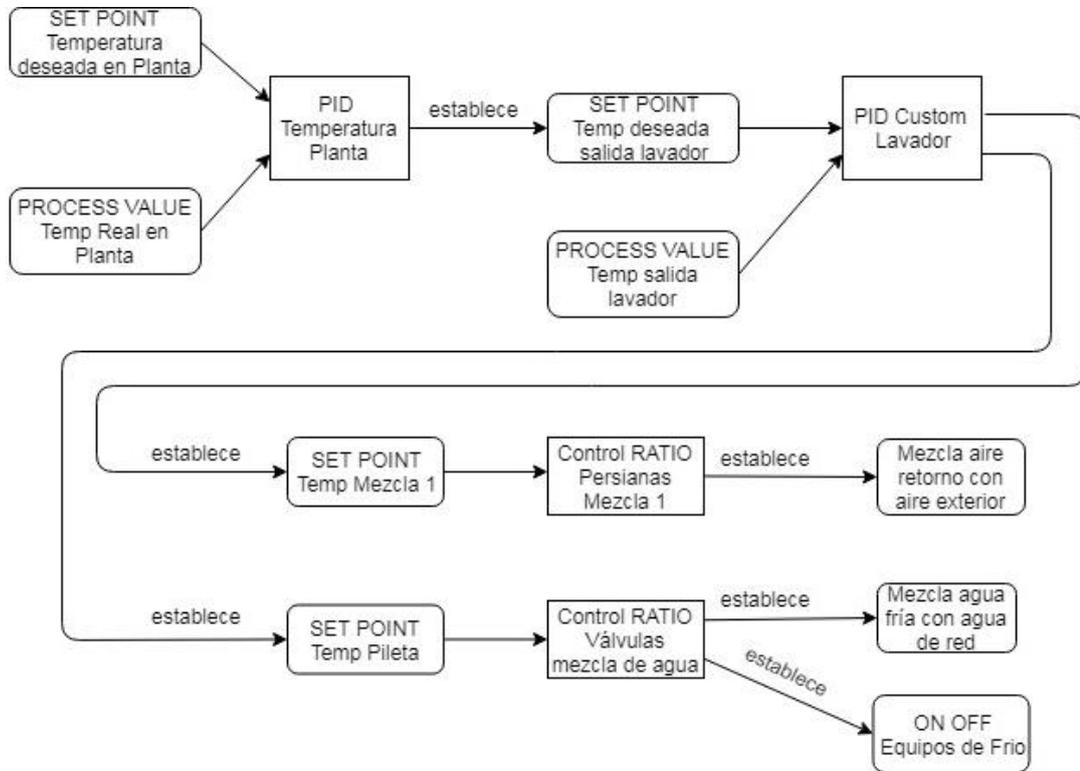


Figura 1. Diagrama ilustrativo de tareas realizadas por cada controlador responsables del control de temperatura.

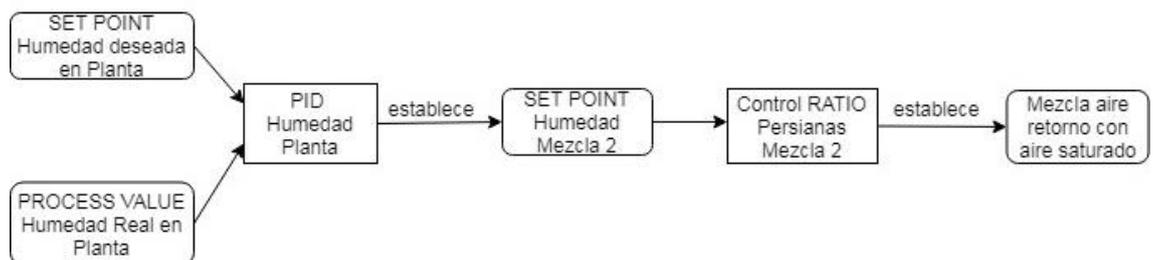


Figura 2. Diagrama ilustrativo de tareas realizadas por cada controlador responsables del control de humedad.

SIMULACIÓN 1

Condiciones de entrada:

- Temperatura exterior: 30°C con variación $\pm 5^\circ\text{C}$
- Humedad Relativa Exterior: 50% con variación $\pm 20\%$
- Set Point Temperatura interior: 28°C
- Set Point humedad Relativa Interior: 59%
- Calor sensible: 6 kJ/kg

Se simula entonces bajo condiciones de temperatura cambiantes (grafico 1) como se observa en el grafico siguiente.

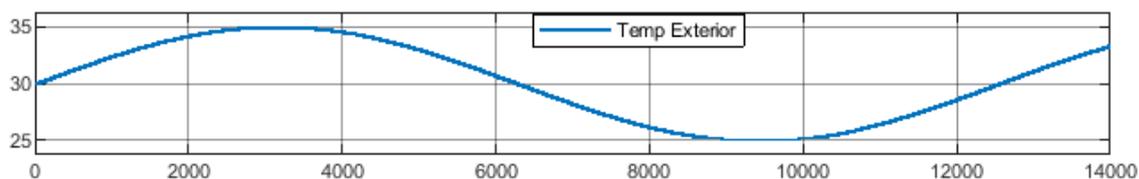


Grafico 1, Temperatura de bulbo seco exterior.

A su vez, también se consideró variaciones en la humedad exterior (grafico 2).

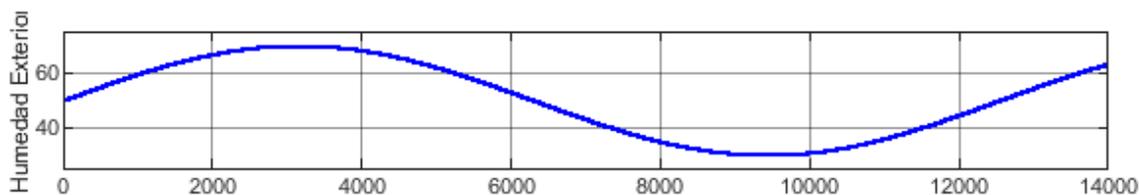


Grafico 2, Humedad relativa del aire exterior.

Por otra parte, se mantiene constantes el estado de aire de retorno (grafico 3) con el fin de simplificar la descripción de las simulaciones.

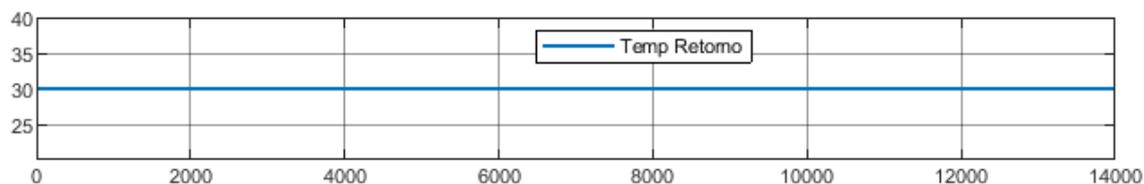


Grafico 3, Temperatura de bulbo seco del aire de retorno.

El control de temperatura comienza con el PID Principal de Temperatura que, releva la medición del termómetro en la planta (grafico 4), compara ese parámetro con el Set Point establecido y emite una acción para corregirla (grafico 5).

En el siguiente cuadro (grafico 4) vemos la lectura en el tiempo del termómetro de planta. Al principio durante los primeros instantes se observa un aumento de temperatura y una disminución rápida, consecuencia de que, en el inicio, el estado de las persianas de aire como la temperatura del agua en los rociadores no fueron procesados por las unidades de control. Por otra parte, desde que se da la orden, las centrales de refrigeración que proveen agua helada, demoran 1500 segundos (25 minutos) en entrar en régimen.

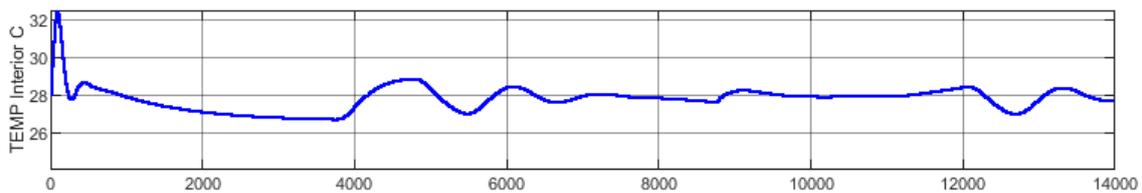


Grafico 4, Temperatura de bulbo seco en el interior de la planta.

En respuesta, el PID principal de Temperatura, al leer las condiciones actuales en planta y compararla con la que debería cumplir, establece el Set Point al PID Lavador (grafico 5) que está asociado en cascada. Este parámetro es el valor que necesita tener de temperatura de aire saturado de humedad a la salida de los rociadores. Y de esta manera, corregir y mantener la condición en el área.

En el periodo de tiempo (2000 a 4000 seg) la temperatura en el interior comienza a descender por debajo de los 28°C necesarios. Es por esto que el PID Principal ordena un incremento de temperatura de saturación al PID responsable.

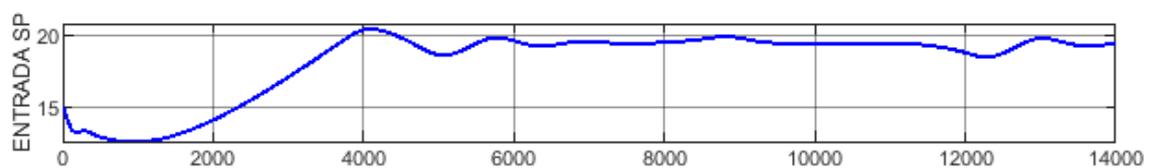


Grafico 5, Salida PID Principal Temperatura, entrada PID Lavador.

El grafico 5 muestra la salida del PID Principal de temperatura, parámetro que es considerado como Set Point del PID LAVADOR responsable de la saturación.

Analizando el periodo de tiempo mencionado, (2000 a 4000 seg) el set point va en ascenso, y al calcular el error con la información de la temperatura real del aire saturado (grafica 6), también en descenso en ese periodo, el PID ordena elevar la

temperatura (grafica 7). Para esto tiene dos caminos, modificar la mezcla de aire exterior con retorno, o modificar la temperatura de la cortina de agua.

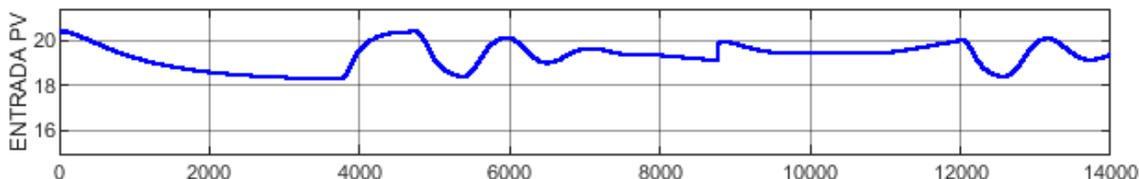


Gráfico 6, Lectura de la temperatura de saturación a la salida del lavador.

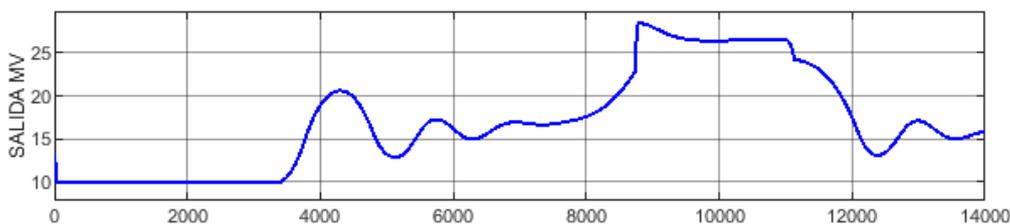


Gráfico 7, Respuesta del PID Lavador - Set Point RATIO MEZCLA 1 y MEZCLA AGUA.

Desde aquí comienza la etapa en donde se ejecutan las acciones (movimiento de los actuadores con el fin de modificar caudales, flujos, temperaturas). El PID Lavador, opera junto con dos controladores RATIO (de proporción).

El primer controlador RATIO Mezcla 1, es el que calcula el grado de apertura o cierre de la persiana de aire exterior (por consecuencia también la persiana de aire de retorno). El controlador por lo tanto evalúa las condiciones del aire exterior, aire de retorno, y set point de temperatura impuesto por el PID Lavador. La respuesta de este control es la proporción de apertura de la persiana de aire exterior (grafico 8).

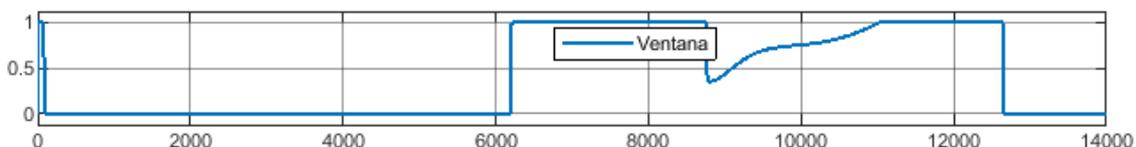


Gráfico 8, Grado de apertura de la persiana de aire exterior. 0 cerrada, 1 abierta totalmente.

Interpretando el gráfico 8, se observa que, en el lapso de tiempo analizado en el ejemplo (2000 a 4000 seg), durante el momento en que la temperatura exterior superaba a la del aire de retorno, la persiana está cerrada totalmente. Luego se aprecia también cuando la temperatura exterior comienza a descender, si comienzan a modular entre utilizar parte de aire de retorno y exterior (desde los 6000 hasta 12000 segundos).

De esta manera la temperatura de la mezcla resultante se aprecia en el grafico 9. Como en el exterior la temperatura es muy alta, al principio hasta la mitad de la simulación solo se utiliza el caudal de retorno para luego ser humidificado. Al correr la simulación, la temperatura exterior baja, y como resultado comienza a utilizar este recurso para enfriar el aire.

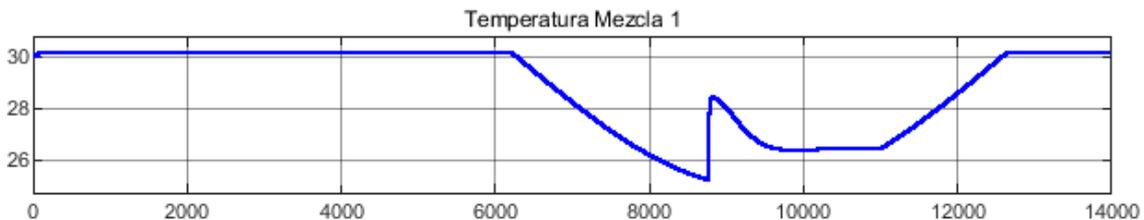


Gráfico 9, Temperatura de la mezcla de aire exterior con aire de retorno antes del lavador.

Aquí entonces se plantea el cambio de parámetros en el PID Lavador, y comienza a utilizar la segunda alternativa para modular la temperatura de saturación, en los casos en los cuales con la mezcla de aire no se pueda lograr el objetivo.

Por lo tanto, recurre a controlar la temperatura del agua de los rociadores. Para ello la pileta de agua, se abastece de dos caudales a distinta temperatura. De estas dos fuentes, proviene una de la red de agua de abastecimiento de la planta y la restante del circuito de agua refrigerada de las centrales.

En el grafico 10, el cual describe la apertura o cierre de la válvula que ingresa agua de la red a la pileta de abastecimiento de los rociadores, se puede apreciar que en el periodo de tiempo 2000 a 4000 segundos está utilizando solo la fuente de agua refrigerada. Pero si se aprecia nuevamente la gráfica 7 en el mismo periodo, el PID reclama una temperatura aún más baja del agua, como consecuencia el controlador RATIO mezcla de agua se satura negativamente, es decir requiere el 100% del caudal de agua refrigerada (alarma que declara la necesidad de enfriar aún más el agua).

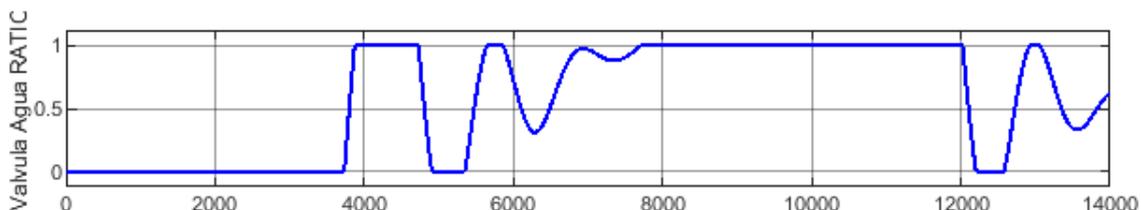


Gráfico 10, Ratio Mezcla fuentes de agua.

Esto se puede apreciar en el gráfico 11, donde muestra en que momentos se necesita utilizar la refrigeración auxiliar de los equipos de enfriamiento de agua. 0 apagados 1 encendidos.

Una vez alcanzadas las condiciones requeridas de temperatura en el agua de los rociadores, comienza nuevamente a modular entre los dos caudales de agua, hasta el momento en que se rescinde de la refrigeración como se aprecia en los gráficos 10 y 11. A los 9000 segundos de simulación el sistema de control comenzó a agregar más aire de retorno (caliente) a la mezcla porque al bajar la temperatura exterior, y al estar el agua de los rociadores muy fría, se necesitaba elevar la temperatura de saturación. Como consecuencia alrededor de ese tiempo se aprecia cómo no se requiere el enfriamiento adicional de agua.

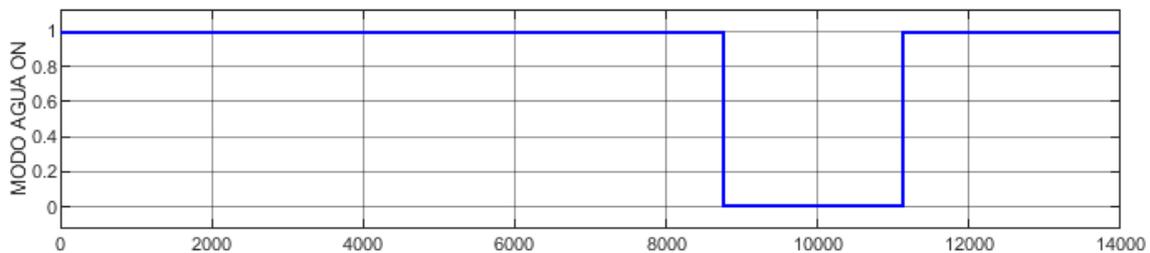


Gráfico 11, necesidad de encender la refrigeración del agua. 0 apagado, 1 encendido.

La estrategia utilizada de primero recurrir a controlar temperatura con la mezcla de aire, si esto no se logra, comenzar a mezclar distintas fuentes de agua, y si aún no se corrige el error, recién recurrir al encendido de los equipos de refrigeración de agua, es sumamente importante. Los compresores utilizados para refrigeración son los equipos con mayor demanda energética de la planta.

En el gráfico 12 se puede observar las variaciones de temperatura que sufre la pileta de abastecimiento de agua durante el lapso de la simulación.

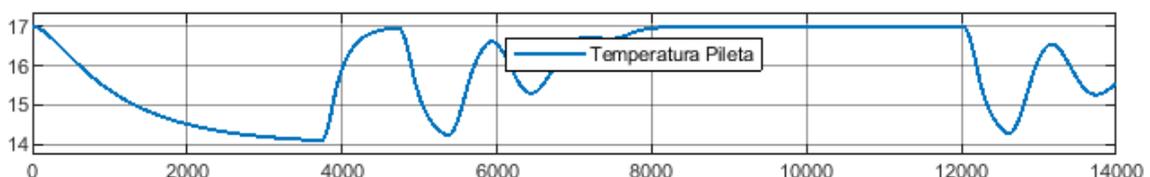


Gráfico 12, Lectura del sensor de temperatura en la pileta de abastecimiento de rociadores.

De esta manera ocurre la segunda posibilidad que tiene la central de controlar la temperatura de la planta, variando las condiciones de temperatura de la cortina de agua en el lavador de aire.

El control de humedad del recinto lo realiza el PID Principal de Humedad, el cual utiliza como parámetros de entrada el set point de humedad requerido y la lectura de la humedad (grafica 13) del sensor en el área de interés.

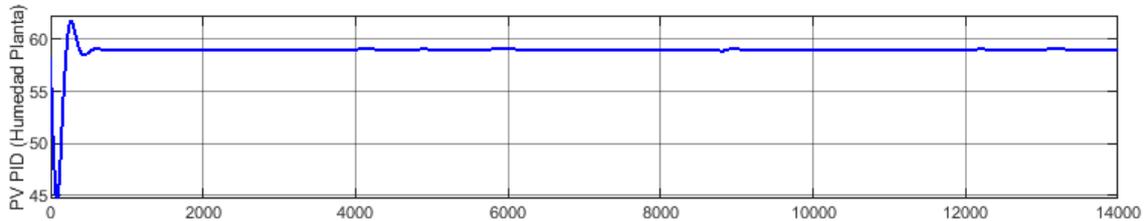


Grafico 13, Lectura del sensor de humedad relativa en la planta.

El PID entonces realiza el procesamiento, calcula el error y emite la acción correctiva (grafico 13). Este parámetro será el Set Point de humedad en la segunda mezcla de aire (grafico 14), entre el aire saturado que proviene del lavador, y nuevamente aire de retorno.

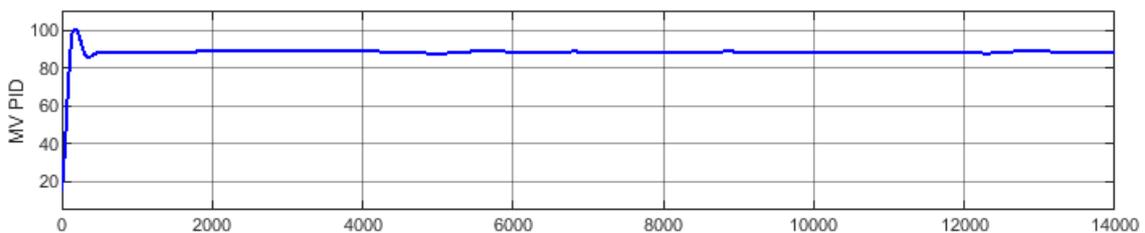


Grafico 14, Set Point de Humedad relativa de la MEZCLA 2 de aire.

Nuevamente un controlador RATIO es el encargado de modular las persianas para el control final de humedad. De esta manera al controlador ingresan tres parámetros, el set point que lo impone el PID Humedad y las condiciones de aire saturado y de retorno. Como resultado del procesamiento emite la acción correctiva que será el grado de apertura de la persiana de aire saturado de humedad (grafica 15). Esta modulación se produce de la misma manera que las anteriores, al abrir una persiana, como en este caso de aire saturado, la persiana de retorno debe cerrarse en la misma proporción, para mantener constante el caudal.

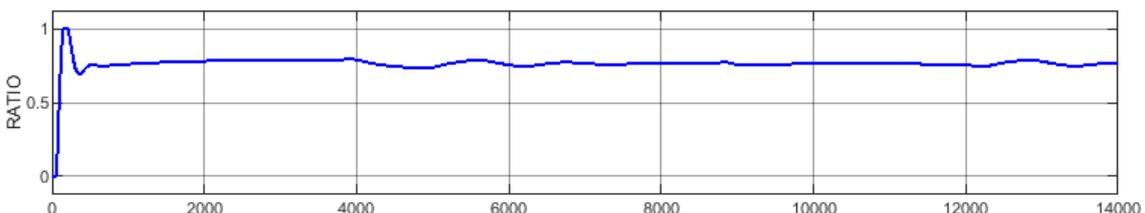


Grafico 15, proporción de apertura de la persiana de aire saturado en la sala de MEZCLA 2 previo a la inyección a planta. 0 Posición cerrada, 1 abierta totalmente.



Se observa en el gráfico 16 la humedad, en este caso absoluta, que ingresa al recinto de la fábrica ya realizada la segunda etapa de mezcla de aire el cual se modula la humedad.

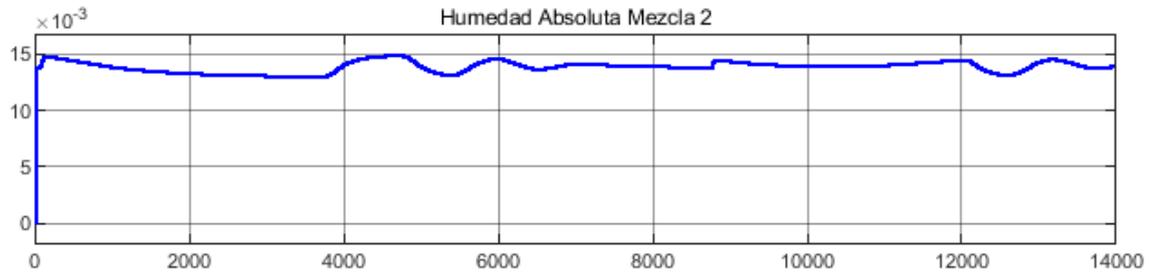


Gráfico 16, Humedad absoluta de la MEZCLA 2 de aire antes de la inyección a planta.

De esta manera se realiza el control de temperatura y humedad en la planta con el nuevo sistema propuesto. Este ensayo fue mostrado a través de una simulación con la herramienta SIMULINK del software MATLAB, el cual consistió en hacer correr el modelo matemático de la central con el ambiente de trabajo junto con los controladores diseñados y bajo condiciones climáticas impuestas de un día normal en verano.

SIMULACIÓN 2

DATOS:

- Temperatura exterior: 20°C con variación 5°C (grafica 17)
- Humedad Relativa Exterior: 60% con variación 5% (grafica 18)
- Set Point Temperatura interior: 28°C
- Set Point Humedad Relativa Interior: 59%
- Calor sensible 5

Comienza una nueva simulación con las condiciones mencionadas.

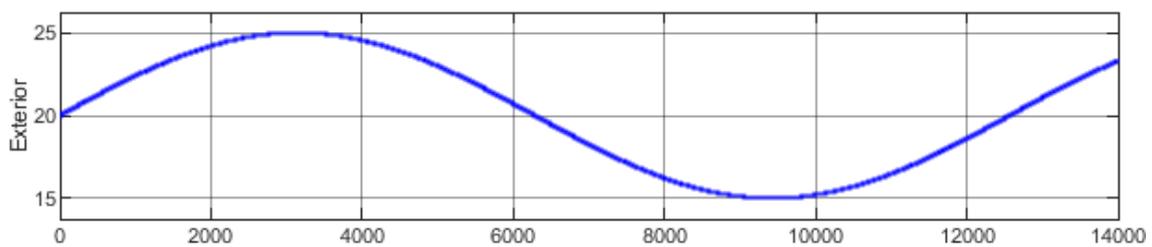


Grafico 17, Temperatura de bulbo seco exterior.

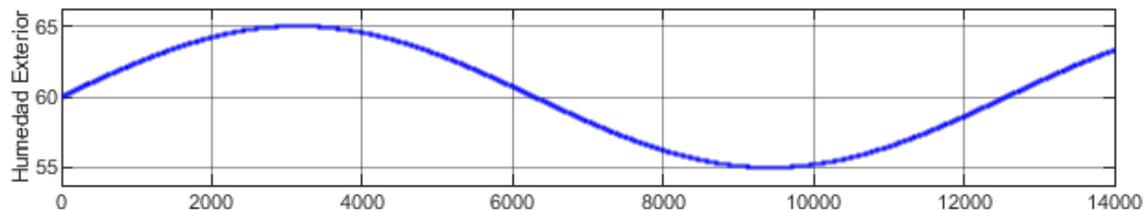


Grafico 18, Humedad relativa exterior.

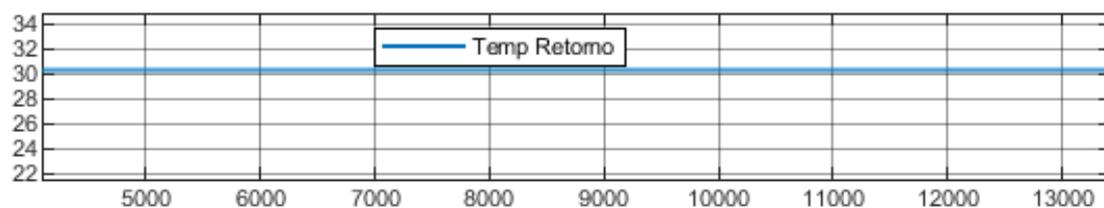


Grafico 19, Temperatura de bulbo seco aire de retorno.

Debe tener en cuenta no considerar los primeros 2000 ciclos de simulación por las oscilaciones propias de los controladores.

En el grafico 20 se aprecia la lectura del termómetro de planta (variable de proceso), parámetro utilizado junto con el Set Point establecido, por el PID Principal de Temperatura de planta.

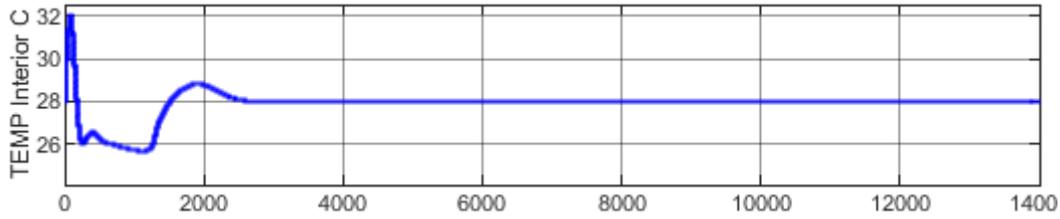


Gráfico 20, Temperatura de bulbo seco interior.

La respuesta del PID Principal será establecer el Set Point de temperatura de saturación del PID Lavador (Gráfico 21).

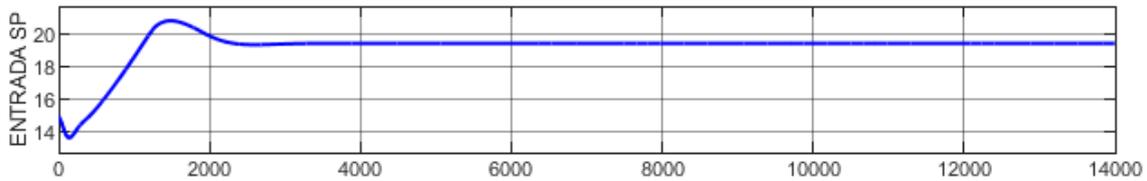


Gráfico 21, Set Point Temperatura de saturación.

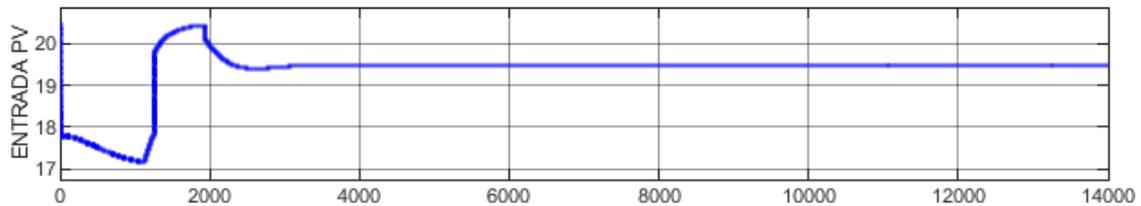


Gráfico 22, Temperatura de saturación leída del sensor.

El PID Lavador calcula el error y establece el Set Point (gráfica 23) para los controles RATIO de mezcla de aire de retorno-exterior y de mezcla de agua.

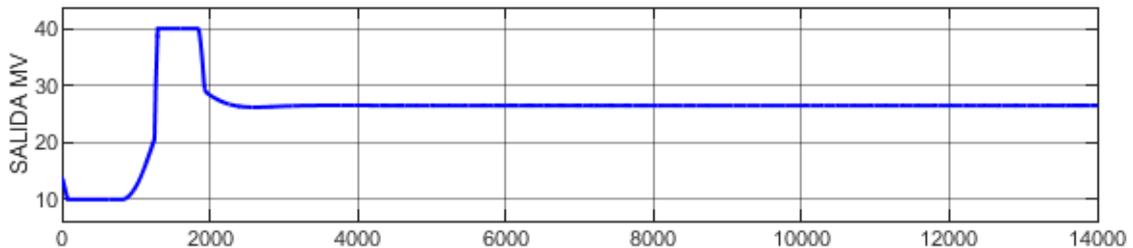


Gráfico 23, Set Point Mezcla 1 y temperatura de pileta.

El controlador RATIO MEZCLA 1 lee las condiciones de aire de retorno y exterior junto con el Set Point y calcula la proporción de apertura de la persiana de aire exterior (gráfica 24). Se puede apreciar la modulación entre los dos flujos de aire, aprovechando el calor de retorno debido a la baja temperatura exterior.

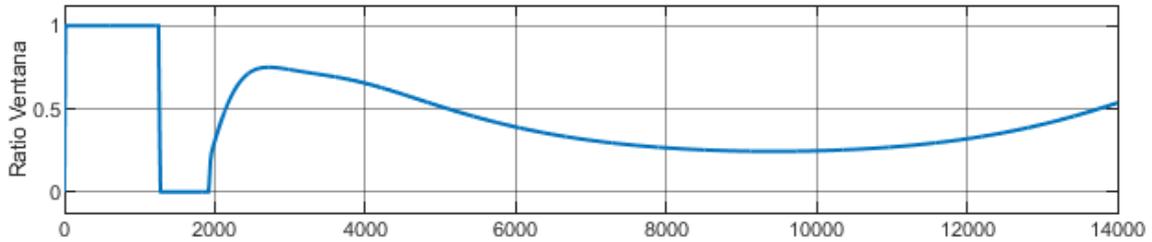


Gráfico 24, Grado de apertura de la persiana de aire exterior. 0 cerrada, 1 abierta totalmente.

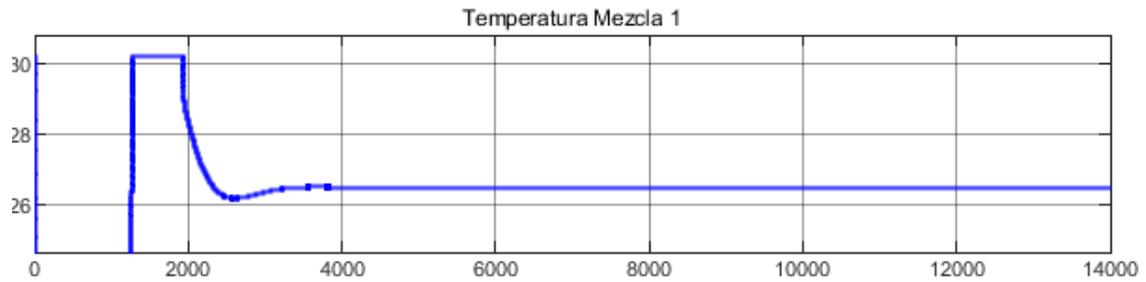


Gráfico 25, Temperatura de la mezcla de aire exterior con aire de retorno antes del lavador.

A pesar que el set point de la pileta es muy superior al de la posibilidad de lograr mezclando las dos fuentes de agua, el controlador no se “satura negativamente” como en la simulación anterior. Esto quiere decir que con la mezcla de aire es suficiente para el control de temperatura y no es necesario encender el equipo de enfriamiento de agua.

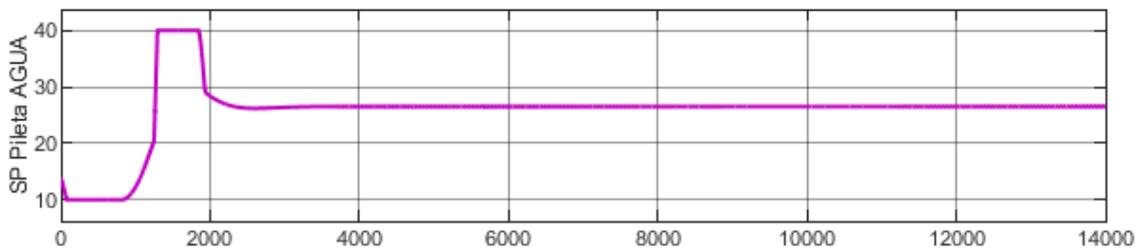


Gráfico 26, Set Point de temperatura de pileta.

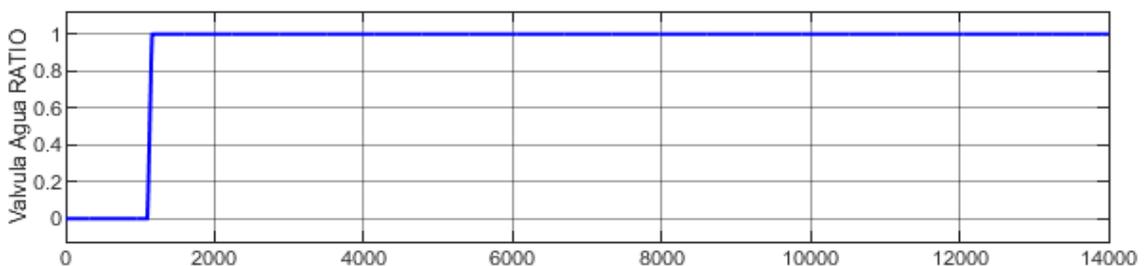


Gráfico 27, Estado de apertura o cierre de la válvula de agua de refrigeración.

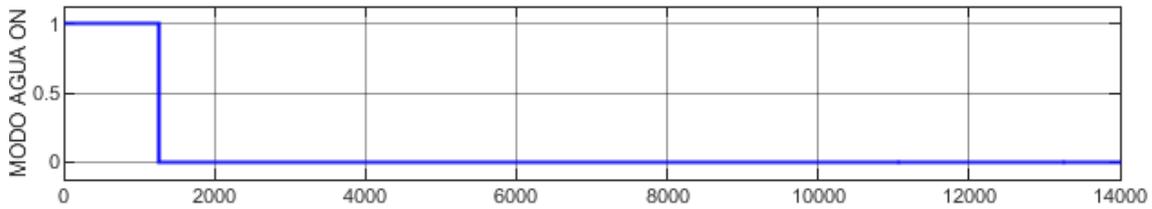


Grafico 28, Demanda de equipo de enfriamiento de agua. 0 apagado.

La temperatura de pileta (grafica 29) se mantiene en 17 grados que es el valor de temperatura que posee el caudal más cálido.

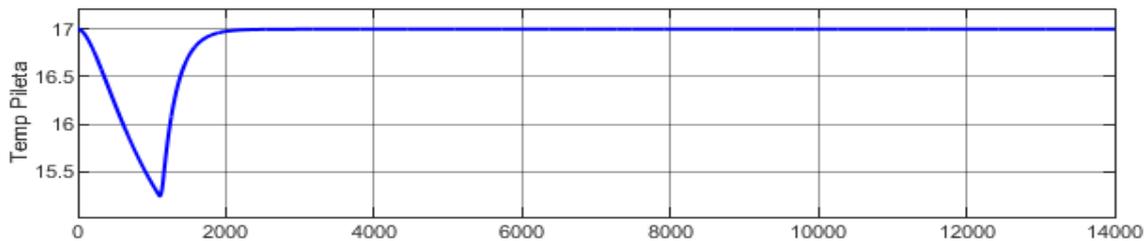


Grafico 29, Temperatura de pileta leída por el sensor.

La temperatura interior de la planta con las condiciones exteriores de la simulación puede ser controlada solo con mezcla de aire sin necesidad de utilizar los equipos de enfriamiento de agua.

El control de humedad comienza con la lectura del set point y la comparación con la lectura del sensor de humedad en planta (grafica 30). El PID Principal de temperatura calcula el error y declara el set point al controlador RATIO de mezcla de aire saturado con aire de retorno.

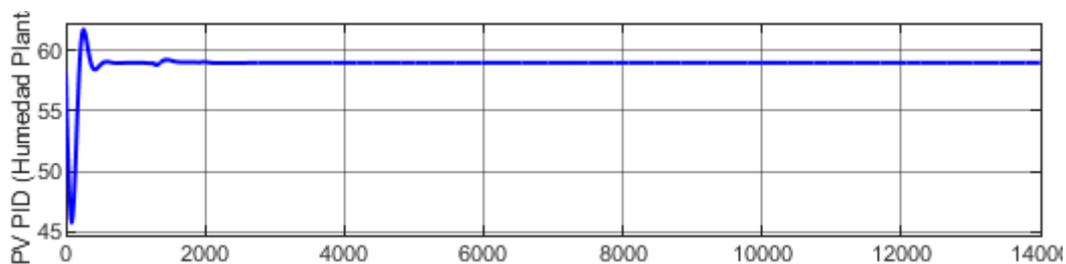
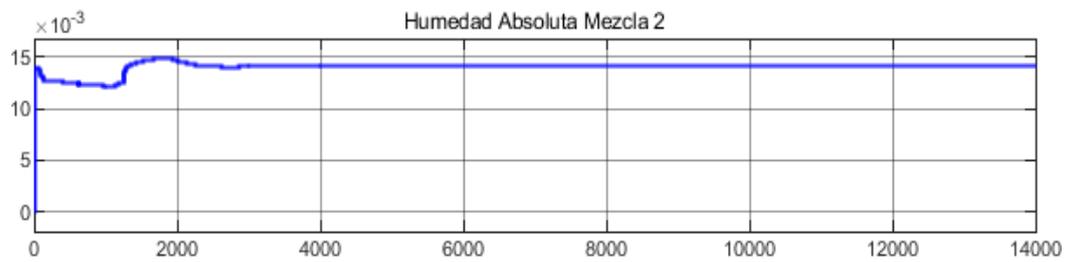
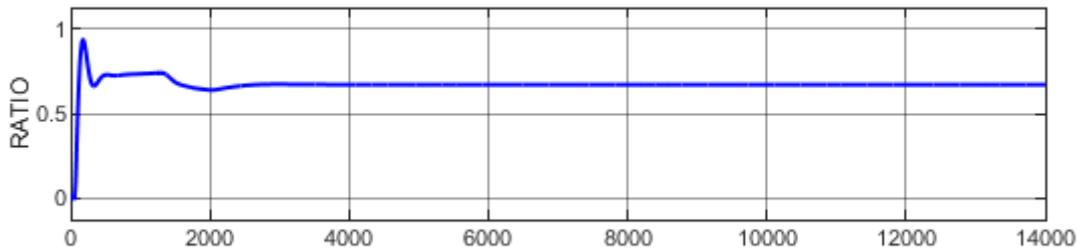
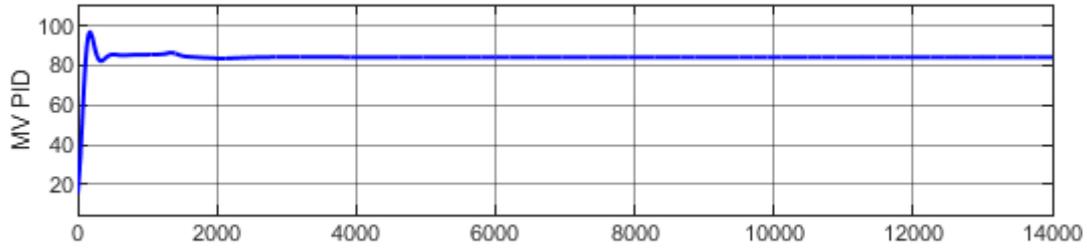


Grafico 30, humedad relativa en el interior del establecimiento.

Respuesta del PID de humedad (grafica 31), estableciendo set point para el controlador RATIO de mezcla de aire saturado y retorno.



De esta manera se concluye una simulación en condición de invierno.

SIMULACIÓN 3

DATOS:

- Temperatura exterior: 20°C con variación 5°C
- Humedad Relativa Exterior: 50% con variación 5%
- Set Point Temperatura interior: inicial 28°C final 26°C
- Set Point Humedad Relativa Interior: 59%
- Calor sensible 5
- Situación de Invierno con cambio de temperatura interior.

Características caudales de entrada de aire a la central:

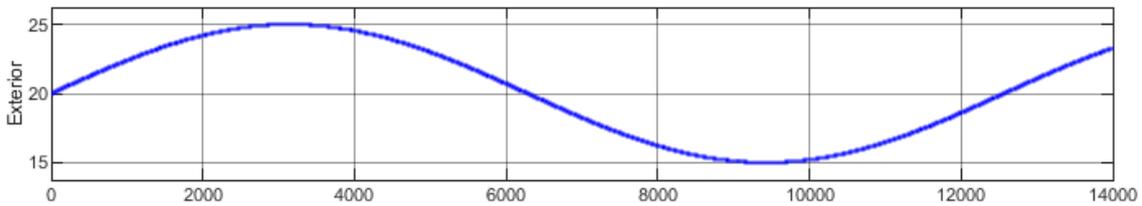


Grafico 34, Temperatura de bulbo seco exterior.

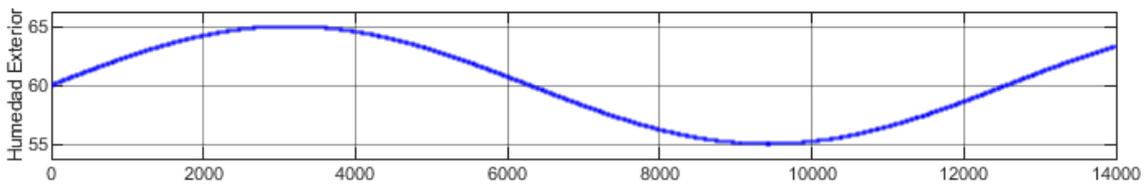


Grafico 35, Humedad relativa exterior.

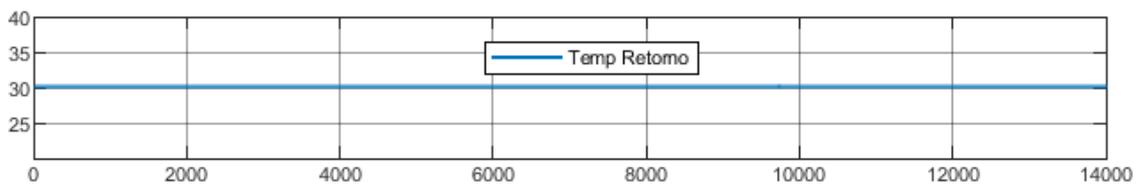


Grafico 36, Temperatura de bulbo seco aire de retorno.

El PID Principal de Temperatura compara el Set Point con la lectura de la temperatura en el interior, estableciendo las reglas al PID Lavador.

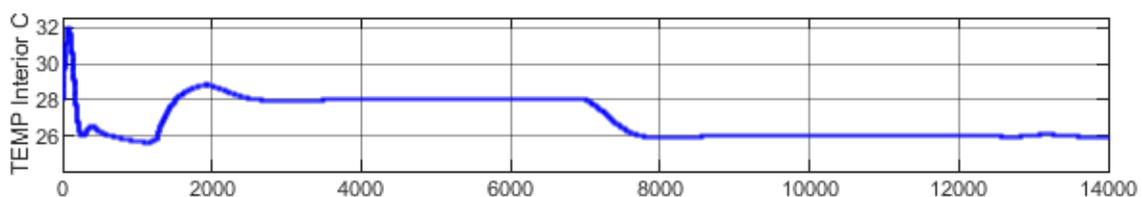


Grafico 37, Temperatura de bulbo seco interior.

El controlador PID Lavador, compara la temperatura de saturación con la información del PID Principal estableciendo los parámetros a cumplir por los controladores RATIO de mezcla de aire y temperatura de pileta.

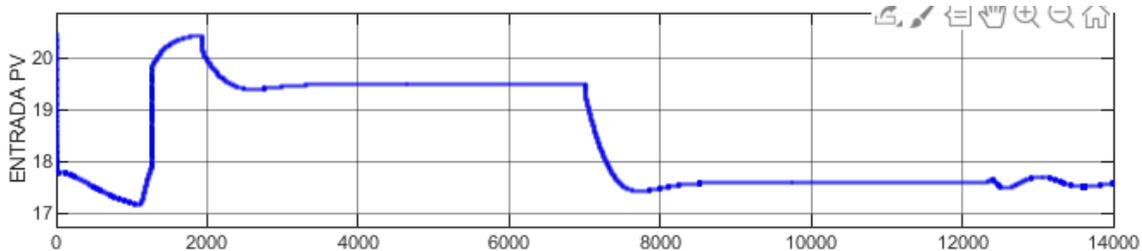


Grafico 38, Temperatura de saturación leída del sensor.

En el grafico 39 se aprecia como alrededor de los 1600 segundos de simulación, el controlador RATIO MEZCLA 1 toma solo aire de retorno (más caliente que el exterior), es para contrarrestar el descenso de temperatura en el interior del recinto a comenzar la simulación (provocados por los estados iniciales de las persianas y la pileta al momento del inicio del ensayo). Alrededor de los 1300 segundos el controlador logra subir la temperatura de saturación hasta que a los 2000 segundos la situación se estabiliza y comienza a modular nuevamente con la proporción correcta entre ambos caudales.

A los 7000 segundos se requiere un cambio en la temperatura interior de planta establecida por el usuario, acción que es rápidamente controlada por un cambio en la proporción de mezcla 1 (aprovechando la baja temperatura exterior, se abre más la persiana de ese caudal).

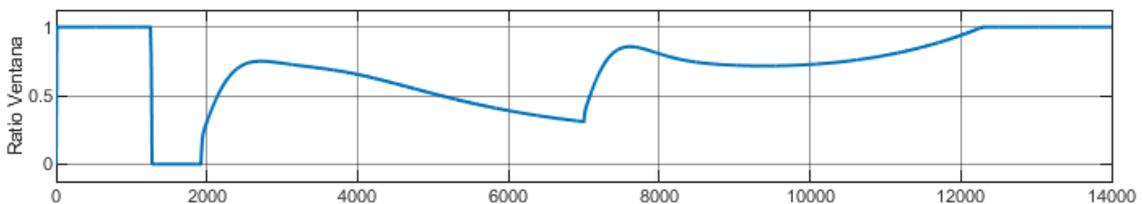


Grafico 39, Grado de apertura de la persiana de aire exterior. 0 cerrada, 1 abierta totalmente.

Como se aprecia en el grafico 40, se utilizó agua proveniente de la sala de refrigeración, aunque no hubo necesidad de encender los equipos (la temperatura que poseía fue suficiente para mantener las condiciones necesarias). Solo al final donde la temperatura exterior comenzaba a ascender, si se da la orden de refrigerar el agua (grafica 41)

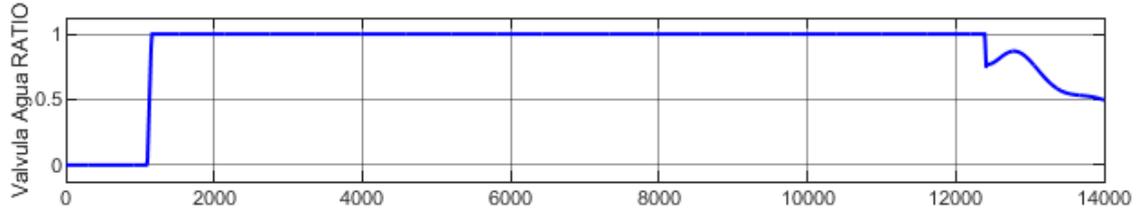


Grafico 40, Estado de apertura o cierre de la válvula de agua de refrigeración.

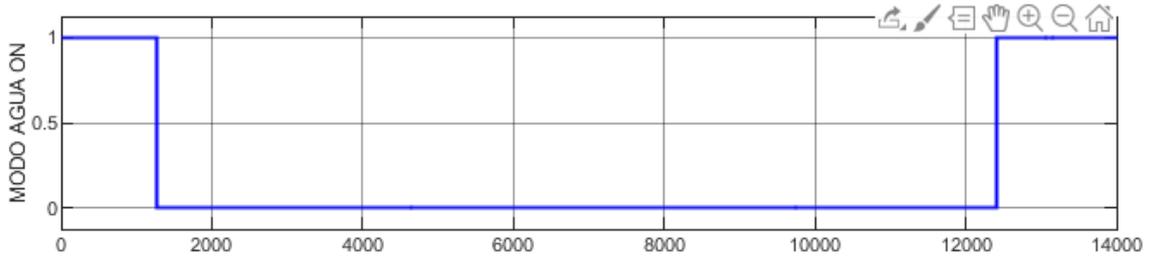


Grafico 41, Demanda de equipo de enfriamiento de agua. 0 apagado 1 encendido.

El control de humedad colaboró perfectamente. La necesidad bajar la temperatura interior obliga a bajar la temperatura de saturación. La humedad absoluta del caudal de aire saturado, que es en peso, el contenido de agua en aire, desciende bruscamente.

Por lo tanto, para mantener la humedad constante en el interior del recinto, el PID Principal de humedad ordenó al controlador RATIO Mezcla 2 abrir más la persiana de aire saturado como se aprecia en la imagen 42, logrando mantener la humedad relativa en el interior constante (grafica 43).

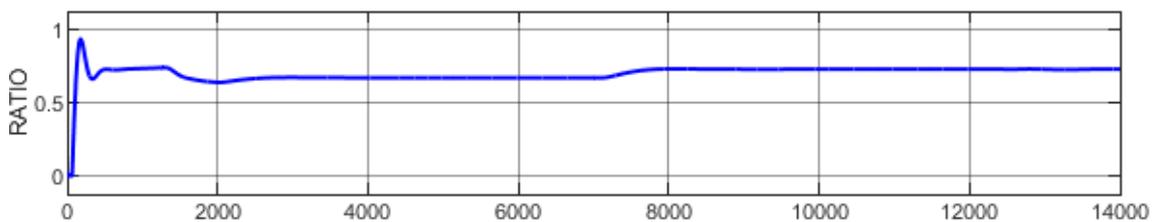


Grafico 42, Respuesta RATIO MEZCLA 2, proporción apertura persiana aire saturado.

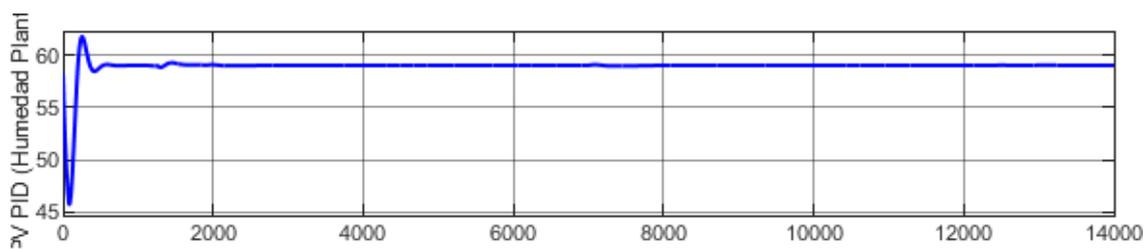


Grafico 43, humedad relativa en el interior del establecimiento.

SIMULACIÓN 4

DATOS:

- Temperatura exterior: 30°C con variación 5°C
- Humedad Relativa Exterior: 50% con variación 5%
- Set Point Temperatura interior: inicial 28°C final 26°C
- Set Point Humedad Relativa Interior: inicial 55% final 65%
- Calor sensible 7 kJ/kg
- Día de verano

Impuestas las condiciones de entrada:

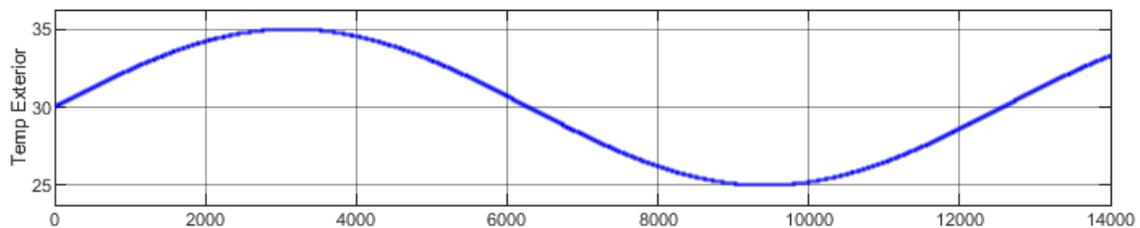


Grafico 44, Temperatura de bulbo seco exterior.

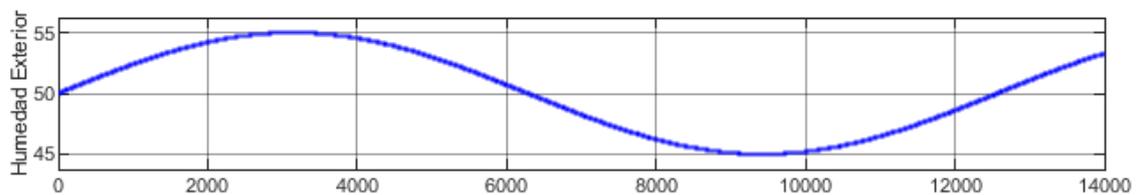


Grafico 45, Humedad relativa exterior.

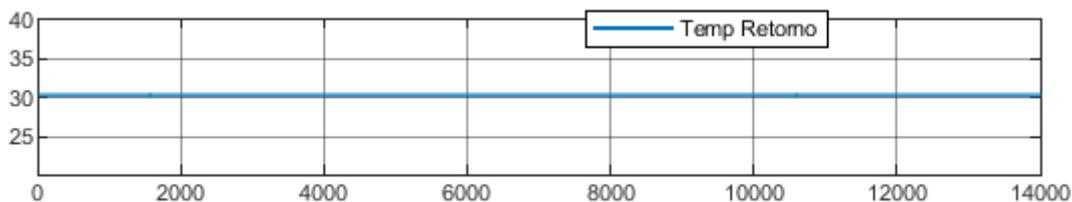


Grafico 46, Temperatura de bulbo seco aire de retorno.

Analizando la gráfica de temperatura interior, a los 6000 segundos, se decidió bajar dos grados el set point de temperatura interior. Esto sucede en un momento en el cual la temperatura exterior es superior a los 25°C, y la carga térmica alta de 7 kJ/kg por la productividad en la planta. Se observa que le lleva 2500 segundos lograr llegar a la

temperatura requerida. También se puede apreciar el descenso brusco de temperatura a los 10000 segundos, que es cuando se establece un nuevo set point de humedad relativa de 55% a 65%. La necesidad de utilizar mayor caudal de aire saturado en la segunda etapa de mezcla para aumentar la humedad interior, hace disminuir automáticamente la temperatura. La cual se corrige aumentando la temperatura de saturación (grafica 48) a los 11500 segundos aproximadamente.

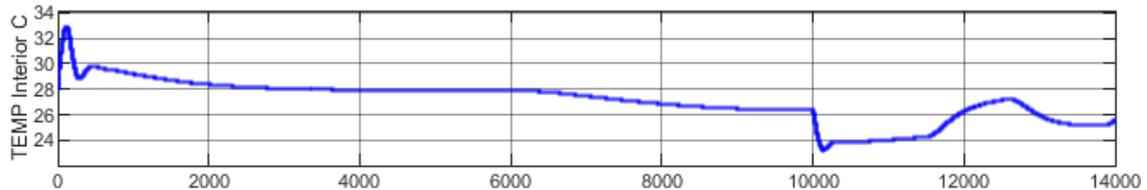


Grafico 47, Temperatura de bulbo seco interior.

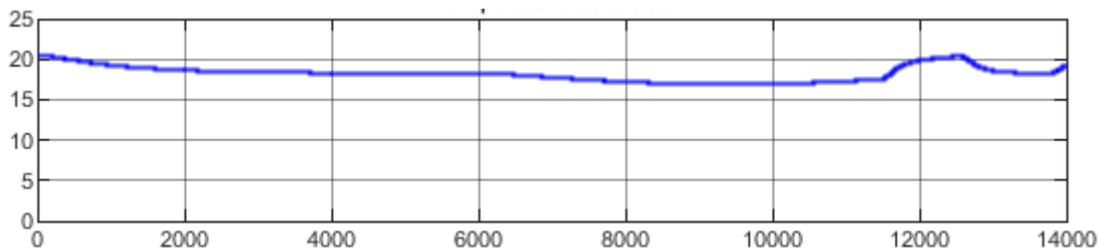


Grafico 48, Temperatura de saturación leída del sensor.

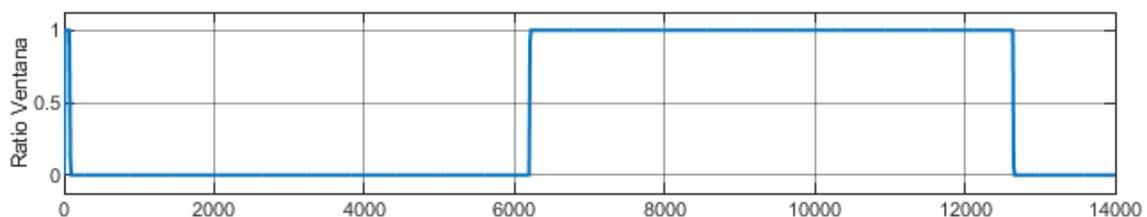


Grafico 49, Grado de apertura de la persiana de aire exterior. 0 cerrada, 1 abierta totalmente.

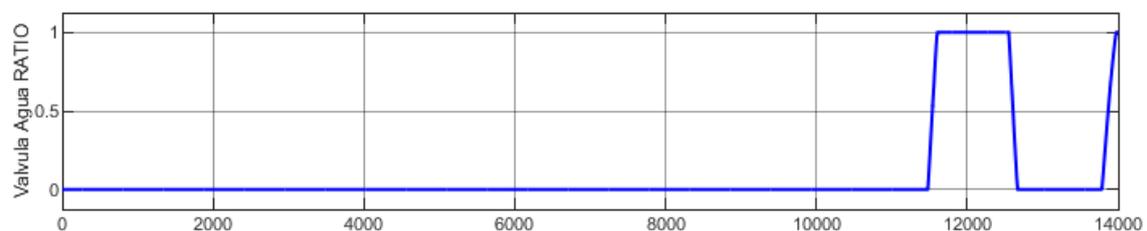


Grafico 50, Estado de apertura o cierre de la válvula de agua de refrigeración.

Al ser constante la demanda de agua fría para bajar la temperatura de saturación se utilizó el equipo de enfriamiento de agua durante todo el ensayo (grafica 51).

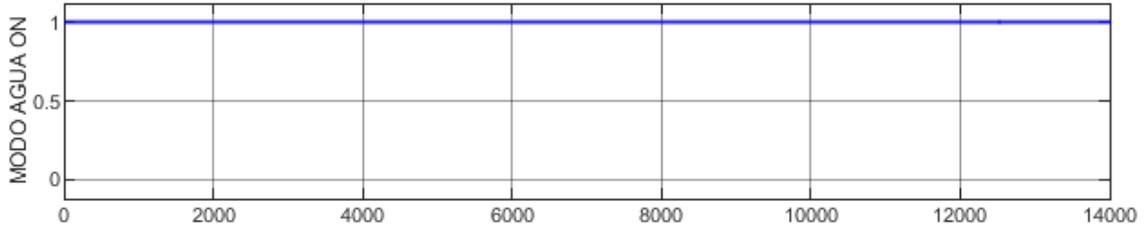


Grafico 51, Demanda de equipo de enfriamiento de agua. 0 apagado 1 encendido.

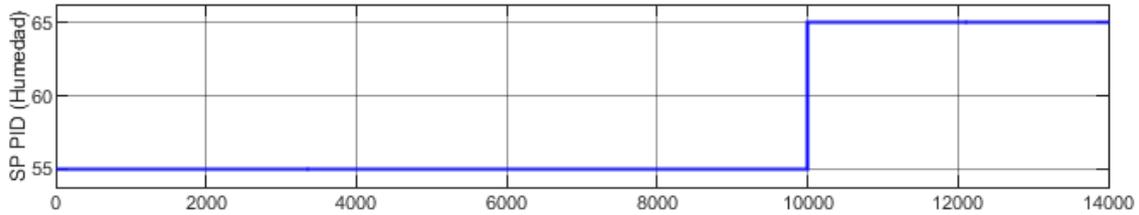


Grafico 52, Set Point de Humedad interior.

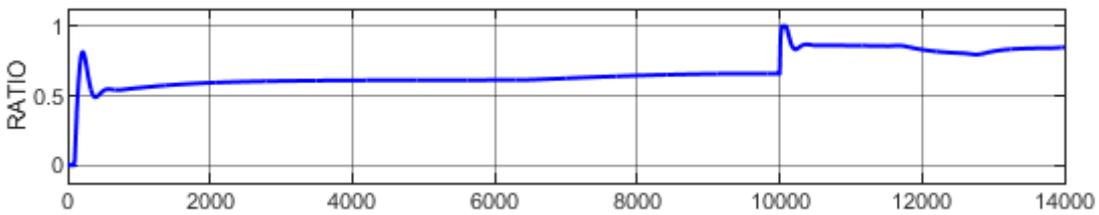


Grafico 53, Respuesta RATIO MEZCLA 2, proporción apertura persiana aire saturado.

En cambio, la humedad, se aprecia que no vio afectada por las condiciones exteriores de altas temperaturas.

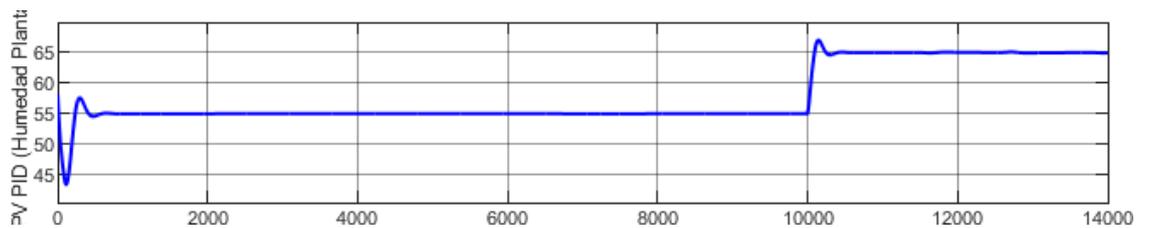


Grafico 54, humedad relativa en el interior del establecimiento.

SIMULACIÓN 5

DATOS:

- Temperatura exterior: 16°C con variación 5°C
- Humedad Relativa Exterior: 50% con variación 5%
- Set Point Temperatura interior: inicial 28°C final 26°C
- Set Point Humedad Relativa Interior: inicial 55% final 65%
- Calor sensible 4

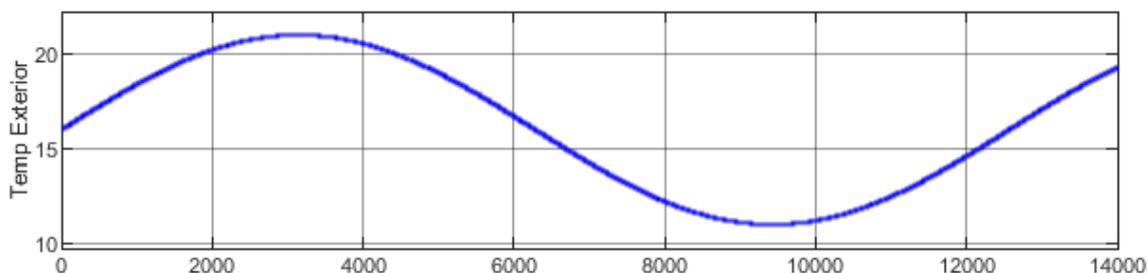


Gráfico 55, Temperatura de bulbo seco aire exterior.

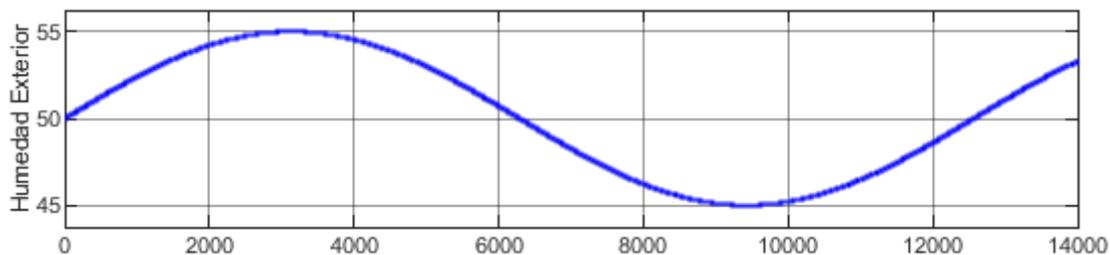


Gráfico 56, Humedad relativa exterior.

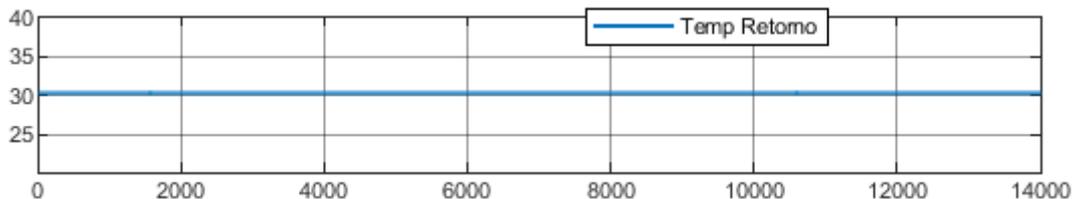


Gráfico 57, Temperatura de bulbo seco aire de retorno.

Es el mismo ensayo que en el caso anterior, pero en invierno. El cambio de temperatura a los 6000 segundos fue rápidamente hecho con la modulación de la mezcla entre aire de retorno y exterior (utilizando una mayor proporción de este último).

A los 10000 segundos en el cambio de humedad cae rápidamente la temperatura, pero también se compensa al cambiar la proporción nuevamente de la primera mezcla de aire.

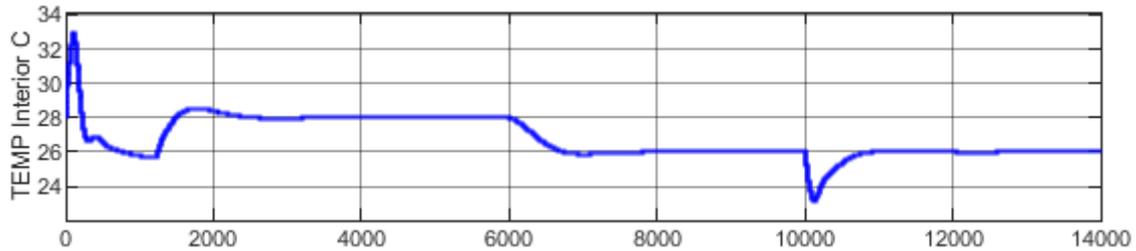


Gráfico 58, Temperatura de bulbo seco interior.

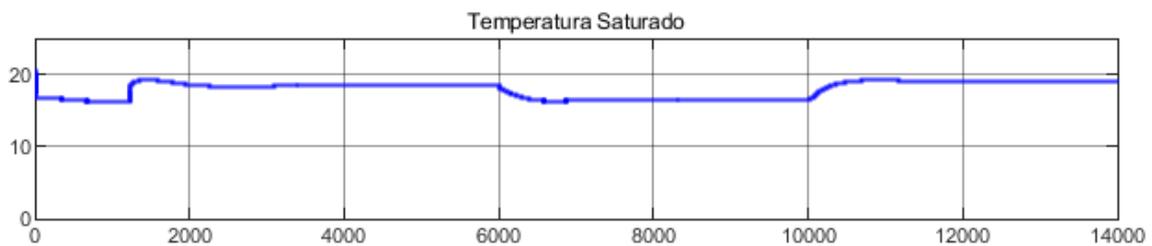


Gráfico 59, Temperatura de saturación leída del sensor.

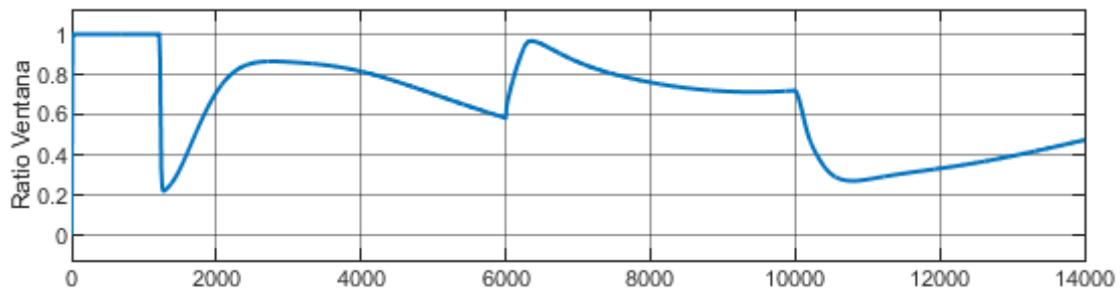


Gráfico 60, Grado de apertura de la persiana de aire exterior. 0 cerrada, 1 abierta totalmente.

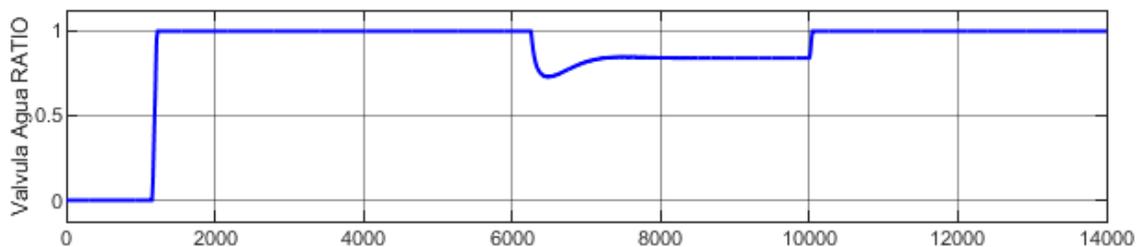


Gráfico 61, Estado de apertura o cierre de la válvula de agua de refrigeración.

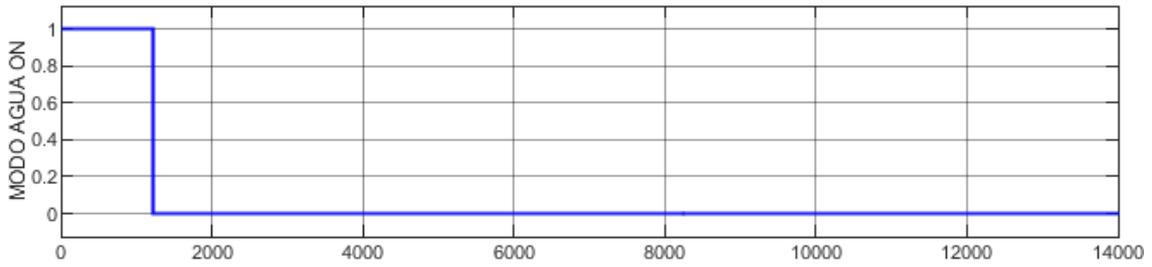


Gráfico 62, Demanda de equipo de enfriamiento de agua. 0 apagado 1 encendido.

LA humedad se mantuvo constante sin alteraciones, y el cambio en el set point fue correcto también, rápidamente establecido.

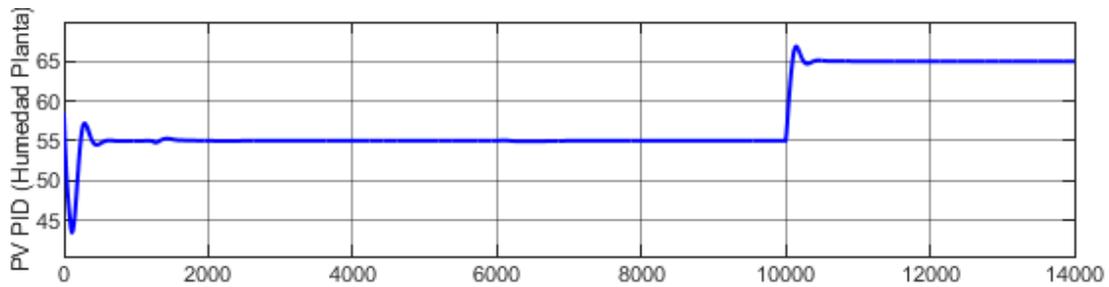


Gráfico 63, humedad relativa en el interior del establecimiento.

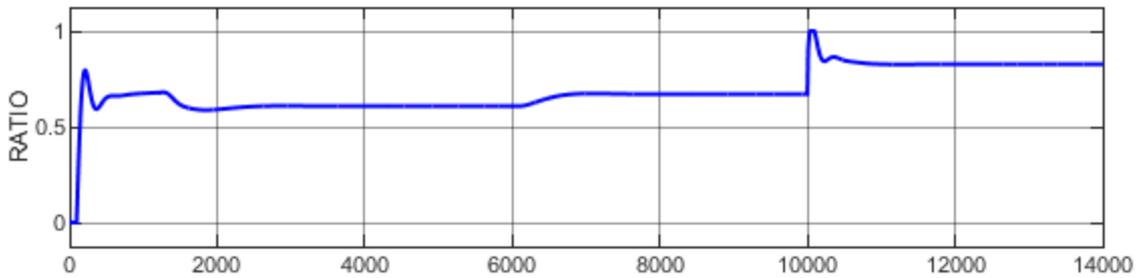


Gráfico 64, Respuesta RATIO MEZCLA 2, proporción apertura persiana aire saturado.

SIMULACIÓN 6

DATOS:

- Temperatura exterior: 18°C con variación 3°C
- Humedad Relativa Exterior: 50% con variación 5%
- Set Point Temperatura interior: 28°C
- Set Point Humedad Relativa Interior: 55%
- Calor sensible de 5 a 8 kJ/kg aumenta carga térmica interior

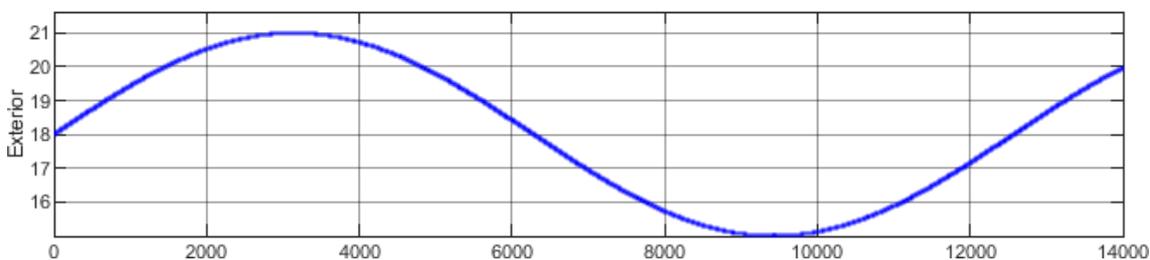


Gráfico 65, Temperatura de bulbo seco aire exterior.

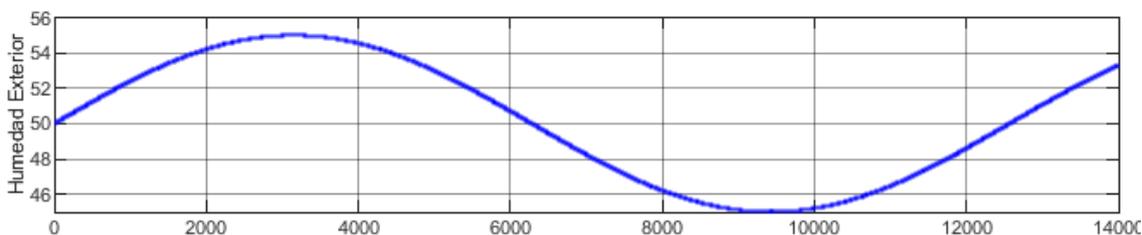


Gráfico 66, Humedad relativa exterior.

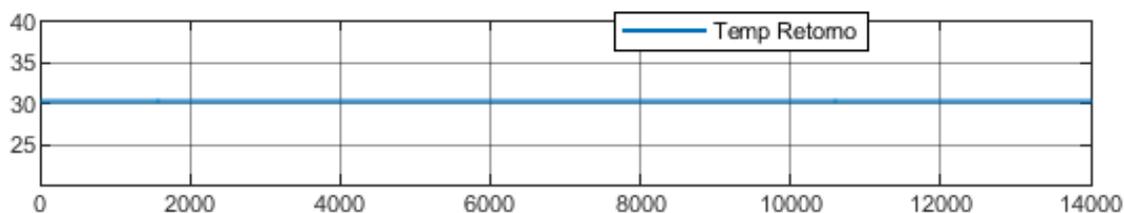


Gráfico 67, Temperatura de bulbo seco aire de retorno.

Aquí se estudiará un fenómeno distinto que será el aumento rápido de la carga térmica en el interior de la fábrica (aumento en la producción, cantidad de maquinaria funcionando, o salida de servicio de una de las centrales cercanas)

En el gráfico 71, se aprecia que a los 7000 segundos (donde ocurre el incremento de la carga), fluctuación fue resuelta rápidamente por el sistema de control. En los gráficos siguientes se buscará la acción correctiva.

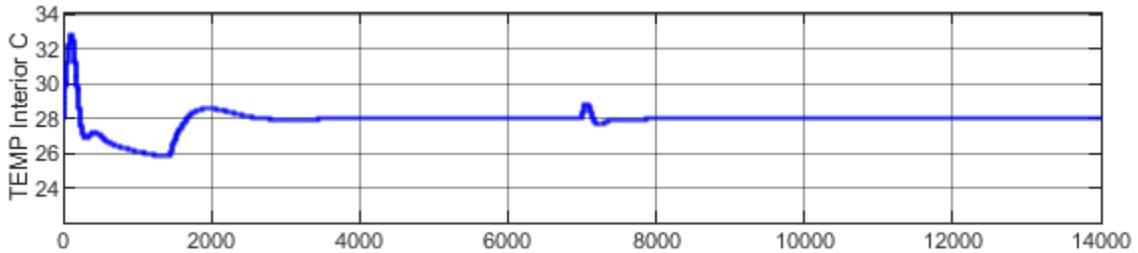


Gráfico 71, Temperatura de bulbo seco interior.

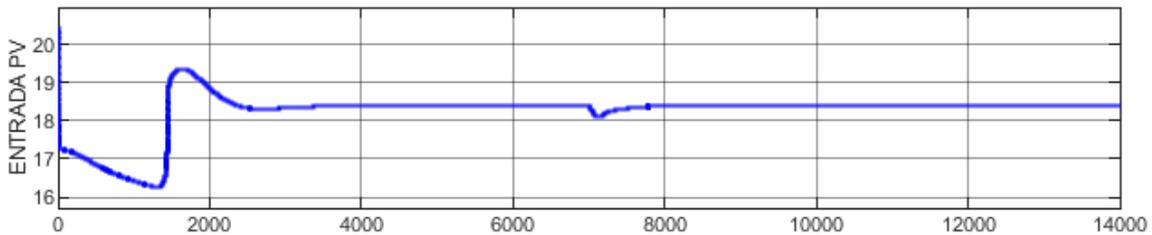


Gráfico 72, Temperatura de saturación leída del sensor.

La modulación de las persianas de la mezcla 1 de aire (a los 7000 segundos) fue muy pequeña, por lo que aquí no se compensó el aumento de la carga térmica.

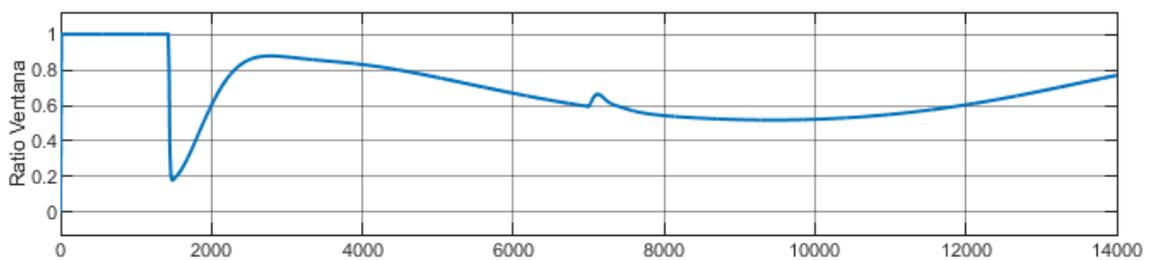


Gráfico 73, Grado de apertura de la persiana de aire exterior. 0 cerrada, 1 abierta totalmente.

Tampoco se trabajó con la mezcla de agua (se aprecia que no fue necesaria).

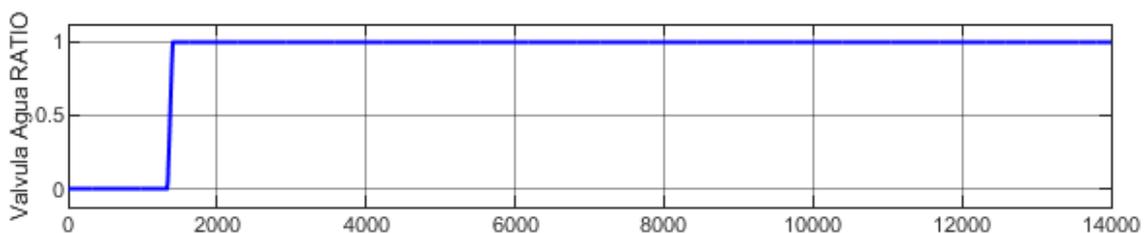


Gráfico 74, Estado de apertura o cierre de la válvula de agua de refrigeración.

No se necesitó encender los equipos de enfriamiento de agua.

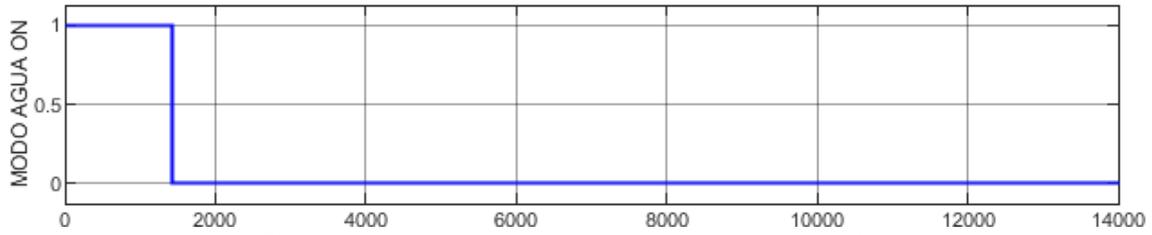


Gráfico 75, Demanda de equipo de enfriamiento de agua. 0 apagado 1 encendido.

La humedad relativa en la planta si se vio afectada (cayo 3% al principio del aumento de la carga).

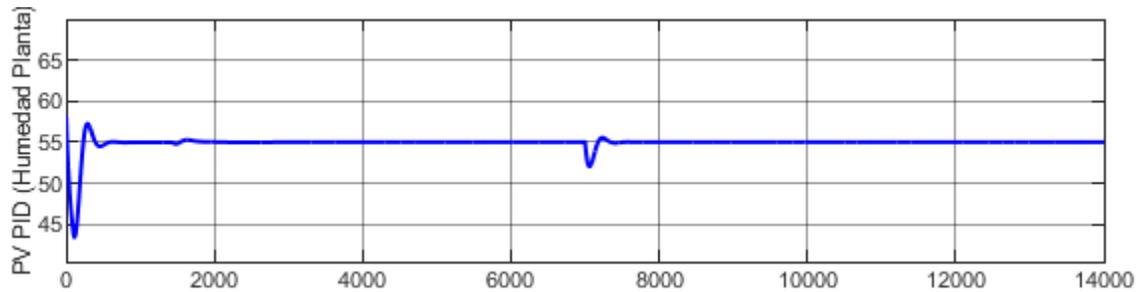


Gráfico 76, humedad relativa en el interior del establecimiento.

Como se observa fácilmente, la corrección la realizo el controlador RATIO de la mezcla de aire de retorno con aire saturado. Aumento la proporción de aire saturado de humedad, de esta manera al absorber el calor en el interior del recinto, se estabiliza la humedad relativa ambiente.

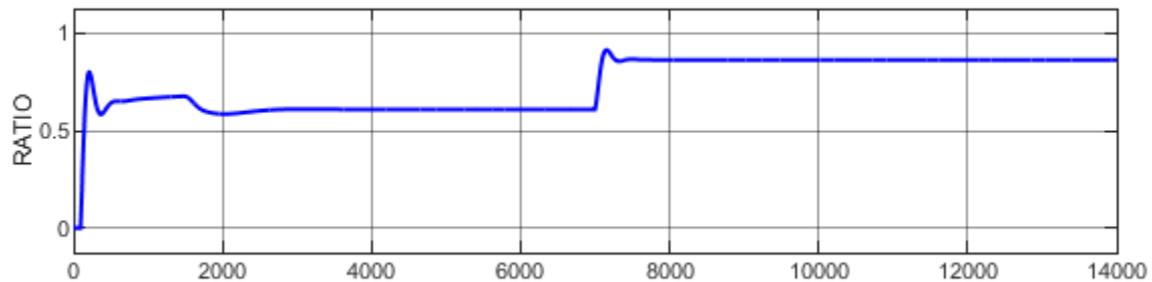


Gráfico 77, Respuesta RATIO MEZCLA 2, proporción apertura persiana aire saturado.



ANEXO V CONFIGURACIÓN DE CONTROLADORES MULTIPROPÓSITO

CONFIGURACIÓN DE CONTROLADORES MULTIPROPÓSITO SG10

Para la configuración de las direcciones de comunicación y parámetros de registro se utilizó el diagrama que muestra las tareas asignadas a cada controlador multipropósito (sensores como entradas, y actuadores como salidas). El esquema fue realizado respetando la misma configuración que llevará dispuesto dentro de la central de climatización.

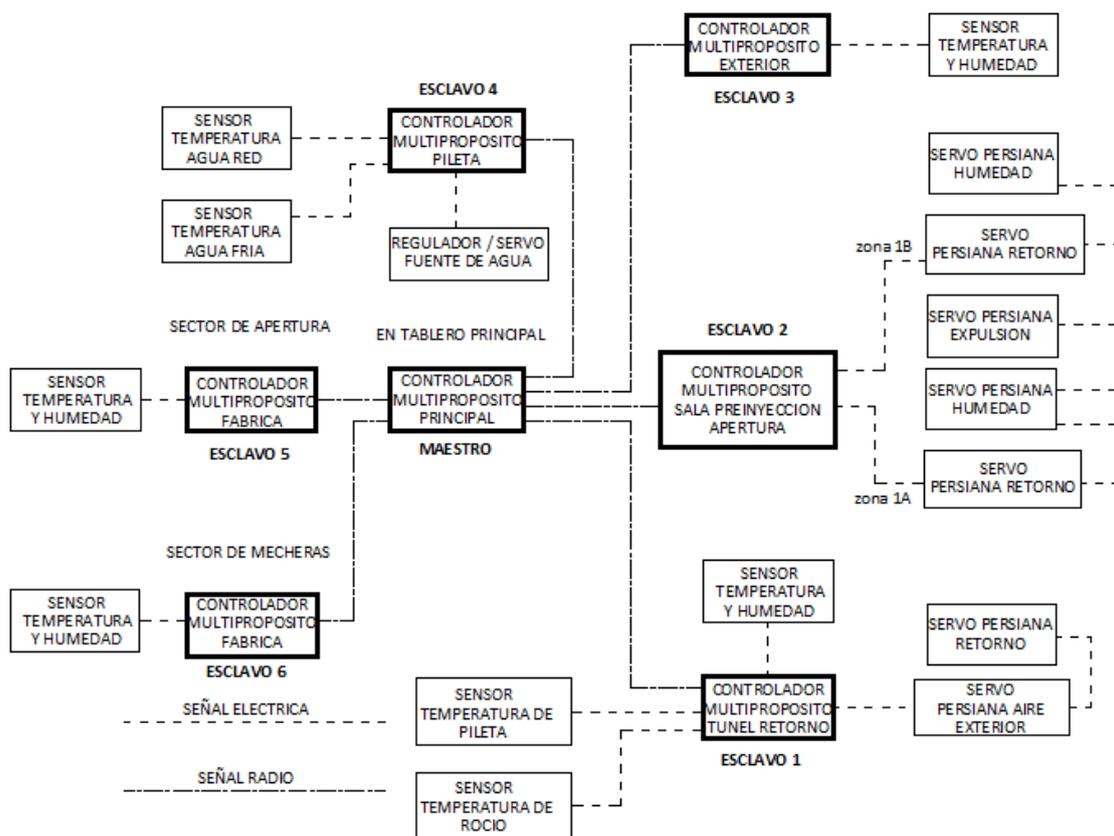


Figura 1. Disposición de conexión de sensores, actuadores y controladores.

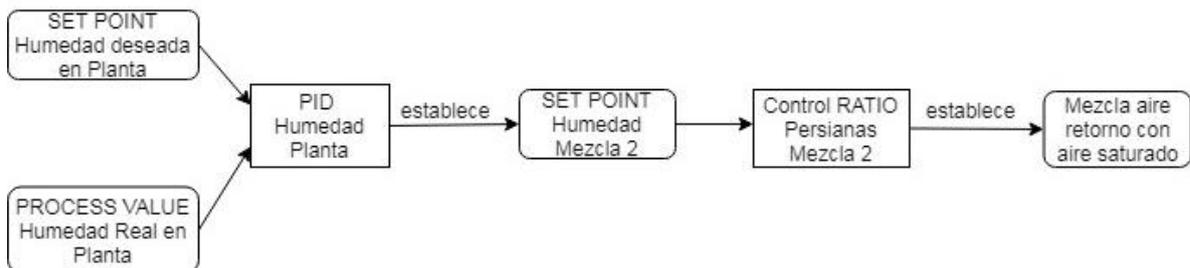


Figura 2. Diagrama ilustrativo de tareas realizadas por cada controlador responsables del control de humedad.

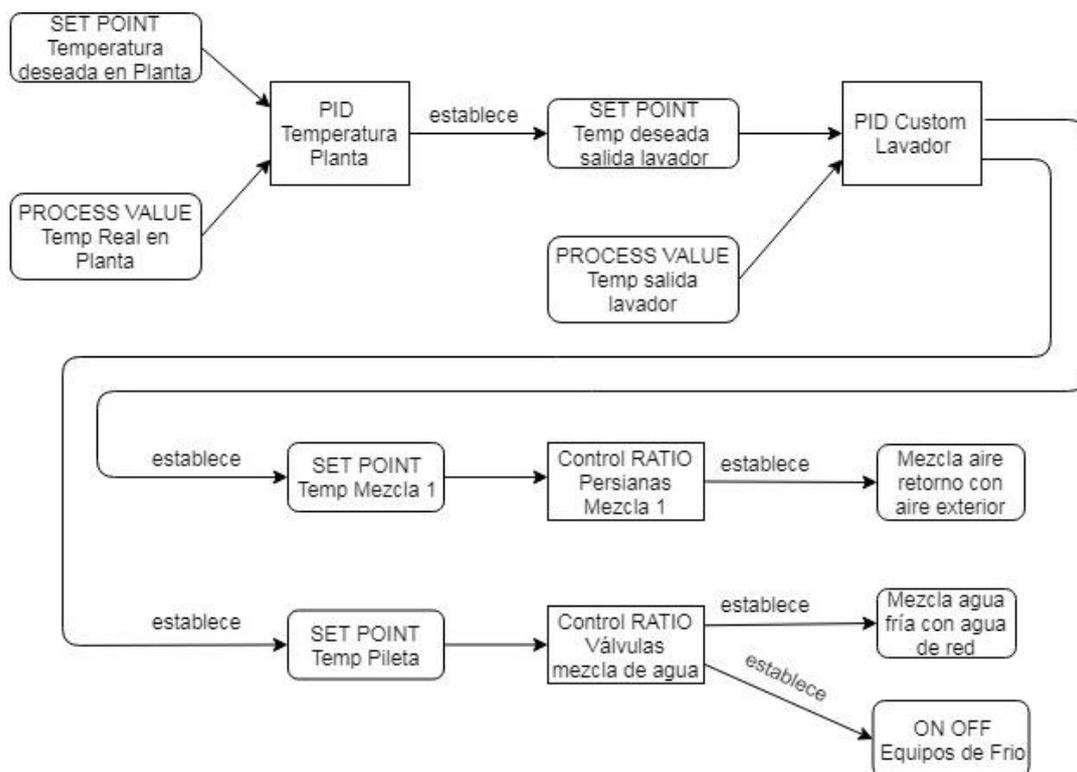


Figura 3. Diagrama ilustrativo de tareas realizadas por cada controlador responsables del control de temperatura.

Las entradas analógicas corresponden a los sensores conectados a los esclavos en las direcciones 30,31,34,35 y 36. Las salidas analógicas corresponden a los actuadores conectados a los esclavos, direcciones 30 y 31.

UTILIDAD	REFERENCIA	UBICACIÓN	DIRECCION	SALIDAS ANALOGICAS			ENTRADAS DIGITALES			SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE								
				PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO				
Esclavo	1	Túnel de retorno	10															
				ENTRADAS ANALOGICAS			ENTRADAS DIGITALES			SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE								
				PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO				
	30	Termistor CH1	PT1000 TEMP PILETA	30	4-20 OUT 1	PERSIANA EXTERIOR MEZCLA1	30	Entrada 1	no conectado	30	Rele 1	no conectado						
	31	Termistor CH2	NTC 10K TEMP ROCIO	31	4-20 OUT 2	no conectado	31	Entrada 2	no conectado	31	Rele 2	no conectado						
	32	4-20 IN 1	no conectado	32			32			32								
	33	4-20 IN 2	no conectado	33			33			33								
	34	TEM	USADO	34			34			34								
	35	HUM %	USADO	35			35			35								
	36	HUM ABS	USADO	37			37			37								

UTILIDAD	REFERENCIA	UBICACIÓN	DIRECCION	SALIDAS ANALOGICAS			ENTRADAS DIGITALES			SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE								
				PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO				
Esclavo	2	Sala Preinyeccion A	11															
				ENTRADAS ANALOGICAS			ENTRADAS DIGITALES			SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE								
				PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO				
	30	Termistor CH1	no conectado	30	4-20 OUT 1	PERS. RETORNO MEZCLA2 APERT	30			30								
	31	Termistor CH2	no conectado	31	4-20 OUT 2	PERS. RETORNO MEZCLA2 MECH	31			31								
	32	4-20 IN 1	no conectado	32			32			32								
	33	4-20 IN 2	no conectado	33			33			33								
	34	TEM	USADO	34			34			34								
	35	HUM %	USADO	35			35			35								
	36	HUM ABS	USADO	37			37			37								

UTILIDAD	REFERENCIA	UBICACIÓN	DIRECCION	SALIDAS ANALOGICAS		ENTRADAS DIGITALES		SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE	
Esclavo	3	Tunel exterior	13						
	ENTRADAS ANALOGICAS								
DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION
30	Termistor CH1	no conectado	30	4-20 OUT 1	no conectado	30			30
31	Termistor CH2	no conectado	31	4-20 OUT 2	no conectado	31			31
32	4-20 IN 1	no conectado	32			32			32
33	4-20 IN 2	no conectado	33			33			33
34	TEM	USADO	34			34			34
35	HUM%	USADO	35			35			35
36	HUM ABS	USADO	37			37			37

UTILIDAD	REFERENCIA	UBICACIÓN	DIRECCION	SALIDAS ANALOGICAS		ENTRADAS DIGITALES		SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE	
Esclavo	4	Sala de Pileta	14						
	ENTRADAS ANALOGICAS								
DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION
30	Termistor CH1	PT100 TEMP AGUA RED	30	4-20 OUT 1	VALVULA AGUA FRIA	30			30
31	Termistor CH2	PT100 TEMP AGUA FRIA	31	4-20 OUT 2	no conectado	31			31
32	4-20 IN 1	no conectado	32			32			32
33	4-20 IN 2	no conectado	33			33			33
34	TEM	no conectado	34			34			34
35	HUM%	no conectado	35			35			35
36	HUM ABS	no conectado	37			37			37

UTILIDAD	REFERENCIA	UBICACIÓN	DIRECCION	SALIDAS ANALOGICAS		ENTRADAS DIGITALES		SALIDAS DIGITALES/SALIDA RELE	
Esclavo	5	Sala Apertura	15						
	ENTRADAS ANALOGICAS								
DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION	PLACA	USO	DIRECCION
30	Termistor CH1	no conectado	30	4-20 OUT 1	no conectado	30			30
31	Termistor CH2	no conectado	31	4-20 OUT 2	no conectado	31			31
32	4-20 IN 1	no conectado	32			32			32
33	4-20 IN 2	no conectado	33			33			33
34	TEM	USADO	34			34			34
35	HUM%	USADO	35			35			35
36	HUM ABS	USADO	37			37			37

En la siguiente tabla se muestran las direcciones de escritura y lectura de los esclavos en el maestro.

DETALLES	ID	DIRECCION	DIR INICIAL	CANTIDAD	TYPO	DIR MASTER	PERIODO	INPUT
Esclavo 1 - Lectura entradas analogicas	0	10	30	7	Read Input Registers	200	100ms	VERDADERO
Esclavo 1 - Escritura de salidas analogicas	1	10	30	1	Write multiples registers	153	100ms	VERDADERO
Esclavo 2 - Lectura entradas analogicas	2	11	30	no	no	210	no	no
Esclavo 2 - Escritura de salidas analogicas	3	11	30	2	Write multiples registers	158	100ms	VERDADERO
Esclavo 3 - Lectura entradas analogicas	4	12	30	7	Read Input Registers	220	100ms	VERDADERO
Esclavo 3 - Escritura de salidas analogicas	5	12	30	no	no	220	no	no
Esclavo 4 - Lectura entradas analogicas	6	13	30	2	Read Input Registers	230	100ms	VERDADERO
Esclavo 4 - Escritura de salidas analogicas	7	13	30	1	Write multiples registers	154	100ms	VERDADERO
Esclavo 5 - Lectura entradas analogicas	8	14	30	7	Read Input Registers	240	100ms	VERDADERO
Esclavo 5 - Escritura de salidas analogicas	9	14	30	no	no	240	no	no
Esclavo 6 - Lectura entradas analogicas	10	15	30	7	Read Input Registers	250	100ms	VERDADERO
Esclavo 6 - Escritura de salidas analogicas	11	15	30	no	no	250	no	no

La tabla de registro en la memoria del maestro (que contiene la lógica de control) queda de la siguiente manera:

ENTRADAS ANALOGICAS		SALIDAS ANALOGICAS		ENTRADAS		SALIDAS DIGITALES	
DIR.	DESCRIPCION	DIR.	DESCRIPCION	DIR.	DESCRIPCION	DIR.	DESCRIPCION
30	Termistor CH1	30	4-20 OUT 1	100	Alarma Humedad APERTURA		
31	Termistor CH2	31	4-20 OUT 2	101	Alarma Humedad MECHERAS		
32	4-20 IN 1	32		102	Empieza a controlar con agua		
33	4-20 IN 2	33		103	Equipo Frio Mode ON		
34	TEM	34					
35	HUM %	35					
36	HUM ABS	36					
151	Set Point Temp Rocío (salida PID0-entrada PID1)	150	Set Point Temp Planta (entrada PID0)				
152	Set Point Temp Mezcla1/Temp Agua (salida PID1-Entrada RATIO0 y RATIO1)	151	Set Point Humedad Planta APERTURA (entrada PID2)				
153	RATIO ventana exterior MEZCLA 1(salida RATIO0)	152	Set Point Humedad Planta MECHERAS (entrada PID3)				
154	RATIO valvula agua (salida RATIO1)						
155	No utilizado						
156	Set Point Humedad MEZCLA 2 APERTURA (salida PID2-entrada RATIO2)						
157	Humedad preinyección MEZCLA 2 APERTURA (salida RATIO2)						
158	RATIO ventana retorno APERTURA (salida RATIO2)						
159	RATIO ventana retorno MECHERAS (salida RATIO3)						
160	Set Point Humedad Mezcla2 MECHERAS (salida PID3-entrada RATIO3)						
161	Humedad preinyección MEZCLA 2 MECHERAS (salida RATIO3)						
162	No utilizado						
163	Humedad Relativa Salida del Lavador						
164	Temperatura MEZCLA 1 (salida PID1)						
165	Temperatura PILETA (salida PID1)						
200	Temperatura Agua Pileta	200					
201	Temperatura Rocío	201					
204	Tbs retorno	204					
205	Hr retorno	205					
206	Habs retorno	206					
224	Tbs exterior	224					
225	Hr exterior	225					
226	Habs exterior	226					
230	Temperatura agua red	230					
231	Temperatura agua fría	231					
244	Tbs Ambiente Apertura	244					
245	Hr Ambiente Apertura	245					
246	Habs Ambiente Apertura	246					
254	Tbs Ambiente Mecheras	254					
255	Hr Ambiente Mecheras	255					
256	Habs Ambiente Mecheras	256					



De la tabla anterior se toman las direcciones para la configuración de los controladores PIDs y RATIOS siguiendo las instrucciones de la página web del controlador multipropósito.



PID 0 - PRINCIPAL TEMPERATURA		
PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
Estado	enable	
Tipo	Automatico	
Salida invertida	Disable	
CONSTANTES		
Cambio de Parámetros	Disable	
Direccion		
KP1	0,1	valor de matlab
KI1	33,33333333	inversa de matlab
KD1	0	
N1	10 mseg	tau de tiempo
KP2	0	
KI2	0	
KD2	0	
N2	0	
SET POINT		
Modo	Disable	Lee desde registro
Tipo	Output Variable Register	
Direccion	150	Reg master Temp planta
Factor de escala	0,01	
Valor Local	0	
PROCESS VALUE		
Tipo	Input Variable Register	
Direccion	244	Sensor Tbs esclavo 5
OUTPUT		
Tipo	Input Variable Register	
Direccion	151	sp temp lav, ent al PID1
Maximo 1	4000	40 grados max
Minimo 1	1000	10 grados minimo
Maximo 2	0	
Minimo 2	0	
PWM		
Periodo	1000	
Direccion	0	
ALARMA 1		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Direccion		
ALARMA 2		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Direccion		
DISPLAY		
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	°C	
Process Value Presicion	x,xx	
Process Value Unidad	°C	



PID 1 - LAVADOR		
PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
Estado	enable	
Tipo	Automatico	
Salida invertida	Disable	
CONSTANTES		
Cambio de Parámetros	salida digital	
Direccion	102	
KP1	2	
KI1	3,33333333	
KD1	0	
N1	10 mseg	
KP2	0,15	
KI2	10	
KD2	0	
N2	10 mseg	
SET POINT		
Modo	Disable	
Tipo	Input	
Direccion	151	
Factor de escala	0,01	
Valor Local	0	
PROCESS VALUE		
Tipo	Input	
Direccion	201	Sensor AVG esclavo 1
OUTPUT		
Tipo	Input	
Direccion	152	sp RATIO 0 y RATIO 1
Maximo 1	4000	
Minimo 1	1000	
Maximo 2	4000	
Minimo 2	1000	
PWM		
Periodo	1000	
Direccion	0	
ALARMA 1		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Direccion		
ALARMA 2		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Direccion		
DISPLAY		
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	°C	
Process Value Presicion	x,xx	
Process Value Unidad	°C	



PID 2 - PRINCIPAL HUMEDAD APERTURA		
PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
Estado	enable	
Tipo	automatico	
Salida invertida	disable	
CONSTANTES		
Cambio de Parámetros	disable	
Direccion		
KP1	1	
KI1	20	
KD1	0	
N1	10 mseg	
KP2	0	
KI2	0	
KD2	0	
N2	10 mseg	
SET POINT		
Modo	Disable	
Tipo	Output	
Direccion	151	
Factor de escala	0,01	
Valor Local	0	
PROCESS VALUE		
Tipo	Input	
Direccion	245	Hum relativa interior
OUTPUT		
Tipo	Input	
Direccion	156	sal PID 2 ent RATIO 2
Maximo 1	10000	
Minimo 1	0	
Maximo 2	0	
Minimo 2	0	
PWM		
Periodo	1000	
Direccion	0	
ALARMA 1		
Estado	enable	
Condicion	PV > 65.00 PV < 50	
Histerisis	1	
Direccion	100	
ALARMA 2		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Direccion		
DISPLAY		
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	%	
Process Value Presicion	x,xx	
Process Value Unidad	%	



PID 3 - PRINCIPAL HUMEDAD MECHERAS		
PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
Estado	enable	
Tipo	automatico	
Salida invertida	disable	
CONSTANTES		
Cambio de Parámetros	disable	
Direccion		
KP1	1	
KI1	20	
KD1	0	
N1	10 mseg	
KP2	0	
KI2	0	
KD2	0	
N2	10 mseg	
SET POINT		
Modo	Disable	
Tipo	Output	
Direccion	152	
Factor de escala	0,01	
Valor Local	0	
PROCESS VALUE		
Tipo	Input	
Direccion	255	
OUTPUT		
Tipo	Input	
Direccion	160	Sal PID 3 ent RATIO 3
Maximo 1	10000	
Minimo 1	0	
Maximo 2	0	
Minimo 2	0	
PWM		
Periodo	1000	
Direccion	0	
ALARMA 1		
Estado	enable	
Condicion	PV > 65.00 PV < 50	
Histerisis	1	
Direccion	101	
ALARMA 2		
Estado	disable	
Condicion		
Histerisis		
Direccion		
DISPLAY		
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	%	
Process Value Presicion	x,xx	
Process Value Unidad	%	



Control RATIO 0 - MEZCLA 1 TEMPERATURA		
PARAMETRO	VALOR/ESTADO	COMENTARIO
Estado	enable	
Entrada 1 Tipo	Input	
Direccion	224	Temp Exterior
Factor de escala	0,01	
Entrada 2 Tipo	Input	
Direccion	204	Temp Retorno
Factor de escala	0,01	
Set Point Tipo	Input	
Set Point Direccion	152	Salida PID 1
Factor de escala	0,01	
FILTRO		
Histerisis		1 grado centigrado
Filtro/Tiempo	10 seg	
SALIDA		
Tipo	Input	
Factor de escala	100	
Direccion	164	Temp MEZCLA 1
Typo Ratio	Input	
Direccion	153	Ratio MEZCLA 1
Maximo	20000	20 miliamper
Minimo	4000	4 miliamper
SATURACION		
Diferencia Positiva	10	
Direccion	0	
Diferencia Negativa	5	
Direccion	102	
DISPLAY		
Imput 1 Presicion	x,xx	
Imput 1 Unidad	°C	
Imput 2 Presicion	x,xx	
Imput 2 Unidad	°C	
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	°C	



Control RATIO 1 - MEZCLA AGUA		
PARAMETRO	VALOR/ESTADO	COMENTARIO
Estado	enable	
Entrada 1 Tipo	Input	
Direccion	230	Temp Agua Red
Factor de escala	0,01	
Entrada 2 Tipo	Input	
Direccion	231	Temp Agua Fria
Factor de escala	0,01	
Set Point Tipo	Input	
Set Point Direccion	152	Salida PID 1
Factor de escala	0,01	
FILTRO		
Histerisis	1	
Filtro/Tiempo	10 seg	
SALIDA		
Tipo	Input	
Factor de escala	100	
Direccion	165	Temp Pileta
Typo Ratio	Input	
Direccion	154	Ratio valvula agua
Maximo	20000	
Minimo	4000	
SATURACION		
Diferencia Positiva	no se usa	
Direccion		
Diferencia Negativa		
Direccion		
DISPLAY		
Imput 1 Presicion	x,xx	
Imput 1 Unidad	°C	
Imput 2 Presicion	x,xx	
Imput 2 Unidad	°C	
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	°C	



Control RATIO 2 - MEZCLA 2 HUMEDAD APERTURA		
PARAMETRO	VALOR/ESTADO	COMENTARIO
Estado	enable	
Entrada 1 Tipo	Input	
Direccion	205	Hrelativa Retorno
Factor de escala	0,01	
Entrada 2 Tipo	Input	
Direccion	163	Hrelativa Lavador
Factor de escala	0,01	
Set Point Tipo	Input	
Set Point Direccion	156	Salida PID 2
Factor de escala	0,01	
FILTRO		
Histerisis	1	por ciento de hr
Filtro/Tiempo	10 seg	
SALIDA		
Tipo	Input	
Factor de escala	100	
Direccion	157	Humedad MEZCLA 2 AP
Typo Ratio	Input	
Direccion	158	Ratio MEZCLA 2 AP
Maximo	20000	
Minimo	4000	
SATURACION		
Diferencia Positiva	no se usa	
Direccion		
Diferencia Negativa		
Direccion		
DISPLAY		
Imput 1 Presicion	x,xx	
Imput 1 Unidad	%	
Imput 2 Presicion	x,xx	
Imput 2 Unidad	%	
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	%	



Control RATIO 3 - MEZCLA 2 HUMEDAD MECHERAS		
PARAMETRO	VALOR/ESTADO	COMENTARIO
Estado	enable	
Entrada 1 Tipo	Input	
Direccion	205	
Factor de escala	0,01	
Entrada 2 Tipo	Input	
Direccion	163	
Factor de escala	0,01	
Set Point Tipo	Input	
Set Point Direccion	160	
Factor de escala	0,01	
FILTRO		
Histerisis		1 por ciento de hr
Filtro/Tiempo	10 seg	
SALIDA		
Tipo	Input	
Factor de escala	100	
Direccion	161	
Typo Ratio	Input	
Direccion	159	
Maximo	20000	
Minimo	4000	
SATURACION		
Diferencia Positiva	no se usa	
Direccion		
Diferencia Negativa		
Direccion		
DISPLAY		
Imput 1 Presicion	x,xx	
Imput 1 Unidad	%	
Imput 2 Presicion	x,xx	
Imput 2 Unidad	%	
Set Point Presicion	x,xx	
Set Point Unidad	%	



ANEXO VI DETALLE DE PRESUPUESTO

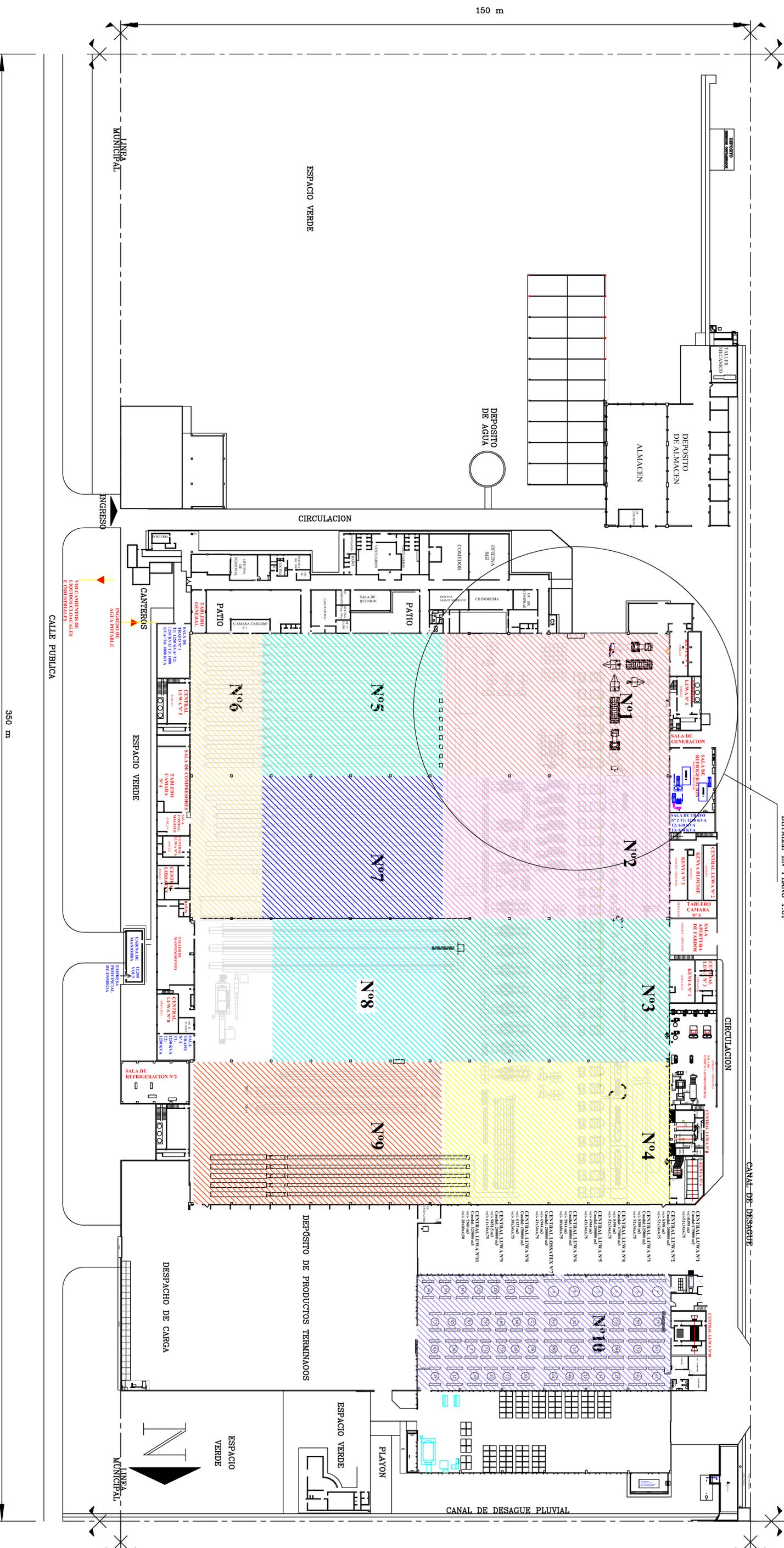
LISTA DE MATERIALES Y COSTO PARA EL MONTAJE DE LA SOLUCIÓN

Se detalla a valores actuales, los costos necesarios de inversión para las dos alternativas propuestas.

ALTERNATIVA I						
	Características	Modelo	Marca	Cant.	Precio Unit.	Precio Total
Sensor de Temperatura Promedio	ATS 10K TIPO III NTC - Largo capilar 24 pies	TE-AAG-A2434-00	DWYER	1	168	\$ 168,00
Sensor de Temperatura Pileta	PT1000 3 hilos vaina inox Ø6.35x200mm + rosca inox. 1/4"bsp		KDK Argentina	1	61	\$ 61,00
Sensor de Temperatura para Cañería	PT1000 3 hilos vaina inox Ø6.35x50mm + rosca inox. 1/4"bsp+ cabezal 1/2" inox con tapa		Grupo Sur	2	141	\$ 282,00
Controlador Multiproposito con Fuente y Sensor ambiente		SG10	RECOTECH	7	460	\$ 3.220,00
Reguladores electro neumaticos	entrada 4-20 ma salida 2-20 psi	PC 13	EAS	8	522	\$ 4.176,00
Cables sensores-controlador	Tipo taller TPR 3x0,75 mm2			15	0,2	\$ 3,00
Cables controlador-regulador de presion	Tipo taller TPR 2x1 mm2			50	0,2	\$ 10,00
Cables Alimentacion de Controladores	Tipo taller TPR 3x1,5 mm2			100	0,55	\$ 55,00
Caño Rígido para electricidad	3 metros - PVC - Diam 3/4 pulgadas			20	3,22	\$ 64,40
Curva Caño PVC	Curva 90° - PCV - Diam 3/4 pulgadas			25	0,75	\$ 18,75
SopORTE Caño PVC	Montante - PVC - Diam 3/4 pulgadas			50	0,15	\$ 7,50
					Total u\$s	\$ 8.065,65

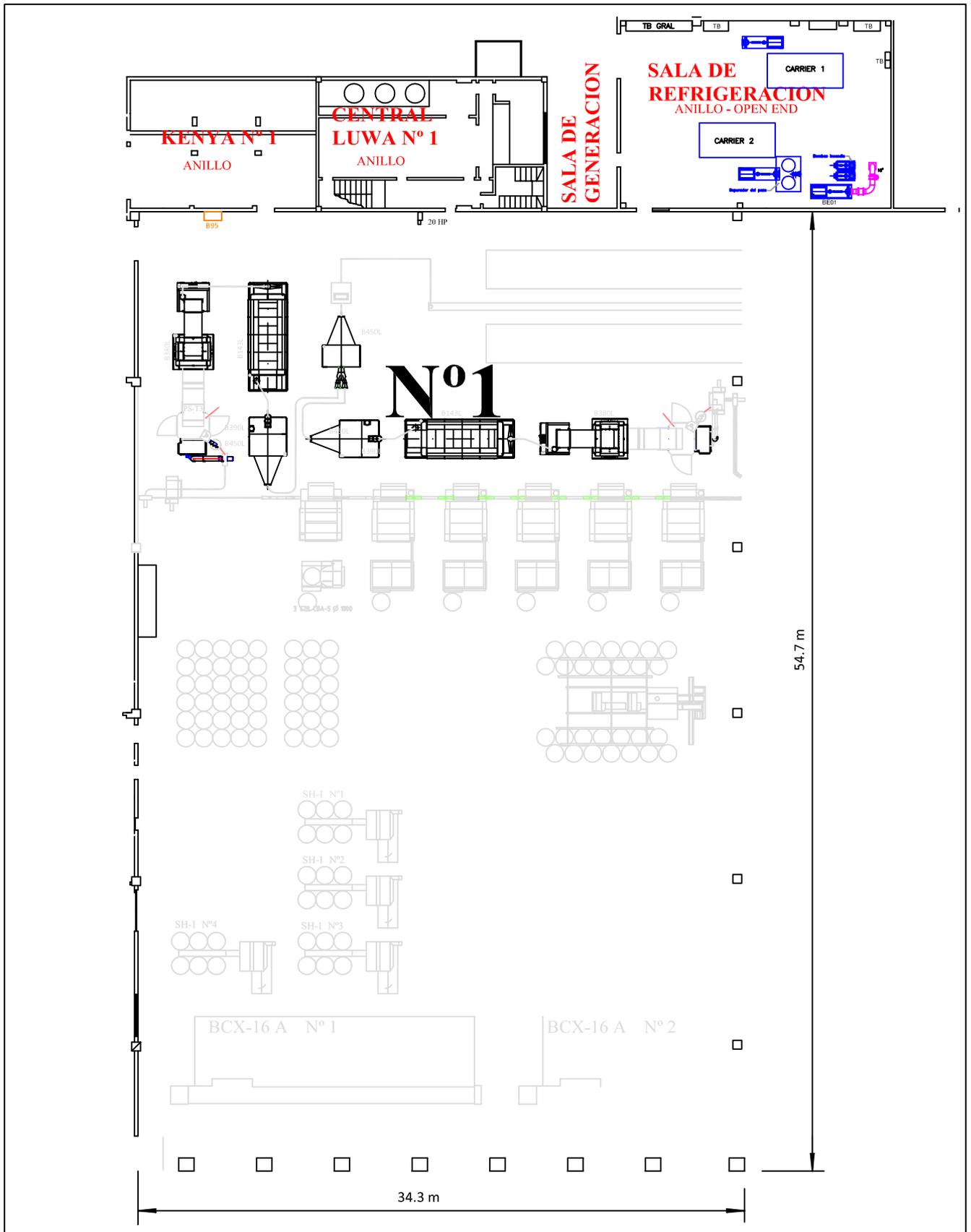
ALTERNATIVA II						
	Características	Modelo	Marca	Cant.	Precio Unit.	Precio Total
Sensor de Temperatura Promedio	ATS 10K TIPO III NTC - Largo capilar 24 pies	TE-AAG-A2434-00	DWYER	1	168	\$ 168,00
Sensor de Temperatura Pileta	PT1000 3 hilos vaina inox Ø6.35x200mm + rosca inox. 1/4"bsp		KDK Argentina	1	61	\$ 61,00
Sensor de Temperatura para Cañería	PT1000 3 hilos vaina inox Ø6.35x50mm + rosca inox. 1/4"bsp+ cabezal 1/2" inox con tapa		Grupo Sur	2	141	\$ 282,00
Servo Electrico, fuente, montantes	Servo input 4-20 ma 100 lbf	A2PZ9B-B0M1E3	Ultra Motion	8	3215	\$ 25.720,00
Controlador Multiproposito con Fuente y Sensor ambiente		SG10	RECOTECH	7	460	\$ 3.220,00
Cable sensores-controlador	Tipo taller TPR 3x0,75 mm2			15	0,2	\$ 3,00
Cables controlador-servo	Tipo taller TPR 2x1 mm2			35	0,2	\$ 7,00
Cables Alimentacion de Controladores y servos	Tipo taller TPR 3x2,5 mm2			150	0,6	\$ 90,00
Caño Rígido para electricidad	3 metros - PVC - Diam 3/4 pulgadas			20	3,22	\$ 64,40
Curva Caño PVC	Curva 90° - PCV - Diam 3/4 pulgadas			25	0,75	\$ 18,75
SopORTE Caño PVC	Montante - PVC - Diam 3/4 pulgadas			50	0,15	\$ 7,50
					Total u\$s	\$ 29.641,65

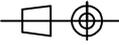
150 m

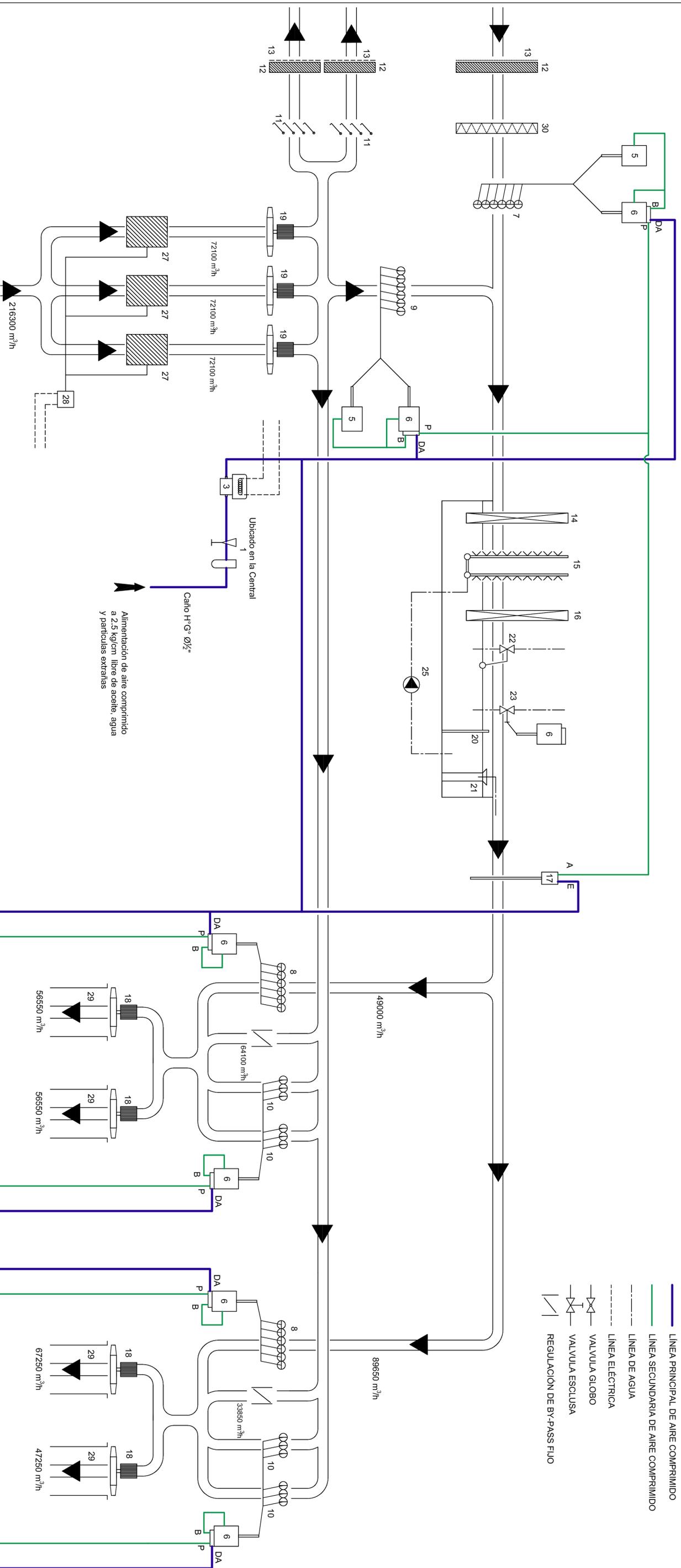


DETALLE EN PLANO 1.01

DB	Fecha	Nombre	 UTN - FRRQ Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmósfera controlada
RBO	10/05/2017	Fig. E. Control		
ADC		Fig. E. Análisis		
Esc.	SIE			Plano base perteneciente a la firma dibujado por Cristian Salguy
Tol.	PLANO GENERAL DEL COMPLEJO INDUSTRIAL			Plano N° 1



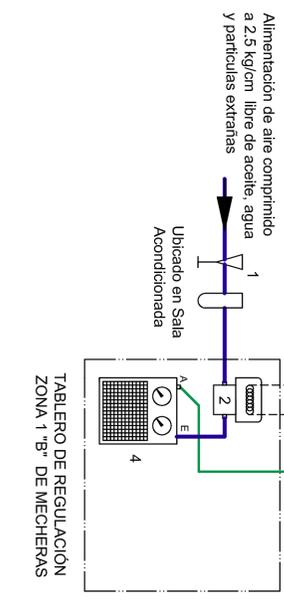
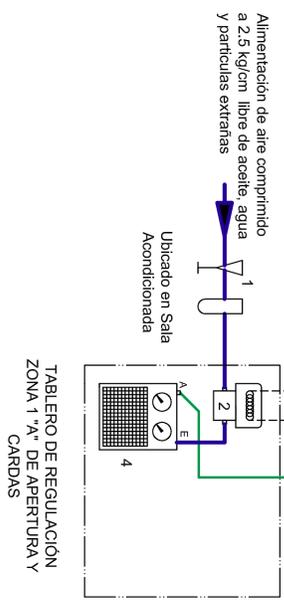
	Fecha	Nombre	 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
	Dib.	10-09-19		
	Rev.		Ing. G. Colman	
	Apr.		Ing. E. Antón	
Esc.	S/E	DETALLE DIMENSIONES AREA CETRAL DE CLIMATIZACION 1		Plano base perteneciente a la firma dibujado por Cristian Suligoy
				Plano N° 1.1
	Tol.			



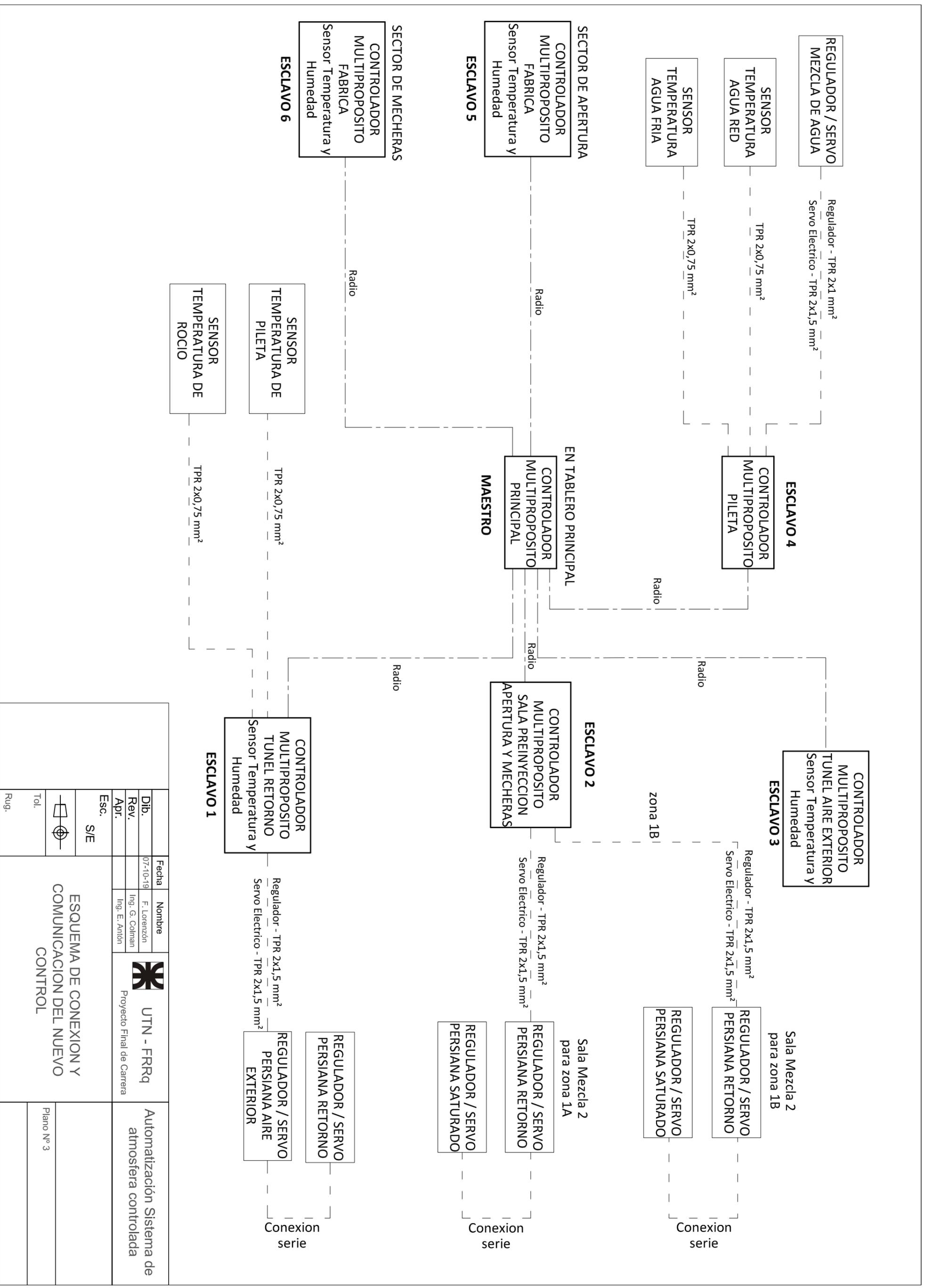
- LINEA PRINCIPAL DE AIRE COMPRIMIDO
- LINEA SECUNDARIA DE AIRE COMPRIMIDO
- - - LINEA DE AGUA
- - - LINEA ELÉCTRICA
- VALVULA GLOBO
- VALVULA ESCLUSIVA
- REGULACION DE BY-PASS FLUO

REFERENCIAS:

- 1 FILTRO CICLONICO Y VALVULA REDUCTORA
- 2 VALVULA SOLENOIDE DE 3 VIAS Ø½"
- 3 VALVULA SOLENOIDE DE 3 VIAS Ø½"
- 4 HIGROSTATO HS64 ACCION RA
- 5 SERVO MOTOR SM63 (SIN RELAY)
- 6 SERVO MOTOR SM63 CON RELAY)
- 7 PERSIANA DE AIRE EXTERIOR (sin presión cerrada)
- 8 PERSIANA DE LAVADOR (sin presión cerrada)
- 9 PERSIANA DE RECIRCULACION (sin presión abierta)
- 10 PERSIANA DE BY-PASS (sin presión abierta)
- 11 PERSIANA CONTRA TORMENTAS
- 12 GRILLA CONTRA PÁJAROS
- 13 ENDERAZADOR DE FLUJO DE AIRE
- 15 BANCO DE PICOS
- 16 ELIMINADOR DE GOTAS
- 17 TERMOSTATO DE PUNTO DE ROCIO ST56
- 18 VENTILADOR DE INYECCION B-410/1000
- 19 VENTILADOR DE RETORNO B-410/1120
- 20 FILTROS DE AGUA WDF (automatico)
- 21 TUBO DE DESBORDE
- 22 VALVULA CON FLOTANTE AGUA RED Ø1"
- 23 VALVULA ESCLUSIVA AGUA REFRIGERADA
- 24 ...
- 25 BOMBA CENTRIFUGA DE AGUA
- 26 VALVULA GLOBO Ø½" ASIENTO DE FIBRA ASA 150
- 27 FILTRO DE AIRE LDF 20/34
- 28 PRESOSTATO DEL FILTRO LDF
- 29 CONDUCTO DE DISTRIBUCION DE AIRE
- 30 FILTRO DE AIRE EXTERIOR

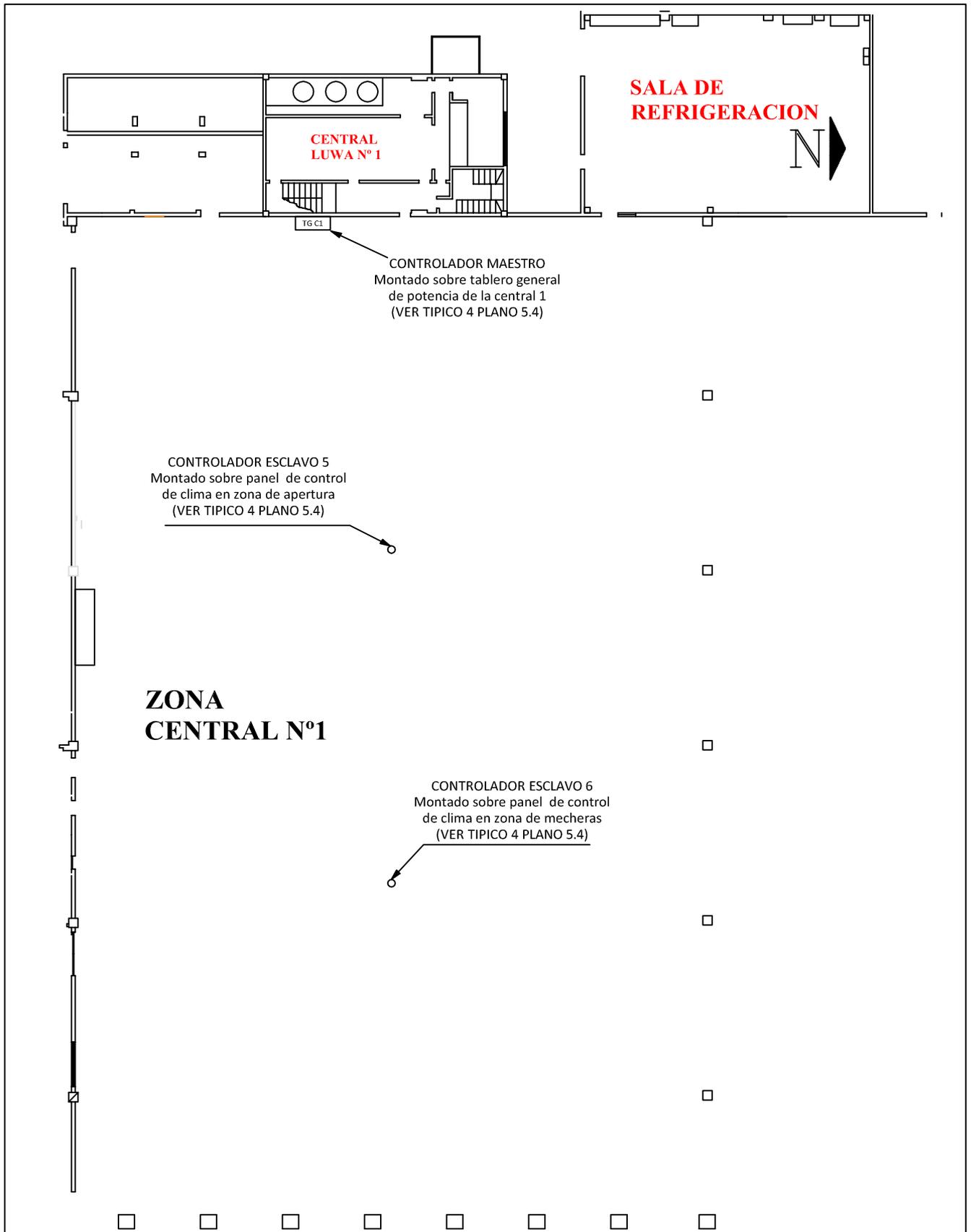


DB:	Fecha:	Nombre:	UTN - FRRq	Automatización Sistema de
RBO:	10/07/14	Ing. S. Cornejo	Proyecto Final de Carrera	atmósfera controlada
ADC:		Ing. E. Avior		
Esc:				
S/E				
ESQUEMA ACTUAL DE REGULACION AUTOMÁTICA DE LA CENTRAL 1				Plano N° 2
Tal:				
Reg:				

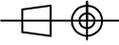


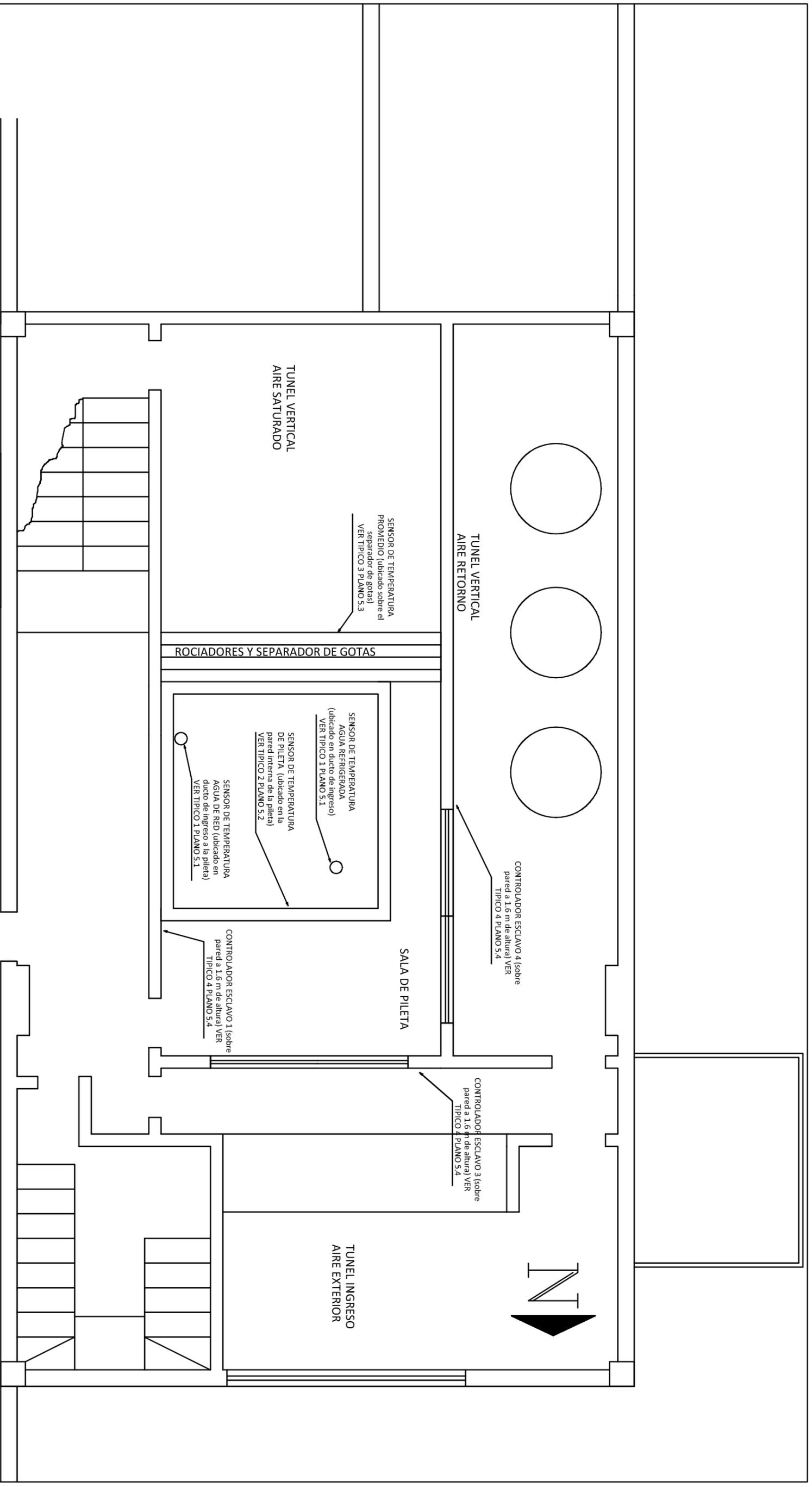
Esc.		S/E			ESQUEMA DE CONEXION Y COMUNICACION DEL NUEVO CONTROL	UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
Dib.	07-10-19	Nombre					
Rev.		F. Lorenzón					
Apr.		Ing. G. Colman					
Esc.		Ing. E. Antón					
Tol.							
Rug.							

Plano Nº 3



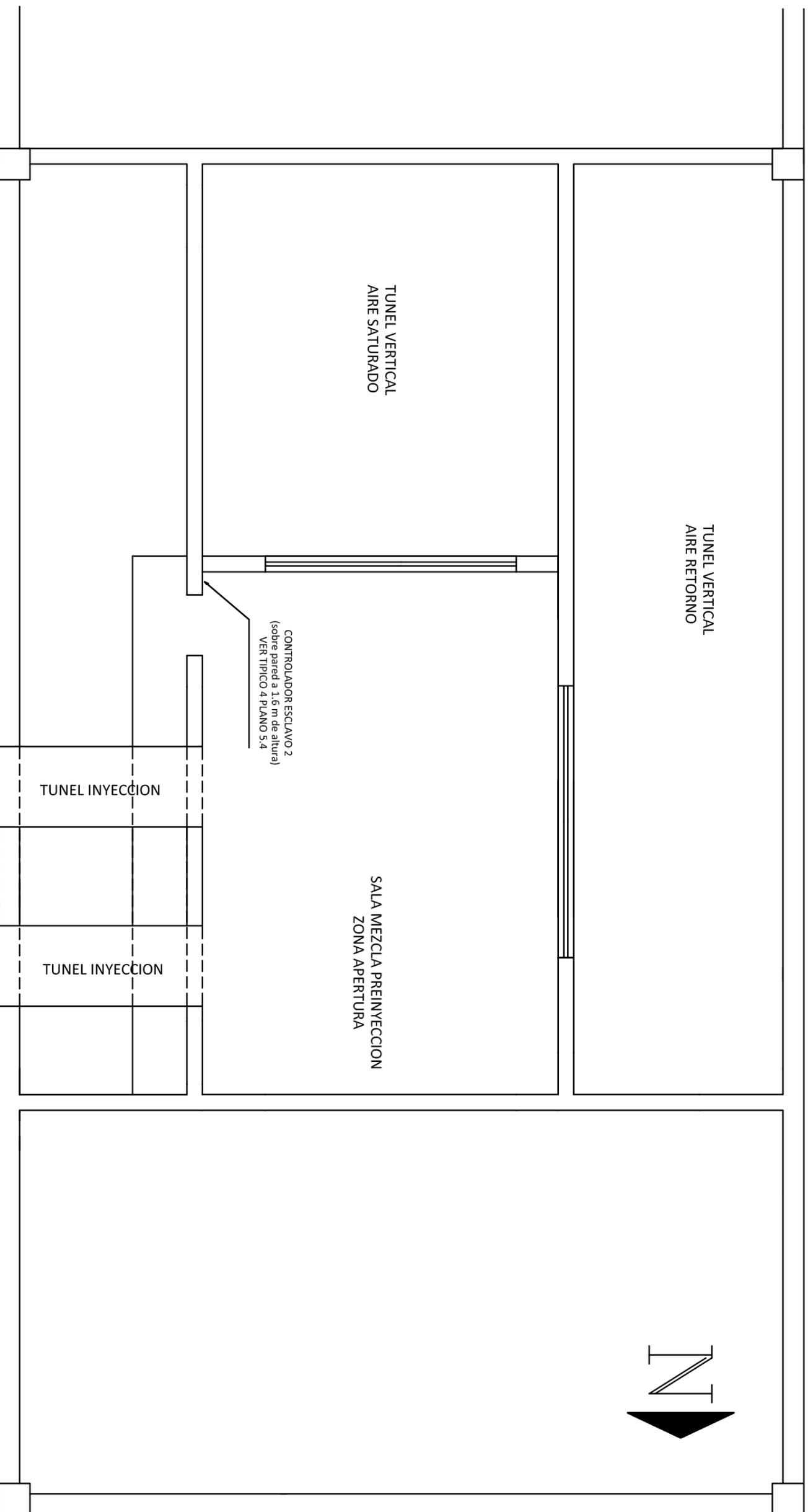
ZONA CENTRAL Nº1

	Fecha	Nombre	 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
Dib.	01-02-20	F. Lorenzón		
Rev.		Ing. J.P.Suligoy		
Apr.		Ing. E. Antón		
Esc.	DETALLE UBICACION CONTROLADOR MAESTRO, ESCLAVO 5 Y ESCLAVO 6			
S/E				
				
Tol.				Plano Nº 4.1



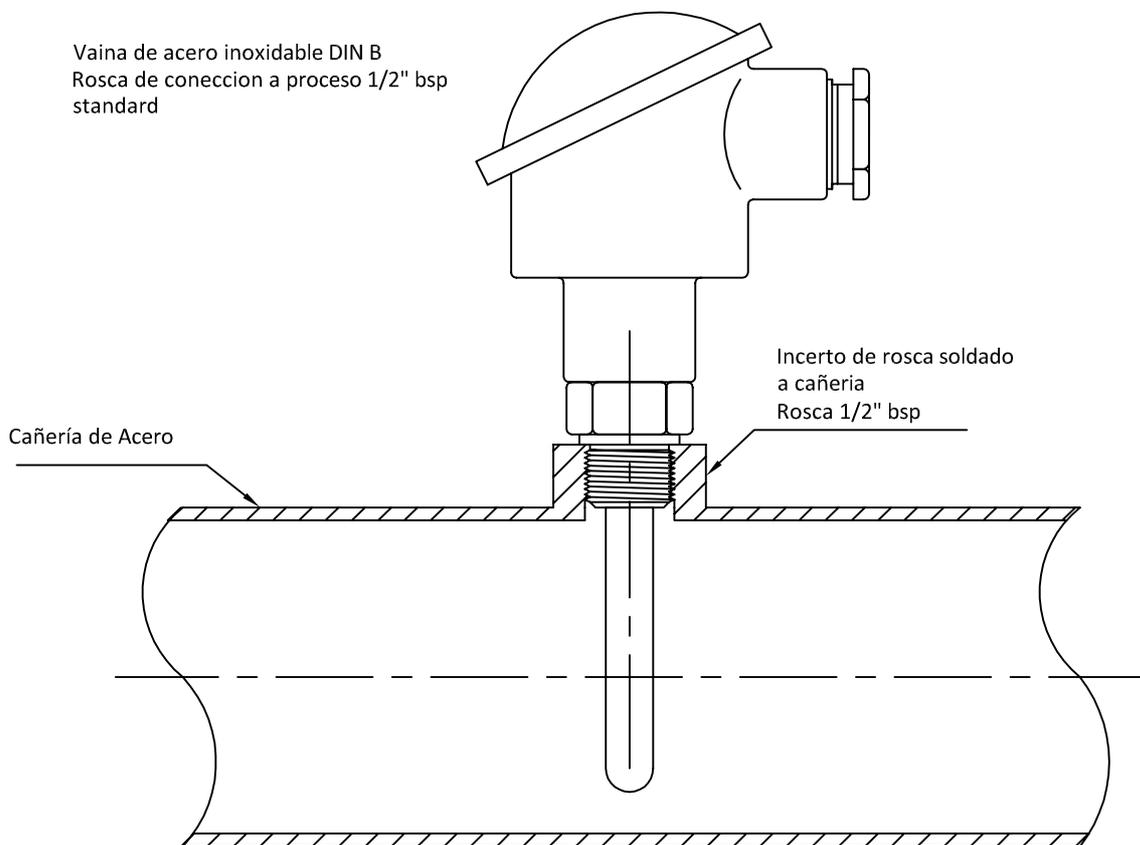
TG C1

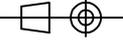
Esc. S/E		Fecha		Nombre		 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
Dib.		02-02-20		F. Lorenzón			
Rev.				Ing. J.P. Suligoy			
Apt.				Ing. E. Antón			
DETALLE UBICACION				Plano Nº 4.2			
CONTROLADORES Y SENSORES							
CENTRAL 1 PLANTA BAJA							



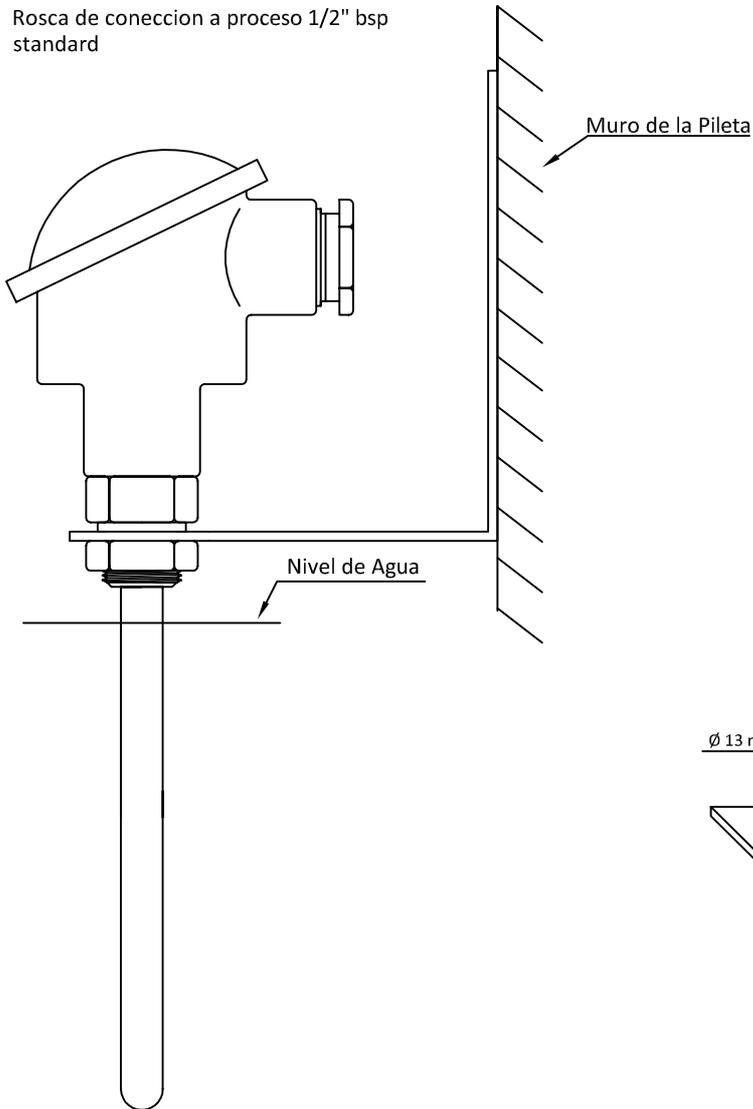
UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera		Automatización Sistema de atmósfera controlada	
Fecha 02-02-20	Nombre F. Lorenzón Ing. J.P. Suligoy Ing. E. Antón	DETALLE UBICACION CONTROLADORES Y SENSORES CENTRAL 1 PRIMER PISO	
Dib. Rev. Apr. Esc.	S/E	Plano N° 4.3	
			
Tol.			

Vaina de acero inoxidable DIN B
Rosca de conexión a proceso 1/2" bsp standard

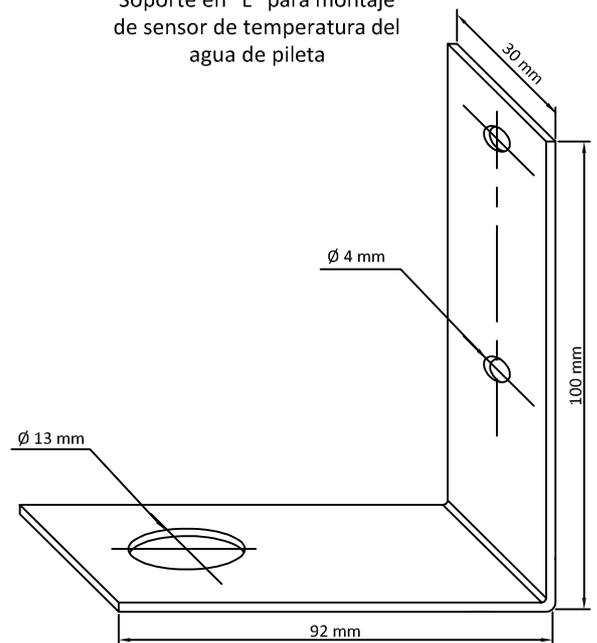


		Fecha	Nombre	 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
Dib.	03-02-20	F. Lorenzón			
Rev.		Ing. J.P.Suligoy			
Apr.		Ing. E. Antón			
Esc.	S/E	TIPICO 1 DE MONTAJE SENSOR DE TEMPERATURA EN CAÑERÍA DE ACERO			
					Plano N° 5.1
Tol.					

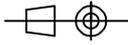
Vaina de acero inoxidable DIN B
Rosca de conexión a proceso 1/2" bsp
standard



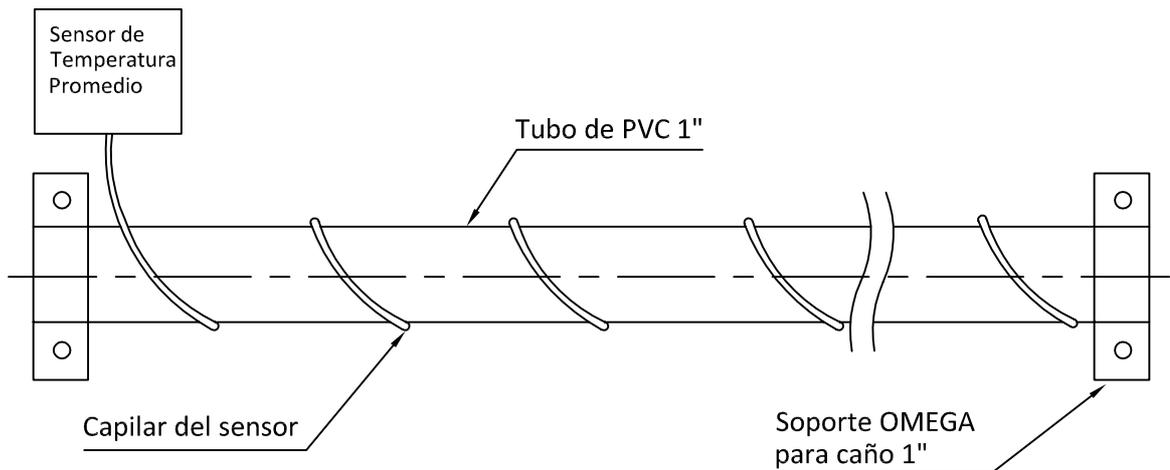
Soporte en "L" para montaje
de sensor de temperatura del
agua de pileta



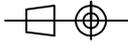
- Fijación del soporte a la pared con dos tornillos y dos tacos para ladrillos.
- Utilizar una tuerca de 1/2" rosca bsp para fijar la vaina al soporte en "L"

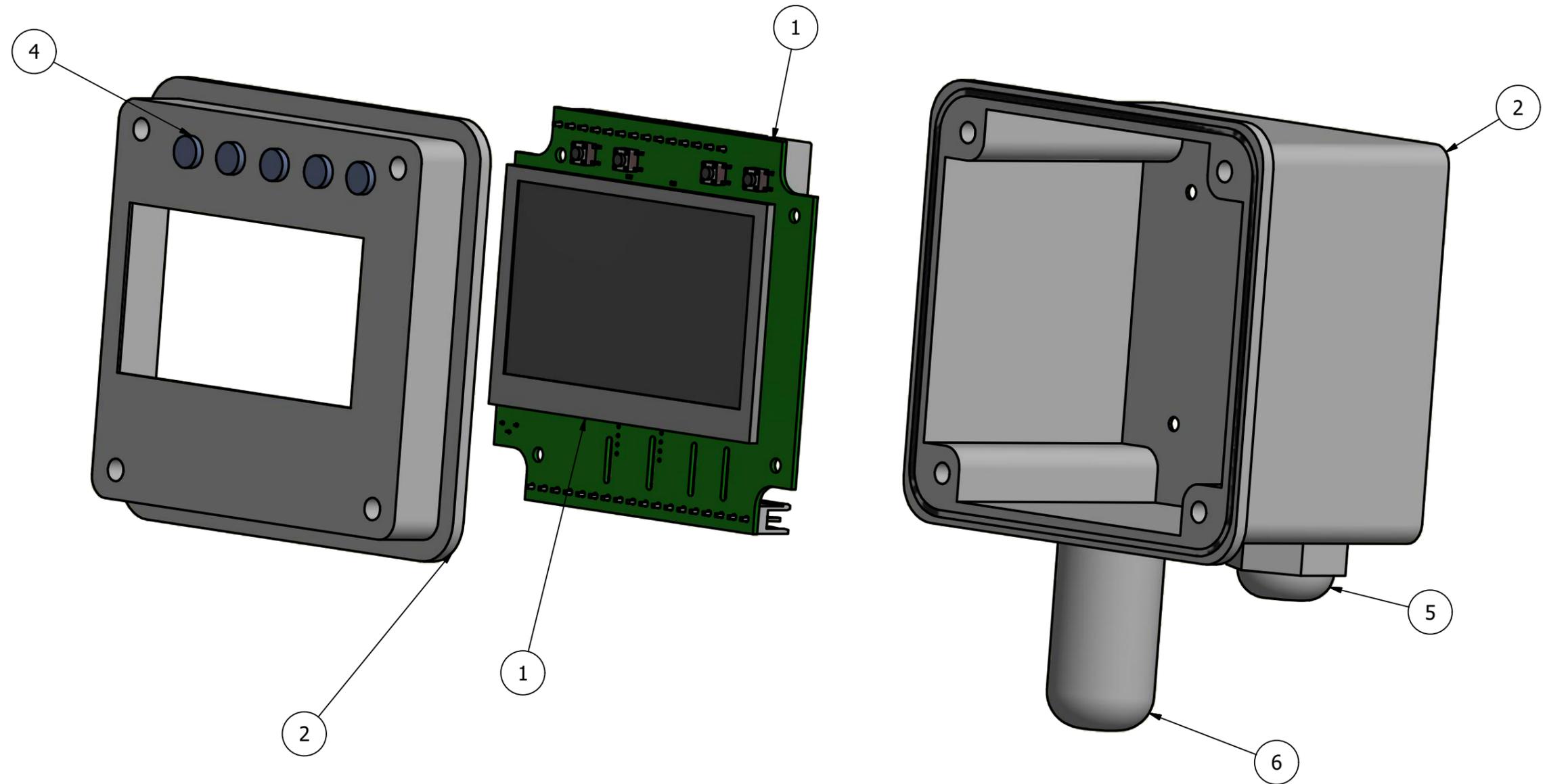
	Fecha	Nombre	 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
Dib.	03-02-20	F. Lorenzón		
Rev.		Ing. J.P Suligoy		
Apr.		Ing. E. Antón		
Esc.	TIPICO 2 DE MONTAJE SENSOR DE TEMPERATURA EN PILETA			
S/E				
				
Tol.				
				Plano N° 5.2

El sensor de temperatura promedio debe ir colocado delante del separador de gotas separado 100 mm del panel del separador evitando el contacto con gotas de agua. De esta manera las grampas OMEGAS deben ir sobre el marco del separador para garantizar la distancia antes mencionada.



- Arroyar en forma espiralada sobre el tubo de PVC por toda la longitud del separador de gotas
- Fijacion del tubo con grampas omegas a la estructura del separador de gotas con tornillos para acero estructural.

	Fecha	Nombre	 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmosfera controlada
Dib.	03-02-20	F. Lorenzón		
Rev.		Ing. J.P Suligoy		
Apr.		Ing. E. Antón		
Esc.	TIPICO 3 DE MONTAJE SENSOR DE TEMPERATURA PROMEDIO			
 S/E				Plano N° 5.3
Tol.				



El fondo de la base del gabinete cuenta con 4 perforaciones de 3mm de diametro para su montaje

Para colocar el controlador esclavo 5 y 6 y el maestro sobre una superficie metálica utilizar bulonería correspondiente

Para montar los controladores esclavos 1,2,3 y 4 en pared de ladrillos utilizar bulonería y montantes adecuados

N° de Pieza	Elemento
1	PCB del Controlador
2	Pantalla Tactil
3	Gabinete Estanco
4	Botonera
5	Entrada y salida de conductores
6	Proteccion para el sensor de ambiente

	Fecha	Nombre	 UTN - FRRq Proyecto Final de Carrera	Automatización Sistema de atmósfera controlada
Dib.	04/02/20	F. Lorenzón		
Rev.		Ing. J.P.Suligoy		
Apr.		Ing. D. Antón		
TIPICO 4 DE MONTAJE INSTALACION DEL CONTROLADOR MULTIPROPOSITO				
				Plano n°: 5.4