

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“CONTROL AUTOMÁTICO DE SISTEMAS DE AIRE  
ACONDICIONADO CON PLC´s”**

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

**FREDY LEONARDO TORRES PUCACHAQUI**

**DIRECTOR: ING. CLAUDIO ÁLVAREZ**

**Quito, Enero 2008**

## DECLARACIÓN

Yo, Fredy Leonardo Torres Pucachaqui, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**Fredy Leonardo Torres Pucachaqui**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fredy Leonardo Torres Pucachaqui, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Claudio Álvarez**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, por su apoyo incondicional

A mi familia, por toda su comprensión

Al Ing. Claudio Álvarez, por sus valiosos consejos

Al Ing. Adrián Peña y al Dr. Álvaro Aguinaga

por su desinteresada colaboración

## DEDICATORIA

A mi madre  
A mi padre  
A mis hermanos  
y sobrinos

## CONTENIDO

|   |          |
|---|----------|
| <b>CAPITULO I .....</b>   | <b>1</b> |
| <b>GENERALIDADES SOBRE EL AIRE ACONDICIONADO.....</b>           | <b>1</b> |
| 1.1. AIRE ACONDICIONADO.....                                    | 1        |
| 1.2. PARÁMETROS PARA CONFORT HUMANO .....                       | 2        |
| 1.3. SICROMETRIA .....  | 4        |
| 1.3.1. PROPIEDADES DEL AIRE .....                               | 4        |
| 1.3.2. CARTA SICROMÉTRICA .....                                 | 6        |
| 1.3.2.1. Líneas de Procesos en la Carta Sicrométrica.....       | 8        |
| 1.3.2.1.1. Cambios de Calor Sensible .....                      | 8        |
| 1.3.2.1.2. Variaciones de Calor Latente.....                    | 8        |
| 1.3.2.1.3. Variación combinada de calor sensible y latente..... | 9        |
| 1.3.2.2. Proceso de Mezcla de aire .....                        | 10       |
| 1.3.3. FACTOR DE CALOR SENSIBLE DEL LOCAL.....                  | 11       |
| 1.3.4. EVOLUCIÓN DEL AIRE EN EL SERPENTÍN.....                  | 12       |
| 1.3.5. FACTOR DE CONTACTO Y FACTOR DE DESVIACIÓN (Bypass).....  | 13       |
| 1.3.6. TEMPERATURA EQUIVALENTE DE SUPERFICIE.....               | 14       |
| 1.3.7. FACTOR DE CALOR SENSIBLE EFECTIVO (FCSE).....            | 16       |
| 1.3.8. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO .....                           | 17       |
| 1.3.9. RECALENTAMIENTO.....                                     | 18       |
| 1.3.10. GANANCIAS DE CALOR EN EL VENTILADOR.....                | 19       |
| 1.4. PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DEL AIRE .....                  | 20       |
| 1.4.1. ENFRIAMIENTO:.....                                       | 20       |
| 1.4.2. CALENTAMIENTO:.....                                      | 21       |
| 1.4.3. HUMIDIFICACIÓN: .....                                    | 22       |
| 1.4.4. DESHUMIDIFICACIÓN.....                                   | 23       |
| 1.5. REFERENCIAS.....   | 24       |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPITULO II .....</b>   | <b>25</b> |
| <b>SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO .....</b>                                | <b>25</b> |
| 2.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA .....                                       | 27        |
| 2.2. TIPOS DE SISTEMAS .....   | 28        |
| 2.2.1. SISTEMAS DE EXPANSIÓN DIRECTA.....                                  | 28        |
| 2.2.1.1. Ventajas.....   | 29        |
| 2.2.1.2. Desventajas.....  | 29        |
| 2.2.2. SISTEMAS TODO - AGUA.....   | 30        |
| 2.2.2.1. Ventajas.....   | 31        |
| 2.2.2.2. Desventajas.....  | 31        |
| 2.2.3. SISTEMAS TODO - AIRE.....   | 32        |
| 2.2.3.1. Sistemas de Conducto Único .....                                  | 32        |
| 2.2.3.1.1. Sistema de Conducto Único y Volumen Constante .....             | 32        |
| 2.2.3.1.2. Sistema de Conducto Único y Volumen de Aire Variable (VAV)..... | 34        |
| 2.2.3.2. Sistemas de Conducto Dual.....                                    | 36        |
| 2.2.3.2.1. Sistemas de Conducto Dual.....                                  | 36        |
| 2.2.3.2.2. Sistemas de Conducto Dual Multizona.....                        | 37        |
| 2.2.3.3. Ventajas.....   | 38        |
| 2.2.3.4. Desventajas.....  | 39        |
| 2.2.4. SISTEMAS AIRE - AGUA.....   | 39        |
| 2.2.4.1. Sistemas de 2 Tuberías .....                                      | 40        |
| 2.2.4.2. Sistemas de 3 Tuberías .....                                      | 41        |
| 2.2.4.3. Sistemas de 4 Tuberías .....                                      | 42        |
| 2.2.4.4. Ventajas.....   | 42        |
| 2.2.4.5. Desventajas.....  | 43        |
| 2.2.5. BOMBAS DE CALOR.....  | 44        |
| 2.2.5.1. Ventajas.....   | 45        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.5.2. Desventajas.....   | 46        |
| 2.2.6. APLICACIONES.....  | 46        |
| 2.3. REFERENCIAS.....   | 48        |
| <b>CAPITULO III .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>SISTEMAS DE CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO .....</b>   | <b>49</b> |
| 3.1. SICROMETRÍA DEL CONTROL DE CARGA PARCIAL.....  | 49        |
| 3.1.1. ESTUDIO DE LA CARGA PARCIAL.....   | 50        |
| 3.1.2. CONTROL DE CARGA PARCIAL.....  | 51        |
| 3.1.2.1. Control de Recalentamiento.....  | 51        |
| 3.1.2.2. Control de Desviación.....   | 52        |
| 3.1.2.3. Control de Volumen Variable de Aire.....   | 53        |
| 3.1.2.4. Control por “Todo o nada” del Equipo Impulsor de Aire.....                                   | 54        |
| 3.1.2.5. Control por “todo o nada” del Equipo de Refrigeración.....                                   | 54        |
| 3.1.2.6. Control de la Capacidad de Refrigeración.....  | 55        |
| 3.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....  | 56        |
| 3.2.1. SEÑAL DADA POR LA TEMPERATURA DEL LOCAL PARA EL<br>CONTROL .....                               | 56        |
| 3.2.1.1. Control a través del Sistema de Enfriamiento y Sistema de Calefacción... 56                  |           |
| 3.2.1.2. Control de Flujo mediante Válvulas.....  | 57        |
| 3.2.1.3. Control de Compuertas .....  | 58        |
| 3.2.1.4. Control de Compuertas de Mezcla de Aire.....   | 58        |
| 3.2.1.5. Control de Compuertas de Superficie y Desviación .....                                       | 59        |
| 3.2.2. SEÑAL DADA POR EL AIRE EXTERIOR PARA EL CONTROL.....   | 59        |
| 3.2.2.1. Control mediante la determinación de las propiedades de Aire Exterior<br>y de Retorno.....   | 59        |
| 3.2.2.2. Reajuste del Valor de una variable en un Sensor por medio de la<br>Temperatura Exterior..... | 61        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.3. SEÑAL DADA POR EL MEDIO DE CALEFACCIÓN O ENFRIAMIENTO<br>PARA EL CONTROL..... | 63        |
| 3.2.4. CONTROL DE HUMEDAD.....   | 63        |
| 3.3. SISTEMAS DE CONTROL TOTAL.....  | 64        |
| 3.4. REFERENCIAS.....  | 67        |
| <b>CAPITULO IV .....</b>   | <b>68</b> |
| <b>AUTÓMATAS PROGRAMABLES PLC'S.....</b>   | <b>68</b> |
| 4.1. AUTÓMATAS PROGRAMABLES.....   | 70        |
| 4.2. ESTRUCTURA BÁSICA.....  | 72        |
| 4.3. ¿CÓMO FUNCIONA UN PLC?.....   | 80        |
| 4.3.1. LECTURA DE ENTRADAS.....  | 81        |
| 4.3.2. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL.....  | 81        |
| 4.3.3. ESCRITURAS DE SALIDAS.....  | 82        |
| 4.3.4. TAREAS INTERNAS.....  | 82        |
| 4.4. PROGRAMACIÓN DEL AUTÓMATA.....  | 83        |
| 4.4.1. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....  | 84        |
| 4.4.1.1. Lenguajes Booléanos y Lista de Instrucciones.....                           | 85        |
| 4.4.1.2. Lenguaje de Diagrama de Contactos.....                                      | 88        |
| 4.4.1.3. Lenguaje Plano de Funciones.....  | 91        |
| 4.4.1.4. Lenguajes de Alto Nivel.....  | 95        |
| 4.4.2. DESARROLLO DE PROGRAMAS PARA PLC's.....                                       | 99        |
| 4.4.2.1. Programa N° 1.....  | 102       |
| 4.4.2.2. Programa N° 2.....  | 105       |
| 4.4.2.3. Programa N° 3.....  | 106       |
| 4.4.2.4. Programa N° 4.....  | 107       |
| 4.4.2.5. Programa N° 5.....  | 109       |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 4.4.2.6.  | Programa N° 6.....   | 113        |
| 4.4.2.7.  | Programa N° 7.....   | 116        |
| 4.4.2.8.  | Programa N° 8.....   | 118        |
| 4.4.2.9.  | Programa N° 9.....   | 121        |
| 4.4.2.10.   | Programa N° 10.....  | 124        |
| 4.5.  | CRITERIOS DE SELECCIÓN.....  | 131        |
| 4.5.1.  | CRITERIOS CUANTITATIVOS.....   | 131        |
| 4.5.2.  | CRITERIOS CUALITATIVOS.....  | 133        |
| 4.6.  | REFERENCIAS.....   | 135        |
| <b>CAPITULO V</b>                                       | <b>.....</b>   | <b>136</b> |
| <b>AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO</b> | <b>.....</b>   | <b>136</b> |
| 5.1.  | ÁUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA N° 1.....   | 137        |
| 5.1.1.  | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....   | 137        |
| 5.1.2.  | DETERMINAR QUE DEBE HACER EL SISTEMA DE CONTROL Y EN QUE<br>ORDEN.....   | 137        |
| 5.1.3.  | IDENTIFICAR LOS COMPONENTES (SEÑALES) DE ENTRADA Y SALIDA<br>AL AUTÓMATA.....  | 140        |
| 5.1.4.  | REPRESENTAR MEDIANTE UN MODELO EL SISTEMA DE CONTROL,<br>INDICANDO TODAS LAS FUNCIONES QUE INTERVIENEN, LAS<br>RELACIONES ENTRE ELLAS Y LA SECUENCIA QUE DEBEN SEGUIR. | 141        |
| 5.1.4.1.  | Establecer el Estado del Clima.....  | 142        |
| 5.1.4.2.  | En el Invierno.....  | 143        |
| 5.1.4.2.1.  | Forma de Acondicionar el Aire en el Invierno.....  | 144        |
| 5.1.4.2.2.  | Invierno Seco (Calentamiento y Humidificación).....  | 144        |
| 5.1.4.2.3.  | Invierno Húmedo (Solo Calentamiento).....  | 148        |
| 5.1.4.2.4.  | Invierno con Humedad Especifica cercana al valor de Humedad de<br>Confort.....   | 148        |
| 5.1.4.3.  | En el Verano.....  | 152        |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1.4.3.1. Forma de Acondicionar el Aire en el Verano .....  | 153 |
| 5.1.4.3.2. Determinación del Estado de mezcla R.....   | 156 |
| 5.1.4.3.3. Determinación del Estado de Suministro P adecuado para el Local.....  | 148 |
| 5.1.5. ASIGNAR DIRECCIONES DE ENTRADA/SALIDA A CADA UNO DE LOS<br>COMPONENTES QUE APARECEN EN EL MODELO.....   | 168 |
| 5.1.5.1. Entradas.....   | 168 |
| 5.1.5.2. Salidas.....  | 168 |
| 5.1.6. CODIFICAR LA REPRESENTACIÓN EN INSTRUCCIONES O SIMBOLOS<br>INTELIGIBLES POR LA UNIDAD DE PROGRAMACIÓN.....  | 169 |
| 5.1.6.1. Ecuaciones para Calcular la Presión de Saturación de Líquido.....   | 171 |
| 5.1.6.2. Valores de Diseño.....  | 172 |
| 5.1.7. SIMULACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL Nº 1 .....   | 216 |
| 5.1.7.1. Invierno Seco.....  | 216 |
| 5.1.7.2. Invierno con Humedad Especifica similar a la de Diseño .....  | 218 |
| 5.1.7.3. Invierno Húmedo.....  | 219 |
| 5.1.7.4. Verano.....   | 221 |
| 5.2. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA Nº 2 .....   | 223 |
| 5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....  | 223 |
| 5.2.2. DETERMINAR QUE DEBE HACER EL SISTEMA DE CONTROL Y EN<br>QUE ORDEN.....  | 223 |
| 5.2.3. IDENTIFICAR LOS COMPONENTES (SEÑALES) DE ENTRADA Y<br>SALIDA AL AUTÓMATA .....  | 226 |
| 5.2.4. REPRESENTAR MEDIANTE UN MODELO EL SISTEMA DE CONTROL,<br>INDICANDO TODAS LAS FUNCIONES QUE INTERVIENEN, LAS<br>RELACIONES ENTRE ELLAS Y LA SECUENCIA QUE DEBEN SEGUIR . | 227 |
| 5.2.4.1. En el Verano .....  | 228 |
| 5.2.4.2. Forma de Acondicionar el Aire en el Verano.....   | 228 |
| 5.2.4.3. Determinación del Estado de mezcla R.....   | 229 |
| 5.2.4.4. Determinación del Estado de Suministro P adecuado para el Local ....  | 230 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.2.5. ASIGNAR DIRECCIONES DE ENTRADA/SALIDA A CADA UNO DE LOS COMPONENTES QUE APARECEN EN EL MODELO.....      | 239        |
| 5.2.5.1. Entradas.....   | 239        |
| 5.2.5.2. Salidas.....  | 239        |
| 5.2.6. CODIFICAR LA REPRESENTACIÓN EN INSTRUCCIONES O SIMBOLOS INTELIGIBLES POR LA UNIDAD DE PROGRAMACIÓN..... | 240        |
| 5.2.7. SIMULACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL N° 2.....  | 250        |
| 5.2.7.1. Verano.....   | 250        |
| <b>CAPITULO VI .....</b>   | <b>252</b> |
| <b>RESPUESTA EN EL TIEMPO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL. ....</b>   | <b>252</b> |
| 6.1. RESPUESTA EN EL TIEMPO DEL SISTEMA N° 1. ....   | 253        |
| 6.1.1. <i>LOCALES</i> CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES ENTRE SI .....    | 255        |
| 6.1.2. <i>LOCALES</i> CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES.....   | 258        |
| 6.1.3. <i>LOCALES</i> CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE SIMILARES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES .....  | 260        |
| 6.2. RESPUESTA EN EL TIEMPO DEL SISTEMA N° 2. ....   | 262        |
| 6.2.1. <i>LOCALES</i> CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES ENTRE SI .....    | 262        |
| 6.2.2. <i>LOCALES</i> CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES.....   | 263        |
| 6.2.3. <i>LOCALES</i> CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE SIMILARES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES .....  | 264        |
| <b>CAPITULO VII .....</b>  | <b>266</b> |
| <b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>   | <b>266</b> |
| 7.1. SISTEMA N° 1. ....  | 266        |

|   |            |
|---|------------|
| 7.2. SISTEMA N° 2. ....   | 268        |
| <b>CAPITULO VIII</b> .....  | <b>272</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....   | <b>272</b> |
| <b>CAPITULO IX</b> .....  | <b>275</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA:</b> .....  | <b>275</b> |
| <br><b>ANEXOS</b>   |            |
| <b>ANEXO A: PROGRAMACIÓN DEL AUTÓMATA</b>   |            |
| <b>ANEXO B: MODELO MATEMÁTICO DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO</b>   |            |
| <b>ANEXO C: RESOLUCIÓN DEL SISTEMA PARA CONDICIONES ESPECIFICAS</b>   |            |
| <b>ANEXO D: LINEALIZACIÓ DE LA CURVA DE PRESIÓN DE SATURACIÓN DE LÍQUIDO</b>  |            |
| <b>ANEXO E: CÁLCULOS REALIZADOS PARA LA SIMULACIÓN EN PC SIMU DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL</b>   |            |
| <b>ANEXO F: PROGRAMAS REALIZADOS EN MATLAB 6.5 PARA ENCONTRAR LOS GRÁFICO DE LA RESPUESTA EN EL TIEMPO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b> |            |
| <b>ANEXO G: RESPUESTA EN EL TIEMPO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b>   |            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Figura 1.1</b>   | Perdida de Energía del Cuerpo Humano a través de la Transferencia de Calor .....   | 3  |
| <b>Figura 1.2:</b>  | Disipación de Energía del Cuerpo Humano al Medio Ambiente Exterior .   | 3  |
| <b>Figura 1.3:</b>  | Carta Sicrometrica donde se indica las líneas de valores constantes de las propiedades <b>(a)</b> Líneas de Temperatura constante de bulbo seco (Tbs) <b>(b)</b> Líneas de Relación constante de Humedad (W) <b>(c)</b> Líneas de Humedad Relativa constante ( $\phi$ ) <b>(d)</b> Líneas de Volumen Específico constante (V) <b>(e)</b> Líneas de Temperatura constante de bulbo húmedo (Tbh) <b>(f)</b> Líneas de Entalpía constante (h) ..... | 7  |
| <b>Figura 1.4:</b>  | Procesos de Calentamiento y Enfriamiento Sensible .....  | 8  |
| <b>Figura 1.5:</b>  | Procesos de Humidificación y Deshumidificación.....  | 9  |
| <b>Figura 1.6:</b>  | Procesos combinados de cambio de Calor Sensible y Latente .....  | 10 |
| <b>Figura 1.7:</b>  | Representación Esquemática del Proceso de Mezcla de Aire.....  | 10 |
| <b>Figura 1.8:</b>  | Representación del Proceso de Mezcla de Aire en la Carta Sicrometrica.....   | 11 |
| <b>Figura 1.9:</b>  | Representación en la Carta Sicrométrica de 2 posibilidades a las que se puede suministrar el aire al local para alcanzar el confort.....   | 12 |
| <b>Figura 1.10:</b> | Línea de Proceso del Serpentín .....   | 13 |
| <b>Figura 1.11:</b> | Línea de Proceso del Serpentín cuyo Factor de contacto es $Y=1$ .....  | 15 |
| <b>Figura 1.12:</b> | Determinación del FC para un Serpentín de Enfriamiento.....  | 15 |
| <b>Figura 1.13:</b> | FCSE trazado en la Carta Sicrométrica.....   | 16 |
| <b>Figura 1.14</b>  | Proceso de Enfriamiento Evaporativo .....  | 17 |
| <b>Figura 1.15:</b> | Recalentamiento para dar una condición satisfactoria al aire de suministro .....   | 18 |
| <b>Figura 1.16:</b> | Condición en la que es necesario utilizar un Recalentador .....  | 19 |
| <b>Figura 1.17:</b> | Efecto debido a la ganancia de calor del aire de suministro debida al ventilador de succión.....   | 20 |
| <b>Figura 1.18:</b> | Enfriamiento y Deshumidificación por Expansión Directa .....   | 21 |

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Figura 1.19:</b> | Enfriamiento por agua salpicada .....   | 21 |
| <b>Figura 1.20:</b> | Humidificación.....   | 22 |
| <b>Figura 1.21:</b> | Humidificador a Vapor.....  | 23 |
| <b>Figura 1.22:</b> | Deshumidificador Químico .....  | 23 |
| <b>Figura 2.1:</b>  | Sistema de Expansión Directa (DX).....  | 29 |
| <b>Figura 2.2:</b>  | Sistema Todo - Agua .....   | 30 |
| <b>Figura 2.3:</b>  | Sistema Todo - Aire .....   | 32 |
| <b>Figura 2.4:</b>  | Sistema de Conducto Único.....  | 33 |
| <b>Figura 2.5:</b>  | Sistema de Conducto Único de Volumen constante con control de<br>Recalentamiento de Aire .....  | 34 |
| <b>Figura 2.6:</b>  | Sistema de Conducto Único de Volumen de Aire Variable .....   | 35 |
| <b>Figura 2.7:</b>  | Sistema de Conducto Dual.....   | 36 |
| <b>Figura 2.8:</b>  | Sistema Multizona.....  | 37 |
| <b>Figura 2.9:</b>  | Sistema Aire - Agua .....   | 39 |
| <b>Figura 2.10:</b> | Sistema de Inducción Aire-Agua de dos tubos.....  | 41 |
| <b>Figura 2.11:</b> | Sistema de Inducción Aire-Agua de tres tubos.....   | 41 |
| <b>Figura 2.12:</b> | Sistemas de Inducción Aire-Agua de cuatro tubos .....   | 42 |
| <b>Figura 2.13:</b> | Funcionamiento de la Bomba de Calor. Modo de calentamiento en el<br>invierno y modo de enfriamiento en el verano.....                               | 45 |
| <b>Figura 3.1:</b>  | Control de Recalentamiento con carga sensible parcial .....   | 51 |
| <b>Figura 3.2:</b>  | Esquema de Control de Desviación con aire de retorno.....   | 52 |
| <b>Figura 3.3:</b>  | Control de Desviación .....   | 53 |
| <b>Figura 3.4:</b>  | Control dado por la señal del local (a) para el motor del compresor de<br>refrigeración (b) para la válvula de gas de la caldera de agua caliente.. | 57 |
| <b>Figura 3.5:</b>  | Control dado por la señal del local para el flujo de agua a través de un<br>serpentín de enfriamiento o de una caldera.....                         | 57 |
| <b>Figura 3.6:</b>  | Control del Flujo de aire mediante compuertas .....   | 58 |
| <b>Figura 3.7:</b>  | Control del compuertas de mezcla (a) Unidad de multizona (b) Doble<br>conducto y caja de mezcla.....  | 58 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 3.8:</b> Control para las compuertas superficial y de desviación .....   | 59 |
| <b>Figura 3.9:</b> Señal dada por la Temperatura exterior para control de las compuertas de aire exterior y de retorno, para conservación de energía ..... | 60 |
| <b>Figura 3.10:</b> Señal dada por la Entalpía para el control de las compuertas de aire exterior y de retorno, para conservación de energía .....         | 61 |
| <b>Figura 3.11:</b> Reajuste del Valor de la Temperatura de referencia del termostato de control de la caldera por la Temperatura exterior.....            | 62 |
| <b>Figura 3.12:</b> Reajuste del valor de la Temperatura de referencia del Termostato de control del Enfriador por la Temperatura exterior.....            | 62 |
| <b>Figura 3.13:</b> Control de la Temperatura del Agua helada.....   | 63 |
| <b>Figura 3.14:</b> Control de la Temperatura y Humedad del local mediante serpentines de enfriamiento y calefacción .....                                 | 64 |
| <b>Figura 3.15:</b> Ejemplo de un Sistema de control de Calefacción por agua caliente ..   | 65 |
| <b>Figura 3.16:</b> Ejemplo de un Sistema de Control para Acondicionamiento de Aire .....  | 66 |
| <b>Figura 4.1:</b> Esquema general de un Sistema Automático.....   | 69 |
| <b>Figura 4.2:</b> Concepto gráfico del PLC .....  | 70 |
| <b>Figura 4.3:</b> Partes Principales de un PLC .....  | 72 |
| <b>Figura 4.4:</b> Comunicación PC con un PLC.....   | 73 |
| <b>Figura 4.5:</b> Estructura interna de un PLC .....  | 74 |
| <b>Figura 4.6:</b> Arquitectura Típica de un Autómata Programable.....   | 74 |
| <b>Figura 4.7:</b> Representación de las memorias y salidas digitales .....  | 77 |
| <b>Figura 4.8:</b> Lenguaje de Contactos OMRON SYSMAC Serie C .....  | 90 |
| <b>Figura 4.9:</b> Símbolo Lógico Normalizado .....  | 92 |
| <b>Figura 4.10:</b> Algunos Simbolos Lógicos .....   | 92 |
| <b>Figura 4.11:</b> Lenguajes Gráficos STEP 5 de SIEMENS .....   | 93 |
| <b>Figura 4.12:</b> Programación combinada Funciones/Contactos .....   | 94 |
| <b>Figura 4.13:</b> Estructuras de Programación de alto nivel .....  | 95 |
| <b>Figura 4.14:</b> Programación en Alto nivel .....   | 98 |
| <b>Figura 4.15:</b> Compatibilidad entre los lenguajes de Contactos y de Alto nivel.....   | 98 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 4.16:</b> Software STEP 7 MICROWIN.....   | 100 |
| <b>Figura 4.17:</b> Software S7 200 .....   | 101 |
| <b>Figura 4.18:</b> Software PC SIMU .....  | 102 |
| <b>Figura 4.19:</b> Esquema del Ejemplo N° 1 .....  | 103 |
| <b>Figura 4.20:</b> Transferencia del Programa escrito en STEP 7 a S7-200 .....   | 104 |
| <b>Figura 4.21:</b> Simulación del Ejemplo N° 1 .....   | 104 |
| <b>Figura 4.22:</b> Selección de un PLC (Criterios Cuantitativos).....  | 133 |
| <b>Figura 5.1:</b> Representación Esquemática del Sistema de Aire Acondicionado.....  | 137 |
| <b>Figura 5.2:</b> Esquema del Sistema de Control por PLC del Sistema de Aire<br>Acondicionado N° 1 de tipo Todo-Aire de conducto único.....  | 138 |
| <b>Figura 5.3:</b> Circuito de Baja Potencia y Señales de Entrada/Salida al Autómata.....   | 140 |
| <b>Figura 5.4:</b> Circuito de Alta Potencia.....   | 141 |
| <b>Figura 5.5:</b> Representación en la Carta Sicrométrica las tareas que deben realizar<br>los equipos de acuerdo a la condición de humedad y Temperatura del<br>aire exterior ..... | 142 |
| <b>Figura 5.6:</b> Ciclo del Aire en Verano, con el Enfriador encendido y el Calentador<br>apagado .....  | 143 |
| <b>Figura 5.7:</b> Ciclo del Aire en Invierno, con el Enfriador apagado y el Calentador<br>encendido.....   | 143 |
| <b>Figura 5.8:</b> Condiciones en las que puede estar el aire exterior en el invierno.....  | 144 |
| <b>Figura 5.9:</b> Representación en la carta sicrométrica la variación de las condiciones<br>exteriores en invierno seco y la respuesta del PLC (Determinar R) .....                 | 145 |
| <b>Figura 5.10:</b> Evolución del Aire en el ciclo de calentamiento sin humidificación .....  | 148 |
| <b>Figura 5.11:</b> Representación en la carta sicrométrica la variación de las condiciones<br>exteriores en invierno húmedo y la posible respuesta del PLC<br>(Determinar R).....    | 149 |
| <b>Figura 5.12:</b> Representación en la carta sicrometrica del estado de invierno con<br>humedad cercana al valor de la humedad de confort.....                                      | 151 |
| <b>Figura 5.13:</b> Condiciones adecuadas para el Sistema de Aire Acondicionado<br>establecido, cuadrante I.....  | 153 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 5.14:</b> Ciclo del Aire en el Verano.....   | 154 |
| <b>Figura 5.15:</b> Variación de las condiciones exteriores en verano húmedo .....   | 154 |
| <b>Figura 5.16:</b> Variación del FCSL y sus límites.....  | 155 |
| <b>Figura 5.17:</b> Variación del ciclo del aire a través del Sistema de Aire Acondicionado  | 155 |
| <b>Figura 5.18:</b> Variación de las condiciones exteriores en verano húmedo y la posible<br>respuesta del PLC (Determinar R).....             | 156 |
| <b>Figura 5.19:</b> Representación en la Carta Psicrométrica del estado del aire de<br>suministro .....  | 160 |
| <b>Figura 5.20:</b> Ciclo de Aire en los diferentes locales del edificio .....   | 162 |
| <b>Figura 5.21:</b> Diagrama de Flujo del Sistema de control N° 1 .....  | 167 |
| <b>Figura 5.22:</b> Linealización de la Curva exponencial de la presión de saturación de<br>líquido en intervalos de 10° F.....                | 170 |
| <b>Figura 5.23:</b> Error Absoluto vs # ecuaciones.....  | 171 |
| <b>Figura 5.24:</b> Diagrama de Flujo modificado del Sistema de Control N° 1 .....   | 173 |
| <b>Figura 5.25:</b> Simulación del Programa de Control N° 1 en Invierno seco .....   | 217 |
| <b>Figura 5.26:</b> Simulación del Programa de Control N° 1 en Invierno neutro .....   | 219 |
| <b>Figura 5.27:</b> Simulación del Programa de Control N° 1 en Invierno húmedo .....   | 220 |
| <b>Figura 5.28:</b> Simulación del Programa de Control N° 1 en Verano .....  | 222 |
| <b>Figura 5.29:</b> Representación esquemática del Sistema de Aire Acondicionado .....   | 223 |
| <b>Figura 5.30:</b> Esquema del Sistema de Control por PLC del Sistema de Aire<br>Acondicionado N° 2 de tipo todo-aire de conducto único ..... | 224 |
| <b>Figura 5.31:</b> Circuito de Baja Potencia del Sistema 2 y Señales de Entrada al<br>Autómata .....  | 226 |
| <b>Figura 5.32:</b> Circuito de Alta Potencia del Sistema 2 .....  | 227 |
| <b>Figura 5.33:</b> Ciclo del Aire del Sistema N° 2 en el Verano .....   | 228 |
| <b>Figura 5.34:</b> Variación de las condiciones del Aire de suministro .....  | 229 |
| <b>Figura 5.35:</b> Ciclo del Aire a través del Sistema de Aire Acondicionado.....   | 231 |
| <b>Figura 5.36:</b> Ciclo de Aire del Sistema N° 2 en los diferentes locales .....   | 233 |
| <b>Figura 5.37:</b> Diagrama de Flujo del Sistema de Control N° 2 .....  | 238 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 5.38:</b> Diagrama de Flujo modificado del Sistema de Control N° 2 .....       | 241 |
| <b>Figura 5.39:</b> Simulación del Programa de Control N° 2 en Verano.....               | 251 |
| <b>Figura 6.1:</b> Temperatura y Humedad relativa del Aire exterior vs tiempo .....      | 254 |
| <b>Figura 6.2:</b> Temperatura y Humedad relativa del Aire exterior vs tiempo .....      | 254 |
| <b>Figura 6.3:</b> Temperatura y Humedad relativa del Aire exterior vs tiempo .....      | 255 |
| <b>Figura 6.4:</b> Factores de Calor Sensible de los Locales vs Tiempo .....             | 256 |
| <b>Figura 6.5:</b> Ganancias de Calor Sensible en los Locales vs Tiempo .....            | 256 |
| <b>Figura 6.6:</b> Temperatura de los Locales vs Tiempo .....                            | 257 |
| <b>Figura 6.7:</b> Humedad Específica de los Locales vs Tiempo .....                     | 257 |
| <b>Figura 6.8:</b> Factores de Calor Sensible de los Locales vs Tiempo .....             | 258 |
| <b>Figura 6.9:</b> Temperatura de los Locales vs Tiempo .....                            | 259 |
| <b>Figura 6.10:</b> Humedad Especifica de los Locales vs Tiempo .....                    | 259 |
| <b>Figura 6.11:</b> Ganancias de Calor Sensible en los Locales vs Tiempo .....           | 260 |
| <b>Figura 6.12:</b> Temperatura de los Locales vs Tiempo .....                           | 261 |
| <b>Figura 6.13:</b> Humedad Especifica de los Locales vs Tiempo .....                    | 261 |
| <b>Figura 6.14:</b> Temperatura de los Locales vs Tiempo .....                           | 262 |
| <b>Figura 6.15:</b> Humedad Especifica de los Locales vs Tiempo .....                    | 263 |
| <b>Figura 6.16:</b> Temperatura de los Locales vs Tiempo .....                           | 263 |
| <b>Figura 6.17:</b> Humedad Especifica de los Locales vs Tiempo .....                    | 264 |
| <b>Figura 6.18:</b> Temperatura de los Locales vs Tiempo .....                           | 264 |
| <b>Figura 6.19:</b> Humedad Especifica de los Locales vs Tiempo .....                    | 265 |
| <b>Figura 7.1:</b> Temperatura en los Locales del Sistema N° 1 Rectificado vs tiempo ... | 267 |
| <b>Figura 7.2:</b> Energía del Calentador del Sistema N° 1 Rectificado vs tiempo .....   | 268 |
| <b>Figura 7.3:</b> Temperatura en los Locales del Sistema N° 2 Rectificado vs tiempo ... | 269 |
| <b>Figura 7.4:</b> Flujos de Aire en el Verano con el Sistema N° 2 Rectificado vs tiempo | 270 |
| <b>Figura 7.5:</b> Temperatura de los Locales con el Sistema N° 2 Rectificado vs tiempo  | 270 |
| <b>Figura 7.6:</b> Humedad Especifica de los Locales vs tiempo .....                     | 271 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                   |   |      |
|-------------------|---|------|
| <b>TABLA 1.1:</b> | VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA EC. 1.3 EN EL SISTEMA INTERNACIONAL Y EN EL SISTEMA INGLÉS..... | 5    |
| <b>TABLA 2.1:</b> | COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.....  | 27   |
| <b>TABLA 2.2:</b> | SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y SUS APLICACIONES.....   | 47   |
| <b>TABLA 4.1:</b> | EJEMPLOS DE DIRECCIONES ABSOLUTAS.....  | 77   |
| <b>TABLA 4.2:</b> | EJEMPLOS DE DIRECCIONES EN FORTMATO DE BIT.....   | 78   |
| <b>TABLA 4.3:</b> | EJEMPLOS DE DIRECCIONES DE BLOQUES FUNCIONALES.....   | 78   |
| <b>TABLA 4.4:</b> | EJEMPLOS DE DIRECCIONES EN FORTMATO BYTE, PALABRA Y PALABRA DOBLE.....                          | 79   |
| <b>TABLA 4.5:</b> | INSTRUCCIONES BÁSICAS DEL AUTOMATA IZUMI FA-21.....   | 87   |
| <b>TABLA 4.6:</b> | EQUIVALENCIAS INSTRUCCIONES-CONTACTOS.....  | 88   |
| <b>TABLA 4.7:</b> | COMPONENTES DEL PROGRAMA DE LA FIGURA 4.4.....  | 93   |
| <b>TABLA 4.8:</b> | INSTRUCCIONES BÁSICAS DEL AUTÓMATA FESTO FPC-405.....   | 97   |
| <b>TABLA 4.9:</b> | SOFTWARES UTILIZADOS PARA DESARROLLAR EL PROGRAMA DE CONTROL.....                               | 102  |
| <b>TABLA 5.1:</b> | CODIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS AL PLC DEL SISTEMA Nº 1.....                                       | 168  |
| <b>TABLA 5.2:</b> | VALORES DE ENTRADA DEL SISTEMA Nº 1 ESTIMADOS PARA LA SIMULACIÓN EN INVIERNO SECO.....          | 216  |
| <b>TABLA 5.3</b>  | VALORES DE SALIDA DEL SISTEMA Nº 1 CALCULADOS PARA EL INVIERNO SECO.....                        | 216  |
| <b>TABLA 5.4</b>  | VALORES DE ENTRADA DEL SISTEMA Nº 1 ESTIMADOS PARA LA SIMULACIÓN EN INVIERNO NEUTRO.....        | 218  |
| <b>TABLA 5.5</b>  | VALORES DE SALIDA DEL SISTEMA Nº 1 CALCULADOS PARA EL INVIERNO NEUTRO.....                      | 218  |
| <b>TABLA 5.6</b>  | VALORES DE ENTRADA DEL SISTEMA Nº 1 ESTIMADOS PARA LA SIMULACIÓN EN INVIERNO HUMEDO.....        | 219. |
| <b>TABLA 5.7</b>  | VALORES DE SALIDA DEL SISTEMA Nº 1 CALCULADOS PARA EL INVIERNO HUMEDO.....                      | 220  |

|                    |   |             |
|--------------------|---|-------------|
| <b>TABLA 5.8</b>   | VALORES DE ENTRADA DEL SISTEMA Nº 1 ESTIMADOS PARA LA SIMULACIÓN EN VERANO..... | <b>221.</b> |
| <b>TABLA 5.9</b>   | VALORES DE SALIDA DEL SISTEMA Nº 1 CALCULADOS PARA EL VERANO.....               | <b>221</b>  |
| <b>TABLA 5.10:</b> | CODIFICACIÓN DE LAS ENTRADAS AL PLC.DEL SISTEMA Nº 2.....                       | <b>239</b>  |
| <b>TABLA 5.11</b>  | VALORES DE ENTRADA DEL SISTEMA Nº 2 ESTIMADOS PARA LA SIMULACIÓN EN VERANO..... | <b>250.</b> |
| <b>TABLA 5.12</b>  | VALORES DE SALIDA DEL SISTEMA Nº 2 CALCULADOS PARA EL VERANO.....               | <b>250</b>  |

## **RESUMEN**

El presente estudio desarrolla programas para PLC's que controlen Sistemas de Aire Acondicionado del Tipo Todo-Aire.

El objetivo principal es distribuir aire acondicionado en varios locales y mantener las condiciones de Temperatura y Humedad específica del aire interior dentro de un rango de tolerancia establecido por el diseñador para alcanzar las condiciones de confort térmico humano. Para conseguir la meta propuesta se utilizan Autómatas programables que supervisaran el funcionamiento de los equipos que conforman el sistema de aire acondicionado en el momento adecuado y con el gasto mínimo de energía.

El programa escrito en la memoria del autómata programable (PLC), será desarrollado utilizando las ecuaciones y leyes fundamentales del Aire Acondicionado y la Termodinámica, es decir no se lo realizara en forma intuitiva a base de comparaciones de prueba y error.

Los programas de control son escritos en los lenguajes KOP y AWL en el software STEP 7 Microwin de Siemens y son simulados por medio de los softwares S7 200 y PC Simu.

Para comprobar la efectividad de los programas de control desarrollados para PLC's, se determina la respuesta del sistema de control en el tiempo para diferentes señales de entrada por medio de programas escritos en MATLAB 6.5.

## PRESENTACIÓN

Desde el origen del ser humano, el hombre ha buscado la manera de adaptarse al medio ambiente en el cuál habita, ideando formas de aliviar las inclemencias del clima que van desde abrigos de piel, fogatas, abanicos hasta llegar ha desarrollar avanzados sistemas de aire acondicionado.

Sin importar el tipo de actividad que una persona realice, una condición muy importante para su buen desenvolvimiento es el que esa persona se encuentre en un estado de comodidad térmico con el medio ambiente que le rodea, de lo contrario, su capacidad para realizar cualquier tipo de trabajo se reduciría notablemente ya que los seres humanos necesitan hallarse en un ambiente que no sea ni muy caliente ni muy frío, ni muy húmedo ni muy seco. Sin embargo, la comodidad no se obtiene con facilidad debido a que las necesidades del cuerpo humano y las condiciones del clima no suelen ser muy compatibles, por lo tanto es necesario luchar constantemente contra los factores que causan la incomodidad como son las altas y bajas condiciones de Temperatura y Humedad relativa.

El alto costo de la energía a nivel mundial ha hecho que se realicen grandes proyectos de control de los Sistemas de Aire Acondicionado, no solo para mantener las condiciones de confort térmico humano dentro de espacios determinados, sino también para reducir el consumo excesivo de energía.

La creciente complejidad de los procesos y la disponibilidad de controladores cada vez más potentes y con mayor número de funciones, obligan a replantearse los métodos de diseño de los sistemas de control. Tradicionalmente, se han utilizado métodos de control a base de relés que bosquejan esquemas de contactos, los cuales han sido diseñados de forma intuitiva a base de ensayo y error, métodos que se han seguido empleando en la actualidad. Sin embargo, hoy en día existen dispositivos de control más potentes, con bloques funcionales más complejos que un simple relé que obligan al empleo de métodos de diseño más globales y sistemáticos, en definitiva, más adaptados a las nuevas tecnologías.

El proyecto está orientado a promover el cambio de cultura en los sistemas de control en el aire acondicionado, evolucionando del uso de componentes eléctricos (relés, enclavamientos, etc) que adecuadamente combinados

implementan la lógica de un circuito de mando, a la utilización de dispositivos electrónicos como son los PLC's (Controladores Lógicos Programables) que utilizan un programa de control para aplicar la lógica de mando.

El presente estudio está dirigido ha establecer el sistema de aire acondicionado más conveniente para factores específicos que se puedan presentar así como también implementar el sistema de control con la tecnología electrónica más avanzada conocida hasta el momento como son los PLC's.

La utilización de Autómatas Programables (PLC's) para el control de los Sistemas de Aire Acondicionado es una gran alternativa que aun no ha sido explotada totalmente en el país, pero involucra un extenso estudio en el campo de la electrónica y la informática.

En el Capitulo I se estudia las leyes básicas del Aire Acondicionado, sus principios y ecuaciones.

En el Capitulo II se muestra la gran variedad de sistemas de Aire Acondicionado existentes, su clasificación, ventajas y desventajas. Además se hace un análisis con respecto a las aplicaciones más convenientes de cada uno de los sistemas de Aire Acondicionado.

El Capitulo III indica las diferentes alternativas existentes para controlar los sistemas de Aire Acondicionado.

En el Capitulo IV se hace una introducción al estudio de los Autómatas Programables, su utilidad, funcionamiento y los tipos de lenguajes de programación existentes. También se inicia al lector en la programación de PLC's realizando 10 programas de control automático.

En el Capitulo V se automatiza 2 Sistemas de Aire Acondicionado del tipo Todo-Aire con recalentamiento por medio de PLC's y se hace una pequeña simulación de los programas de control.

El Capitulo VI, esta orientado ha encontrar la Respuesta en el Tiempo de los Sistemas de Aire Acondicionado, para lo cuál se desarrollan dos programas en MATLAB 6.5 que se encargan de realizar los gráficos.

En el Capitulo VII se realiza el Análisis de los Resultados obtenidos.

En el Capitulo VIII se dan las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

El Capitulo IX muestra la Bibliografía utilizada para desarrollar el proyecto.

# **CAPITULO 1**

## **GENERALIDADES SOBRE EL AIRE ACONDICIONADO**

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, la tecnología de la climatización y el aire acondicionado se ha desarrollado de tal forma que su campo de aplicación es muy amplio y extenso, por lo que, alcanzar un dominio en el conocimiento de esta técnica requiere una gran inversión de tiempo y un estudio minucioso de ciencias como Termodinámica, Transferencia de calor, Mecánica de fluidos y otras más.

Sin embargo, en el presente capítulo se presenta de forma resumida los principios básicos y leyes que rigen al aire acondicionado, específicamente aquel que se utiliza para la comodidad humana. Además de presentar las definiciones de términos técnicos, también se establecerá los parámetros de confort térmico para el ser humano y se estudiarán los métodos utilizados para el tratamiento del aire.

### **1.1 AIRE ACONDICIONADO**

Aire Acondicionado es el nombre que se le da al aire que ha sido previamente circulado a través de diferentes equipos de tratamiento de aire con el fin de llevarlo hasta condiciones de temperatura y humedad que se desean; dichas condiciones son diferentes a las iniciales.

Un sistema de aire acondicionado consiste teóricamente en un conjunto de equipos que proporcionan aire acondicionado, manteniendo el control en su temperatura, humedad y pureza en todo momento y con independencia de las condiciones climáticas.

## 1.2 PARÁMETROS PARA EL CONFORT HUMANO

El confort o la comodidad de una persona es la sensación de satisfacción física relacionada con el ambiente que lo rodea. El ser humano experimenta la sensación de comodidad cuando se encuentra en un ambiente que le permita eliminar la energía de desecho del cuerpo en la cantidad correcta a través de la transferencia de calor.

El estudio de la comodidad en las personas está relacionado con:

- La forma en la que el cuerpo funciona respecto a la energía que entra y sale del organismo.
- La manera en la que las condiciones del medio ambiente que rodea a una persona afecta a su sensación de comodidad.

El cuerpo humano tiene una capacidad notable para ajustarse a cambios en la temperatura ambiental. Así por ejemplo: si una persona se traslada de un recinto caliente al ambiente exterior frío, el cuerpo reacciona con un temblor involuntario, con lo cual se genera energía en forma de calor corporal que compensa la pérdida excesiva de energía debida al cambio de las condiciones ambientales.

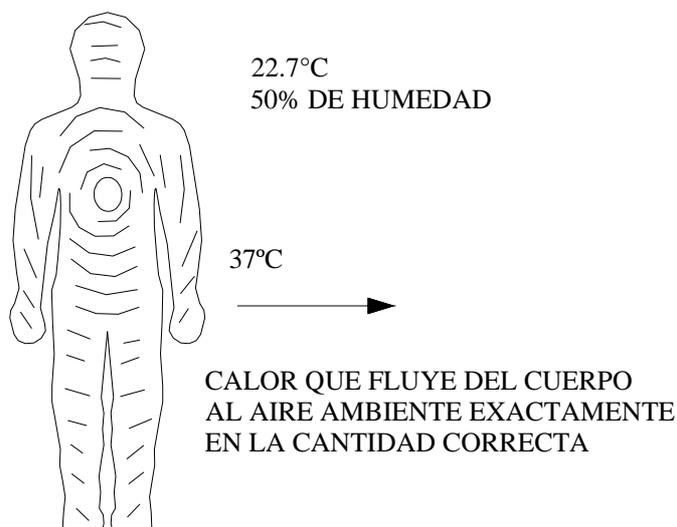
Por el contrario, si una persona se traslada de un ambiente fresco y agradable a un ambiente caliente e incomodo, el cuerpo reacciona con un ajuste en el sistema circulatorio y respiratorio. Los vasos sanguíneos se dilatan con el fin de llevar la sangre más cerca de la superficie de la piel y conseguir eliminar la energía de forma más eficiente. De no ser esto suficiente, se inicia la sudoración que evapora la humedad produciendo enfriamiento corporal.

El cuerpo humano se comporta como un sistema de calefacción, consume combustible en forma de alimento y produce energía. La temperatura del cuerpo humano está controlada con mucha precisión en un valor de 98.6° F (37° C), en verano o invierno, por lo qué, un funcionamiento adecuado del cuerpo humano depende de conservar constante su temperatura, para lo cual se requiere una disipación de energía adecuada hacia el medio circundante<sup>1</sup>.

En la Figura 1.1 se ilustra un estado de confort, con 73° F (22.7° C) en la habitación, el cuerpo humano puede perder energía a una velocidad cercana a la correcta para obtener la sensación de comodidad.

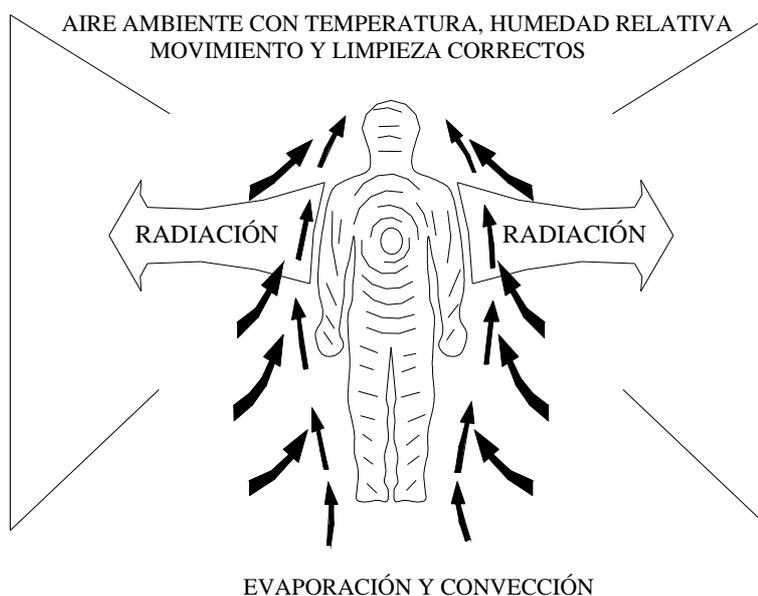
---

<sup>1</sup> AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE, Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado, 3ª edición Cap. A28



**Figura 1.1:** Pérdida de energía del cuerpo humano a través de la transferencia de calor.

A fin de poder disipar la energía en forma de calor, las temperaturas circundantes deben ser inferiores a la temperatura del cuerpo. Existen cuatro maneras mediante las cuales el cuerpo puede perder calor cediéndolo al entorno: Conducción, Convección de aire frío, Radiación, Evaporación.



**Figura 1.2:** Disipación de energía del cuerpo humano al medio ambiente exterior.

La comodidad del cuerpo humano depende de varios factores entre los cuales se tiene: la temperatura de bulbo seco del ambiente, la temperatura radiante, la humedad relativa, la velocidad del aire proyectada sobre el cuerpo, la actividad física, el tipo de vestimenta.

La mayor parte de las personas se sienten cómodas cuando la temperatura del ambiente está entre 22 y 27°C (72 y 80°F) dependiendo de la actividad física.

La humedad relativa también tiene un efecto considerable en el bienestar, pues influye en la cantidad de energía que un cuerpo puede disipar por evaporación. La mayoría de la gente prefiere una humedad relativa de 40 a 60 por ciento.

Otro factor muy importante es la velocidad a la que se proyecta el aire sobre las personas, ya que mejora la eliminación del aire caliente y húmedo que se forma alrededor del cuerpo y lo sustituye con aire fresco. Esta velocidad del aire debe ser lo suficientemente intensa para eliminar el calor y la humedad de la vecindad del cuerpo, pero al mismo tiempo debe ser apacible para no sentirlo.

La velocidad del aire que provoca bienestar en las personas es de aproximadamente 15 m/min.<sup>2</sup>

Otros factores que influyen en la sensación de bienestar son la limpieza del aire, ausencia de mal olor, el ruido y el efecto de radiación.

### **1.3 SICROMETRÍA**

Sicrometría es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el efecto que provoca la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano. Además, la sicrometría estudia los métodos para controlar las propiedades térmicas del aire húmedo.

#### **1.3.1 PROPIEDADES DEL AIRE**

Las propiedades físicas del aire atmosférico se definen como sigue:

- Temperatura de bulbo seco (tbs): Es la temperatura del aire, tal como la indica un termómetro. Las palabras “temperatura” y “temperatura de bulbo seco” se emplean para designar lo mismo tratándose del aire.
- Temperatura de bulbo húmedo (tbh): Es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha empapada en agua, en el seno de aire en rápido movimiento.

---

<sup>2</sup> CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica, Tomo II, 2ª edición Cap.XIII

- Temperatura de punto de rocío (PR): Es la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire atmosférico comienza a condensarse si se enfría el aire a presión constante.
- Humedad Relativa ( $\phi$ ): Es la relación de la cantidad de humedad que el aire contiene ( $m_v$ ) con la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura ( $m_g$ ) Se expresa en porcentaje.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{p_v}{p_g} \quad (1.1)$$

donde  $P_g = P_{\text{sat}} @ T$

- Relación de humedad ( $W$ ), ó también llamada humedad específica: Es la relación de masa de vapor de agua existente en un determinado volumen de aire, sobre la masa de aire seco correspondiente al mismo volumen de la mezcla aire-vapor de agua.

$$W = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{p_v}{P_T - p_v}$$

$$W = 0.622 \frac{\phi P_g}{P_T - \phi P_g} \quad (1.2)$$

en donde la presión de saturación de líquido  $P_g$  la rige la ecuación empírica que tiene la siguiente forma:

$$P_g = \exp\left(\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 T + C_4 T^2 + C_5 T^3 + C_6 \ln T\right) \quad (1.3)$$

Donde:

**Tabla 1.1:** Valores de las constantes de la ecuación 1.3, en el sistema internacional<sup>3</sup> y en el sistema Inglés<sup>4</sup>.

| <b>T</b>  | [ ° K ]          | [ R ]           |
|-----------|------------------|-----------------|
| <b>Pg</b> | [ Pa ]           | [ Psi ]         |
| <b>C1</b> | - 5800.2206      | - 10440.397     |
| <b>C2</b> | 1.3914993        | -11.29465       |
| <b>C3</b> | - 0.0486023      | -2.7022355E-02  |
| <b>C4</b> | 0.4764768E-04    | 1.2890360E-05   |
| <b>C5</b> | - 0.14452093E-07 | - 2.4780681E-09 |
| <b>C6</b> | 6.5459673        | 6.5459673       |

<sup>3</sup> SEMANATE N. Julio E. Simulación de Sistemas de Aire Acondicionado para edificios, Cap. III, Tesis. Quito. EPN.

<sup>4</sup> ASHRAE Handbook 1997, Fundamentals, Chapter VI

- Volumen específico (v): Es el volumen de aire por unidad de masa de aire seco.
- Entalpía específica (h): Es el contenido de energía del aire, por unidad de masa.

En el sistema Inglés

$$h = 0.24T + W(1061 + 0.444T) \quad (1.4)$$

donde T (°F) y H (Btu/lbm aire seco)

ó en el Sistema Internacional

$$h = T + W(2501 + 1.86T) \quad (1.4a)$$

donde T (°C) y H (kJ/kg aire seco)

- Ecuación de la Curva de Saturación. Esta es una de las más importantes curvas de la carta psicrométrica, pues identifica el límite de saturación del aire a diversas condiciones termodinámicas; la deducción de su ecuación responde a los siguientes planteamientos:

1. Como se trata de estado de saturación  $P_v = P_g$
2. La presión de saturación ( $P_g$ ) está definida por la ecuación (3) que reemplazada en la ec. (2) que define la relación de humedad quedaría:

$$W_{Sat} = \frac{0.622 \exp\left(\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6 \ln T\right)}{P_{Total} - \exp\left(\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6 \ln T\right)} \quad (1.5)$$

Donde

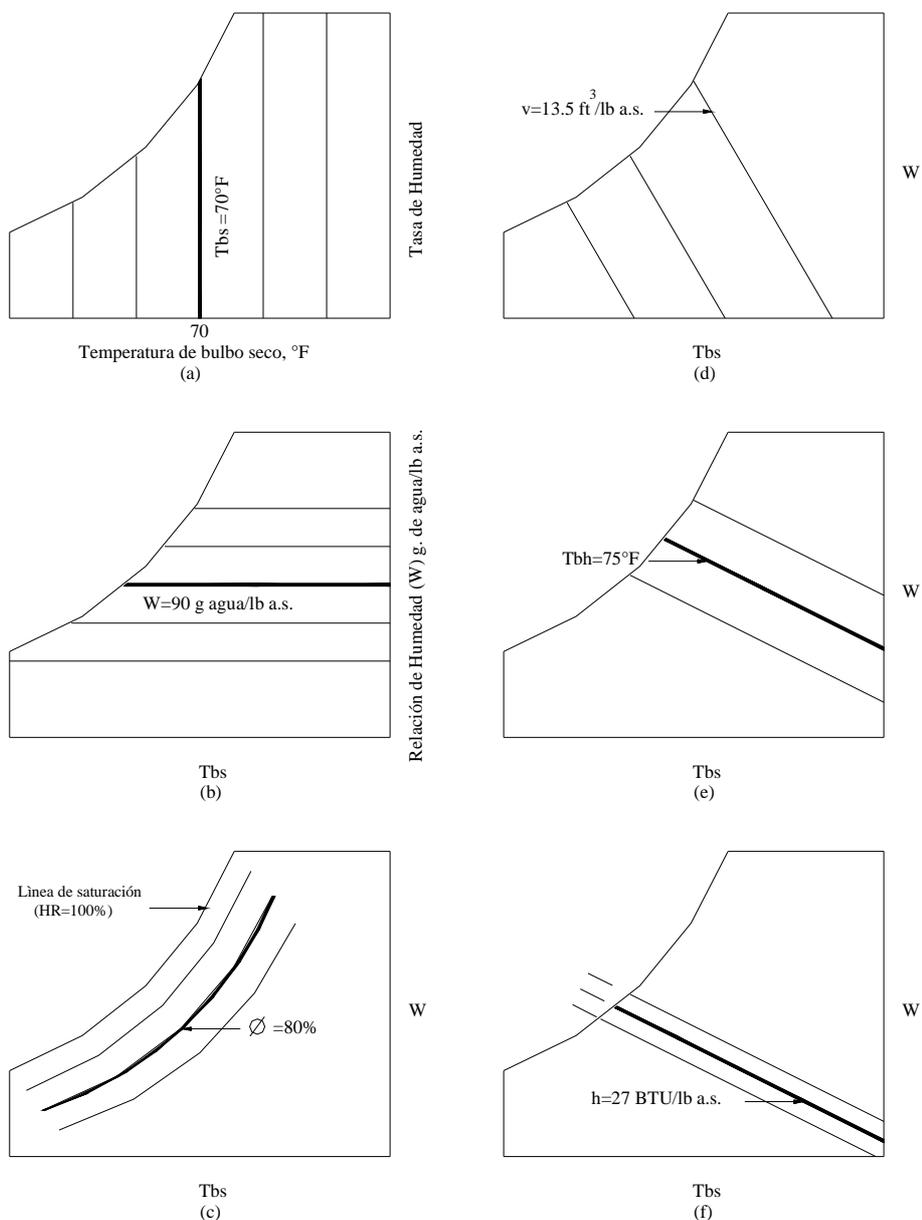
T (°K) y P (Pa)

### 1.3.2 LA CARTA PSICROMÉTRICA

Las propiedades del aire atmosférico se pueden representar en tablas o en forma de gráficas. A la forma de gráfica se le llama Carta Psicrométrica.

La carta psicrométrica resulta útil para visualizar el ciclo y la evolución que realiza el aire en el sistema de aire acondicionado, ya que da una imagen visual de los cambios que ocurren en las propiedades del aire al pasar a través de los equipos de aire acondicionado.

La figura 1.3 muestra la ubicación de las escalas para cada una de las propiedades y las líneas de valor constante para esas propiedades.



**Figura 1.3:** Carta sicrométrica donde se indica las líneas de valores constantes de las propiedades. (a) Líneas de temperatura constante de bulbo seco (tbs). (b) Líneas de relación constante de humedad (W). (c) Líneas de humedad relativa constante ( $\phi$ ). (d) Líneas de volumen específico constante (v). (e) Líneas de temperatura constante de bulbo húmedo (tbh). (f) Líneas de entalpía constante (h)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición , Cap VII

### 1.3.2.1 Líneas de Proceso en la Carta Psicrométrica.

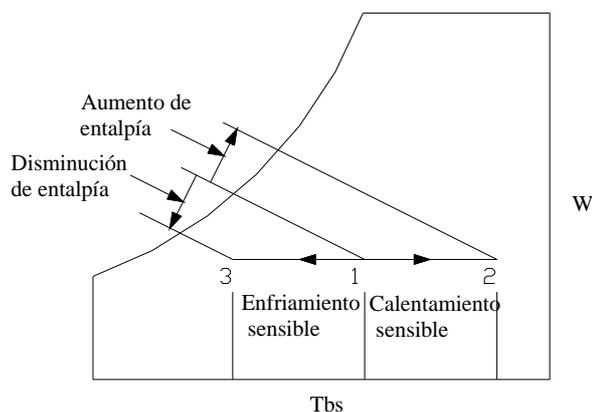
El objetivo de los equipos de aire acondicionado es cambiar las propiedades del aire y llevarlo a una condición diferente. A este cambio se le llama proceso.

Se indican los procesos trazando una línea desde el estado inicial de aire hasta su estado final. La mayor parte de los procesos se los puede representar mediante líneas rectas.

#### 1.3.2.1.1 Cambios de Calor Sensible.

Los procesos de cambios de Calor Sensible consisten en aumentar o disminuir la energía interna del aire a través de una variación en la Temperatura de bulbo seco pero sin modificar la humedad específica del aire.

Por lo tanto, la dirección del proceso debe estar a lo largo de una línea de relación constante de humedad, como se muestra en la figura 1.4. El calentamiento sensible (proceso 1-2) ocasiona un aumento en la entalpía y en la temperatura de bulbo seco  $T_{bs}$ . El proceso 1-3 es de enfriamiento sensible (eliminación de calor), ocasiona una disminución en la entalpía y en la temperatura de bulbo húmedo  $T_{bh}$ .

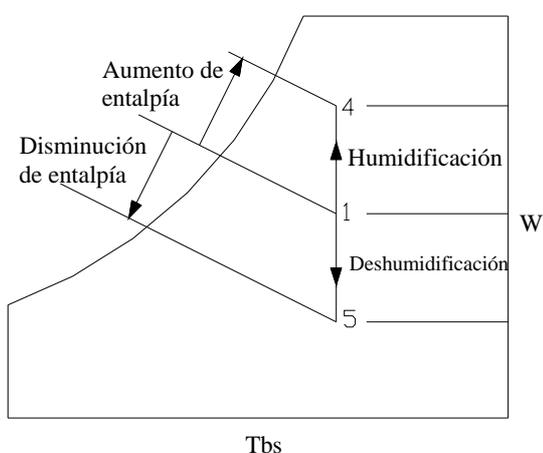


**Figura 1.4:** Procesos de calentamiento sensible y enfriamiento sensible.

#### 1.3.2.1.2 Variaciones de Calor Latente

Los procesos de cambios de Calor Latente consisten en aumentar o disminuir la energía interna del aire a través de una variación en la humedad específica del aire sin afectar la temperatura de bulbo seco.

La humidificación es el proceso en el cuál se agrega vapor de agua al aire y a la eliminación del vapor de agua del aire se le llama deshumidificación, los dos procesos se muestran en la figura 1.5. En el proceso 1-4, la humidificación, tiene como resultado un aumento en la relación de humedad y la entalpía. En la humidificación, la entalpía del aire aumenta debido a la entalpía del vapor de agua que se agregó. Esto explica lo que se llama la variación de calor latente. En la deshumidificación, proceso 1-5, la eliminación de vapor de agua acarrea una disminución de entalpía.

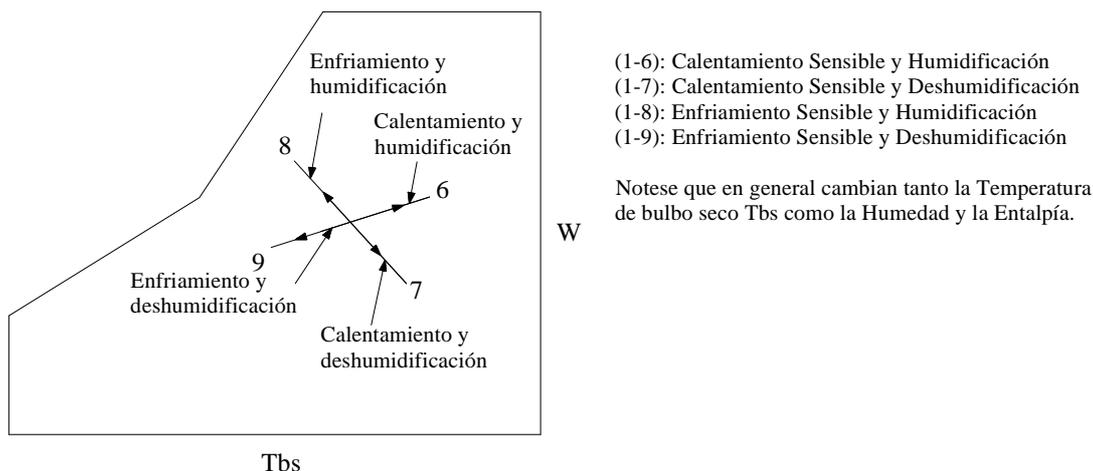


**Figura 1.5:** Procesos de humidificación y deshumidificación.

Estos procesos de deshumidificación o humidificación puras sin variación de calor sensible, no se presentan con frecuencia en las instalaciones de acondicionamiento de aire.

### ***1.3.2.1.3 Variación Combinada de Calor Sensible y Latente***

En la figura 1.6 se muestra los procesos combinados de calor sensible y latente que se pueden presentar en los sistemas de aire acondicionado:

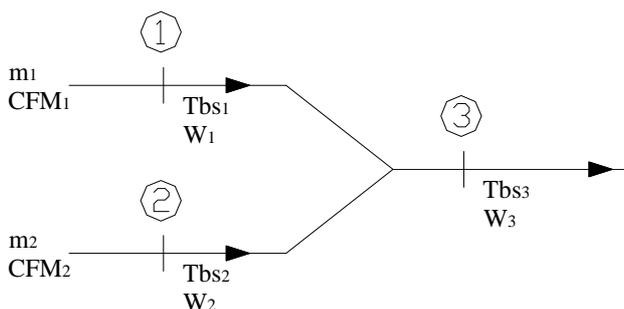


**Figura 1.6:** Procesos combinados de cambio de calor sensible y latente.

### 1.3.2.2 Proceso de Mezcla de Aire

Cuando dos corrientes de aire con propiedades diferentes se combinan adiabáticamente para formar una tercera corriente, se trata de un proceso de Mezcla adiabática de aire.

Este proceso se da con frecuencia en el acondicionamiento de aire, en especial cuando se mezcla aire del exterior con aire de retorno proveniente de los locales. Si se conocen las condiciones de las dos corrientes que se mezclan, se pueden calcular las condiciones después de mezclarlas. Figura 1.7



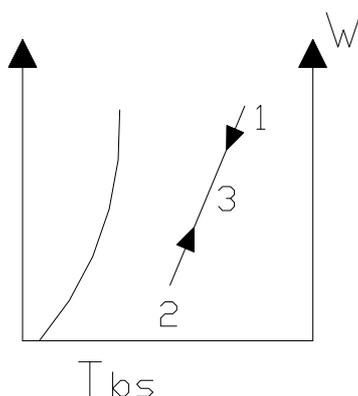
**Figura 1.7:** Representación esquemática del Proceso de mezcla de aire.

Aplicando la ley de la conservación de la energía y conservación de la masa, se obtiene la siguiente ecuación que rige la mezcla adiabática de dos corrientes.

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{W_3 - W_2}{W_1 - W_3} = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_3} \tag{1.6}$$

Es posible también encontrar las propiedades de la tercera corriente de aire de la mezcla adiabática con ayuda de la carta sicrométrica; para esto es necesario tener en cuenta los dos siguientes aspectos:

- La condición de la mezcla de aire debe quedar situada a lo largo de una recta que conecta a las dos condiciones de las corrientes sin mezclar.
- La ubicación de la condición de la mezcla de aire en esta línea de mezclado será inversamente proporcional a las cantidades de las corrientes de aire sin mezclar.



**Figura 1.8:** Representación del Proceso de mezcla de aire en la carta Sicrométrica.

### 1.3.3 FACTOR DE CALOR SENSIBLE DEL LOCAL

El factor de calor sensible del local, es la relación entre la ganancia de calor sensible  $Q_s$ , sobre la suma de calor sensible y calor latente del local ( $Q_s + Q_L$ )

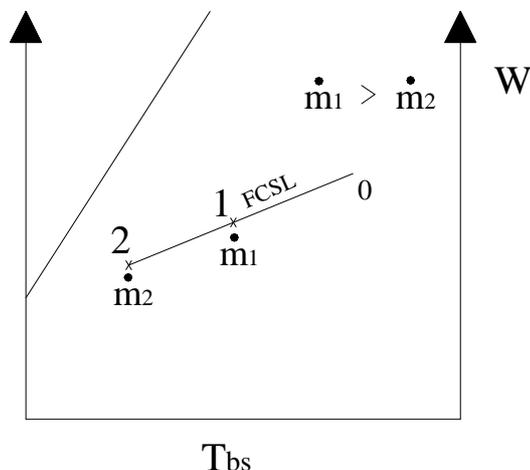
$$FCSL = \left( \frac{Q_s}{Q_s + Q_L} \right)_{LOCAL} = \left( \frac{Q_s}{Q_{TOTAL}} \right)_{LOCAL} \quad (1.7)$$

Esta ecuación traza una recta en la carta psicrométrica, la cuál atraviesa el punto de la condición de confort del aire en el local.

La línea de Factor de Calor Sensible del local tiene un significado muy importante ya que representa la forma de evolución del aire en el local. Entonces, si se desea alcanzar las condiciones de confort térmico en el local, es necesario que el estado del aire de suministro que se ingresa al local se encuentre en algún punto de esta línea.

La diferencia entre los puntos de estados térmicos que forman esta línea esta en el flujo de aire, en otras palabras, si el estado del aire de suministro se aleja del

punto de confort, el flujo de aire debe ser menor y por el contrario si el estado del aire de suministro se aproxima al punto de confort, entonces el flujo de aire de suministro debe aumentar.



**Figura 1.9:** Representación en la carta psicrométrica de 2 posibilidades a las que se puede suministrar el aire al local para alcanzar las condiciones de confort.

Para seleccionar el equipo de acondicionamiento de aire, la práctica normal se debe considerar una humedad relativa del 90% a la salida del enfriador.

Para el equipo de Enfriamiento y Deshumidificación de aire, se define un factor de Calor Sensible particular denominado Factor de Calor Sensible Bruto (FCSB), así:

$$FCSB = \frac{q_s}{q_T} \quad (1.8)$$

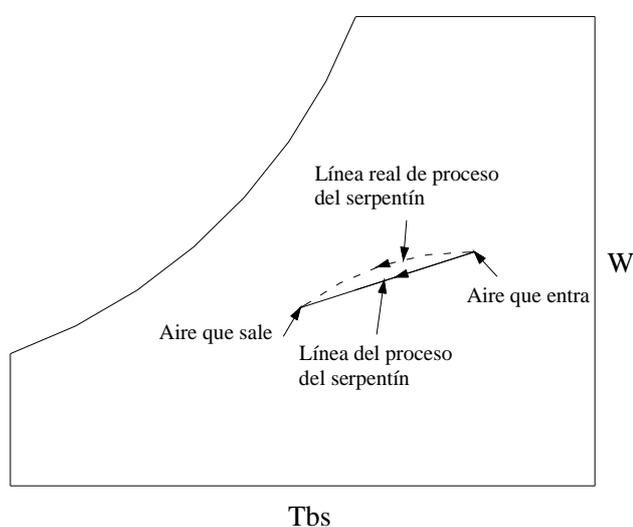
### 1.3.4 EVOLUCIÓN DEL AIRE EN EL SERPENTÍN

La evolución del aire que ingresa en un serpentín de enfriamiento y deshumidificación depende de la configuración del serpentín, la velocidad del aire y la temperatura del refrigerante. Si se representaran en la carta psicrométrica todos los estados por los que atraviesa el aire, se obtendría una línea curva que sería difícil de determinar matemáticamente, sin embargo, es posible trazar una recta en la carta psicrométrica, la cuál, aunque no es la línea verdadera del proceso del serpentín, permite seleccionar un serpentín o verificar el

funcionamiento de uno existente, a esta línea se la conoce como “*línea de proceso del serpentín*”.

La línea de proceso del serpentín se define, entonces, como la recta que se traza entre las condiciones del aire que entra al serpentín y que sale de él, como se muestra en la figura 1.10.

La capacidad de un serpentín se define como el calor sensible, latente y total que el serpentín elimina del aire que está acondicionando. La capacidad necesaria del serpentín, a la que se le llama carga del serpentín de enfriamiento o carga de refrigeración, se puede determinar a partir de la línea de proceso del serpentín.



**Figura 1.10:** Línea de proceso del serpentín.

### 1.3.5 FACTOR DE CONTACTO Y FACTOR DE DESVIACIÓN (BYPASS)

Cuando el aire atraviesa por un equipo de enfriamiento y deshumidificación, solo una porción de este aire toca la superficie de transferencia de calor y se enfría, mientras que la proporción restante abandona el equipo sin ser afectado.

El *factor de contacto* ( $Y$ ) se define como el porcentaje del aire que pasa por el equipo, que toca la superficie de enfriamiento y se enfría por este mecanismo.

El *factor de desviación, bypass* ( $X$ ) se define como la parte del aire que no toca la superficie y por lo tanto no se enfría por este mecanismo. De estas definiciones vemos que:

$$x + y = 1 \quad \text{de donde} \quad y = 1 - x \quad (1.9)$$

Se puede suponer que sólo el aire que entra en contacto con la superficie de enfriamiento se enfría y se deshumidifica, mientras que el aire de desviación deja el serpentín en las mismas condiciones que tenía cuando entró.

Las definiciones anteriores son hipotéticas y se las establecieron para poder desarrollar un modelo didáctico de la evolución del aire en el Enfriador Deshumidificador.

### 1.3.6 TEMPERATURA EQUIVALENTE DE SUPERFICIE

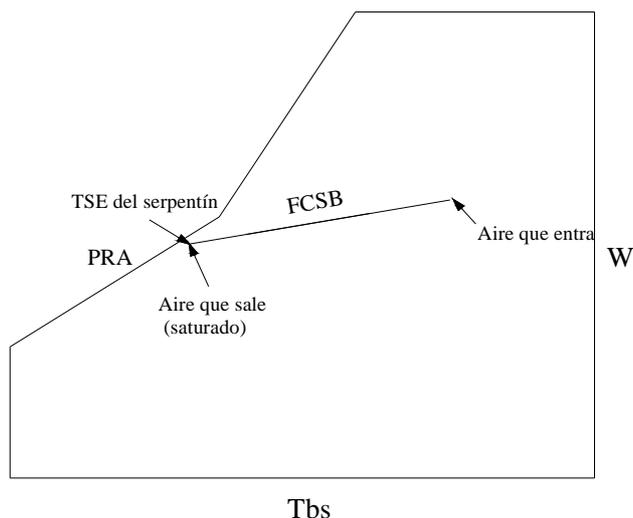
La temperatura en un intercambiador de calor (enfriador) a lo largo de los tubos no es uniforme, sino que cambia de un lugar a otro por diferentes motivos.

No obstante, se puede considerar una temperatura media de superficie de tal manera que si fuera constante en toda la superficie daría lugar a las mismas condiciones del aire a la salida que la temperatura real variable. Esta temperatura se llama "*Temperatura Equivalente de Superficie*" (TES). Para instalaciones en las que se realiza simultáneamente enfriamiento y deshumidificación, la temperatura equivalente de superficie estará representada por la intersección de la recta de FCSB con la curva de saturación (Fig. 1.11). Esta temperatura equivalente de superficie puede considerarse como el "*Punto de Rocío del Aparato*" (PRA)<sup>6</sup>.

De la definición se deduce que si todo el aire que pasa sobre el serpentín hiciera contacto con la superficie (Factor de contacto  $Y=1$ ), el aire saldría a una temperatura igual a la equivalente de superficie. Este aire estaría saturado cuando dicha temperatura fuera menor que el punto de rocío del aire y se eliminaría humedad.

---

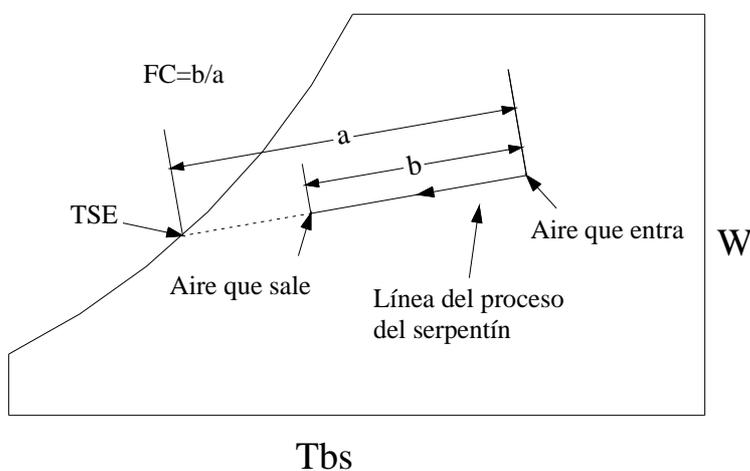
<sup>6</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición, Cap I



**Figura 1.11:** Línea de proceso del serpentín cuyo factor de contacto es  $Y=1$ .

Es claro que no es posible que un serpentín tenga un  $Y=1$ , porque necesariamente algo de aire que pasa debe circundar la superficie, por lo tanto, el aire que deja el serpentín nunca puede estar saturado. La cantidad de aire que circunda o se desvía de la superficie depende del tamaño y espaciamiento de los tubos del serpentín, de la velocidad del aire en la superficie, y del número y disposición de tubos sucesivos. Los factores de Desviación ( $X$ ) y contacto ( $Y$ ) se pueden medir para un serpentín a diferentes velocidades del aire. Una vez que se conocen, se puede predecir el desempeño del serpentín basado en el siguiente hecho: El Factor de contacto  $Y$  para un serpentín es la relación de la longitud de la línea de proceso del serpentín con la longitud total de dicha línea prolongada hasta la temperatura superficial efectiva, a lo largo de la línea de saturación.

El factor de contacto es  $Y = b/a$ . **(1.10)**



**Figura 1.12:** Determinación del FC para un serpentín de enfriamiento.

### 1.3.7 FACTOR DE CALOR SENSIBLE EFECTIVO (FCSE)

La noción de FCSE permite establecer una relación entre el balance térmico, el Factor de Desviación (X) y el punto de Rocío del Aparato (PRA), lo que simplifica la determinación del caudal de aire y la elección del equipo.

El FCSE se define como la relación entre las ganancias sensibles efectivas del local y la suma de las ganancias sensibles y latentes efectivas del mismo. Estas ganancias efectivas son iguales a la suma de las ganancias del local propiamente dicho aumentadas en las cantidades de calor sensible y latente correspondiente al caudal de aire que pasa por el equipo de enfriamiento y deshumidificación sin que su estado se modifique y cuyo porcentaje viene dado por el factor de desviación (X). Se tiene por lo tanto:

$$FCSE = \frac{CSEL}{CSEL + CLEL}$$

Donde:

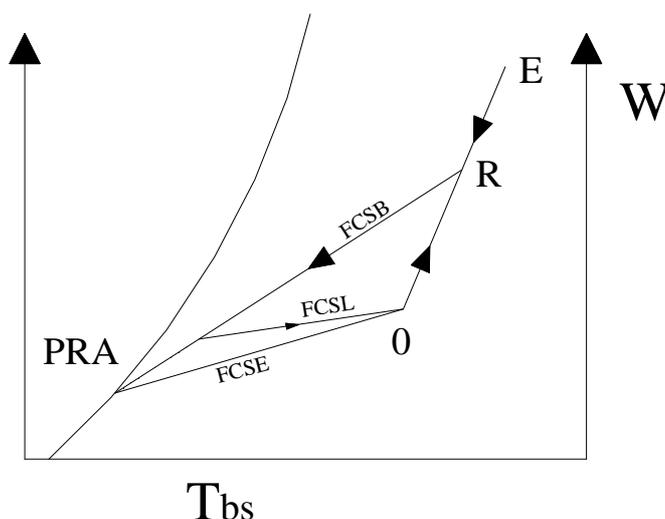
FCSE: Factor de Calor Sensible Efectivo

CSEL: Calor Sensible Efectivo del Local

CLEL: Calor Latente Efectivo del Local

$$FCSE = \frac{C_p(T_0 - T_{PRA})}{C_p(T_0 - T_{PRA}) + h_{fg}(W_0 - W_{PRA})} \quad (1.11)$$

La recta de FCSE puede obtenerse trazando en la Carta sicrométrica una recta que una el PRA y el estado que representa las condiciones interiores del local.



**Figura 1.13:** FCSE trazado en la Carta Sicrométrica.

### 1.3.8 ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

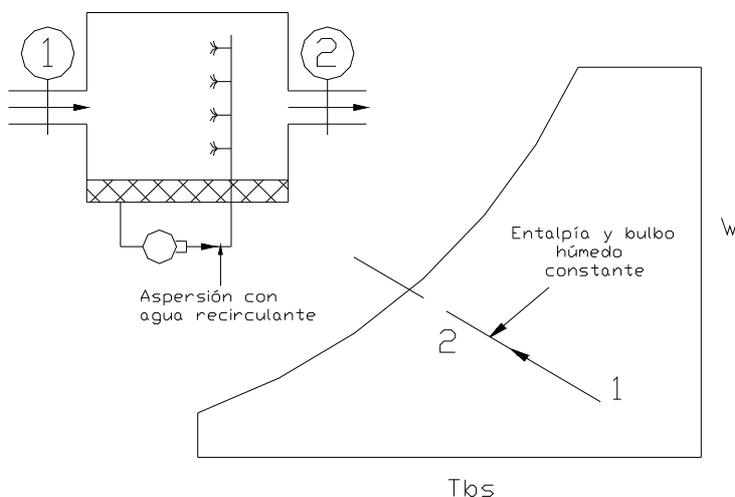
Existe un proceso especial de enfriamiento y humidificación que requiere una descripción más detallada: es el “*enfriamiento evaporativo*”.

En la Figura 1.14, se rocía agua en la corriente de aire. Algo del agua se evapora, aumentando el contenido de vapor de agua en el aire. El agua que no se evapora se recircula en forma continua y no se agrega calor externo al proceso.

Si la temperatura de bulbo seco del aire se mide cuando entra y sale de la unidad de acondicionamiento, se notará que la temperatura a la salida es más baja que la de la entrada, aunque no se use enfriamiento externo. Esto indica que se ha suministrado calor sensible al aire. En este caso, la pregunta importante es: ¿Qué originó el descenso de temperatura?.

La evaporación de agua necesita de energía. Como no hay fuente externa de calor, a diferencia del proceso de humidificación pura que se describió antes, esta energía se debe obtener del aire, disminuyendo su temperatura.

El enfriamiento evaporativo se trata de un proceso de entalpía constante debido a que no existe energía que se agregue ni que se elimine de la mezcla de aire y vapor de agua. Simplemente hay un intercambio de calor. El calor sensible disminuye y el calor latente aumenta en la misma cantidad. Un proceso en el cual no varía el contenido total de calor se llama proceso adiabático. La línea de proceso en la carta sicrométrica para el enfriamiento evaporativo, es una línea de entalpía constante<sup>7</sup>.



**Figura 1.14:** Proceso de Enfriamiento Evaporativo.

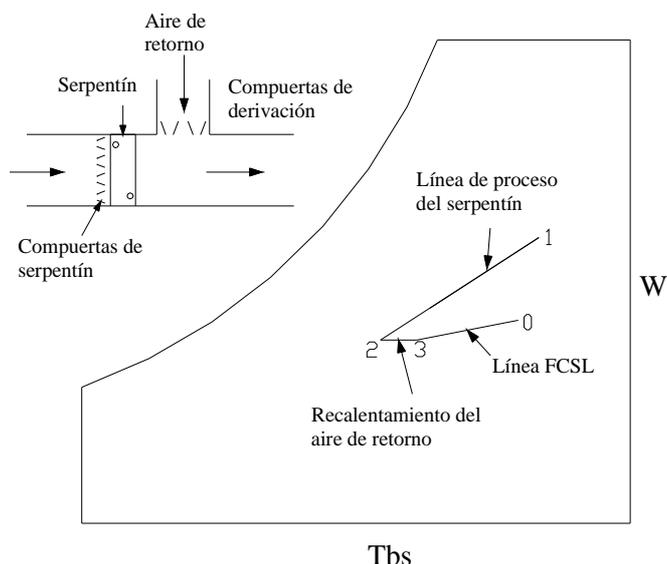
<sup>7</sup> PITA, Edward G. “Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición , Cap VII

### 1.3.9 RECALENTAMIENTO

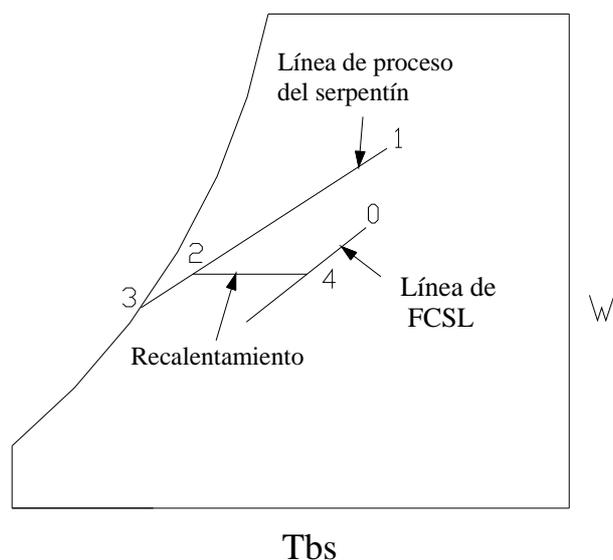
En la mayoría de los sistemas de aire acondicionado se ubican serpentines de calentamiento después del serpentín de enfriamiento para recalentar el aire frío antes de entregarlo a los locales; esto es confuso y parece un desperdicio de energía. En verdad, en muchos casos es un desperdicio innecesario de energía, sin embargo, a veces se necesita el proceso de recalentamiento para entregar aire de suministro con condiciones satisfactorias. La figura 1.15 muestra el empleo del recalentador.

En la Figura 1.16 se observa que la línea de FCSL (0-4) tiene una pendiente muy pronunciada y no intersecta a la curva de saturación, por lo tanto no existe un serpentín de enfriamiento y deshumidificación que pueda entregar el aire de suministro a las condiciones adecuadas para el local, ya que la línea de proceso del serpentín (1-2-3) si intersecta dicha curva, con lo cuál las dos líneas nunca se cruzarían.

Este problema se solucionaría con ayuda de un recalentador, el cuál calienta el aire hasta llegar a la línea de FCSL (2-4) y de esta forma el sistema de aire acondicionado funcionaria satisfactoriamente.



**Figura 1.15:** Recalentamiento para dar una condición satisfactoria al aire de suministro.

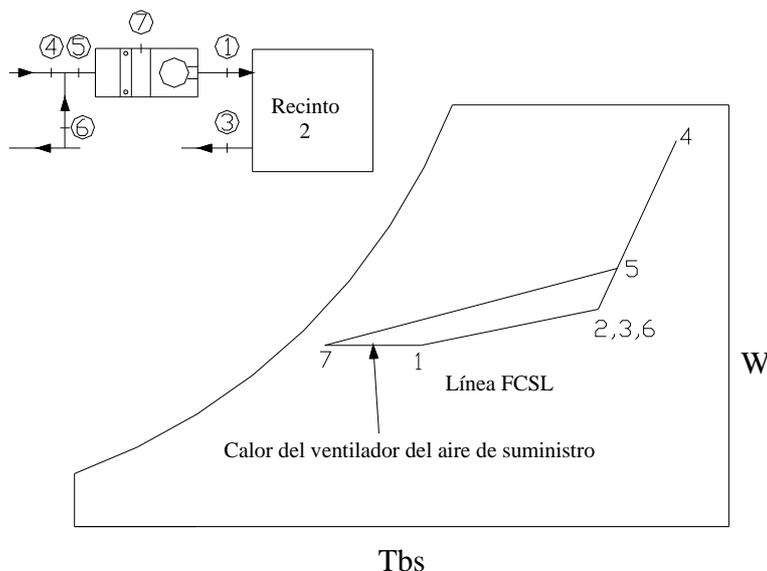


**Figura 1.16:** Condición en la que es necesario utilizar un recalentador.

### 1.3.10 GANANCIAS DE CALOR EN EL VENTILADOR

Los ventiladores producen energía que se convierte en ganancias de calor tanto en el aire de suministro como en el aire de retorno. Sin embargo si estas ganancias representan una parte mínima del calor total del aire, se puede omitir su efecto. No existe una regla precisa para determinar cuándo se deben tener en cuenta, sin embargo, mientras mayor sea la presión estática del ventilador, mayor será la ganancia de calor. Por lo tanto, para sistemas pequeños con tramos cortos de conducto se puede ignorar con frecuencia este efecto. Lo mejor es calcular la ganancia en cada caso y a continuación decidir si es significativa o no. Las ganancias de calor que elevan la temperatura del aire en uno o más grados °F, usualmente se deben incluir en el análisis.

En la figura 1.17 se muestran los procesos psicrométricos cuando se incluyen las ganancias de calor de un ventilador de aire para una unidad de aire acondicionado de tipo succión. Nótese que la condición del aire de suministro, estado 1, está a mayor temperatura de bulbo seco  $T_{bs}$  que la condición del aire que sale del serpentín de enfriamiento, estado 7. Por lo tanto, la carga del serpentín de enfriamiento es mayor y el análisis psicrométrico lo debe incluir.



**Figura 1.17:** Efecto debido a la ganancia de calor del aire de suministro debida al ventilador de succión.

Además de considerar las ganancias de calor en los ventiladores, es necesario tomar en cuenta las ganancias de calor producidas a través de los conductos, ya que si estos valores son apreciables, también afectarían las ubicaciones de los estados del ciclo del sistema de aire acondicionado en la carta Psicrométrica.

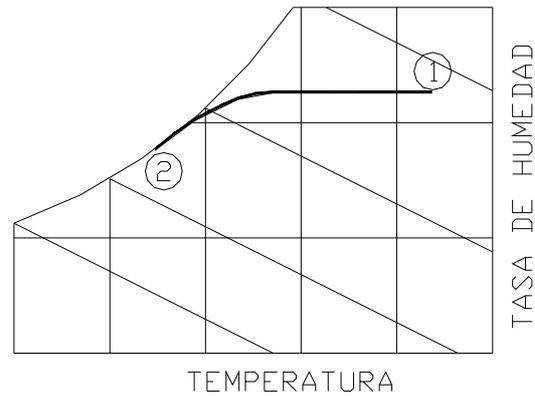
## 1.4 PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DEL AIRE

En los apartados anteriores se estableció la forma en que se desarrollaban los procesos de calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación; ahora se indicará los métodos utilizados para realizar estos procesos.

### 1.4.1 ENFRIAMIENTO

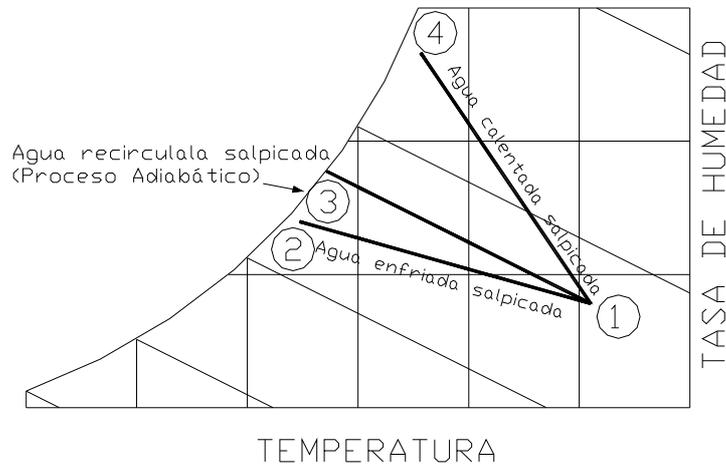
El enfriamiento se lo puede realizar por medio de tres diferentes métodos básicos:

1. Por Expansión Directa, que aprovecha el calor latente del fluido como se muestra en el diagrama psicrométrico en la Figura 1.18.



**Figura 1.18:** Enfriamiento y Deshumidificación por Expansión directa.

2. Por Serpentes inundados, donde la diferencia de temperatura entre el fluido y el aire causa un intercambio de energía por el mismo proceso que en la Figura 1.18.
3. Por aspergeo directo del agua en la corriente de aire (Figura 1.19), en la cuál se usa el calor latente de evaporación del agua en un proceso adiabático. En un enfriador evaporativo se rocía o se gotea agua (la cuál es recirculada) sobre un filtro o almohadilla, obteniendo enfriamiento sensible y latente<sup>8</sup>.



**Figura 1.19:** Enfriamiento por agua salpicada.

## 1.4.2 CALENTAMIENTO

Se puede utilizar tres métodos básicos para calentar el aire:

1. Vapor, en el cuál se usa el calor latente del vapor de agua.
2. Serpentes inundados, en el cuál se usa la diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el aire.

<sup>8</sup> ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2

3. Calentamiento eléctrico, en donde también se usa la diferencia de temperatura entre el serpentín de calentamiento y el aire para intercambiar energía.

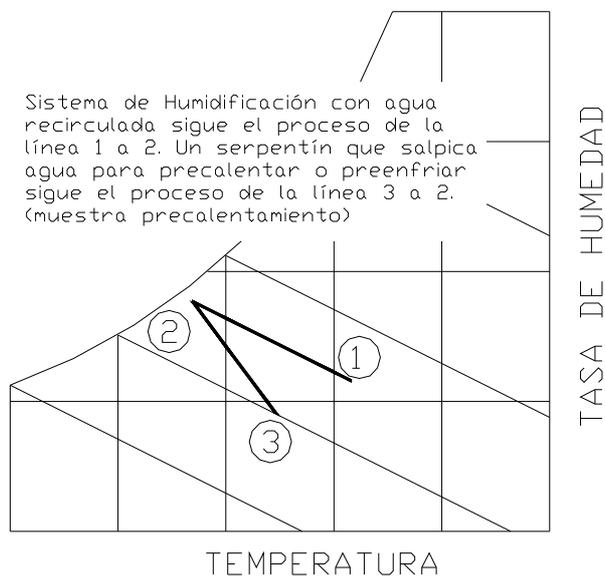
El efecto en el flujo de aire para cada uno de estos procesos es el mismo.

### 1.4.3 HUMIDIFICACIÓN

Los siguientes métodos son utilizados para humidificar el aire:

1. Por aspersion directa del agua recirculada dentro de la corriente de aire (lavador de aire), lo cuál reduce la temperatura de bulbo seco mientras mantiene casi constante el bulbo húmedo en un proceso adiabático [vea Figura 1.19, paso (1) a (3)]. El aire puede también ser deshumidificado por cambio de la temperatura del agua a rociar.

Otro método es rociar o distribuir agua sobre un medio poroso, tal como los enfriadores evaporativos e invernaderos comerciales, pero este método requiere monitoreos cuidadosos de la condición del agua porque cultiva contaminantes biológicos en la corriente de aire.



**Figura 1.20:** Humidificación.

2. Inyección de vapor. Este método es un proceso de bulbo seco constante. Sin embargo, como el vapor inyectado puede estar sobrecalentado, entonces también incrementará la temperatura de bulbo seco del aire.

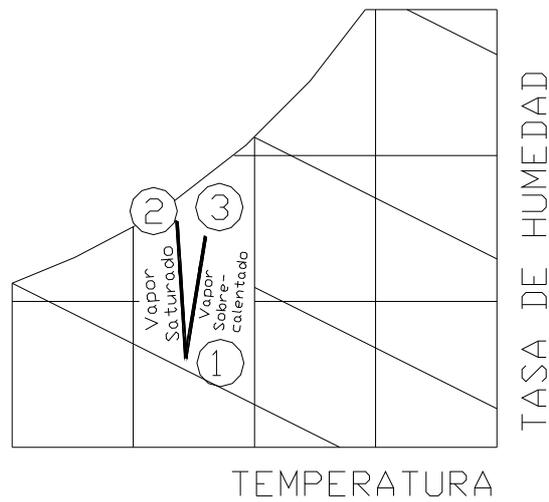


Figura 1.21: Humidificador a vapor.

#### 1.4.4 DESHUMIDIFICACIÓN

1. La humedad del aire puede reducirse al condensarse el agua del aire humedo en un serpentín de enfriamiento, siempre y cuando la temperatura de la superficie del serpentín sea menor que la temperatura de punto de rocío del aire.
2. De una manera similar, el aire también puede ser deshumidificado si un fluido con una temperatura menor que el punto de rocío del flujo de aire es rociado dentro de la corriente de aire. El proceso es idéntico al que muestra la Figura 1.18.
3. Deshumidificación química involucra el paso del aire sobre un sólido disecante o también se puede rociar al aire una solución del disecante y agua. Ambos procesos añaden calor, a menudo llamado el calor latente de humidificación, para que el aire sea deshumidificado.

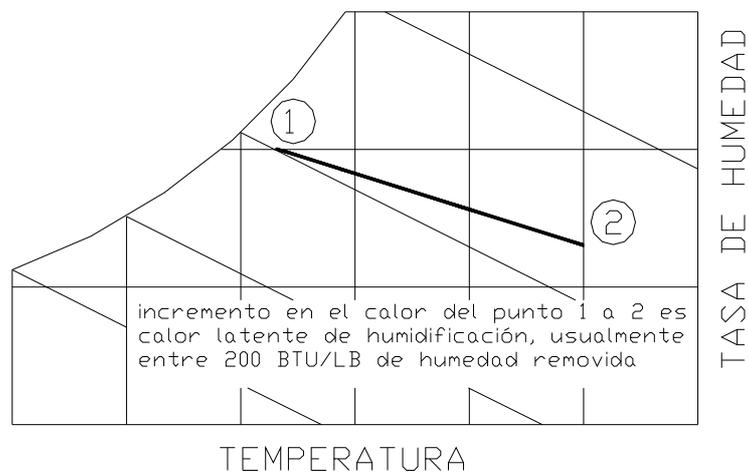


Figura 1.22: Deshumidificador químico.

## 1.5 REFERENCIAS

1. AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE, Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado, 3ª edición Cap. A28
2. CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica, Tomo II, 2ª edición Cap.XIII
3. SEMANATE N. Julio E. Simulación de Sistemas de Aire Acondicionado para edificios, Cap. III, Tesis. Quito. EPN.
4. ASHRAE Handbook 1997, Fundamentals, Chapter VI
5. PITA, Ewgard G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición , Cap VII
6. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap I
7. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2

## **CAPITULO 2**

### **SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO**

#### **INTRODUCCIÓN**

Una vez que se conocen los conceptos básicos y las leyes generales que rigen el campo del aire acondicionado, es necesario estudiar las distintas clases de sistemas existentes para el acondicionamiento del aire y la climatización.

Un sistema de aire acondicionado que cubra las necesidades térmicas de un local específico, no necesariamente cubrirá las necesidades térmicas de otro local ya que dichos locales presentan características térmicas diferentes y propias por razones como cambios en las temperaturas externas, radiación solar, la actividad física de los ocupantes, etc. Esta es la razón por la que se han desarrollado un sin número de sistemas de aire acondicionado.

En el presente capítulo se mostrarán los aspectos que se deben considerar para seleccionar un sistema de aire acondicionado eficiente; también se ilustrará los elementos que conforman dichos sistemas y por último se estudiarán los diferentes tipos de sistemas existentes en la tecnología del aire acondicionado.

#### **GENERALIDADES**

Un sistema de aire acondicionado mantiene las condiciones medioambientales deseadas dentro de un espacio determinado, pero para alcanzar esta meta, el diseñador tiene a su alcance un gran número de alternativas. Por tal motivo es imprescindible indicar los problemas particulares y limitaciones que plantean ciertas aplicaciones ya que el sistema debe responder a las cargas externas y cargas internas, además debe satisfacer a la carga instantánea máxima y ser capaz también de trabajar en condiciones de carga parcial.

Los factores que se deben considerar para elegir un sistema de aire acondicionado eficiente son:

1. Factores económicos
  - a. Costo inicial
  - b. Costo de operación
  - c. Costo de mantenimiento
2. Espacio (local) o edificio
  - a. Utilización
  - b. Situación
  - c. Orientación y forma
3. Concurrencia de las condiciones externas, de
  - a. Temperatura
  - b. Humedad
  - c. Viento
  - d. Exposición al sol o a otras fuentes de calor
  - e. Sombras
4. Diversidad de la carga interna
  - a. Ocupantes
  - b. Iluminación
  - c. Otras fuentes de calor
5. Capacidad para el almacenamiento de ganancias térmicas
6. Necesidad y capacidad de precalentamiento
7. Aspectos físicos del espacio o edificio al que ha de adaptarse
  - a. Equipo
  - b. Sistema
  - c. Funcionamiento equilibrado con carga parcial.
8. Requerimientos de funcionamiento
9. Requerimientos de capacidad
10. Fiabilidad
11. Flexibilidad
12. Mantenimiento<sup>9</sup>.

La importancia relativa de estos factores varía de un proyecto a otro, por lo que es necesario que el diseñador del sistema este completamente de acuerdo con la persona que invertirá en el proyecto para que se puedan alcanzar los objetivos funcionales trazados.

---

<sup>9</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX

## 2.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA

Los elementos básicos, los discretionales y su función están relacionados en la tabla 2.1.

**TABLA 2.1:** Componentes de un Sistema de Aire Acondicionado.

| <b>Componentes del Sistema</b>   | <b>Función que Realizan</b>   |
|--|---|
| <b>Circuito de aire</b><br>1. Toma de aire exterior (Persianas, compuertas).<br>2. Batería de precalentamiento<br>3. Toma de aire de retorno (persianas)<br>4. Filtro<br>5. Batería de enfriamiento (lavador por pulverización, o batería de frío por expansión directa, agua, salmuera, con o sin pulverizadores)<br>6. Batería de calefacción<br><br>7. Humectador<br>8. Ventilador<br>9. Conductos<br>10. Rejillas<br><br>11. Unidad Terminal | Aire para ventilación y refrigeración en las estaciones intermedias.<br>Calienta el aire<br>Entrada del aire de retorno o recirculación<br><br>Elimina la suciedad del aire<br>Enfría y seca el aire (lavado del aire con pulverizadores)<br><br>Calienta en Invierno y produce un caldeo del aire a efectos de regulación de humedad.<br>Humedece el aire<br>Propulsión de aire<br>Distribución del aire a las distintas zonas<br>Distribución del aire dentro de cada espacio acondicionado.<br>Unidad de impulsión de aire que puede tener cámara de mezcla, serpentín enfriador, y/o batería de caldeo, tratamiento acústico y boca de impulsión. |
| <b>Circuito de refrigeración</b><br>12. Aparato de refrigeración (compresor, condensador, enfriador y tuberías)  | Elemento enfriador  |
| <b>Circuito de agua</b><br>13. Bomba<br>14. Tubería de agua o salmuera<br><br>15. Torre de enfriamiento  | Propulsión de agua o salmuera<br>Circulación del agua o salmuera entre los intercambiadores<br>Enfriamiento del agua del condensador  |
| <b>Circuito de calefacción</b><br>16. Caldera y accesorios<br>17. Tuberías   | Produce vapor o agua caliente<br>Circulación de vapor o agua caliente   |
| <b>Circuito de Control Electrónico</b><br>18. Contactores<br>19. Relés<br>20. PLCs   | Energizan los motores y equipos.<br>Energizan a los contactores<br>Controlan el sistema por medio de un software.   |

## 2.2 TIPOS DE SISTEMAS

Los sistemas de aire acondicionado se clasifican en cuatro tipos básicos que dependen de la forma en que se alcanza el enfriamiento o la calefacción del local que se acondiciona:

- Expansión directa
- Sistemas Todo – Agua
- Sistemas Todo – Aire
- Sistemas Aire – Agua

Las Bombas de Calor, aunque son consideradas como de expansión directa, tienen una clasificación separada debido a las características propias que presenta<sup>1</sup>.

### 2.2.1 SISTEMA DE EXPANSIÓN DIRECTA

Los Sistemas de expansión directa (DX) son unidades de tratamiento de aire ensamblados en fábrica, capaces de producir aire frío sin requerir otras instalaciones adicionales. Están compuestos por los elementos de refrigeración básica como son: compresor, evaporador, condensador y válvula de estrangulación; adicionalmente están provistos de controles automáticos, filtros y ventiladores.

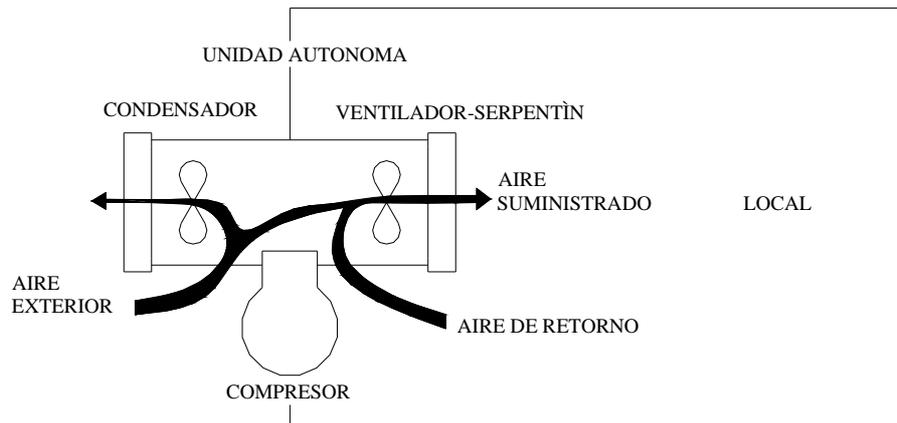
Este sistema de acondicionamiento de aire es el más elemental y se lo conoce también como unidad autónoma o unidad tipo armario, la cuál necesita de una abertura en la pared (ventana) para tomar el aire.

El control de estas unidades suele ser del tipo todo-nada, o control escalonado para las unidades mayores; sin embargo, en la mayoría de los casos el ventilador funciona continuamente.

El sistema de expansión directa suele ser utilizado en residencias particulares, oficinas, establecimientos comerciales o grupos de locales que constituyen zonas individuales<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. “Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX



**FIGURA 2.1:** Sistema de Expansión Directa (DX)

El tamaño de las unidades autónomas varía desde pequeños enfriadores de habitación de tonelaje fraccionario, hasta grandes unidades que están en la categoría de las 100 toneladas.

#### 2.2.1.1 Ventajas

- El control del ambiente en la habitación es individual, simple y económico.
- La distribución del aire en cada habitación es individual y puede adaptarse a las necesidades del ocupante.
- El fabricante provee los componentes del equipo con sus respectivos certificados de uso y datos de funcionamiento.
- Si el equipo funciona mal ó se paraliza, únicamente dicho equipo y la zona en que funcionan son afectadas.
- Para ahorrar el consumo de energía, se puede apagar los equipos que estén funcionando en zonas no ocupadas, sin afectar las zonas vecinas.
- No se requiere adiestramiento de personal para la operación del equipo, ya que su funcionamiento es muy simple.
- El Costo inicial es usualmente bajo.
- La energía puede ser medida directamente de cada arrendatario.

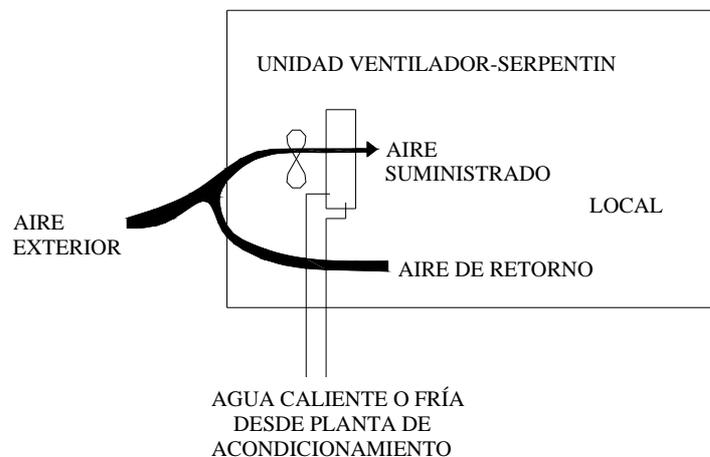
#### 2.2.1.2 Desventajas

- El equipo no posee flexibilidad en su funcionamiento ya que su capacidad de enfriamiento es constante y además el flujo de aire no es variable.
- Generalmente estos sistemas no pueden mantener un estricto control de la humedad ambiental.

- Se pueden presentar altos niveles de sonidos de operación.
- La apariencia que muestran los equipos en los edificios no es muy atractiva.
- Las opciones de filtración de aire son limitadas.
- Debido a que el sistema esta localizado en el local acondicionado, es difícil realizar el mantenimiento necesario.

### 2.2.2 SISTEMAS TODO - AGUA

Los sistemas todo-agua, al igual que los sistemas de expansión directa necesitan de una abertura en la pared para instalar su unidad terminal llamada unidad Ventilador-Serpentín pero con la diferencia de que el sistema todo-agua si necesita de otros sistemas para acondicionar el aire. Esta unidad Ventilador-Serpentín es un intercambiador de calor que intercambia energía entre el aire caliente y el agua fría en el Verano, ó el aire frío y el agua caliente en el invierno.



**FIGURA 2.2:** Sistema Todo – Agua

El aire utilizado por el sistema es una mezcla de dos corrientes de aire, aire exterior y aire de retorno, que son tomados directamente del local y de su ambiente cercano; en tanto que el agua utilizada es procesada en una fuente alejada del local, la cuál, dependiendo de la estación del año, puede tratarse de un equipo enfriador de agua llamado Chiller ó una Caldera que calienta el agua.

El agua y el aire son llevados al intercambiador de calor por medio de conductos, para finalmente llevar al aire a las condiciones deseadas para distribuirlo en el local.

Este tipo de sistemas es utilizado en edificios de muchas habitaciones como: hoteles, edificios de apartamentos y oficinas, oficinas de fábricas y pequeños centros médicos.

#### **2.2.2.1 Ventajas:**

- Permiten un aceptable control de temperatura en un espacio individual.
- Evitan el cruce de aire contaminado de una habitación a otra.
- El sistema es capaz de proveer enfriamiento y calentamiento simultaneo en diferentes zonas.
- El sistema puede funcionar continuamente.

#### **2.2.2.2 Desventajas**

- El mantenimiento de los sistemas todo-agua necesariamente debe ser realizada en áreas ocupadas.
- Las unidades que trabajan con un bajo punto de rocío requieren bandejas para recolectar el agua que ha sido condensada del aire y un sistema de drenaje que debe ser limpiado periódicamente.
- El agua condensada en el local puede dañar los muebles y aparatos eléctricos.
- La limpieza del serpentín es difícil de realizarla.
- La ventilación es a menudo obtenida por ventanas abiertas o por instalación de aperturas de pared exteriores, además las tasas de ventilación son afectadas por la dirección y velocidad del viento<sup>11</sup>.

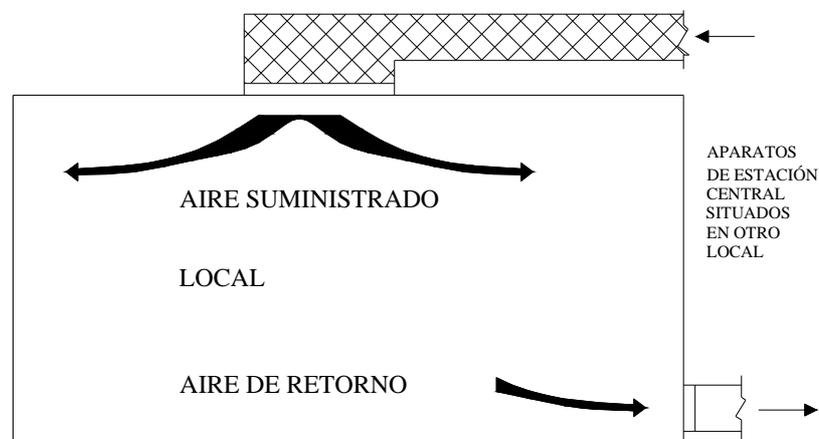
---

<sup>11</sup> ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 4

### 2.2.3 SISTEMAS TODO – AIRE

El sistema Todo-Aire esta constituido por una unidad de tratamiento de aire que se encuentra alejada del local que se va a acondicionar y montada en forma de central en un cuarto de máquinas, lo único que llega al espacio acondicionado es el aire que circula por un sistema de conductos y que sirve tanto para enfriar como para calentar, dependiendo de la estación del año.

En el cuarto de máquinas se encuentran todos los equipos necesarios para llevar al aire a las condiciones de confort térmico, estos equipos pueden ser: Enfriadores, calentadores, humidificadores, filtros, ventiladores, bombas, etc.



**FIGURA 2.3:** Sistema Todo – Aire.

Los sistemas todo-aire son clasificados de la siguiente manera:

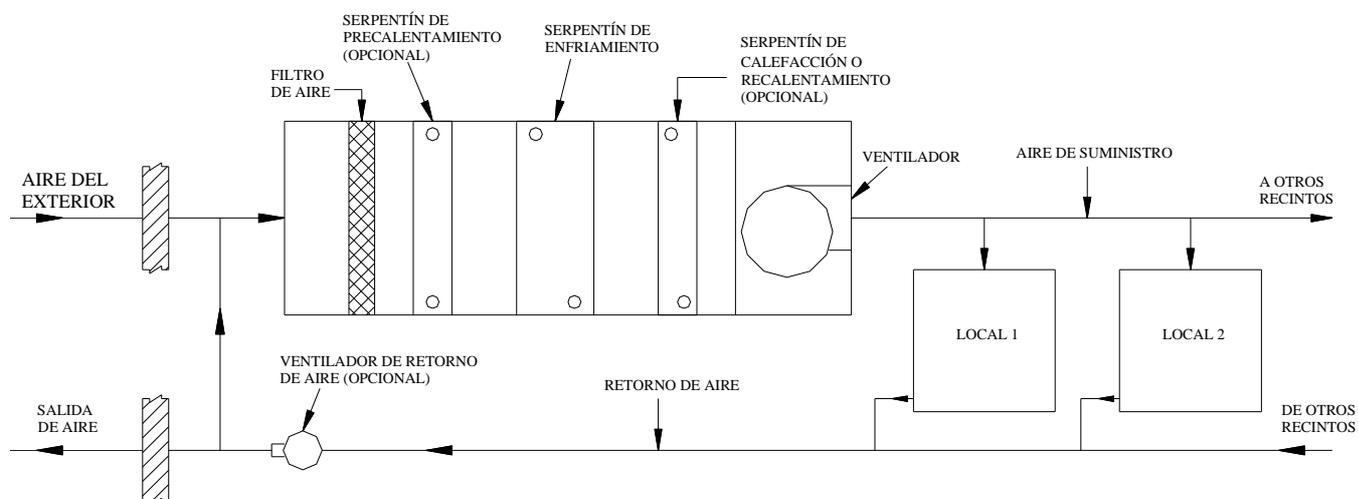
1. Sistemas de Conducto Único
  - Volumen de aire Constante
  - Volumen de aire Variable (VAV)
2. Sistemas de Conducto Dual
  - Conducto Dual
  - Multizona<sup>12</sup>.

#### 2.2.3.1 Sistemas de Conducto Único

Los sistemas de conducto único todo-aire poseen un solo conducto de circulación de aire con salidas standard de distribución y control directo de las condiciones

<sup>12</sup> ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2

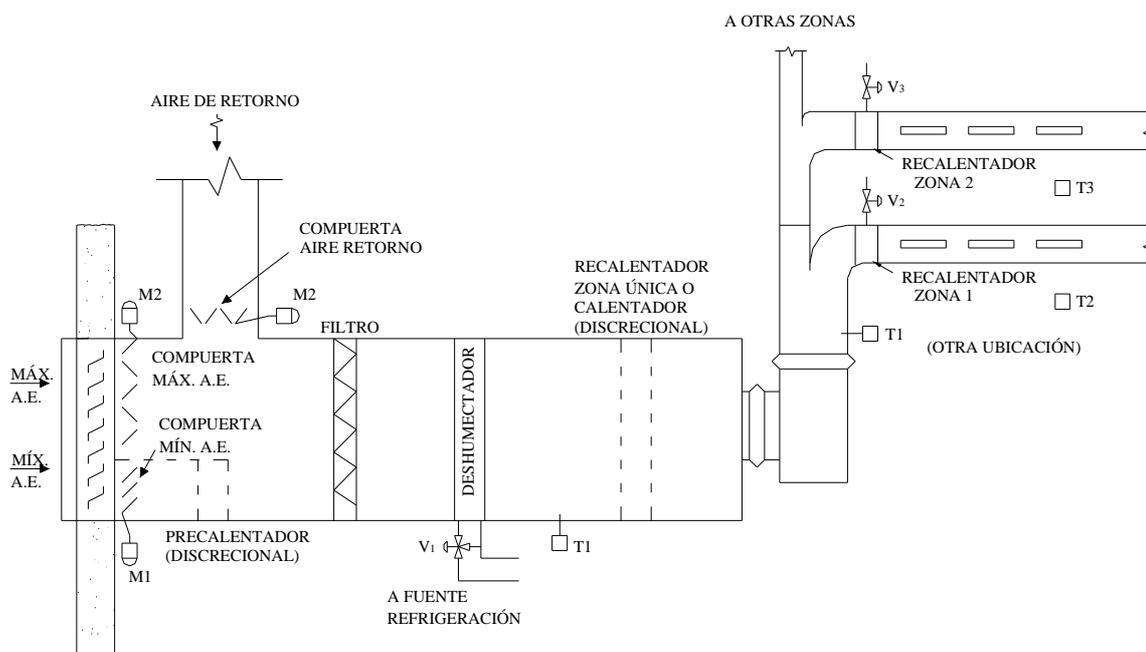
del local. Estos sistemas se aplican dentro de áreas definidas destinadas a usos de condiciones constantes, ofreciendo un control de temperatura y humedad muy preciso, pero también pueden ser utilizados en condiciones variables como por ejemplo, tiendas, espacios interiores de oficinas y fábricas en que no se requiere un estricto control de la temperatura y de la humedad. No obstante, estos sistemas pueden estar previstos para satisfacer requisitos muy exactos.



**FIGURA 2.4:** Sistema de conducto único.

#### 2.2.3.1.1 Sistema de Conducto Único y Volumen Constante

Para que el flujo de aire se mantenga constante, el sistema de conducto único y volumen constante cambia la temperatura del aire de suministro en respuesta a la carga del espacio.



**FIGURA 2.5:** Sistema de conducto único de Volumen constante con control de recalentamiento de aire<sup>13</sup>.

Los sistemas de conducto único y volumen de aire constante, a su vez se clasifican en:

- Sistemas de zona única
- Sistemas de recalentamiento zona múltiple
- Sistemas de Bypass.

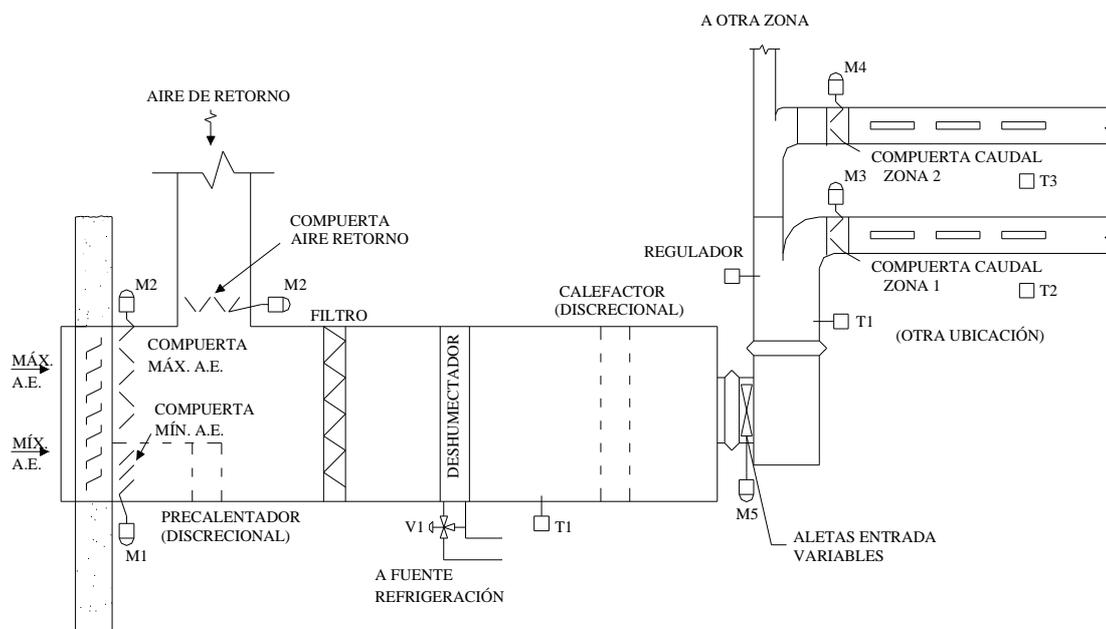
#### 2.2.3.1.2 *Sistemas de Conducto Único y Volumen de Aire Variable (VAV)*

Un sistema de Volumen de Aire Variable, controla la temperatura en un espacio por variación de la cantidad de aire de suministro, lo cual es mejor que variar la temperatura del aire de suministro. Un aparato terminal VAV situado en los conductos varía la cantidad de aire de suministro al local y la temperatura del aire del local acondicionado se mantiene relativamente constante, dependiendo de la estación.

El sistema de volumen variable debe fluctuar el volumen del aire dentro de un rango de 75-80 % de la cantidad total, ya que un volumen menor de aire puede originar un tiro o efecto de chimenea debido a que la corriente de aire no es completa.

<sup>13</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. *Manual de Aire Acondicionado*, 5ª Edición, Cap X

Los Sistemas de Volumen de aire Variable pueden ser aplicados en zonas interiores o perimetrales y con alternativas de calentamiento auxiliar. Con este tipo de sistema se puede obtener un gran ahorro de energía en las zonas perimetrales del edificio, cuando las variaciones de la carga sola y la temperatura exterior permitan reducir la cantidad de aire de suministro.



**FIGURA 2.6:** Sistema de conducto único de Volumen de aire variable.

El control de la humedad relativa es un problema en los sistemas VAV. Si la humedad es crítica, como en centrales de investigación, laboratorios de desarrollo, trabajo de procesos, etc., los sistemas deben tener que ser limitados a flujo de aire de volumen constante.

Los sistemas de conducto único con volumen de aire variable se clasifican en:

- Sistemas de Recalentamiento
- Sistemas de Inducción
- Sistemas de Impulso del ventilador
- Sistemas de Conducto dual
- Sistemas de Difusores variables

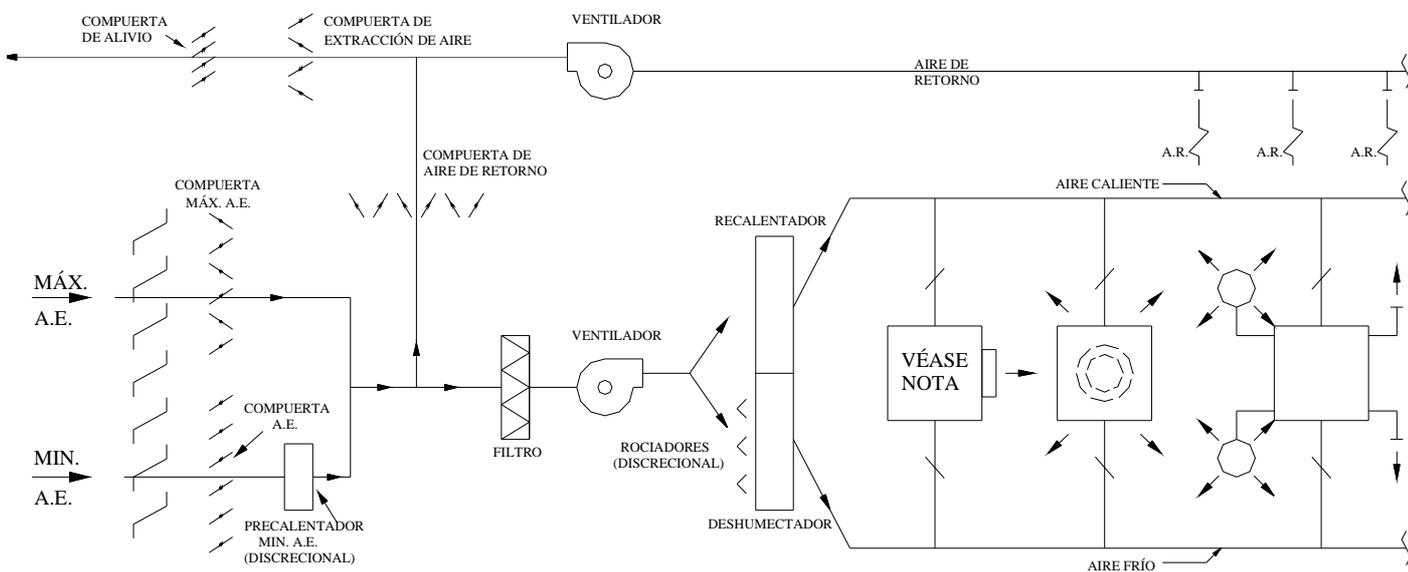
### 2.2.3.2 Sistemas de Conducto Dual

El sistema todo-aire de conducto dual es un sistema moderno de estación central que puede ser aplicado a edificios. Este sistema esta proyectado para suministrar dos corrientes de aire a los locales.

#### 2.2.3.2.1 Sistemas de Conducto Dual

Un sistema de conducto dual acondiciona todo el aire en una unidad central y lo distribuye en el local a través de dos líneas paralelas principales o conductos, un conducto transporta aire frío y el otro transporta aire caliente. En cada espacio o zona acondicionada, una válvula mezcla el aire caliente y frío en proporción idónea para satisfacer la carga del espacio<sup>14</sup>.

Estos sistemas pueden ser diseñados como sistemas de aire de volumen constante o sistemas de aire de volumen variable.



NOTA: ESTA UNIDAD DE TERMINAL PUEDE SER VERTICAL U HORIZONTAL

**FIGURA 2.7:** Sistema de conducto dual.

<sup>14</sup> ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2

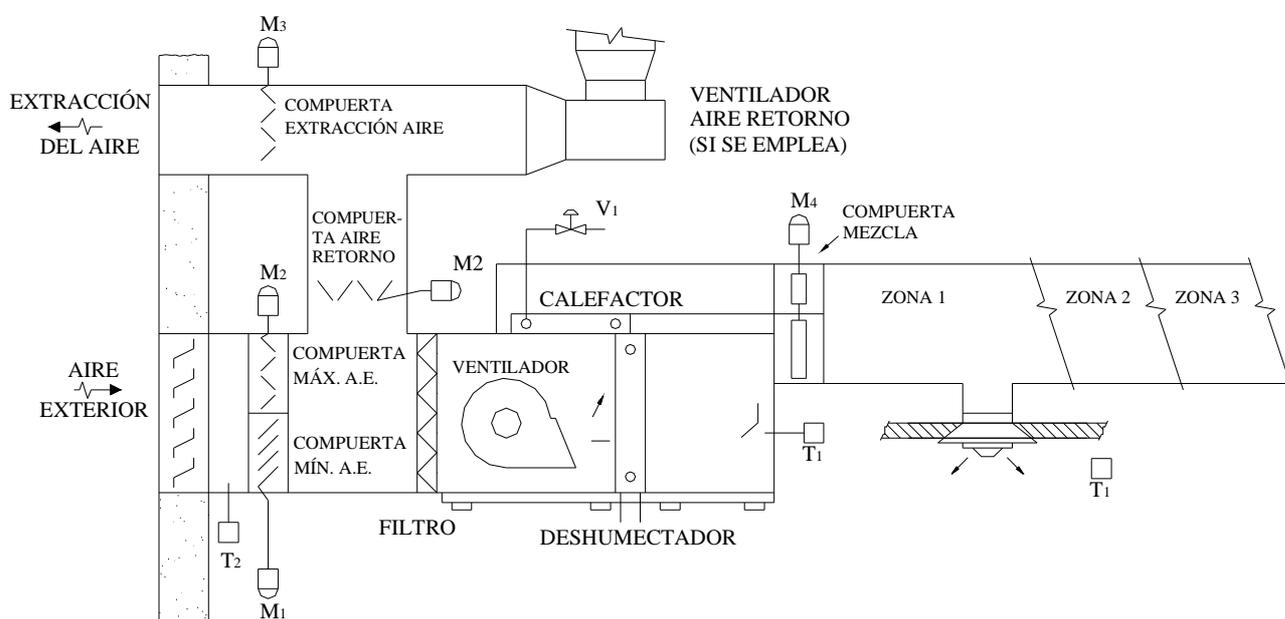
### 2.2.3.2.2 Sistema de Conducto Dual Multizona

El sistema multizona usa una unidad de acondicionamiento de aire que tiene un serpentín de calentamiento y un serpentín de enfriamiento en paralelo.

El aire frío y el caliente se mezclan en proporciones variables mediante las compuertas de acuerdo con las necesidades de las zonas.

Se recomienda el sistema cuando existan una o más de las siguientes condiciones:

1. El área se compone de varios locales o espacios grandes o pequeños que deben ser controlados individualmente.
2. El área incluye zonas con diferentes exposiciones y diferentes características de carga interna
3. El área combina una gran zona interior con un grupo relativamente pequeño de espacios exteriores.
4. El área se compone de espacios interiores con características individuales de carga.



**FIGURA 2.8:** Sistema multizona.

El sistema multizonas puede proporcionar un buen control de temperatura en los locales, pero debido a que parte del aire mezclado se desvía del serpentín de

deshumidificación, el control de humedad puede ser poco satisfactorio en aplicaciones en las que se usa una gran proporción de aire exterior.

En aplicaciones pequeñas y medianas donde se deseen pocas zonas separadas y no sean críticas las condiciones de humedad, el sistema es relativamente económico.

En general los sistemas todo-aire pueden ser adaptados para muchas aplicaciones de confort o procesos de trabajo. Son usados en edificios que requieren control individual o zonas múltiples tales como edificios de oficinas, escuelas, universidades, laboratorios, hospitales, tiendas, hoteles e incluso en barcos.

### **2.2.3.3 Ventajas:**

Los sistemas todo aire tienen las siguientes ventajas:

- La ubicación del equipo en un cuarto central de maquinas permite realizar la operación y mantenimiento en áreas desocupadas. En adición, permite incorporar un alto rango de opciones de equipos para filtración, control de vibración y ruido.
- Permite concentrar tuberías, equipos eléctricos, cables, filtros y equipos que producen vibración y ruido en una zona central. Por otro lado el área acondicionada minimiza las necesidades de servicio y reduce daños potenciales a los ocupantes, muebles y procesos.
- El cambio de estación es simple y el control automático se adapta fácilmente.
- Permite incorporar de forma aceptable recuperadores de calor del tipo aire a aire y otros.
- Permiten una buena flexibilidad de diseño para una óptima distribución de aire, control de flujo y adaptabilidad para variaciones de los requerimientos del local.
- Los sistemas todo aire se adaptan bien para humidificación en invierno.

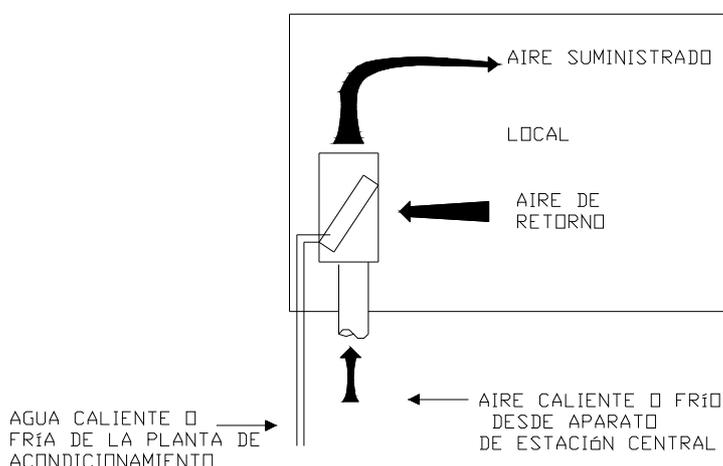
### 2.2.3.4 Desventajas:

Los sistemas todo-aire tienen las siguientes desventajas:

- Requieren de espacio para conductos adicionales lo cual reduce la utilidad del área de piso e incrementa la altura de la construcción.
- La construcción del sistema requiere una cercana cooperación entre diseñadores arquitectónicos, mecánicos y estructurales.
- El equilibrio del aire, particularmente en sistemas grandes, puede ser muy difícil.

### 2.2.4 SISTEMAS AIRE – AGUA

Los sistemas aire-agua utilizan plantas de refrigeración de agua y unidades de tratamiento de aire, que se encuentran alejados del local acondicionado, pero utilizan unidades terminales (intercambiadores de calor) que se encuentran ubicados en el local mismo, a donde llegan por medio de tuberías el agua y el aire que ya han sido procesados para intercambiar su energía y proporcionar el aire acondicionado conveniente.



**FIGURA 2.9:** Sistema Aire - Agua.

Este sistema es utilizado tanto para enfriar en verano como para calentar en el invierno<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX

El aire y el agua son enfriados por Chillers o calentados por Calderas en una central de cuartos de equipos mecánicos.

El aire suministrado es llamado **aire primario** y el agua suministrada se le conoce como **agua secundaria**.

Los sistemas aire-agua emplean las mejores características de los sistemas todo-agua y todo-aire. La mayor parte de la energía lo transporta el agua. En general, las cantidades de aire que se distribuyen son para ventilación, por lo tanto el espacio total necesario de entresijos y cielos rasos es pequeño, además el aire en general se maneja a grandes velocidades.

Los sistemas Aire-Agua se clasifican en:

- Sistemas de 2 tuberías
- Sistemas de 3 tuberías
- Sistemas de 4 tuberías

Estos sistemas son similares en su función y tienen capacidad de calentar y enfriar para acondicionar el aire durante todo el año. El número de tuberías se determina por el sistema de distribución de agua<sup>16</sup>.

#### **2.2.4.1 Sistemas de 2 Tuberías**

Este sistema consta de una tubería para el suministro de agua fría o caliente y una tubería para el retorno de agua fría o caliente.

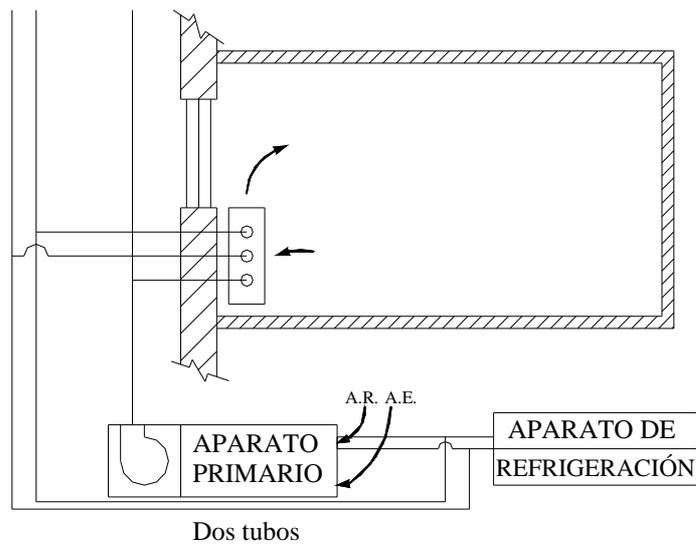
La temperatura del aire primario se la cambia en proporción inversa a la temperatura exterior para proporcionar la cantidad necesaria de calentamiento durante el invierno y estaciones intermedias.

Un termostato ubicado en el local controla el serpentín de agua secundaria.

El agua secundaria es enfriada en el verano y estaciones intermedias y calentada en el invierno.

---

<sup>16</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX

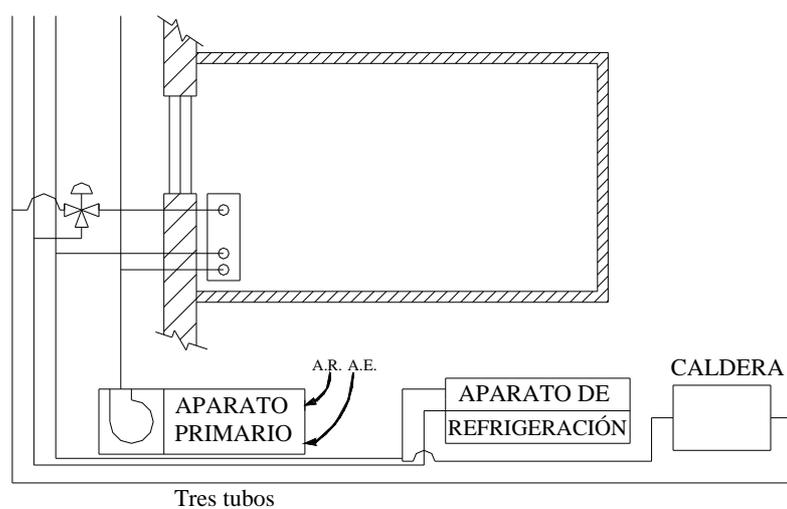


**FIGURA 2.10:** Sistemas de inducción aire-agua de dos tubos

#### 2.2.4.2 Sistemas de 3 Tuberías

Los sistemas aire-agua de 3 tuberías tienen 3 tuberías para cada Terminal. Una tubería suministra agua fría, la segunda agua caliente y la tercera sirve de retorno común.

Debido a la mezcla de agua fría y caliente, el sistema de 3 tuberías consume mucha energía, por lo que estos sistemas son raramente usados en la actualidad.

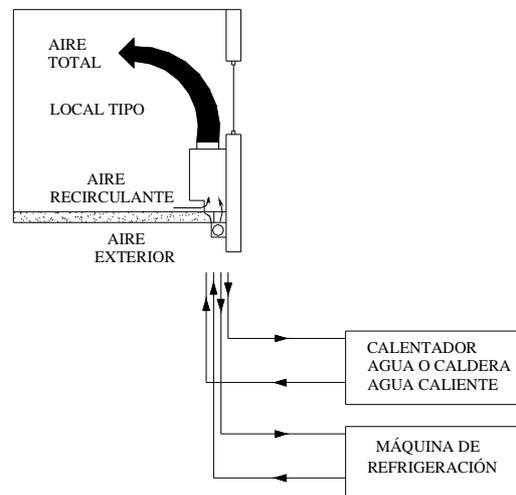


**FIGURA 2.11:** Sistemas de inducción aire-agua de tres tubos.

### 2.2.4.3 Sistemas de 4 Tuberías

Los sistemas de 4 tuberías tienen una tubería para suministro de agua fría, una para retorno de agua fría, una para suministro de agua caliente y una de retorno de agua caliente. Las unidades terminales usualmente tienen 2 serpentines de agua secundaria independientes, una para el agua caliente y el otro para el agua fría.

Durante el calentamiento y enfriamiento máximos, el sistema de 4 tuberías funciona de manera similar a un sistema de 2 tuberías, con las mismas características de operación.



**FIGURA 2.12:** Sistemas de inducción aire-agua de cuatro tubos.

### 2.2.4.4 Ventajas:

- El control de la temperatura de la habitación se la puede hacer de forma individual y tiene la capacidad de ajustar cada termostato a una temperatura diferente con un costo relativamente bajo.
- Los aparatos que manejan el aire central son más pequeños que en otros sistemas debido a que deben ser consideradas pequeñas cantidades de aire.
- La deshumidificación, filtración y humidificación son llevados a cabo en una unidad central distante del espacio acondicionado.
- El espacio puede ser calentado sin operación del sistema de aire vía el sistema de agua secundario. En la noche no se requiere la operación del

ventilador en una construcción no ocupada. La energía de emergencia para el calentamiento, si es requerida, es más baja que para otros sistemas todo-aire.

- Los componentes del sistema son duraderos. Las terminales de habitación de operación seca tiene una vida prevista de 15 a 25 años<sup>17</sup>.

#### **2.2.4.5 Desventajas:**

- Las cantidades de aire primario relativamente bajas hacen que la operación del diseño de intercambio de dos tubos durante estaciones intermedias sea más crítica que en los tipos de sistemas alternativos. El cambio a un sistema de cuatro tubos corrige esta desventaja.
- La operación del sistema de intercambio de dos tubos es más compleja que en otros sistemas. El operador debe entender los ciclos y los cambios producidos. Debido a estas desventajas y a la necesidad de calentamiento en un instante del día y enfriamiento en otro, es conveniente descartar el sistema de intercambio de dos tubos para construcciones modernas.
- Para muchas construcciones, este sistema es limitado para espacios perimetrales.
- Los controles tienden a ser más numerosos comparados con los sistemas todo-aire.
- El flujo de aire secundario puede volverse bastante sucio y afectar el funcionamiento. Las cortinas de fibras o filtros de baja eficiencia usados para proteger esos terminales requieren frecuente mantenimiento en la habitación y reduce el funcionamiento termal de la unidad.
- Se necesita una baja temperatura del agua fría para mantener una adecuada humedad en el local.
- El sistema no es aplicable para espacios con altos requerimientos de descarga de aire, a menos que aire de ventilación suplementaria sea proveída.
- La deshumidificación central elimina la condensación en la superficie del aparato terminal, sin embargo, fuentes de humedad anormales (p.e. al abrir

---

<sup>17</sup> ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 3

ventanas o concentración de gente) puede causar condensación que puede tener resultados molestos o dañinos.

- El costo inicial para sistemas de inducción de cuatro tubos es más alto que para muchos sistemas Todo-aire.

### **2.2.5 BOMBA DE CALOR**

La bomba de calor es un sistema de calefacción que transfiere energía de un lugar a otro aprovechando el cambio de estado del refrigerante. Además la bomba de calor es capaz de invertir la acción o dirección de la transferencia de calor<sup>18</sup>.

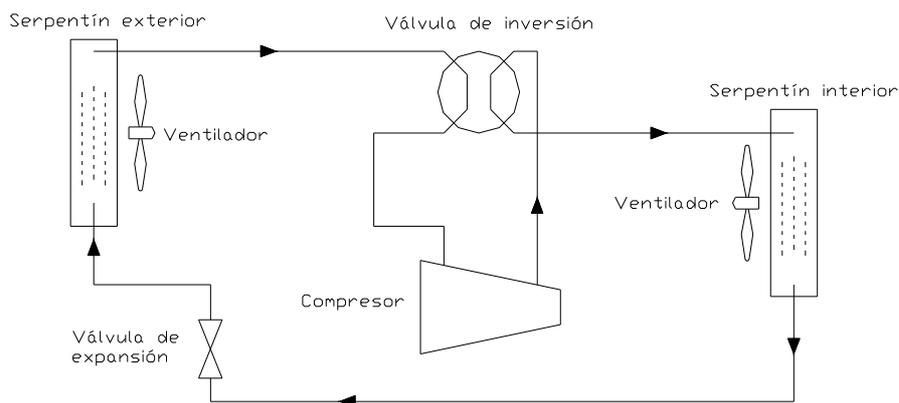
Puede eliminar la energía de un área, para su enfriamiento en verano y transmitir la energía hacia el aire exterior, hacia una masa de agua, directamente a la tierra o hacia algún otro material. Al invertir esta acción también puede tomar energía de la fuente de aire exterior, de la masa de agua, o de la tierra u otro material y suministrarlo al área ocupada.

Básicamente todos los sistemas de refrigeración transfieren calor de una fuente de calor a baja temperatura, hacia un sumidero de calor o medio de disposición a temperatura superior. Sin embargo, se conoce como bomba de calor a aquel sistema que de hecho funcione como un sistema de refrigeración de ciclo inverso.

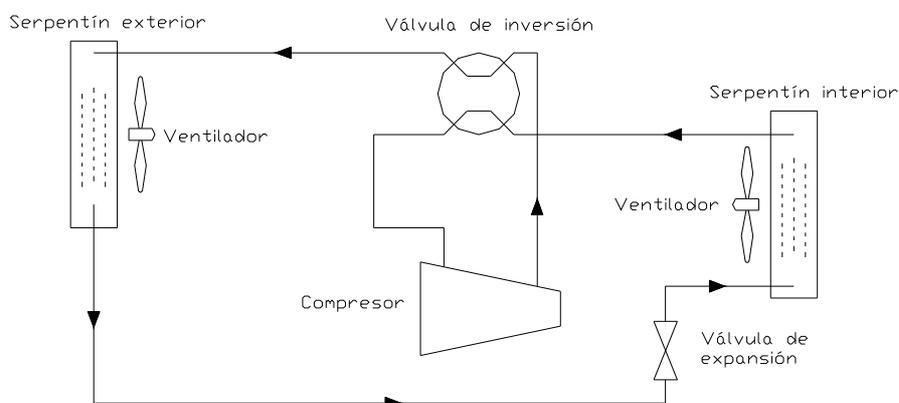
---

<sup>18</sup> CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica, Tomo II, 2ª edición Cap.X

## OPERACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR - MODO DE CALENTAMIENTO



## OPERACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR - MODO DE ENFRIAMIENTO



**FIGURA 2.13:** Funcionamiento de la bomba de calor. Modo de calentamiento en el invierno y Modo de enfriamiento en el verano.

### 2.2.5.1 Ventajas:

- El costo operativo del funcionamiento de la bomba de calor es muy conveniente y permite obtener un ahorro en la factura de energía.
- Ahorro de espacio. Por eliminación de la caldera, chimenea, depósito de combustible, etc.
- Supresión de incomodidades. Al eliminar la limpieza de las cenizas, humo, hollín y el perjuicio que produce el polvo de la ceniza.
- Fuente de energía única. La utilización de energía eléctrica simplifica los problemas de mantenimiento y el cómputo de los gastos de explotación.
- Mayor seguridad al suprimir la manipulación de combustibles naturales.
- Reducción en la tarifa de seguros contra incendios. Al eliminar muchas causas de incendios.

- La bomba de calor es más competitiva en áreas que tienen una gran carga de enfriamiento durante la temporada de enfriamiento y una carga de calefacción relativamente pequeña durante la temporada de calentamiento.

#### **2.2.5.2 Desventajas:**

- El Costo de adquisición de la bomba de calor es más alto que en otros sistemas de calefacción.
- El principal problema con los sistemas que utilizan al aire como fuente es la formación de escarcha, la cuál se presenta en los climas húmedos cuando la temperatura desciende por debajo de 2 y 5° C. Por consiguiente, la mayor parte de las bombas de calor que usan el aire como fuente requieren un sistema de calentamiento suplementario.
- Tanto la capacidad como la eficiencia de una bomba de calor disminuye de manera significativa a bajas temperaturas.
- La bomba de calor es menos competitiva en áreas donde la carga de calentamiento es significativa y la carga de enfriamiento es pequeña.

#### **2.2.6 APLICACIONES**

La tabla 2.2 presenta un resumen de las distintas aplicaciones y sistemas de acondicionamiento de aire.

**Tabla 2.2:** Sistemas de Aire Acondicionado y sus Aplicaciones<sup>19</sup>.

| Aplicaciones                        |   | Sistemas de unidad individual de habitación o de zona |                        |                             |                | Sistema de estación central |                       |                  |   |                              |                                    |                                      |
|-------------------------------------|---|---|------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|---|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
|                                     |   | Expansión Directa                                     |                        | Todo - agua                 |                | Todo - aire                 |                       |                  |   | Aire - agua                  |                                    |                                      |
|                                     |   | Habitación  | Zona                   | Unidad Ventilador serpentín |                | Simple corriente de aire    |                       |                  |   | Sistemas de aire primario    |                                    |                                      |
|                                     |   | De 1000 a 6000 Fr por hora                            | 6000 Fr por hora y más | Aire recirculado            | Con Aire Exte- | Caudal Variable             | By pass               | Recalentado      |   | Zona Múltiple conducto único | Agua Secundaria Inducción A.V.-A.P | Unidad ventilador serpentín con A.E. |
|                                     |   |   |                        |                             |                |                             | En la Unidad terminal | En la Conducción |   |                              |                                    |                                      |
| Instalaciones de una sola finalidad | Residencial   | Medias Grandes  | X                      |                             |                |                             |                       |                  |   |                              |                                    |                                      |
|                                     | Restaurantes  | Grandes Medios  |                        | X                           |                |                             |                       |                  | X | X                            |                                    |                                      |
|                                     | Tiendas Bolerías                                    |   |                        | X                           |                |                             |                       |                  |   |                              |                                    |                                      |
|                                     | Estudios de radio y T.V.                            | Pequeños Grandes                                      |                        | X                           |                |                             |                       |                  | X | X                            |                                    |                                      |
|                                     | Clubs rurales                                       |   |                        | X                           |                |                             |                       |                  |   | X                            | X                                  |                                      |
|                                     | Salones de Belleza                                  | Barberías   | X                      | X                           |                |                             |                       |                  |   |                              |                                    |                                      |
|                                     | Iglesias Teatros                                    |   |                        | X                           |                |                             |                       |                  |   |                              | X                                  |                                      |
|                                     | Auditoriums Salas de baile y pabellones de patinaje |   |                        |                             |                |                             |                       |                  |   |                              |                                    |                                      |
|                                     | Fábricas (confort)                                  |   |                        | X                           |                |                             |                       |                  |   | X                            |                                    |                                      |
| Instalaciones de varias finalidades | Edificios de oficina Hoteles, dormitorios           |   |                        |                             | X              | X                           | X                     |                  |   | X                            | X                                  | X                                    |
|                                     | Moteles Edificios de apartamentos                   |   |                        |                             | X              | X                           |                       |                  |   |                              | X                                  | X                                    |
|                                     | Hospitales Escuelas y colegios                      |   |                        |                             |                | X                           | X                     | X                | X | X                            | X                                  |                                      |
|                                     | Museos  |   |                        |                             |                |                             |                       |                  |   | X                            | X                                  |                                      |
|                                     | Bibliotecas   | Normales de libros raros                              |                        | X                           |                |                             |                       |                  |   | X                            | X                                  |                                      |
|                                     | Grandes almacenes Centros de ventas                 |   |                        | X                           |                |                             |                       |                  |   | X                            | X                                  |                                      |
|                                     | Laboratorios  | Pequeños Grandes Edificios                            |                        | X                           |                |                             | X                     | X                | X | X                            | X                                  |                                      |
| Buques                              |   |   |                        |                             |                |                             |                       | X                |   |                              | X                                  |                                      |

AV: alta velocidad

AP: alta presión

<sup>19</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX

## 2.3 REFERENCIAS

1. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. “Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX
2. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2
3. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 3
4. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 4
5. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. “Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap X
6. CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica, Tomo II, 2ª edición Cap.X
7. PITA, Edward G. “Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición , Cap XIII

## **CAPITULO 3**

### **SISTEMAS DE CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO**

#### **INTRODUCCIÓN**

Todos los sistemas de aire acondicionado anteriormente descritos, necesitan de un sistema de control que mantenga el uso correcto y necesario de los equipos, de tal manera que los parámetros del ambiente acondicionado se mantengan siempre entre límites aceptables y se obtenga además un ahorro considerable en el consumo de energía.

Seguramente para la mayoría de las personas, es muy difícil comprender la dinámica del control de los sistemas de climatización y aire acondicionado. Es verdad que en la actualidad la tecnología de los instrumentos de control se ha desarrollado de forma acelerada y que su utilización es compleja debido a la base de conocimientos que se requiere para su entendimiento. Sin embargo, la razón principal del desconocimiento del modo de utilizar los controles se debe a que la mayor parte de la información disponible en catálogos y manuales esta enfocada a los equipos y a la forma de conectarlos y no al funcionamiento del sistema global. Esta es la razón por la cuál, las personas no pueden determinar la causa que provoca que un sistema de aire acondicionado trabaje mal.

En el presente capitulo se estudiará: La sicrometría del control de carga parcial, La Selección del Sistema de Control y se analizará dos ejemplos de Sistemas de Control Total.

#### **3.1 SICROMETRÍA DEL CONTROL DE CARGA PARCIAL**

El equipo de aire acondicionado se selecciona normalmente para trabajar con carga máxima, pero en realidad, la carga máxima ocurre pocas veces al año y el funcionamiento se realiza predominantemente en condiciones de carga parcial. La carga parcial se debe a la reducción de la carga sensible o de la carga latente en

el local, o a una reducción combinada de las dos. También se puede originar por una reducción de la carga térmica del aire exterior.

### 3.1.1 ESTUDIO DE LA CARGA PARCIAL

Como la mayor parte del tiempo el sistema funciona con carga parcial y además debe mantener las condiciones apropiadas en el local, el estudio de la carga parcial es muy importante así como la selección del equipo. Dicho estudio debe incluir la forma en que evoluciona el aire a través del sistema de aire acondicionado cuando las condiciones existentes en el local sean de carga total mínima. Ordinariamente esto será suficiente, pero en algunas aplicaciones será necesario realizar los cálculos con las siguientes consideraciones:

- La carga latente mínima posible en el local y la misma carga sensible del proyecto.
- La carga sensible mínima posible en el local y plena carga de calor latente<sup>20</sup>.

En una aplicación particular se deben asignar cargas mínima y máxima realistas, de modo que, sicrométricamente las condiciones resultantes en el local sean analizadas o estudiadas correctamente.

Los seis procedimientos más comunes, utilizados individualmente o en combinación, para controlar las condiciones del local para aplicaciones de refrigeración con carga parcial son los siguientes:

1. Calentamiento del aire de suministro.
2. Desviación del aire en el equipo de transferencia de calor (bypass).
3. Controlar el volumen del aire de suministro.
4. Control por “todo o nada” del aire tratado por el equipo.
5. Control por “todo o nada” de la máquina de refrigeración.
6. Control de la capacidad de refrigeración.

El tipo de control elegido para una determinada aplicación depende de la naturaleza de las cargas, las condiciones a mantener dentro del local y las facilidades o medios auxiliares disponibles en la instalación.

---

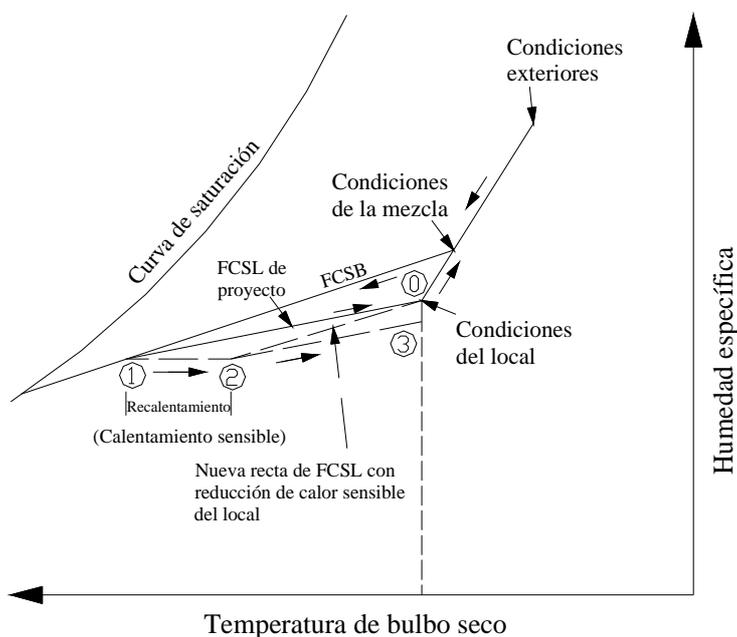
<sup>20</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. “Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap I

### 3.1.2 CONTROL DE LA CARGA PARCIAL

#### 3.1.2.1 Control de Recalentamiento

Cuando el sistema de aire acondicionado funciona con el sistema de control de recalentamiento, la temperatura de bulbo seco dentro del local se mantiene constante al aumentar el calor sensible del aire de suministro antes de entregarlo en el local durante los periodos de carga parcial.

Cuando la carga de calor latente en el interior y/o la carga de calor latente en el exterior disminuyen, la humedad relativa del local disminuye<sup>21</sup>. Si debe mantenerse la humedad es necesaria la rehumidificación.



**Figura 3.1:** Control de recalentamiento con carga sensible parcial.

En la Figura 3.1, las líneas continuas representan el ciclo de evolución del aire con la carga de proyecto y las líneas entrecortadas indican el ciclo del aire con carga parcial. Se debe calcular el FCSL para carga parcial considerando la carga sensible mínima del local, representada por la línea (2-0), entonces se usa un termostato en el local para controlar la temperatura del aire a la salida del recalentador, estado (2), obteniendo de esta manera el control para cualquier relación de FCSL que corte la línea (1-2).

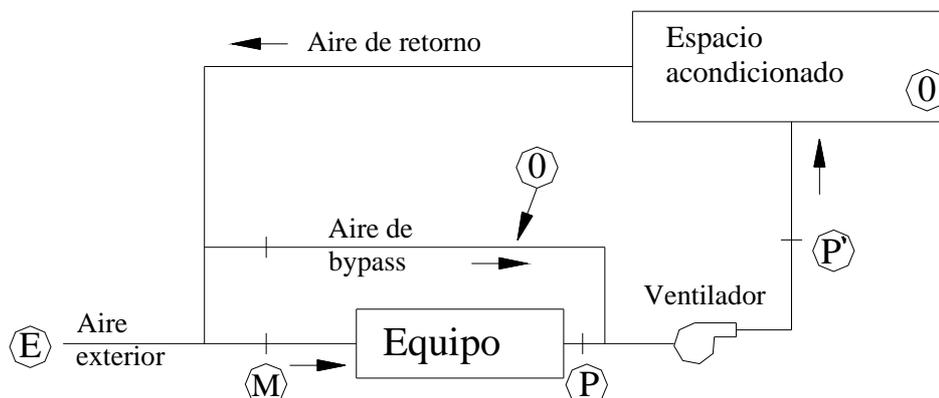
<sup>21</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. “Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap I

Si disminuyen las cargas de calor latente interior, las condiciones resultantes en el local corresponden al estado (3) y la nueva línea del proceso de FCSL coincide con la línea (2-3). Sin embargo, si se desea mantener la humedad dentro del local, se compensa la carga latente reducida mediante la humidificación, volviéndose de este modo a las condiciones de proyecto.

### 3.1.2.2 Control de Desviación

Cuando en un local acondicionado se produce una reducción de la carga de calor sensible establecida en el diseño y la carga de calor latente se mantiene casi constante, entonces el FCSL disminuye lo que provoca que al trazar la línea en la carta psicrométrica, la pendiente aumente.

Para corregir esta variación, el control de Derivación tiene que encontrar un nuevo estado óptimo de las condiciones del aire que se suministra al local.

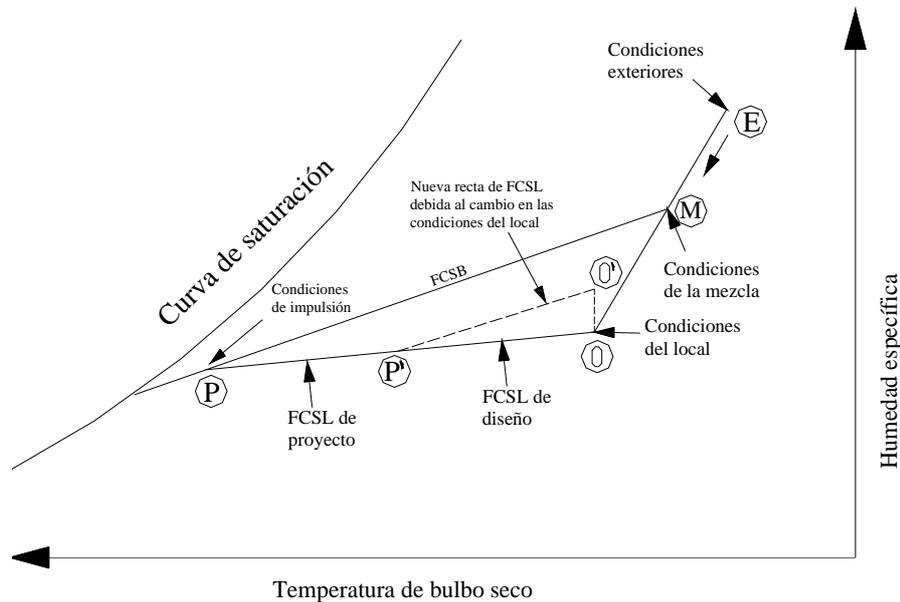


**FIGURA 3.2:** Esquema de control de desviación con aire de retorno.

El control de Derivación trabaja de la siguiente forma: Toma un porcentaje del aire de retorno (0) y la mezcla con el aire exterior (E), formando una nueva corriente de aire (M) la cuál es conducida a través del equipo de enfriamiento y llevada a la condición (P). Por otro lado, la proporción restante del aire de retorno es desviado del equipo de refrigeración, manteniéndose así en el estado (0).

Finalmente estos dos flujos de aire son mezclados y se obtiene una nueva corriente de aire en el estado (P'), la cuál es suministrada al local. Este tipo de control cambia la cantidad de aire de retorno que se desvía del enfriador según

como cambie la carga en el local para mantener el aire del local con una temperatura constante. Sin embargo, no puede evitar que la humedad relativa aumente con respecto a la humedad de diseño.



**Figura 3.3:** Control de desviación.

Las líneas continuas de la figura 3.3 representa el ciclo del aire en las condiciones de proyecto, en cambio las líneas entrecortadas representan el ciclo con control de desviación.

La línea (P'- O') representa las nuevas condiciones de FCSL originadas por la reducción de carga de calor sensible en el local, también se produce un aumento en la humedad del estado de confort térmico (O), estado (O').

### 3.1.2.3 Control de Volumen Variable de Aire

El control de Volumen Variable de Aire cambia el flujo volumétrico del aire que se suministra a un local en respuesta al cambio de la carga parcial del local. Este tipo de control, al igual que el control de desviación de aire no puede controlar la humedad relativa del aire en el local.

Un termostato ubicado en el local envía la señal a una compuerta u otro dispositivo de control que regula el flujo volumétrico de aire que se suministra al local, en respuesta a la variación de la carga.

La reducción del aire de suministro puede estar entre el 50 a 60% del volumen del aire de diseño como mínimo, debido a que a un porcentaje menor ocasionaría una mala circulación y distribución del aire en el local.

Si se combina el control de volumen con el control de recalentamiento se tiene un sistema de control eficiente en energía y al mismo tiempo un buen control de humedad aún si funciona con cargas muy bajas.

#### **3.1.2.4 Control por “Todo o Nada” del Equipo impulsor de Aire**

El control por “todo o nada” del equipo impulsor del aire (unidades de ventilador-serpentín) da lugar a una fluctuación de la temperatura ambiente y de la humedad relativa del local.

El funcionamiento de este tipo de control es el siguiente: apaga los ventiladores y cierra la alimentación del aire de ventilación, pero mantiene en funcionamiento el enfriador de aire, es decir, no se permite la circulación del aire pero si la circulación del agua fría por el serpentín.

Este procedimiento de control no es recomendable para aplicaciones de alta carga de calor latente, ya que el control de humedad puede ser ineficaz con cargas de calor sensible reducidas.

#### **3.1.2.5 Control por “Todo o Nada” del Equipo de Refrigeración**

El control por “todo o nada” del equipo de refrigeración origina la fluctuación de la temperatura ambiente y de la humedad relativa del local.

Al entrar en acción este tipo de control, se apaga el equipo de refrigeración de aire y se mantiene encendido los ventiladores, con lo cuál, se dispone de aire exterior sin acondicionar para fines de ventilación en el local. Además, la humedad que es condensada del aire cuando el equipo de refrigeración estaba en funcionamiento, ahora que está apagado, nuevamente se evapora al entrar en contacto con la corriente de aire caliente.

Estas dos condiciones aumentan la carga de calor latente en el local y originan una humedad excesiva.

El control por “Todo o Nada” del equipo de refrigeración no es recomendable para aplicaciones de carga de calor latente elevada y pequeñas cargas de calor sensible.

### **3.1.2.6 Control de la Capacidad de Refrigeración**

La capacidad de refrigeración en los equipos de enfriamiento de aire por agua fría puede variarse mediante cambios de caudal de agua en los intercambiadores de calor, por medio de válvulas que disminuyen o aumentan el flujo del líquido.

En los equipos de expansión directa, la capacidad de refrigeración esta dada por el control de capacidad de los compresores. La capacidad de un compresor se debe regular para cumplir con la demanda de carga.

En un compresor reciprocante pequeño, con frecuencia se hace variar la capacidad sólo poniendo a trabajar y parando el compresor. En los compresores grandes de varios cilindros, el gas refrigerante se deriva sin pasar por el compresor cuando se necesita menor capacidad de refrigeración.

Un método más eficiente para reducir la capacidad se logra manteniendo abierta la válvula de succión, el cilindro simplemente trabaja en vacío. Los dispositivos mecánicos llamados descargadores se usan para abrir las válvulas de succión.

Un método eficaz para reducir la capacidad de los compresores centrífugos es emplear aspas de guía en la succión. Es un juego de aspas o álabes ajustables en la succión del compresor que se cierra en forma gradual para reducir el volumen del refrigerante gaseoso que se comprime, reduciendo así la capacidad.

Para compresores centrífugos impulsados por motores de velocidad variable, la reducción de velocidad constituye un método cómodo de reducción de capacidad<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> PITA, Edward G. “Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición Cap VIII

## **3.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL**

Los sensores de un sistema de control (termostato, humidistato, presostato, etc) que gobiernan el funcionamiento de un sistema de aire acondicionado, pueden estar ubicados en diferentes sitios del sistema<sup>23</sup>. Así, pueden estar en la fuente de calefacción, en la fuente de enfriamiento, en el ambiente del local ó en algún otro lugar conveniente. En cambio los actuadores del sistema de control (contactores, réles, accionadores, etc) controlan el funcionamiento de los equipos, como enfriadores, calentadores, bombas, ventiladores, etc.

En la mayoría de sistemas de climatización se usa una combinación de estas alternativas de ubicación de los sensores y actuadores.

Pero, además de seleccionar los sitios en los cuales se implantará los instrumentos de control, se debe elegir el medio que contenga a las variables que darán las señales al sistema de control. Estas variables pueden ser la temperatura, humedad, presión u otras.

Los medios que contienen las variables de control pueden ser:

- El aire del local
- El aire exterior
- El medio de calefacción o refrigeración

Como el objetivo del sistema de control es mantener la temperatura y humedad del local en un valor constante, es suficiente ubicar un termostato y un humidistato en el local para obtener las señales para el control del sistema, sin embargo, en muchas aplicaciones es necesario utilizar sensores que detecten la temperatura y humedad del aire exterior así como también la temperatura del medio de calefacción o refrigeración.

### **3.2.1 SEÑAL DADA POR LA TEMPERATURA DEL LOCAL PARA EL CONTROL**

#### **3.2.1.1 Control a través del Sistema de Enfriamiento y Sistema de Calefacción**

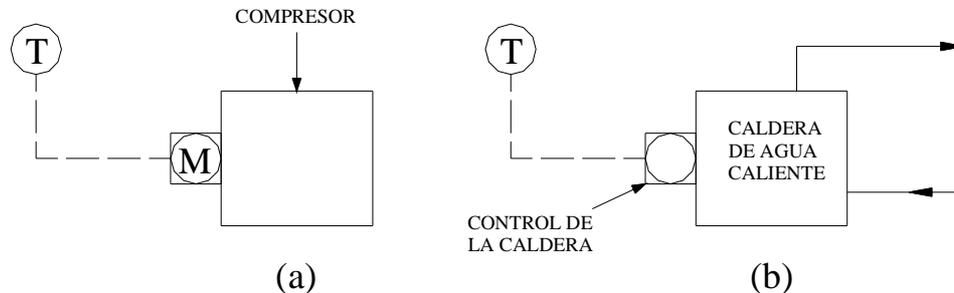
En las unidades de expansión directa que utilizan este tipo de control, se ubica en el local un termostato T que envía la señal de control al motor M del compresor de

---

<sup>23</sup> PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición Cap XIV

refrigeración para que inicie su funcionamiento o se detenga (figura 34a).

En los sistemas más desarrollados se tienen controles más completos para mejorar el funcionamiento y conservar la energía<sup>24</sup>.

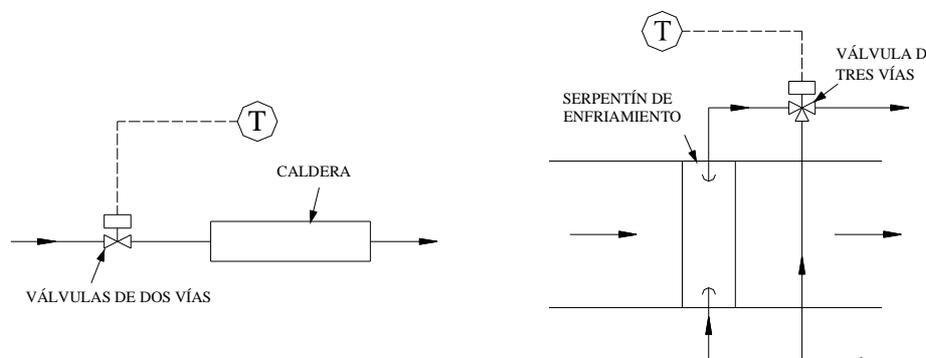


**FIGURA 3.4:** Control dado por la señal del local (a) para el motor del compresor de refrigeración (b) para la válvula de gas de la caldera de agua caliente.

En las calderas, el funcionamiento es de forma análoga. El termostato del local envía la señal que enciende la caldera o la apaga.

### 3.2.1.2 Control de Flujo mediante Válvulas

Un termostato ubicado en el local envía las señales de control a las válvulas automáticas, las cuales aumentan o reducen el caudal de agua que ingresa a las calderas, o refrigerante que ingresa al equipo de refrigeración, para variar la capacidad de calefacción o enfriamiento de acuerdo a las condiciones de la carga en el local<sup>25</sup>.



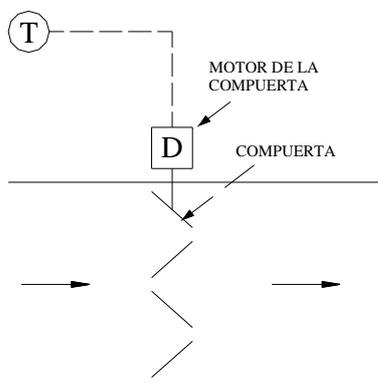
**FIGURA 3.5:** Control dado por la señal del local para el flujo de agua a través de un serpentín de enfriamiento o de una caldera.

<sup>24</sup> ASHRAE, Handbook 1997, Fundamentals, Chapter 45.

<sup>25</sup> NILS R. GRIMN/ ROBERT C. ROSALES, Manual de diseño de Calefacción, Ventilación y aire acondicionado, Cap. LII

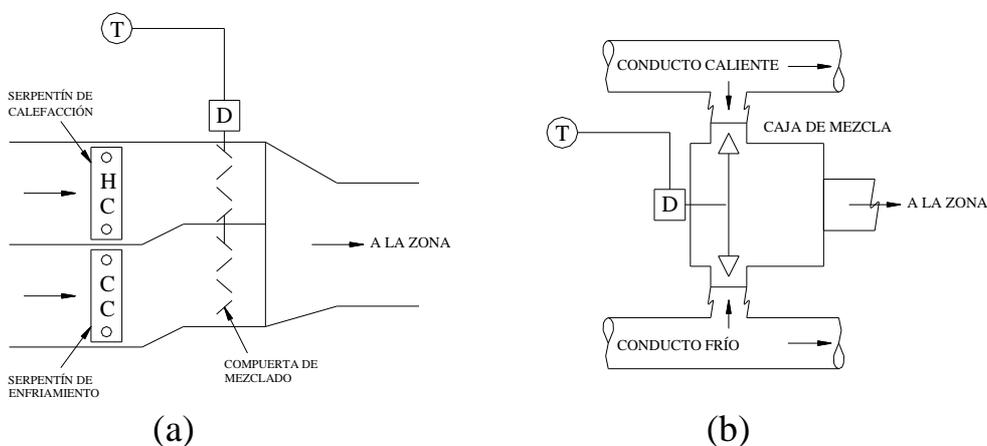
### 3.2.1.3 Control de Compuertas

El termostato ubicado en el local envía la señal que permite variar la cantidad de aire de suministro mediante el control de una compuerta moduladora del volumen de aire D.



**FIGURA 3.6:** Control del flujo de aire mediante compuertas.

### 3.2.1.4 Control de Compuertas de Mezcla de Aire



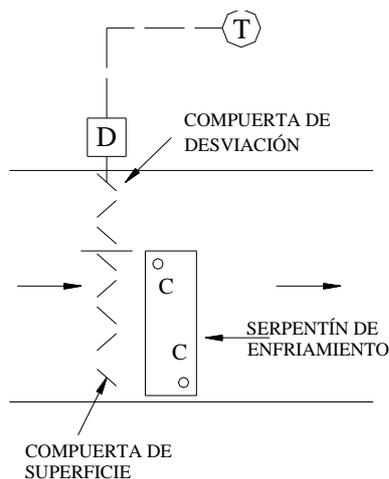
**FIGURA 3.7:** Control de compuertas de mezcla (a) Unidad de multizona (b) Doble conducto y caja de mezcla.

Un termostato ubicado en el local permite al sistema de control variar las proporciones de aire frío y caliente que proceden de dos conductos diferentes, mediante el movimiento simultáneo de dos compuertas, una compuerta se cierra mientras la otra se abre, dependiendo de lo que indique el termostato<sup>26</sup>. Esta disposición se usa en sistemas de doble conducto y de multizona.

<sup>26</sup> PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición" Cap XIV

### 3.2.1.5 Control de Compuertas de Superficie y de Desviación

En este método de control, se desvía un porcentaje del aire para que no pase por el serpentín de enfriamiento. Las compuertas de la unidad de acondicionamiento para superficie y desviación varían las proporciones de aire, por lo general de forma automática, en respuesta a un termostato ubicado en el local<sup>27</sup>.



**FIGURA 3.8:** Control para las compuertas superficial y desviación.

### 3.2.2 SEÑAL DADA POR EL AIRE EXTERIOR PARA EL CONTROL

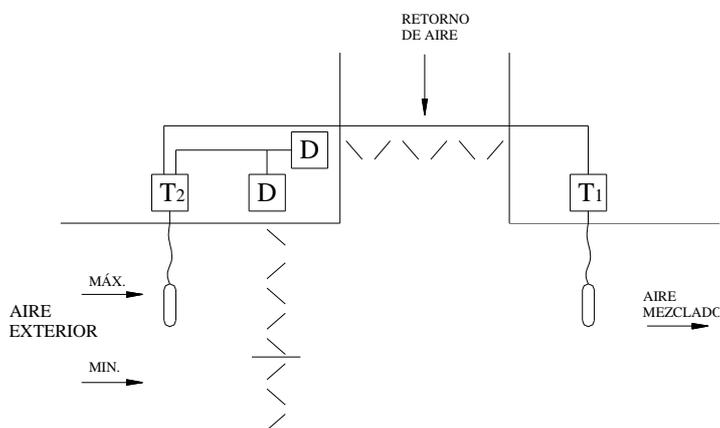
El estado del medio ambiente exterior es muy importante en los sistemas de climatización, ya que influye de manera significativa en la evolución del aire en el equipo acondicionador, afectando directamente al estado de confort térmico del local.

#### 3.2.2.1 Control mediante la determinación de las proporciones de Aire Exterior y de Retorno

Estos controles se usan con frecuencia en los sistemas más grandes para variar la cantidad de aire exterior, desde un mínimo hasta un máximo de aire exterior. Esto se hace para que el aire exterior ayude al enfriamiento del ambiente del local, cuando las condiciones lo permitan, consiguiendo un ahorro en el consumo de energía.

<sup>27</sup> NILS R. GRIMN/ ROBERT C. ROSALES, Manual de diseño de Calefacción, Ventilación y aire acondicionado, Cap. LII

Para determinar las proporciones adecuadas del aire exterior y del aire de retorno, se ubica en el sitio en el que se va a mezclar estas dos corrientes de aire, un termostato, el cuál enviará la señal que indique al sistema de control el instante y la graduación en que deben abrirse o cerrarse las compuertas.



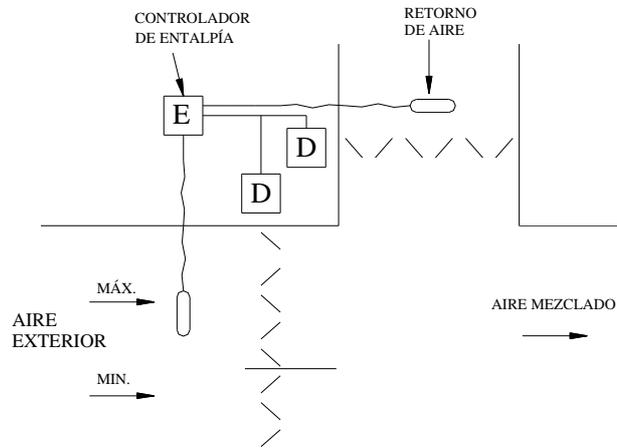
**FIGURA 3.9:** Señal dada por la temperatura exterior para el control de las compuertas de aire exterior y de retorno, para conservación de energía.

Durante los climas más fríos, la compuerta de aire exterior se abrirá al mínimo y cuando aumente la temperatura del aire exterior, el termostato de mezcla de aire  $T_1$  abrirá gradualmente las compuertas de aire exterior y cerrará las del retorno de aire para suministrar aire exterior entre  $50$  y  $60^\circ \text{F}^1$ . El termostato  $T_2$  es de límite alto y trabaja cuando el termostato  $T_1$  indica que la mezcla de aire no tiene efecto de enfriamiento, ya que se encuentra cerca del valor de temperatura del local debido a un aumento de la temperatura del aire exterior, entonces el termostato  $T_2$  entra en acción y cierra la compuerta de flujo máximo de aire exterior.<sup>28</sup>

En la Figura 3.10 se muestra una disposición similar a la anterior llamada *controlador de entalpía*. Este controlador percibe las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, por lo tanto puede determinar la entalpía de las corrientes de aire exterior y de retorno, luego ajusta la proporción de aire adecuada de las dos corrientes de la mezcla para proporcionar el aire de suministro. Este sistema de control por medio de la entalpía del aire es mucho mejor que el sistema de control por temperatura, ya que hay días en los cuales la humedad y por consiguiente la

<sup>28</sup> PITA, Edward G. *Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas*, 2ª Edición Cap XIV

entalpía del aire exterior puede ser lo suficientemente baja como para ser usada en el enfriamiento, aun cuando la temperatura de bulbo seco no sea muy baja.



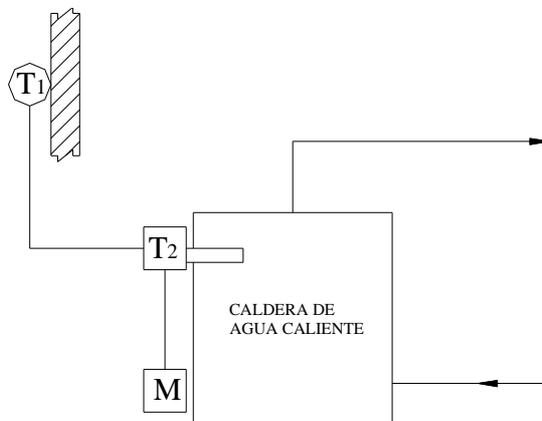
**FIGURA 3.10:** Señal dada por entalpía para el control de las compuertas de aire exterior y de retorno, para conservación de energía.

En los climas cálidos, sea que se emplee el método de la temperatura o la entalpía, las compuertas de aire exterior y de retorno se modulan para dar enfriamiento mediante el aire exterior, siempre que su temperatura sea lo suficientemente baja. El control de esas compuertas ahorra el funcionamiento del equipo de refrigeración y evita también la introducción de un exceso de aire exterior a altas temperaturas, con lo cuál se ahorra energía. Por estas razones, a este sistema se le llama *control economizador*.

### 3.2.2.2 Reajuste del valor de una variable en un sensor por medio de la Temperatura Exterior

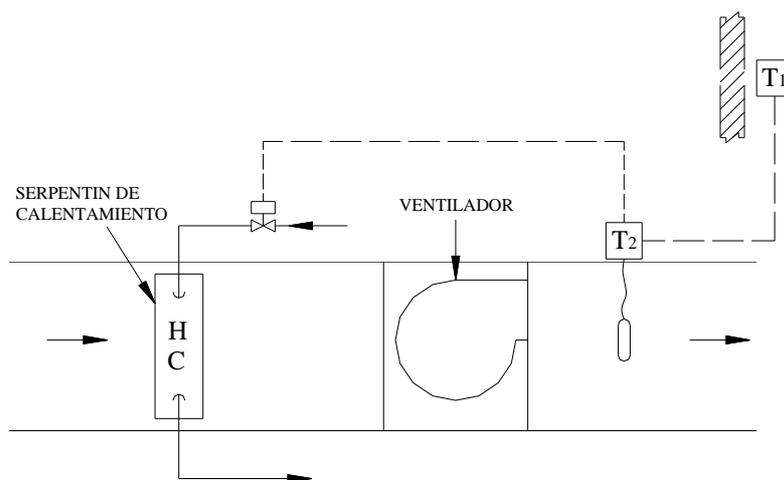
Una disposición que a veces se incluye como parte del sistema de control es tener un termostato exterior para reajustar o corregir el valor de la temperatura de otro termostato con el cual se dará la señal al sistema de control. Por ejemplo, se puede reajustar la temperatura del termostato que mide el agua en una caldera, Figura 3.11. Un termostato de inmersión  $T_2$  controla la temperatura del agua que sale de la caldera, por medio del cambio de caudal de agua. Cuando aumenta la temperatura exterior, el termostato exterior  $T_1$  reajusta el punto de control de  $T_2$  y lo baja. De este modo la temperatura de suministro de agua caliente es

inversamente proporcional a la temperatura exterior, con lo cuál, se reduce el sobrecalentamiento en los climas templados. Esto, evidentemente causa un ahorro de energía.



**FIGURA 3.11:** Reajuste del valor de la temperatura de referencia del termostato de control de la caldera por la temperatura exterior.

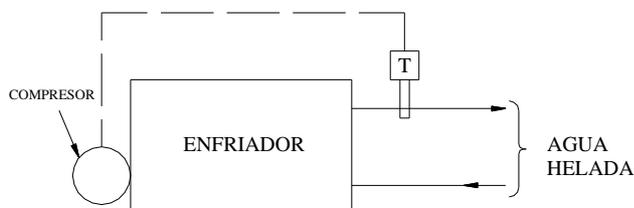
El sistema de calefacción de la Figura 3.12 funciona de modo similar en referencia a la figura 3.11. El termostato de conducto  $T_2$  controla la temperatura del aire de suministro al local mediante la válvula automática. El termostato exterior  $T_1$  reajusta el punto de control de  $T_2$  para reducir el sobrecalentamiento.



**FIGURA 3.12:** Reajuste del valor de la temperatura de referencia del termostato de control del enfriador por la temperatura exterior.

### 3.2.3 SEÑAL DADA POR EL MEDIO DE CALEFACCIÓN O ENFRIAMIENTO PARA EL CONTROL

Con frecuencia es conveniente controlar el sistema de aire acondicionado mediante sensores que detecten las condiciones en el medio de calefacción o enfriamiento.



**FIGURA 3.13:** Control de la temperatura del agua helada.

Un equipo de enfriamiento de agua (Figura 3.13) tiene un compresor de refrigeración cuya capacidad se controla mediante un termostato que se encuentra ubicado en el tubo y sumergido en el agua helada. El termostato modula la capacidad del compresor para mantener una temperatura constante del agua helada. Esto se hace con frecuencia en grandes sistemas de acondicionamiento de aire que utilizan agua helada. En esta aplicación es útil el control del medio de enfriamiento porque se desea mantener la temperatura del agua helada en un valor constante para asegurar una correcta deshumidificación del aire de suministro.

### 3.2.4 CONTROL DE HUMEDAD

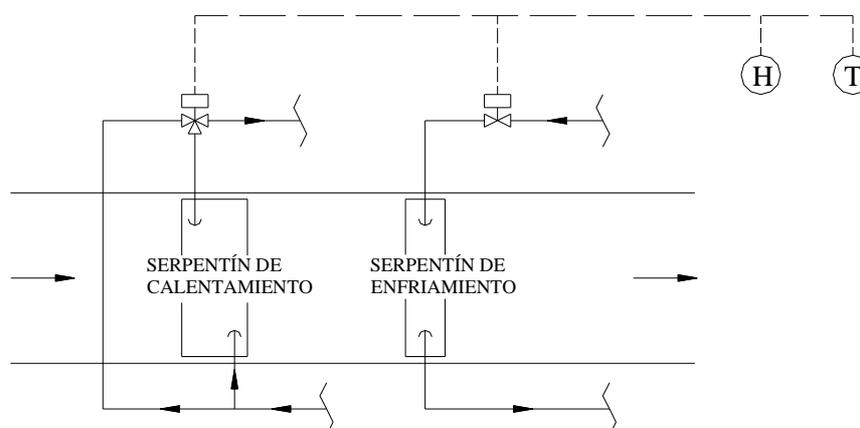
Además de controlar la temperatura de un sistema de aire acondicionado, es necesario realizar un control de humedad adecuado para mantener un excelente estado de confort térmico<sup>29</sup>.

Para humidificar el aire, los sistemas de calefacción utilizan un humidificador, que puede ser de vapor o de aspersion de agua; el cuál esta controlado por un humidistato que se encuentra ubicado en el local.

Para deshumidificar el aire, con frecuencia se utilizan los serpentines de enfriamiento tanto para enfriar como para deshumidificar en un sistema de

<sup>29</sup> ASHRAE, Handbook 1997, Fundamentals, Chapter 45.

enfriamiento y en algunos casos se usa alguna forma de recalentamiento después de enfriar. En la figura 3.14 se muestra una forma de esta disposición.



**FIGURA 3.14:** Control de la temperatura y humedad del local mediante serpentines de enfriamiento y calefacción.

Si la humedad en el local es menor que el punto de ajuste del humidistato, el serpentín de enfriamiento es controlado por el termostato, pero cuando la humedad se eleva más allá del punto de control, el humidistato entra en acción y toma el control del serpentín de enfriamiento. Si la temperatura del local baja demasiado, el termostato hace trabajar el serpentín de recalentamiento.

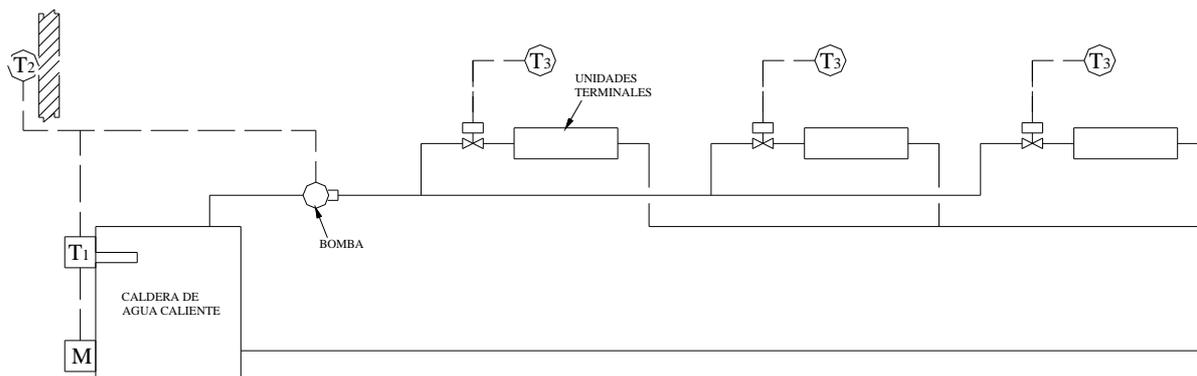
### 3.3 SISTEMAS DE CONTROL TOTAL

Los sistemas de control descritos en los apartados anteriores, por si solos, pueden servir para gobernar un sistema de aire acondicionado sencillo, pero para sistemas más complejos, es necesario utilizar una combinación de todos los tipos de control disponibles, para obtener un funcionamiento preciso de los equipos y mantener el confort térmico humano.

A continuación se describirán dos ejemplos de sistemas de control.

**Primer ejemplo:** Sistema de control de calefacción con agua caliente en zonas o locales controlados individualmente<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición Cap XIV



**FIGURA 3.15:** Ejemplo de un control de calefacción mediante agua caliente.

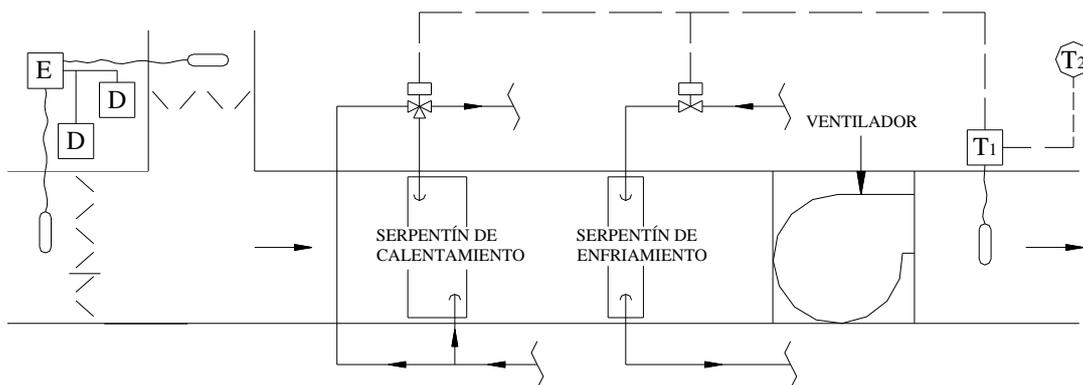
Los controles trabajan como sigue:

- El termostato de inmersión (medio) T1 controla la temperatura de suministro de agua caliente a través del funcionamiento de la caldera.
- El termostato exterior T2 reajusta el punto de control del termostato T1 cuando varía la temperatura exterior.
- Los termostatos ubicados en los locales T3, controlan las válvulas de las unidades terminales para mantener las temperaturas deseadas.
- El termostato exterior apaga la bomba cuando la temperatura exterior se eleva a un valor para el cuál no se necesita calefacción en la construcción.

Con la utilización de este sistema se obtiene un adecuado control de la temperatura y si se reduce la temperatura del agua de suministro en días de temperaturas altas en invierno se evita el sobrecalentamiento de los recintos, produciendo mayor confort y menor uso de energía. Si se detiene la bomba en forma automática cuando no se necesita calefacción, se tiene un ahorro adicional de energía.

**Segundo ejemplo:** Sistema de control para un sistema de acondicionamiento de aire de zona única durante todo el año<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición Cap XIV



**FIGURA 3.16:** Ejemplo de un sistema de control para acondicionamiento de aire durante todo el año.

Este sistema controla la temperatura del local durante el verano y el invierno, así como la ventilación; pero no controla la humedad relativa.

Trabaja como sigue:

- El controlador de entalpía, o un control de temperatura, sitúa la compuerta de aire de retorno y la compuerta de aire exterior de tal modo que se tenga un máximo enfriamiento sin costo durante la estación cálida. Durante la estación fría se usa un mínimo de aire exterior.
- El termostato de descarga de aire  $T_1$  controla el serpentín de enfriamiento (verano) o el de calefacción (invierno) para regular la temperatura de descarga del aire.
- El termostato del local  $T_2$  funciona como el control maestro del termostato de control  $T_1$ . En respuesta a una variación de en la temperatura del local, el termostato  $T_2$  reajusta el punto de control del termostato de descarga  $T_1$ .

Si se emplea el termostato ubicado en el local para controlar al termostato de descarga se tiene una respuesta más rápida del sistema a los cambios de temperatura del local. Para el control se debería utilizar dos termómetros ubicados en el local, uno para el verano y otro para el invierno, con el fin de controlar dos límites diferentes de temperatura para el local.

Se dan estos ejemplos para ilustrar cómo se pueden combinar los controles. Hay cientos de otros arreglos. Sin embargo, en cada caso se componen de los elementos básicos.

### 3.4 REFERENCIAS

1. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. “Manual de Aire Acondicionado,  
5ª Edición , Cap I
2. PITA, Edward G. “Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición  
Cap VIII
3. ASHRAE, Handbook 1997, Fundamentals, Chapter 45.
4. NILS R. GRIMN/ ROBERT C. ROSALES, Manual de diseño de Calefacción,  
Ventilación y aire acondicionado, Cap. LII
5. PITA, Edward G. “Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición  
Cap XIV

## CAPITULO 4

### AUTÓMATAS PROGRAMABLES PLC,s

#### INTRODUCCIÓN

En la naturaleza los sistemas de control son muy comunes, funcionan de forma exacta y precisa manteniendo el equilibrio en el ciclo de evolución y desarrollo de los seres vivos. En el ser humano, el cerebro y el sistema nervioso conservan la salud física del cuerpo y evitan en lo posible las enfermedades.

En el campo de la industria se han desarrollado los PLCs, que son dispositivos electrónicos programables encargados de controlar el funcionamiento normal de los sistemas de producción, aumentando la calidad del producto final.

Debido al gran auge que han producido los PLCs en la industria actual, es necesario introducirlos al campo del aire acondicionado, por tal motivo, en el presente capitulo se estudiará: Autómatas Programables, ¿Cómo funciona un PLC?, Programación del Autómata y Desarrollo de programas de automatización con PLC´s..

#### GENERALIDADES

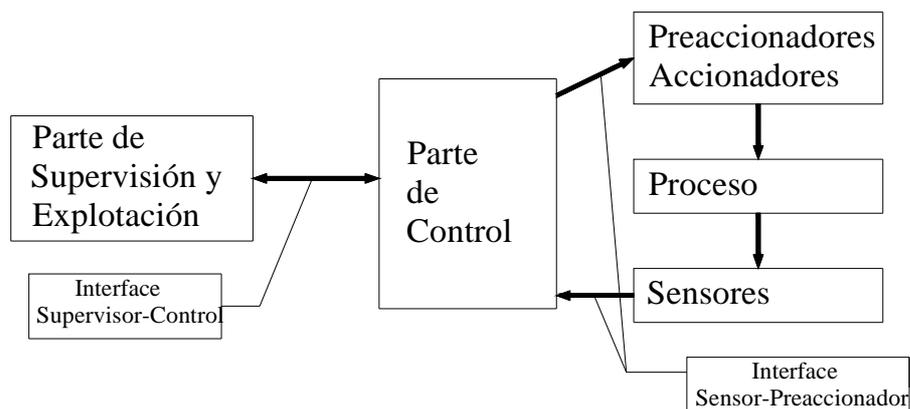
Todo sistema automático está formado por tres partes claramente diferenciadas:

1. La parte operativa o proceso que se desea controlar.
2. La parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa de la manera deseada.
3. La parte de supervisión y explotación del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado. Genéricamente a esta función se le conoce con el acrónimo HMI (“Interfaz hombre máquina” en inglés).

Para llevar a cabo el correcto intercambio de información entre las distintas partes que integran un sistema automático son necesarias una serie de interfaces o líneas de comunicación<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup> FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALEZ, Sistemas Automatizados-Autómatas Programables (PLC´s), Cap.I



**Figura 4.1.** Esquema general de un sistema automático.

Si se pretende automatizar un sistema de aire acondicionado de un edificio, el proceso a controlar o parte operativa estaría integrado por las distintas instalaciones o sistemas (ventilación, luces, cargas, persianas, etc.) susceptibles de ser controlados.

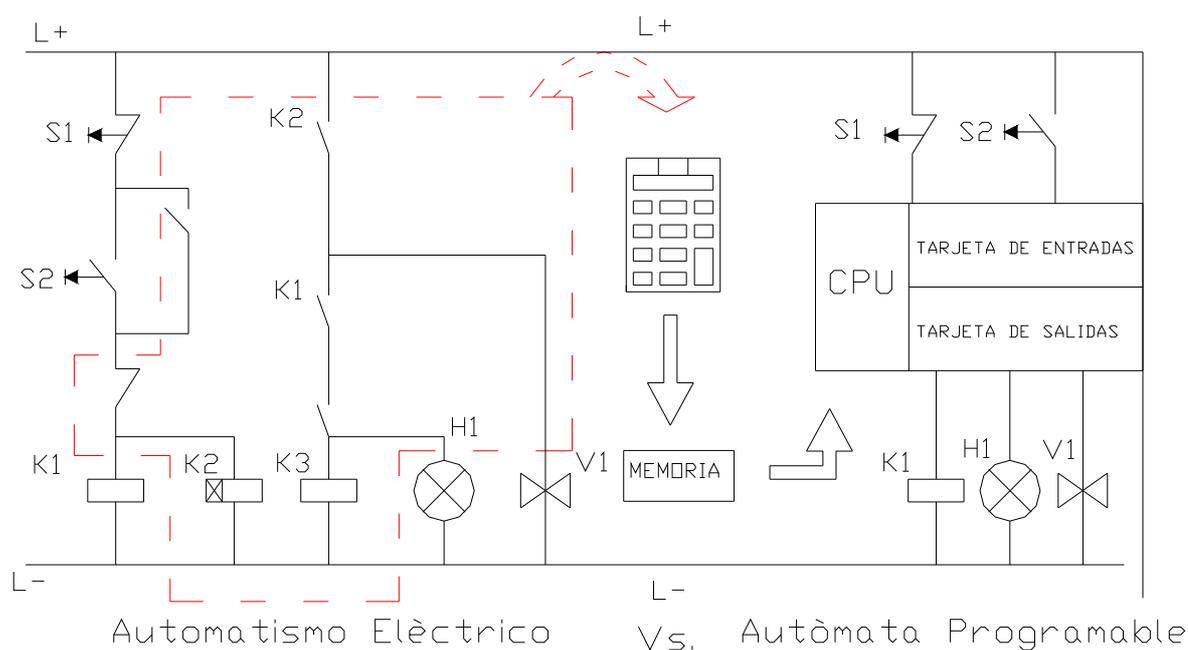
La parte de control la conforman los sensores (que detectan las magnitudes físicas del sistema) y los actuadores (que realizan las acciones sobre los componentes del sistema) que se encuentran conectados al autómatas programable.

La parte de Supervisión y explotación estaría compuesta por el programa de control que reside en la memoria del PLC, encargándose de tomar las “decisiones” oportunas para mantener el proceso dentro de los márgenes de trabajo definidos por el usuario.

La información indicada por los sensores (presencia de humo, aumento de la temperatura, etc.) una vez convertida en una señal eléctrica y adaptada al rango de trabajo del autómatas, es transmitida a éste por medio del interfaz de conexión correspondiente. El PLC con esta información y en base al programa de control, indicará las acciones que deben ejecutar los equipos del sistema por medio de los preaccionadores y accionadores del proceso (relés, contactores, electroválvulas, etc.). Estos dispositivos se hallan conectados al PLC por medio de una interfaz adecuada, lográndose así transformar las señales eléctricas que produce el equipo de control en acciones sobre los distintos componentes del sistema.

## 4.1 AUTÓMATA PROGRAMABLE

Un PLC (Programmable Logic Controller) o autómata programable (AP) es una máquina electrónica programable capaz de ejecutar un programa, es decir, un conjunto de instrucciones organizadas de una forma adecuada para solventar un problema dado, que está diseñada para trabajar en un entorno industrial y por tanto hostil<sup>33</sup>. Un PLC puede ser definido también desde un punto de vista gráfico.



**Figura 4.2.** Concepto gráfico del PLC.

No hay que perder de vista que los PLCs son la evolución natural del empleo de la tecnología eléctrica en el control de procesos al uso de la tecnología electrónica. De esta forma un PLC se puede entender como el dispositivo electrónico que viene a sustituir el conjunto de componentes eléctricos (relés, enclavamientos, etc) que adecuadamente combinados implementan la lógica de un circuito de mando. Esa lógica será implementada en este nuevo dispositivo como un programa de control.

Es de destacar que aquellos componentes del circuito de mando empleados por el operador para comandar su funcionamiento como son pulsadores e interruptores fundamentalmente, seguirán presentes en la implementación mediante PLC cumpliendo la misma función.

<sup>33</sup> FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALEZ, Sistemas Automatizados-Autómatas Programables (PLC's), Cap.I

Asimismo, los componentes del circuito de mando empleados tanto para la activación de los elementos del circuito de fuerza (relés, contactores, etc) y los elementos utilizados para mostrar información acerca del estado de activación o no de los componentes del proceso (lámparas, señalizadores acústicos, etc) aparecerán conectados al PLC como salidas del mismo.

Las entradas del PLC son los canales que le permiten adquirir información procedente de los sensores acerca de cómo se encuentra el proceso en cada momento.

Las salidas del PLC son los canales que permiten al PLC enviar órdenes de ejecución a los componentes del proceso empleando los preaccionadores y los accionadores del proceso. Es decir, que para poner en marcha un motor deberá existir un contactor conectado a una salida del PLC, de forma que cuando el PLC requiera de ese motor para que se ponga en marcha dará la orden al contactor para que este la transmita al motor.

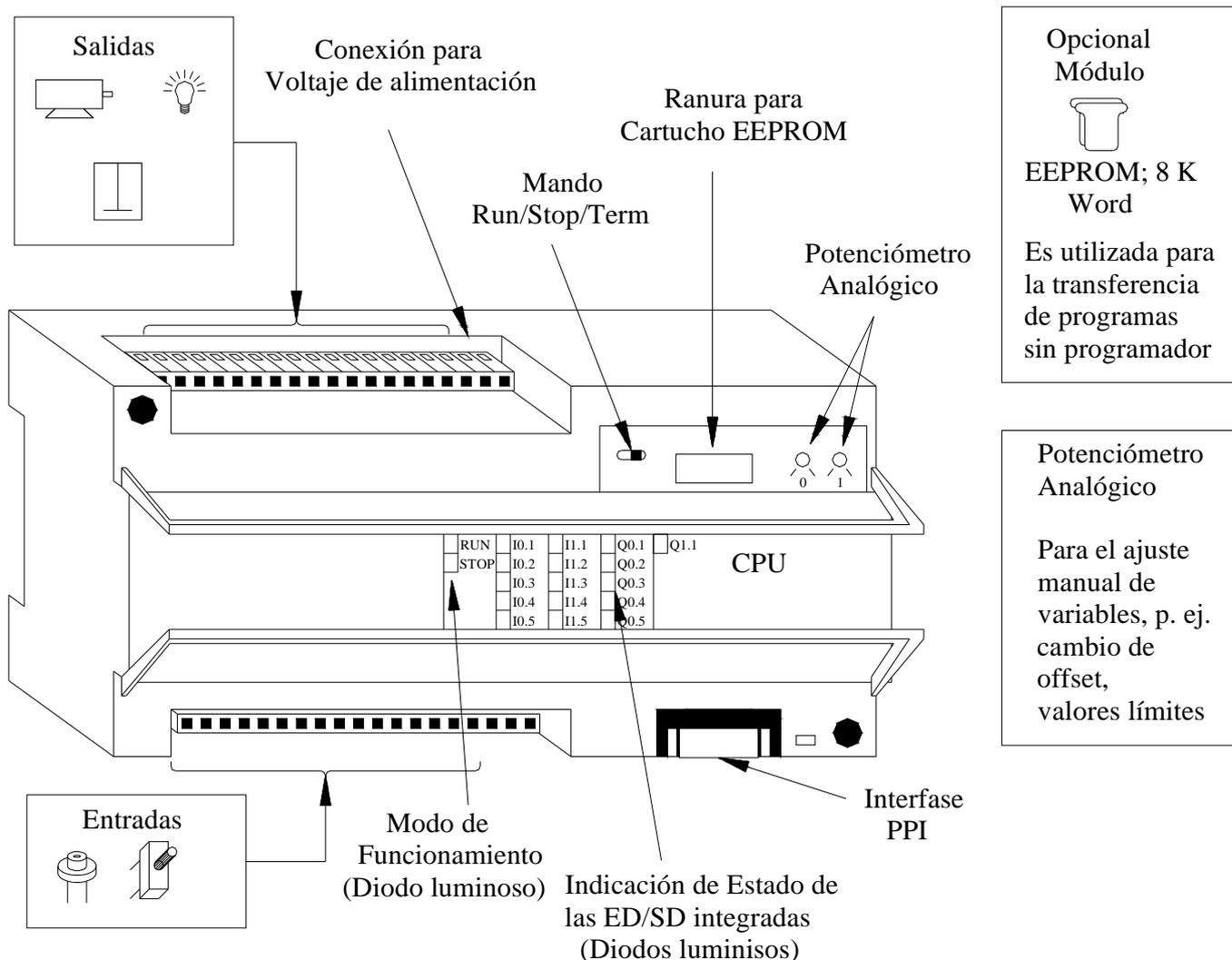
Los PLCs permiten mejorar la competitividad de la producción al incrementar la productividad a unos costes adecuados y sin sacrificar la calidad, más bien al contrario, aumentándola.

Sus aportaciones son numerosas y se pueden analizar desde varios puntos de vista:

- Desde el punto de vista de la concepción del sistema automatizado:
  - Los PLCs son herramientas de fácil manejo por medio de software de programación y configuración.
  - Facilitan el trabajo en el laboratorio.
  - Los PLCs son máquinas a medio camino entre la ingeniería eléctrica y la informática lo cuál permite a las empresas llevar a cabo una transición suave hacia nuevas tecnologías aplicadas al proceso productivo.
- Desde el punto de vista del mantenimiento:
  - No se requiere de personal altamente calificado.
  - Se puede adaptar y formar al personal del departamento de mantenimiento eléctrico para llevar a cabo las labores de mantenimiento de este tipo de dispositivos.
  - El interfaz hombre máquina de estos dispositivos es muy potente lo cuál facilita la labor tanto del personal de mantenimiento como de producción.

## 4.2 ESTRUCTURA BÁSICA

En forma general los componentes básicos de un PLC se pueden observar en la siguiente figura:



**Figura 4.3** Partes principales de un PLC.

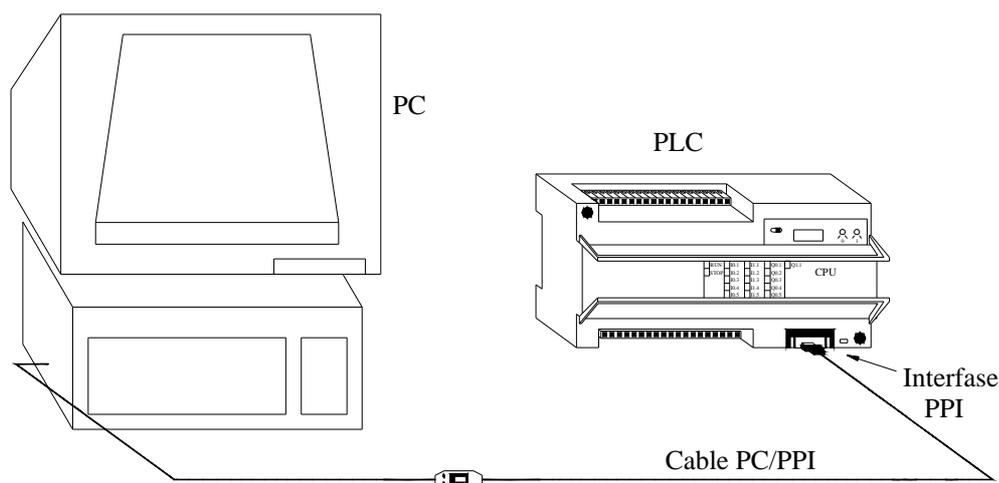
El PLC es un aparato autónomo compacto que incorpora una unidad central de procesamiento (CPU), la fuente de alimentación, así como entradas y salidas digitales<sup>34</sup>.

- La CPU ejecuta el programa y almacena los datos para la tarea de automatización del proceso.
- La fuente de alimentación proporciona corriente a la unidad central y a los módulos de ampliación conectados.

<sup>34</sup> DR. AGUINAGA, Álvaro, Automatización de Procesos Industriales con PLC's, pp. 9

- Las entradas y salidas controlan el sistema de automatización. Las entradas vigilan las señales de los aparatos de campo (sensores e interruptores) y las salidas vigilan las bombas, motores u otros dispositivos del proceso.
- La interfase de comunicación permite conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos. Algunas CPUs disponen de dos o más interfaces de comunicación.
- Los diodos luminosos indican el modo de operación de la CPU (RUN o STOP), el estado de las entradas y salidas integradas, así como los posibles fallos del sistema que se hayan detectado.

Si se desea conectar y utilizar una Computadora Personal (PC) como unidad de programación del PLC, para lograr la comunicación se debe disponer de equipos adicionales como un cable PC/PPI, un procesador de comunicaciones (CP) y un cable de interfase multipunto (MPI), una tarjeta de interfase multipunto (MPI).

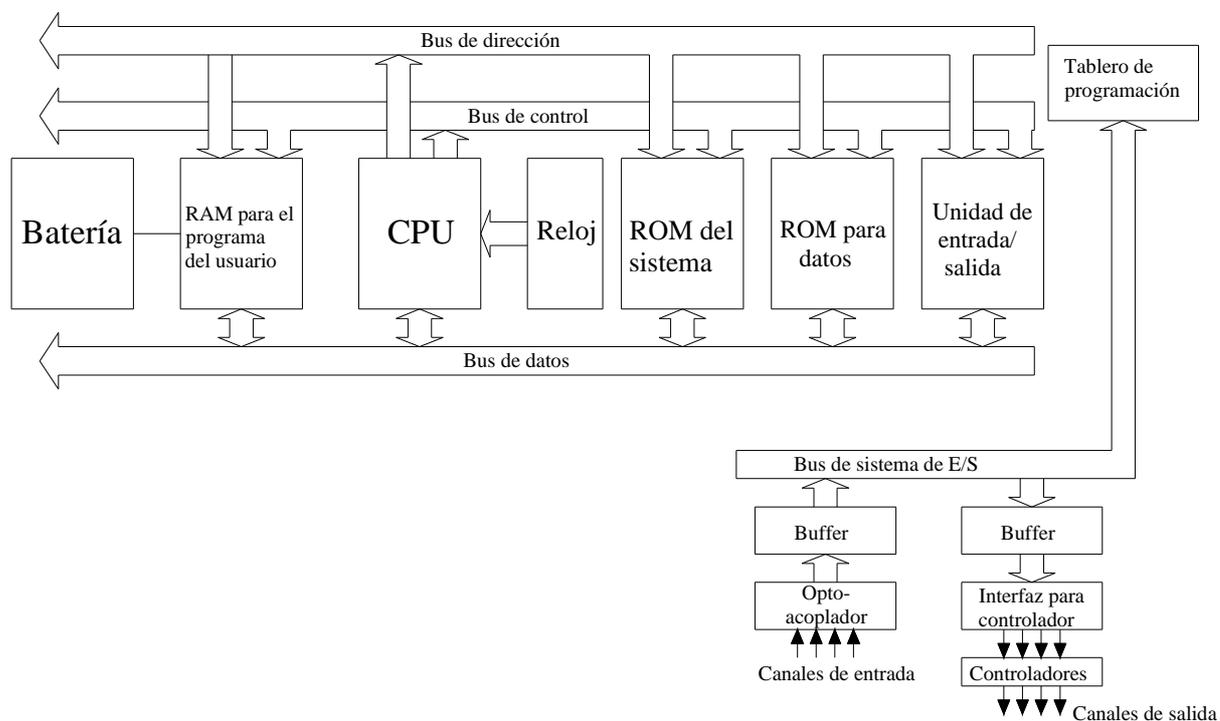


**Figura 4.4** Comunicación PC con un PLC.

La estructura interna básica de un PLC en esencia consta de una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y circuitos de entrada/salida<sup>35</sup>. La CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC. Cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema de bus que lleva información y datos desde y hacia la memoria y a las unidades de entrada/salida. Los elementos de la memoria son: una ROM para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y

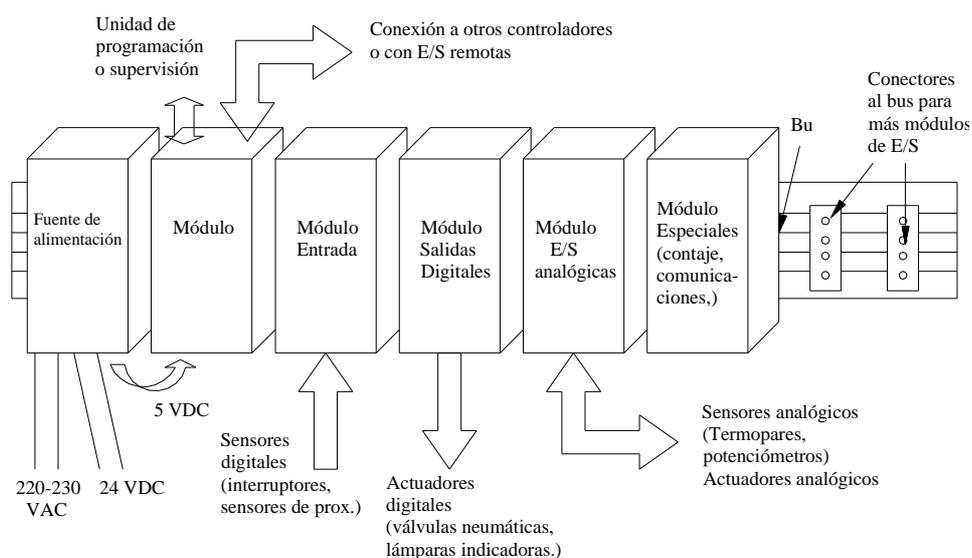
<sup>35</sup> DR. AGUINAGA, Álvaro, Automatización de Procesos Industriales con PLC's, Cap.1

datos corregidos; una RAM para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada/salida, como se puede ver en la figura 4.5:



**Figura 4.5** Estructura interna de un PLC.

La arquitectura de un autómata programable se puede describir también en el siguiente esquema:



**Figura 4.6** Arquitectura típica de un autómata programable.

El usuario puede modificar los programas en la RAM y para evitar que estos programas se pierdan durante una interrupción del suministro de energía eléctrica, en el PLC se utiliza una batería, para mantener el contenido de la RAM por determinado tiempo. Una vez elaborado un programa y guardado en la RAM, éste se puede cargar en un chip de memoria EPROM y de esta manera queda guardado de manera permanente. Las especificaciones de PLCs pequeños con frecuencia indican la capacidad de la memoria del programa en función de la cantidad de pasos de programa que en dicha memoria es posible guardar (Un paso de programa es la instrucción que lleva a cabo determinado evento). El programa usado para la realización de una tarea consta de varios pasos, por lo general, un PLC pequeño puede manejar de 300 a 1000 pasos, más que suficiente para la mayoría de las aplicaciones de control.

Las tareas sugeridas para realizar la automatización del control de un sistema se resumen en las siguientes:

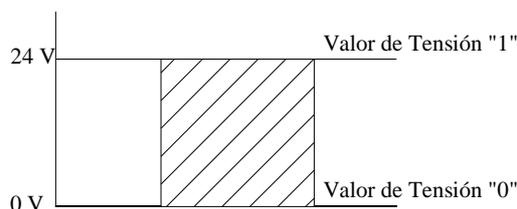
- Estructurar el proceso en secciones independientes entre si.
- Describir las funciones de cada proceso, para ello tome en cuenta lo siguiente:
  - Entradas y salidas.
  - Describir el funcionamiento
  - Condiciones que deben cumplirse para la operación de los actuadores (electroválvulas, motores, accionamientos, etc.).
  - Describir la interfase del operador.
- Diseñar los circuitos de seguridad para la instalación de los cables de interconexión. En este caso es necesario considerar condiciones de operación normal y de falla, tanto en condiciones de cortocircuito, sobrecarga o sobrevoltaje, tomando en cuenta la seguridad del equipo y del personal que operará el sistema.
- Distribuir adecuadamente las estaciones de control del operador, considerando la disposición mecánica de los CPU's, de los módulos de ampliación y lógicamente de los equipos que se controlarán.
- Elaborar una lista de nombres asociados a las entradas, salidas y de todos los elementos que intervienen en el sistema.

La unidad de entrada/salida es la interfaz entre el sistema y el mundo externo.

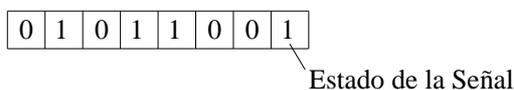
Para introducir programas en esta unidad se usa un tablero, el cual puede variar de una sencilla configuración de teclado con pantalla de cristal líquido, o bien llegar a tener incluso unidades de presentación visual (VDU por sus siglas en inglés) con teclado y pantalla. También es posible introducir los programas al sistema mediante un enlace con una computadora personal (PC), el cual se carga con un paquete de software apropiado.

El PLC dispone de áreas de memoria para que todos los datos se puedan procesar de forma más rápida y eficiente. Para continuar con la explicación de las áreas de memoria, es conveniente conocer los siguientes conceptos:

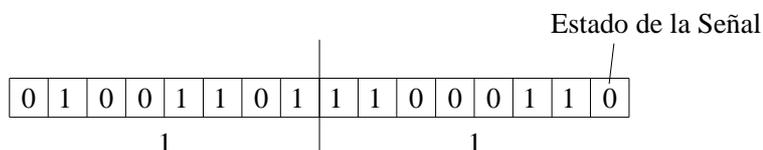
- Bit. Es la abreviatura de cifra binaria y es la unidad de información binaria más pequeña (dos valores), el cuál puede admitir los estados de señal "1" o "0".



- Byte. Es una unidad de 8 signos binarios, por lo tanto tiene una dimensión de 8 bits.



- Palabra. Una Palabra es una sucesión de signos binarios, los cuáles se consideran en una determinada relación como una unidad. A la longitud de la palabra le corresponde un número de 16 signos binarios (16 bits o 2 bytes).



- Doble Palabra. A una doble palabra le corresponde una longitud de 32 signos binarios. Por lo tanto tiene el tamaño de 2 palabras, 4 bytes o 32 bits.

La descripción que se efectuará a continuación corresponde a los PLC's Siemens de la familia SIMATIC S7-200.<sup>36</sup>

La CPU almacena el estado de las entradas y salidas en determinadas áreas de la memoria, a las cuales se les asigna un identificador nemotécnico, por ejemplo:

<sup>36</sup> DR. AGUINAGA, Álvaro, Automatización de Procesos Industriales con PLC's, pp. 9

- I para las entradas.
- Q para las salidas.
- V para las variables.

Para acceder a las áreas de memoria se especifican direcciones absolutas, las que se indican de las siguientes formas:

- a. Bit de datos en la memoria de la CPU, lo que se denomina Direccionamiento "byte, bit". Por ejemplo para los PLC´s SIMATIC ST-200 con CPU 214.

**Tabla 4.1.** Ejemplos de direcciones absolutas.

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Entradas | I0.0  | I0.1  | I0.2  | I0.3  | I0.4  | I0.5  | I0.6  | I0.7  |
|          | I10.0 | I10.1 | I10.2 | I10.3 | I10.4 | I10.5 | I10.6 | I10.7 |
| Salidas  | Q0.0  | Q0.1  | Q0.2  | Q0.3  | Q0.4  | Q0.5  | Q0.6  | Q0.7  |
|          | Q10.0 | Q10.1 | Q10.2 | Q10.3 | Q10.4 | Q10.5 | Q10.6 | Q10.7 |

El significado de la dirección absoluta: I 2.3 es el siguiente:

Primera letra ( I ) = identificador de área (entrada)

Primer número ( 2 ) = dirección de byte

Segundo número ( 3 ) = direcciones del bit dentro del byte, es el número de bit. 3 de 8 (0 a 7)

Las memorias de entradas y salidas digitales se pueden representar como matrices con 8 columnas y múltiples filas, a las que se accede por bits.

|       |    | bit |   |   |   |   |   |   |   |
|-------|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|
|       |    | 0   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| bytes | 0  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 1  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 2  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 3  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 4  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 5  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 6  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 7  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 8  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 9  |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 10 |     |   |   |   |   |   |   |   |
|       | 11 |     |   |   |   |   |   |   |   |

**Figura 4.7** Representación de las memorias y salidas digitales.

A continuación se dan ejemplos de direccionamiento directo en el formato de bit.

**Tabla 4.2.** Ejemplos de direcciones en formato de bit.

| FORMATO | AREA           | DIRECCIÓN |     |
|---------|----------------|-----------|-----|
|         |                | BYTE      | BIT |
| I0.1    | Entrada        | 0         | 1   |
| Q1.1    | Salida         | 1         | 1   |
| V10.1   | Variable       | 10        | 1   |
| M26.7   | Marca          | 26        | 7   |
| S3.1    | Relé secuencia | 3         | 1   |

**Tabla 4.3.** Ejemplos de direcciones de bloques funcionales.

| FORMATO 1 | AREA            | NÚMERO |
|-----------|-----------------|--------|
| T24       | Temporizador    | 24     |
| C20       | Contador        | 20     |
| AC0       | Acumulador      | 0      |
| HC1       | Contador rápido | 1      |

- b. Formato de byte, palabra o palabra doble, esto implica asignar nombres simbólicos. Para este formato se identifican las diversas áreas de memoria de la CPU, así pueden ser:

- V memoria de variable
- I Entradas digitales
- Q Salidas digitales
- M Marcas
- S Marcas especiales
- T Temporizadores
- C Contadores
- AI Entradas analógicas
- AQ Salidas analógicas
- AC Acumuladores
- HC Contadores rápidos

En este caso la dirección absoluta incluye el identificador de área (por ejemplo V) y el tamaño (hasta 4 bytes o 32 bits) de los datos a los que se desea acceder. El tamaño puede identificarse como:

B (byte)

W (palabra = 2 bytes)

D (palabra doble = 4 bytes)

Las memorias indicadas se pueden representar como matrices con 8 columnas y múltiples filas, a las que se accede por byte, palabra o doble palabra.

La dirección absoluta incluye también un valor numérico: bien sea el número de bytes desde el comienzo del área de memoria o bien el número del elemento.

Los siguientes ejemplos corresponden a la misma dirección en formatos de byte, palabra y palabra doble.

V B 100, el identificador corresponde al área de memoria variable (V), en formato de byte (B) cuya dirección es 100.

V W 100, el identificador corresponde al área de memoria variable (V), en formato de palabra (W) cuya dirección es 100.

VD 100, el identificador corresponde al área de memoria variable (V), en formato de palabra doble (D) cuya dirección es 100.

En la siguiente tabla se dan ejemplos de direccionamiento directo en el formato de byte, palabra, palabra doble.

**Tabla 4.4.** Ejemplos de direcciones en formato byte, palabra y palabra doble.

| <b>FORMATO</b> | <b>AREA</b>                | <b>TAMAÑO</b> | <b>DIRECCIÓN<br/>BYTE INICIAL</b> |
|----------------|----------------------------|---------------|-----------------------------------|
| IB4            | Entrada                    | Byte          | 4                                 |
| QB5            | Salida                     | Byte          | 5                                 |
| VW100          | Variable                   | Palabra       | 100                               |
| MD20           | Marca                      | Palabra doble | 20                                |
| SB4            | Relé control<br>secuencial | Byte          | 4                                 |
| SMB86          | Marca especial             | Byte          | 86                                |
| AIW4           | Entrada analógica          | Palabra       | 4                                 |
| AQW4           | Salida analógica           | Palabra       | 4                                 |

Los programas del controlador, con sus respectivos datos, se almacenan de las siguientes maneras:

- En una memoria EEPROM, no volátil, para almacenar todo el programa, así como algunas áreas de datos y a la configuración de la CPU.
- En una memoria RAM.

Cuando el programa se carga desde el PC (ordenador) hacia la CPU el programa de usuario, la configuración de la CPU y el bloque de datos (DBI) se almacenan en la memoria RAM y en la EEPROM.

Los canales de entrada/salida proporcionan funciones para el acondicionamiento y aislamiento a sensores y actuadores, sin necesidad de otros circuitos.

### **4.3 ¿CÓMO FUNCIONA UN PLC?**

Un PLC una vez conectado a la red eléctrica tiene básicamente dos modos de funcionamiento:

- Stop. En este modo de funcionamiento no se ejecuta el programa de control.
- Run. En este modo de funcionamiento el programa de control se está ejecutando de manera indefinida hasta que o bien el PLC pasa al modo Stop o bien se desconecta de la alimentación.

Este último modo de funcionamiento (Run) es el que nos interesa. Cuando el autómatas se encuentra en esta situación el programa de control que está grabado en su memoria se ejecuta cíclicamente describiendo lo que se ha dado en llamar "Ciclo de Scan".

Un ciclo de scan consiste básicamente en cuatro pasos bien diferenciados<sup>37</sup>:

1. Lectura de las entradas del PLC
2. Ejecución del programa de control.
3. Escritura de las salidas del PLC.
4. Tareas internas del PLC.

---

<sup>37</sup> FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALÉZ, Sistemas Automatizados-Autómatas Programables (PLC's), Cap.2

### **4.3.1 LECTURA DE ENTRADAS**

Al inicio de cada ciclo de scan, el sistema operativo del PLC comprueba el estado en el que se encuentran todos y cada uno de los elementos de entrada (sensores, pulsadores, etc.) que están conectados a los distintos módulos de entradas del PLC. Si un sensor está activado, el PLC pondrá un “1” lógico en una posición determinada de una zona de memoria especial llamada “Memoria de Entradas”. Si por el contrario ese sensor no estuviese activado, entonces el PLC pondría un “0” lógico en la posición de memoria de entradas asignadas para esa entrada. Si el sensor es analógico, en lugar de escribir un “1” o un “0”, convertirá el valor de la magnitud física a un valor numérico que también se depositaría en una zona de la memoria de entradas analógicas. Esta operación de lectura de las entradas conlleva un cierto tiempo para ejecutarse totalmente, el cuál debe tenerse en cuenta a la hora de calcular la duración del ciclo de scan. En cualquier caso, este tiempo suele ser despreciable con respecto a la duración de la ejecución del programa de control.

Al realizar la lectura de todas las entradas al comienzo de cada ciclo se asegura que todas las instrucciones del programa de control son ejecutadas sobre una “imagen” del estado del proceso coherente. Es decir, que si una vez comenzado a ejecutar el programa de control, algún sensor del proceso cambiase de valor, este nuevo valor no se tomaría en cuenta hasta el siguiente ciclo.

### **4.3.2 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL**

Una vez que la memoria de entradas ha sido totalmente actualizada el sistema operativo del PLC, comenzará a ejecutar las instrucciones del programa albergado en su memoria. Lo hará secuencialmente comenzando por la primera instrucción del módulo de programa que se considere el principal.

La ejecución secuencial no implica ejecución lineal, es decir, que un programa puede contener instrucciones especiales que permitan hacer saltos hacia delante y hacia atrás, e incluso es posible que haya subrutinas e interrupciones. Pero en cualquier caso, la ejecución seguirá siendo secuencial siendo posible alterar esa secuencia de forma dinámica, la secuencia acabará teniendo una última

instrucción que tras ser ejecutada pondrá fin a este paso del ciclo de scan. La normal ejecución del programa de control hará que los valores de la memoria de datos del PLC vayan cambiando a medida que se avanza, teniendo especial importancia los cambios que se registren en la memoria de salidas ya que serán los que finalmente se convertirán en acciones sobre el proceso. Por último es de destacar que la ejecución del programa de control durará una determinada cantidad de tiempo que será directamente proporcional a la velocidad del procesador (CPU) del PLC y que por lo tanto dependerá del modelo del mismo.

#### **4.3.3 ESCRITURAS DE SALIDAS**

Cuando el sistema operativo del PLC detecta que se ha ejecutado la última instrucción del programa de control, éste comienza a revisar una por una todas las posiciones de su memoria de salidas. Si en una posición lee un “1” lógico, el PLC activará la salida correspondiente en el módulo de salidas. Es de esperar que conectados a ese módulo de salidas en esa posición concreta se encuentre un preaccionador o un accionador el cual se activara al ser activada esa salida llevando a cabo la acción correspondiente sobre algún elemento del proceso.

Si tras la ejecución del programa de control, se generan señales analógicas en forma de valores digitalizados en la memoria de salidas analógicas del PLC, en esta fase se convierten estas señales analógicas en valores proporcionales de corriente y tensión por medio de los módulos de salidas analógicas correspondientes. Estos valores de corriente y tensión provocarán una acción proporcional sobre algún componente del proceso.

Aunque este proceso consume cierta cantidad de tiempo, su duración es despreciable con respecto a la de la fase de ejecución del programa de control.

#### **4.3.4 TAREAS INTERNAS**

Antes de comenzar un nuevo ciclo de scan, el PLC necesita realizar ciertas tareas internas como son: comprobar si se han producido errores, almacenar la duración del ciclo de scan, actualizar valores internos de sus tablas de datos, etc.

De nuevo la duración de esta fase puede considerarse despreciable con respecto a las otras tres. Una vez que esta fase ha terminado el sistema operativo del PLC comenzará a ejecutar un nuevo ciclo de scan.

#### 4.4 PROGRAMACIÓN DEL AUTOMATA

Programar un autómata consiste en introducirle una secuencia de órdenes (instrucciones) obtenidas desde un modelo de control, según una codificación determinada (lenguaje) que por su forma puede ser:

- Literal, o de textos
- Gráfica, o de símbolos

Cada instrucción del programa consta de dos partes, el código de operación, que define qué se debe hacer y el código de los operandos (generalmente identificados por su dirección), que indican las constantes o variables con las que se debe operar.

En definitiva, el usuario introduce su ley de mando en la unidad de programación mediante un programa (secuencia de órdenes) codificado según el lenguaje (conjunto de símbolos) inteligibles para los dos<sup>38</sup>.

La unidad de programación compila o convierte el programa a los códigos binarios que realmente entiende el autómata, los transfiere y deposita en la memoria del mismo. Estos códigos binarios son después interpretados por el sistema operativo residente (firmware) para movilizar los recursos físicos (procesador, interfaces E/S, etc.) necesarios en la ejecución del programa.

La programación del autómata cumple los siguientes pasos:

1. Determinar qué debe hacer el sistema de control y en qué orden (por ejemplo, mediante un diagrama de flujo, una descripción literal o un grafo GRAFCET).
2. Identificar los componentes (señales) de entrada y salida al autómata.
3. Representar mediante un modelo el sistema de control, indicando todas las funciones que intervienen, las relaciones entre ellas y la secuencia que deben seguir. Esta representación puede ser:
  - Algebraica: instrucciones literales
  - Gráfica: símbolos gráficos.

---

<sup>38</sup> JOSEP BALCELLS/JOSÉ LUIS ROMERAL, Autómatas Programables, Cap.10

4. Asignar direcciones de entrada/salida o internos a cada uno de los componentes que aparecen en el modelo.
5. Codificar la representación anterior en instrucciones o símbolos inteligibles por la unidad de programación.
6. Transferir las instrucciones obtenidas a la memoria del autómata desde la unidad de programación.
7. Depurar el programa y obtener una copia de seguridad.

#### **4.4.1 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN**

Lenguaje de programación es el conjunto de símbolos y textos inteligibles por la unidad de programación que le sirven al usuario para codificar sobre un cierto autómata las leyes de control deseadas.

Un programa es el conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el autómata a través de su unidad de programación, que le permiten ejecutar la secuencia de control deseada.

El lenguaje depende del autómata empleado y de su fabricante, el cuál decide el tipo de unidad de programación (literal, gráfico) y el intérprete (firmware) que utiliza su máquina, mientras que el modelo de representación depende del usuario, que lo elige según sus necesidades o conocimientos.

Pese a ello, los lenguajes de programación de autómatas intentan ser lo más parecidos posibles a los modelos de representación usuales, a fin de facilitar la transcripción entre ambos. Así, los lenguajes pueden ser:

- Algebraicos
  - Lenguaje booleanos
  - Lista de instrucciones
  - Lenguaje de alto nivel
- Gráficos
  - Diagrama de contactos
  - Diagrama de funciones / bloques
  - Intérprete GRAFCET.

Los programas obtenidos están formados por un conjunto de:

- Instrucciones

- Sentencias
- bloques funcionales y grafismos

los cuales indican las operaciones sucesivas a realizar por el PLC.

La instrucción representa la tarea más elemental de un programa, por ejemplo. leer una entrada, realizar una operación AND, activar una salida, etc.

La sentencia representa el mínimo conjunto de instrucciones que definen una tarea completa, por ejemplo consultar un conjunto de condiciones y si son ciertas, activar un temporizador, etc.

El bloque funcional es el conjunto de instrucciones o sentencias que realizan una tarea o función compleja, por ejemplo contadores, registros de desplazamiento, transferencias de información, etc.

Todos estos elementos están relacionados entre sí mediante los símbolos o grafismos (algebraicos o gráficos) definidos en el lenguaje empleado.

#### **4.4.1.1 Lenguajes Booleanos y Lista de Instrucciones**

El lenguaje booleano está constituido por un conjunto de instrucciones que son transcripción literal de las funciones del álgebra de Boole, a saber<sup>39</sup>:

- OR función suma lógica
- AND función producto lógico
- NOT función negación

Complementadas con instrucciones de inicio de sentencia y asignación de resultados:

- LOD leer variable inicial
- OUT enviar resultado a salida

y de operaciones de bloques (paréntesis):

- OR LOD coloca bloque en paralelo
- AND LOD coloca bloque en serie.

En operación normal, el autómata necesita algunas otras instrucciones como ampliación del lenguaje booleano, que le permitan manejar elementos de uso común en automatización. Son éstas las instrucciones secuenciales predefinidas:

- TIM definir un temporizador
- CNT definir un contador

---

<sup>39</sup> JOSEP BALCELLS/JOSÉ LUIS ROMERAL, Autómatas Programables, Cap.10

- SET activar una variable binaria (unidad de memoria)
- RST desactivar una variable binaria.

Además la mayor parte de autómatas incluyen extensiones al lenguaje booleano básico descrito, que permiten la manipulación de datos y variables digitales y la gestión del programa. Estas extensiones pueden clasificarse en:

- Instrucciones aritméticas
  - ADD sumar
  - SBB restar
  - MUL multiplicar
  - DIV dividir
- Instrucciones de manipulación de datos:
  - CMP comparar variables digitales
  - SFR rotaciones de bits (variables binarias)
  - SHIFT rotaciones de palabras (variables digitales)
  - MOV transferencias de datos
  - BCD/BIN conversiones de códigos numéricos, etc.
- Instrucciones de gestión de programa:
  - END fin de programa
  - JMP salto de bloque de programa
  - MCS habilitación de bloque de programa
  - JMPSUB salto a subrutina, etc.

Las instrucciones aritméticas y de manipulación de datos admiten múltiples variaciones:

- aritmética binaria o BCD (Codificación-binaria-decimal)
- instrucciones lógicas sobre palabras (8 ó 16 bits)
- transferencias entre bloques de palabras
- codificación a salida en 7 segmentos
- instrucciones de direccionamiento indirecto
- instrucciones trigonométricas, etc.

Al lenguaje resultante, que no puede llamarse ya booleano después de ser ampliado con estas extensiones, se le denomina de lista de instrucciones ("Instruction List").

La tabla 4.5 muestra un listado de las instrucciones básicas disponibles sobre un autómata FA-2J Júnior de Izumi.

**Tabla 4.5.** Instrucciones básicas del autómata Izumi FA-21.

| INSTRUCCIÓN | DESCRIPCIÓN                                    |
|-------------|--|
| LOD         | Lee estados de variable binaria, E/S o interna |
| AND         | Función lógica AND                             |
| OR          | Función lógica OR                              |
| OUT         | Envía resultado sentencia a variable binaria   |
| MCS         | Función relé maestro de control                |
| MCR         | Final de función de relé maestro               |
| SOT         | Detecta flanco de subida de una señal          |
| TIM         | Define temporizador con retardo a conexión     |
| CNT         | Define contador incremental de sucesos         |
| SFR         | Define registro desplazamiento sobre $n$ bits  |
| END         | Indica final de programa                       |
| SET         | Fija una variable a estado «1»                 |
| RST         | Fija una variable a estado «0»                 |
| JMP         | Inicio de salto de programa                    |
| JEND        | Final de salto de programa                     |
| NOT         | Niega o complementa una variable lógica        |
| OR LOD      | Conecta dos bloques de programa en paralelo    |
| AND LOD     | Conecta dos bloques de programa en serie       |

Estas instrucciones se complementan con otras de computación, que pueden ser:

- Básicas:
  - Operandos predefinidos
  - Aritmética BCD
- Avanzadas:
  - Operandos cualesquiera
  - Aritmética de 16 bits
  - Direccionamiento indirecto, etc.

Ejemplos de instrucciones de computación básica sobre este autómata son:

- JCVTH, Conversión BCD a binario
- JCVTD, Conversión binario a BCD
- JADC, Suma del registro DR0 (acumulador) con un operando
- JSBB, Substracción al registro DR0 de un operando
- JCMP, Comparación del registro DR0 con un operando
- JOLD, Transferencia de operando a DR0
- JOST, Transferencia de DR0 a un operando
- JINC, Incrementar operando, etc.

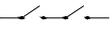
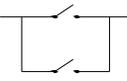
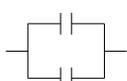
Y en computación avanzada:

- TADD3, Suma de cuatro dígitos entre Operandos cualesquiera
- WCMP, Comparación de un operando con un intervalo
- PDCMD, Salida de datos ASCII a impresora
- W12IM, Transferencia del operando (dato), cuya dirección (origen) está contenida en un registro al operando cuya dirección (destino) está contenida en otro registro, etc.

#### 4.4.1.2 Lenguaje de Diagrama de Contactos

El lenguaje de contactos expresa las relaciones entre señales binarias como una sucesión de contactos en serie y en paralelo, según las equivalencias que se muestran en la tabla 4.6<sup>40</sup>.

**Tabla 4.6.** Equivalencias instrucciones-contactos.

| FUNCIÓN LÓGICA<br>LENGUAJES             | OPERACIÓN PRODUCTO LÓGICO   | OPERACIÓN SUMA LÓGICA   | OPERACIÓN NEGACIÓN   | ASIGNACIÓN DE VALOR   |
|---|---|---|--|---|
| INSTRUCCIONES BOOLEANAS                 | AND   | OR  | NOT  | OUT   |
| ESQUEMAS DE RELÉS (DIN 40713-16)        |  |  |  |  |
| DIAGRAMAS DE CONTACTOS (NEMA/DIN 19239) |  |  |  |  |

<sup>40</sup> FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALÉZ, Sistemas Automatizados-Autómatas Programables (PLC's), Cap.2

El lenguaje Diagrama de Contactos («Ladder Diagram») ha sido acogido por muchos fabricantes de autómatas (principalmente norteamericanos y japoneses) como lenguaje base de programación mediante un editor de símbolos gráficos. Normalmente este editor incluye restricciones en cuanto al número de contactos o bobinas a representar en cada línea, la ubicación de los mismos, la forma de las conexiones, etc. Siendo los contactos de relés componentes de dos estados, asignados a los valores lógicos:

0: contacto abierto

1: contacto cerrado

Las equivalencias de la tabla 4.2 permiten definir sobre los contactos un álgebra de Boole, denominada usualmente álgebra de contactos.

Esto significa que cualquier función lógica puede ser transcrita directa e inmediatamente a diagrama de contactos y viceversa. Sin embargo, el diagrama de contactos, no nació como una posible herramienta de visualización de programas ya escritos en lista de instrucciones, sino como transcripción directa de los esquemas eléctricos de relés (circuitos de mando) de uso común en la automatización previa a la aparición de los sistemas programables. Por esta razón, los diagramas de contactos incluyen temporizadores y contadores.

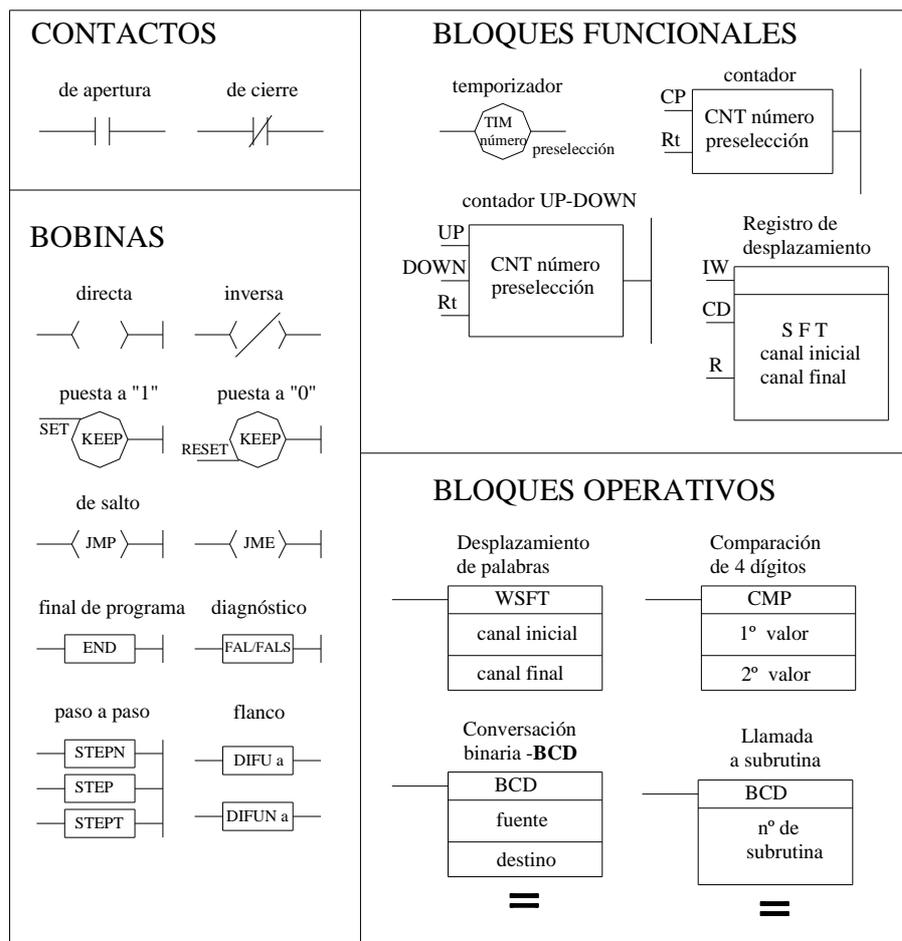
Utilizando estos bloques, el lenguaje de contactos permite programar directamente cualquier esquema eléctrico de relés.

En la Figura 4.8 aparecen algunos elementos gráficos utilizados en un cierto lenguaje de contactos, el Sysmac Serie C de OMRON, clasificados en:

- contactos
- bobinas
- bloques funcionales
- bloques operativos.

Los contactos comprueban la activación o desactivación de las variables asociadas, como: puntos de entrada/salida, relés internos o temporizadores y contadores. Pueden ser de dos tipos:

- contactos de apertura: indican variable normalmente (en reposo) desactivada,
- contactos de cierre: indican variable normalmente (en reposo) activada.



**Figura 4.8.** Lenguaje de contactos de OMRON Sysmac Serie C.

Las bobinas envían el resultado de la operación lógica ejecutada a un relé interno o de salida. Pueden ser de varios tipos:

- directa: asigna el resultado a una variable binaria
  - inversa o pegada: asigna el complemento del resultado a una variable binaria
  - puesta a «1»: pone a «1» con memoria una salida o relé interno («set»)
  - puesta a «0»: pone a «0» con memoria una salida o relé interno («reset»)
  - de salto: indican un salto en el programa que ignora las sentencias saltadas
- y algunas otras especiales son las siguientes:
- fin programa: indica el final de sentencias a ejecutar
  - de diagnóstico: almacena el número «n» de error definido y provoca (FALS) o no (FAL) la parada del autómatas
  - paso a paso: permiten la ejecución de programas subdivididos en «pasos» o etapas
  - de flanco: activan una variable durante un «scan»

Los bloques funcionales realizan funciones secuenciales típicas de automatismos:

- temporizadores: retardos a la conexión medidos en décimas de segundo
- contadores: de tipo decreciente o reversible
- registros de desplazamiento: rotaciones de bits entre los canales inicial y final.

Las preselecciones de temporizadores y contadores pueden ser constantes del programa o valores BCD (4 dígitos) leídos en un canal de entradas (datos exteriores).

Los bloques operativos permiten realizar tratamientos numéricos sobre variables digitales (palabras):

- operaciones aritmético/lógicas
- comparaciones
- conversiones de código
- transferencias, etc.

Ejemplos de bloques operativos pueden ser:

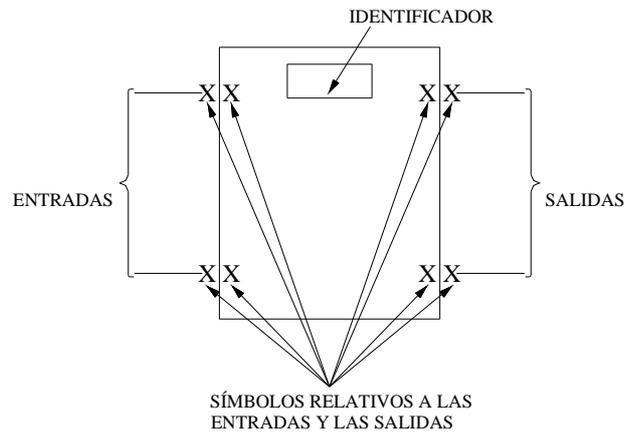
- WSFT: desplazamientos entre canales inicial y final
- CMP: comparaciones entre variables o constantes de 4 dígitos. El resultado de la comparación (igual, mayor o menor) está asociado a un relé interno especial
- BCD: conversión de datos binarios de 16 bits en 4 dígitos BCD
- SBS: llamada a una subrutina del programa
- MESSAGE: lectura de los datos ASCII contenidos sobre 8 canales (2 caracteres, 16 bits por canal) y visualización sobre la unidad de programación o consola de explotación.

#### **4.4.1.3 Lenguaje Plano de Funciones**

El diagrama lógico o plano de funciones es la representación de las tareas de automatización utilizando los símbolos contenidos en las normas DIN T700 y DIN 40719, cuya forma general se presenta en la en la figura 4.9.<sup>41</sup>

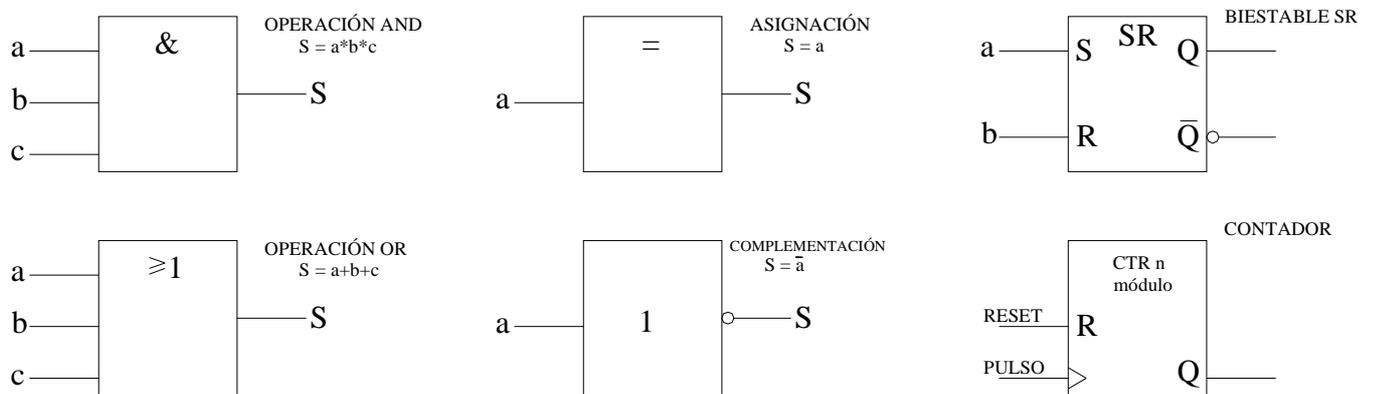
---

<sup>41</sup> JOSEP BALCELLS/JOSÉ LUIS ROMERAL, Autómatas Programables, Cap.10



**Figura 4.9.** Símbolo lógico normalizado.

Algunos de estos símbolos normalizados, correspondientes a las funciones más frecuentes, se dan en la figura 4.10

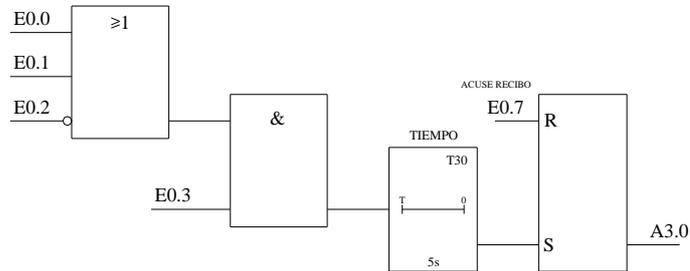


**Figura 4.10.** Algunos símbolos lógicos.

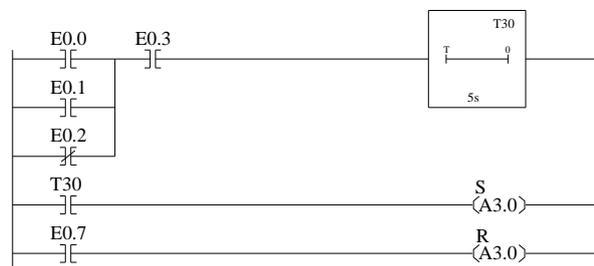
La programación por diagramas lógicos incluye como bloques normalizados algunas funciones secuenciales típicas en automatización, como temporizadores y contadores, e incluso algunos bloques combinados y de tratamientos numéricos, como multiplexores, demultiplexores, sumadores, multiplicadores, etc., pero no alcanza la multitud de funciones que se han ido añadiendo a los lenguajes de listas de instrucciones y diagramas de contactos, como extensiones.

Por esta razón y en sentido estricto, la programación por diagramas lógicos queda reservada a aplicaciones en las que sólo intervengan variables booleanas toda-nada, y algunos bloques secuenciales elementales: temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, etc.

La figura 4.11 muestra un ejemplo de programación con plano de funciones, comparado con el mismo programa en diagrama de contactos, según los lenguajes gráficos STEP 5 de Siemens.



a) Ejemplo de programa en plano de funciones



b) Ejemplo de programa en diagrama de contactos

**Figura 4.11.** Lenguajes gráficos STEP 5 de Siemens.

A continuación se dará una explicación del programa descrito en la figura 4.11:

**Tabla 4.7.** Componentes del programa de la figura 4.11.

|                                  |                      |              |              |              |              |
|----------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Entradas<br/>(Pulsadores)</b> | E0.0<br>(NA)         | E0.1<br>(NA) | E0.2<br>(NC) | E0.3<br>(NA) | E0.7<br>(NA) |
| <b>Bloques<br/>Funcionales</b>   | Temporizador<br>T 30 |              |              |              |              |
| <b>Salidas</b>                   | A3.0                 |              |              |              |              |

Para activar la salida A3.0 (bobina) y mantenerla enclavada, es necesario realizar una de las siguientes acciones:

- Pulsar la entrada E0.0 y E0.3 que son contactos Normalmente Abiertos, los cuales al cerrarse permiten el flujo de la energía
- Pulsar la entrada E0.1 y E0.3

- No pulsar la entrada E0.2 que es un contacto Normalmente Cerrado (por lo que si se abre, cortara el flujo de energía) y pulsar la entrada E0.3

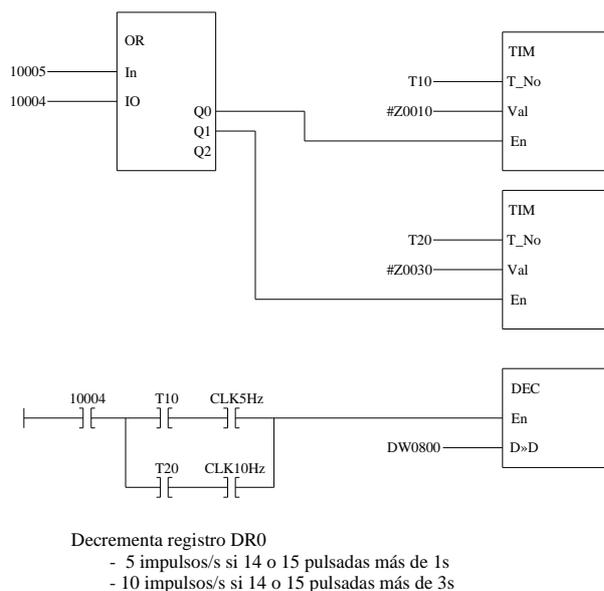
Estas acciones activaran el temporizador T30 que es un dispositivo electrónico que medirá un determinado intervalo de tiempo (5 seg. en este caso) y activara la bobina A3.0, que se mantendrá activada (enclavada).

Para desactivar la bobina A3.0 se debe pulsar la entrada E0.7

Más adelante, en el literal 4.4.2 se dará una explicación más detallada de la forma de realizar los programas para los PLC's.

Dada la inexistencia de bloques normalizados para todas las posibles operaciones del autómeta, los fabricantes han optado por permitir el uso, en sus consolas graficas, de los bloques de extensión definidos en el diagrama de contactos, aun trabajando bajo el entorno de diagrama lógico: el lenguaje resultante resulta un hibrido que recoge toda la potencia de programación del autómeta y en el que cada usuario puede elegir la forma de representación que prefiera para las funciones básicas (AND, OR, NOT, TIM, etc.).

La figura 4.12 muestra un ejemplo de programa escrito con estos lenguajes híbridos, desarrollado con un software específico de programación de autómetas que corre sobre ordenador personal.



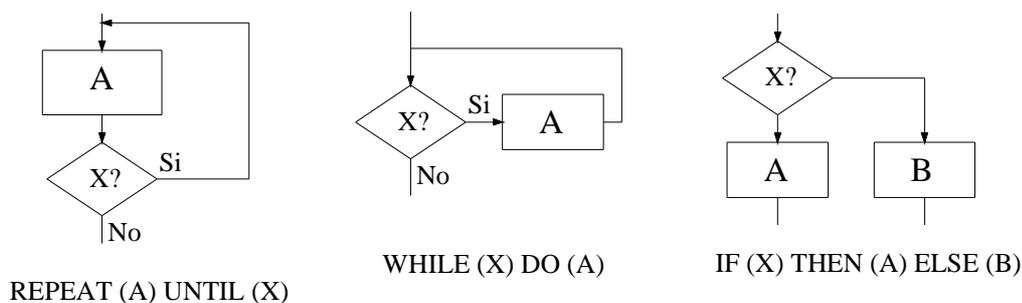
**Figura 4.12.** Programación combinada funciones/contactos.

#### 4.4.1.4. Lenguajes de Alto Nivel

Como las CPU son cada vez más rápidas, más potentes y de mayor capacidad de tratamiento, los autómatas de gamas altas invaden aplicaciones que hasta hace poco eran reservadas a los miniordenadores industriales<sup>42</sup>.

Para estas aplicaciones, los lenguajes tradicionales en lista de instrucciones (IL) o diagrama de contactos (LD) resultan ya insuficientes. Por esta razón, los fabricantes han desarrollado lenguajes de programación próximos a la informática tradicional, con sentencias literales que equivalen a secuencias completas de programación: son los lenguajes de alto nivel. En ellos, las instrucciones son líneas de texto que utilizan palabras o símbolos reservados (SET, AND, POR, etc.), las operaciones se definen por los símbolos matemáticos habituales (+, \*, <, etc.) y se dispone de funciones trigonométricas, logarítmicas y de manipulación de variables complejas (COS, PI, REAL, IMG,...). Sin embargo, lo que distingue realmente a estos lenguajes avanzados de los lenguajes de listas de instrucciones ampliadas son las tres características siguientes:

- son lenguajes estructurados, donde es posible la programación por bloques o «procedimientos», con definición de variables locales o globales
- incluyen estructuras de cálculo repetitivo y condicional, tales como:
  - FOR ... TO
  - REPEAT ... UNTIL X
  - WHILE X ...
  - IF ... THEN ... ELSE
- disponen de instrucciones de manipulación de cadenas de caracteres, muy útiles en aplicaciones de gestión, estadística, etc.



**Figura 4.13.** Estructuras de programación de alto nivel.

<sup>42</sup> JOSEP BALCELLS/JOSÉ LUIS ROMERAL, *Autómatas Programables*, Cap.10

Dada su facilidad de manejo y su difusión a todos los niveles, el BASIC, convenientemente adaptado a las aplicaciones del autómata, se configura como el lenguaje de alto nivel más extendido. Sin embargo, también se pueden encontrar intérpretes o compiladores C, PASCAL, FORTRAN, etc., lo que permite resolver tareas de cálculo científico en alta resolución, clasificaciones de datos, estadísticas, etc., con total facilidad, con acceso además a módulos y subrutinas específicos ya escritos en estos lenguajes y de uso general en aplicaciones informáticas.

Dado lo específico de su aplicación, un programa escrito en alto nivel necesita para su edición de una unidad de programación avanzada que corra sobre PC. Adicionalmente, es frecuente que el empleo de estos lenguajes estructurados obligue además a utilizar no sólo una unidad de programación tipo PC, sino incluso una CPU especial en el autómata (coprocesadora) capaz de interpretar y ejecutar las nuevas instrucciones.

En cualquier caso, los lenguajes avanzados nunca constituyen el lenguaje básico de un autómata o familia de autómatas, papel que queda reservado a la lista de instrucciones o al diagrama de contactos.

La tabla 4.3 muestra las instrucciones del intérprete BASIC disponible sobre los autómatas Festo FPC 405, clasificadas en:

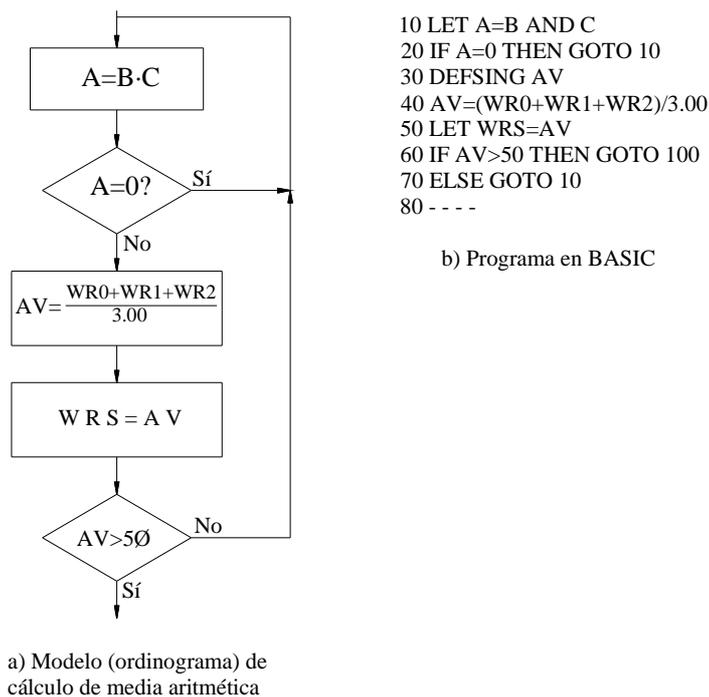
- Operaciones generales: comandos de actuación BASIC sobre bits, palabras o textos, directos (SET, LET,...) o condicionados (IF, FOR,...).
- Operaciones de conversión: Cambios de código, obtención de módulos, etc.
- Operaciones matemáticas: Operaciones logarítmicas, trigonométricas, aritméticas, etc.
- Operaciones de control de programa: Saltos y subrutinas.

**Tabla 4.8.** Instrucciones BASIC del autómata Festo FPC 405.

| INSTRUCCIONES |        |            |             |            |
|---------------|--------|------------|-------------|------------|
| GENERALES     |        | CONVERSIÓN | MATEMÁTICAS | DE CONTROL |
| BIT           | CLOSE  | ABS        | COS         | CALL MOD   |
| DATA          | DEF    | BYTE       | PI          | CALL FUN   |
| DIM           | ELSE   | CHR\$      | SIN         | GOSUB      |
| END           | ENDEF  | BID        | SGN         | ON GOSUB   |
| FILE          | FOR    | DEB        | SQR         | ON GOTO    |
| GET           | IF     | INT        | (,)         | RETURN     |
| INP           | INPUT  | RND        | +           | USR        |
| LEFTS         | LEN    | STR\$      | -           |            |
| LET           | LOCK   | UPC\$      | *           |            |
| MODE          | NEXT   | VAL        | /           |            |
| OPEN          | OUT    | WORD       | <           |            |
| PEEK          | POKE   |            | >           |            |
| PRINT         | PTR    |            | <=          |            |
| READ          | READ\$ |            | =>          |            |
| READL         | REM    |            | <>          |            |
| RES PS        | RES F  |            | =           |            |
| RESTORE       | RUN    |            |             |            |
| SEC           | STEP   |            |             |            |
| STOP          | TAB    |            |             |            |
| THEN          | TIMER  |            |             |            |
| TO            | UNLOCK |            |             |            |
| UPD           | USING  |            |             |            |
| PRINT         | RES    |            |             |            |
| SET           | SWAP   |            |             |            |

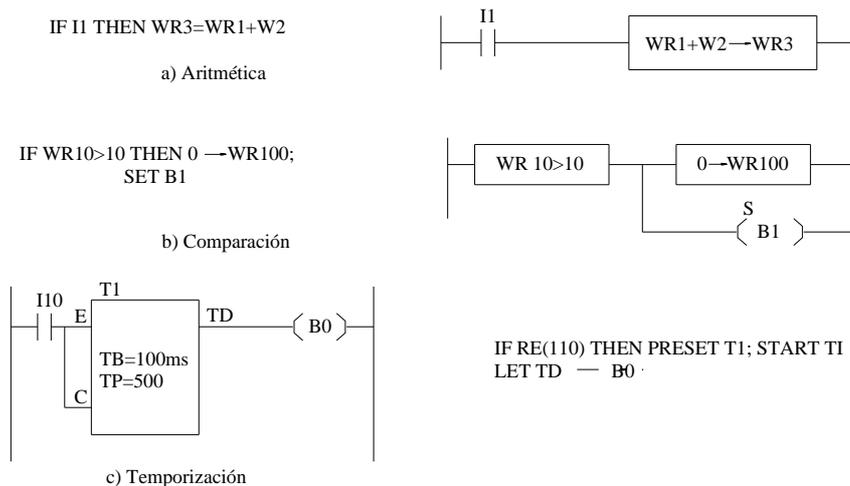
Como puede observarse en la tabla, los comandos que aparecen son en su mayoría los de uso normal del BASIC.

La figura 4.14 muestra un ejemplo de programación con este lenguaje.



**Figura 4.14.** Programación en alto nivel.

Debe indicarse que algunas de las sentencias literales de alto nivel están disponibles en lenguaje de contactos como bloques de función extendidos y viceversa: de esta forma, el fabricante asegura la compatibilidad entre ambos lenguajes y aprovecha mejor el software máquina («firmware») desarrollado.



**Figura 4.15** Compatibilidad entre los lenguajes de contactos y de alto nivel.

En el Anexo A se indica más aspectos acerca de la programación del Autómata.

#### 4.4.2 DESARROLLO DE PROGRAMAS PARA PLC's

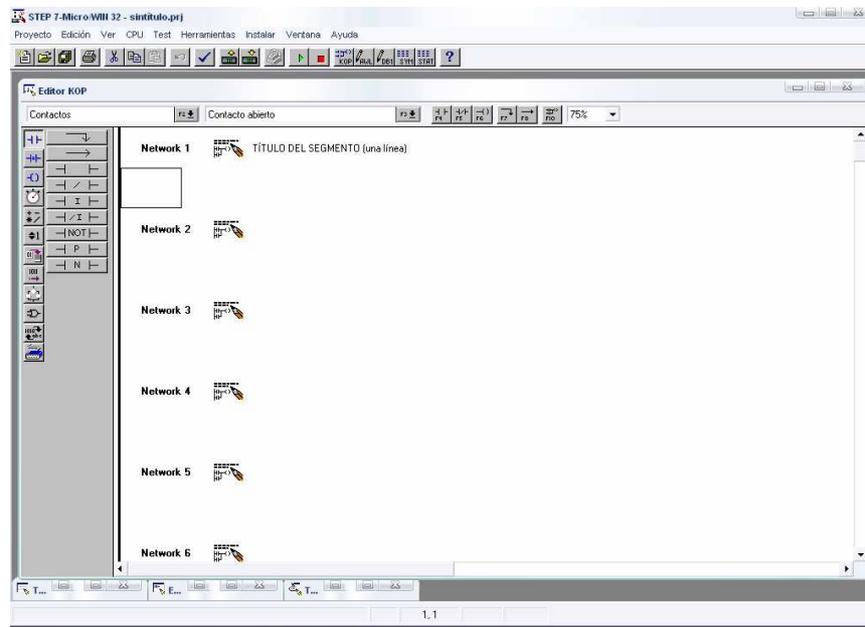
Al disponer en el mercado de una gran variedad de PLCs con características similares, se toma como referencia el PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 CPU 224 por las siguientes razones:

- Posee 14 entradas y 10 salidas digitales, número suficiente de entradas / salidas para realizar el control de sistemas de aire acondicionado y posee la capacidad para expandirse gracias a los módulos de ampliación de la misma familia digitales y analógicos.
- El tamaño del programa puede ser hasta de 4096 instrucciones. El tamaño del programa del prototipo se estima que puede tener alrededor de 500 instrucciones, lo cual significa que se dispone de espacio suficiente para la creación de los programas.
- La velocidad de ejecución de cada instrucción del programa es de 34  $\mu$ s.
- La velocidad de ejecución de los temporizadores y contadores es de 50 a 60  $\mu$ s por operación.
- Facilidad de familiarizarse y de manejarlos gracias al software STEP 7-Micro/WIN.
- CPU compacta de alto rendimiento
- Entradas de alarma; puede reaccionar de forma muy rápida a flancos de subida o bajada de las señales del proceso.
- 6 contadores rápidos (30 KHz), con entrada parametrizable para habilitación y puesta a cero; simultáneamente pueden funcionar como contadores hacia adelante y hacia atrás con 2 entradas separadas.
- Reloj en tiempo real; con un reloj hardware en tiempo real es posible por ejemplo, marcar la hora / fecha en los avisos, registrar los tiempos de funcionamiento de máquinas o controlar por tiempo procesos.
- Amplio juego de instrucciones y un sinnúmero de operaciones básicas:
  - Operaciones básicas tales como funciones lógicas, asignación de resultados, memorizar, contar, formar tiempos, cargar, transferir, comparar, desplazar, rotar, formar complementos, llamar subprogramas, etc.

- Funciones sofisticadas como modulación del ancho del impulso, trenes de impulsos, funciones aritméticas, aritmética en coma flotante, regulación PID, funciones de salto y bucle y conversión de códigos facilitan la programación.
- Funciones de prueba y de diagnóstico.
- Disponibilidad en el mercado y asistencia técnica.

En el literal 4.4.1.2 se indicó que la mayor parte de fabricantes de autómatas han acogido como lenguaje base de programación al lenguaje Ladder Diagram o Diagrama de Escalera. En los autómatas de SIEMENS el lenguaje de Diagrama de Escalera es equivalente al Lenguaje KOP y el lenguaje de Lista de Instrucciones al lenguaje AWL.

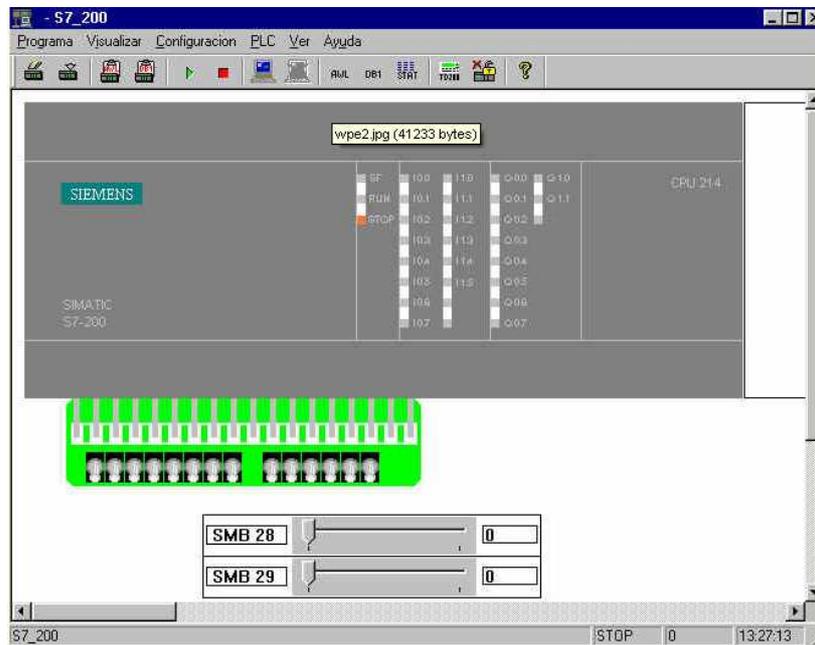
El software STEP 7-Micro/WIN es una aplicación que permite programar los sistemas de automatización S7-200. Esta versión se puede ejecutar en el entorno Windows 3.1 de 16 bits (STEP 7-Micro/WIN 16), o bien en el entorno Windows 95 (o Windows NT) de 32 bits (STEP 7-Micro/WIN 32). Esta aplicación funciona como editor de símbolos o de programas.



**Figura 4.16:** Software STEP 7 MICROWIN

Además se utilizará con fines didácticos los softwares S7200 y PC simu.

El Simulador S7\_200 es un programa en el cual se puede simular el funcionamiento de las CPUs 212, 214, 215, 216, 221, 222, 224, 226.



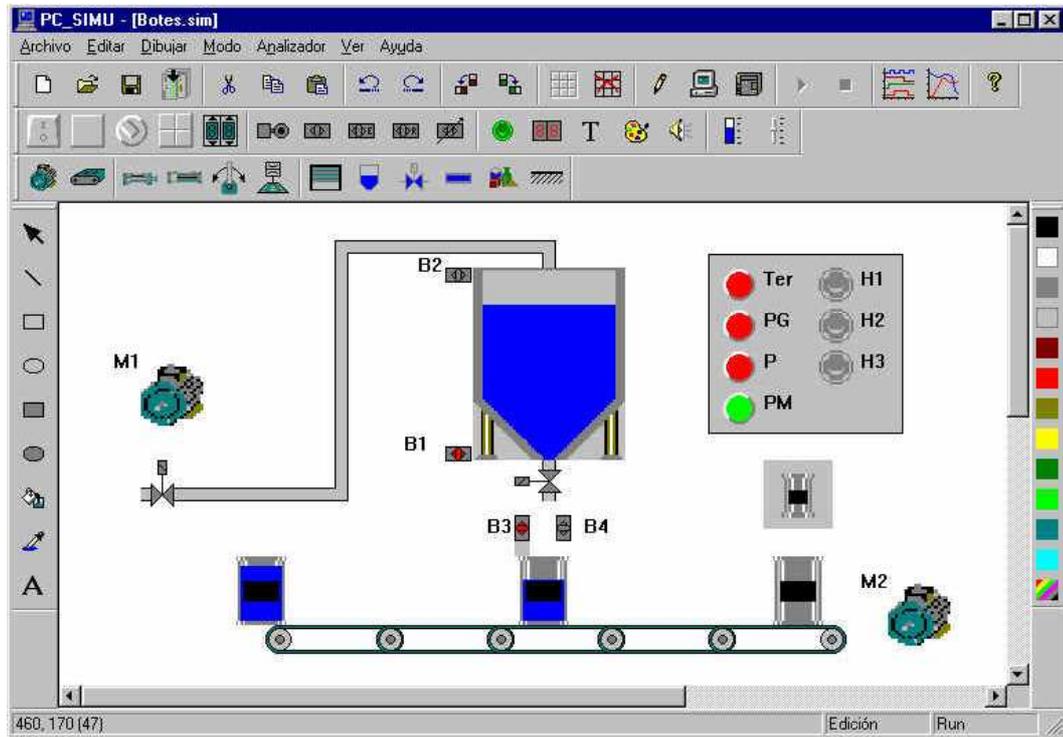
**Figura 4.17:** Software S7 200

EL simulador PC Simu es un software que permite visualizar el funcionamiento del programa del PLC en la pantalla de una computadora personal.

Los elementos que se pueden simular son:

- Interruptores, pulsadores, detectores, teclados, preselectores, potenciómetros etc.
- Led, displays, barras de progreso, textos, etc.
- Motores, variadores de velocidad, cintas transportadoras, puertas de garaje, etc.
- Actuadores neumáticos lineales, sin vástago, de giro, ventosas, etc.
- Depósitos de sólidos y líquidos.
- Activación de imágenes en formato BMP.

Se dispone además de un analizador digital y de un analizador analógico



**Figura 4.18:** Software PC Simu.

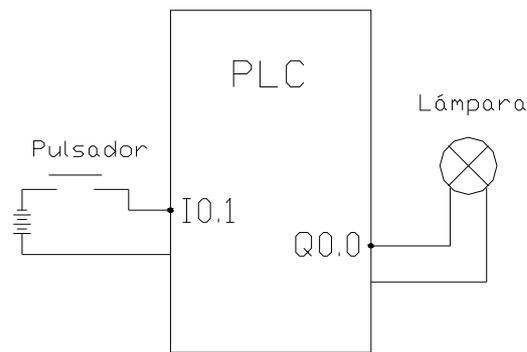
En la tabla 4.9 se indica en forma resumida los softwares que se utilizarán y sus respectivas funciones:

**Tabla 4.9.** Softwares utilizados para desarrollar el programa de control.

| Software | Función  |
|----------|--|
| Step 7   | Software en el que se escribe el programa                                      |
| S7-200   | Conecta el programa escrito con el simulador (Conexión entre Step 7 y PC Simu) |
| PC Simu  | Realiza la simulación  |

#### 4.4.2.1. Programa N° 1

Para realizar una introducción a la programación de PLC's, en primer lugar se realizará un programa en el que un botón pulsador encienda una lámpara.

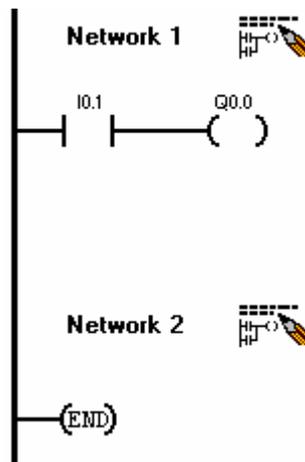


Entrada: I0.1 (Pulsador)

Salida: Q0.0 (Lámpara)

**Figura 4.19:** Esquema del Ejemplo N° 1

En **STEP 7** se debe editar los siguientes símbolos gráficos



Este ejemplo no necesita de mayor explicación.

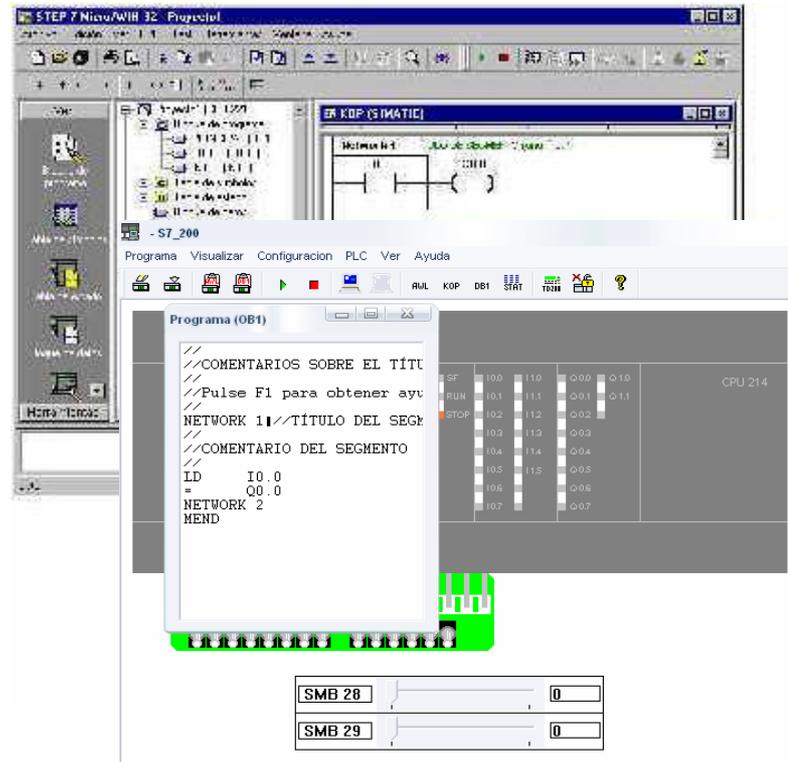
Al pulsar la entrada I0.1 que es un contacto Normalmente Abierto, se cierra y permite el paso de la energía que enciende la lámpara. Se debe indicar que la lámpara únicamente permanecerá encendida mientras el botón permanezca pulsado.

Para realizar la simulación es necesario pasar el programa escrito en el lenguaje KOP al lenguaje AWL (esta acción se realiza en el mismo STEP 7) copiarlo, llevarlo al software S7-200 y pegarlo en "Programa (OB1)", cambiar el modo de funcionamiento del PLC de STOP a RUN.

### En AWL

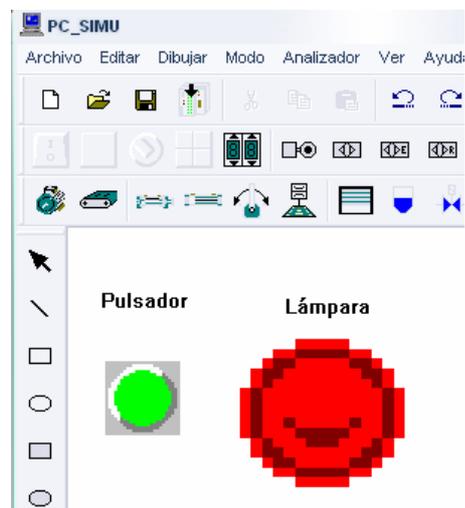
```
NETWORK 1 //
LD      I0.1
=       Q0.0
```

```
NETWORK 2
MEND
```



**Figura 4.20:** Transferencia del programa escrito en STEP 7 a S7-200.

A continuación, en PC Simu se debe dibujar el pulsador y la lámpara; finalmente se debe pasar del modo de Edición al modo de Simulación y dar clip en inicio. Observar como responde el programa.



**Figura 4.21:** Simulación del Ejemplo N° 1.

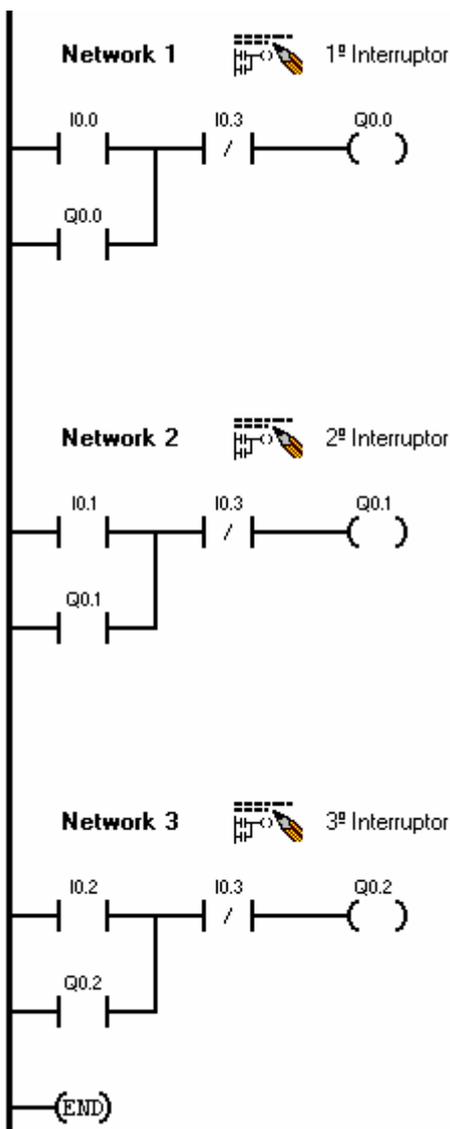
De esta manera se puede comprobar que el programa se ha escrito correctamente.

Se entiende que un PLC no fue diseñado para realizar una simple conexión eléctrica pero el ejemplo anterior sirve para explicar la forma en la que se debe realizar las simulaciones, en los ejemplos siguientes no se dará esta explicación y solo se pondrá énfasis en la escritura de los programas.

#### 4.4.2.2. Programa N° 2

*Realizar un programa para PLC que posibilite encender una lámpara Q0.0 con un pulsador I0.0, una lámpara Q0.1 con un pulsador I0.1 y una lámpara Q0.2 con un pulsador I0.2 y un pulsador I0.3 para apagar cada lámpara o todas en conjunto. Además permitir que las lámparas permanezcan enclavadas (energizadas).*

##### En KOP



Al cerrarse uno de los interruptores (NA) I0.0, I0.1 o I0.2, se encienden las lámparas Q0.0, Q0.1 y Q0.2 respectivamente, pero también se energizan los contactores Normalmente Abierto (NA) que están codificados con los mismos nombres por lo que las lámparas permanecerán encendidas aún después de que los interruptores se abran ya que la electricidad tiene un camino diferente para energizar las bobinas.

Para apagar todas las lámparas se debe pulsar el interruptor Normalmente Cerrado (NC) I0.3 que al cerrarse corta el flujo de electricidad.

## En AWL

```

NETWORK 1 //1° Interruptor
LD      I0.0
O       Q0.0
AN      I0.3
=       Q0.0

```

```

NETWORK 2 //2° Interruptor
LD      I0.1
O       Q0.1
AN      I0.3
=       Q0.1

```

```

NETWORK 3 //3° Interruptor
LD      I0.2
O       Q0.2
AN      I0.3
=       Q0.2

```

```

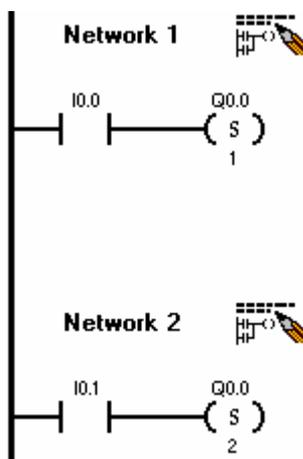
NETWORK 4 //Fin
MEND

```

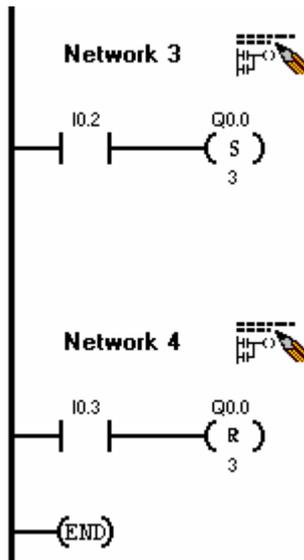
### 4.4.2.3. Programa N° 3

*Realizar un programa para PLC que posibilite encender una lámpara Q0.0 con un pulsador I0.0, un pulsador I0.1 encienda las lámparas Q0.0 y Q0.1 y con un pulsador I0.2 encienda las tres lámparas, Q0.0, Q0.1 y Q0.2, permaneciendo enclavadas. Con un pulsador I0.3, apagar cada lámpara o todas en conjunto.*

## En KOP



STEP 7 cuenta con una serie de grupo de funciones preprogramadas que facilitan la escritura de programas. En este caso no se realizará los circuitos anteriores para enclavar las salidas sino que se utiliza la bobina (S) que ha sido programada para mantenerse enclavada. En la parte superior se debe especificar el nombre de la bobina que se desea enclavar y en la parte inferior se indica hasta que bobina se realizará la instrucción indicada. Por ejemplo, cuando el pulsador I0.2 activa la lámpara Q0.0



(Network 3), no se enciende únicamente esta lámpara sino que también se encienden las lámparas Q0.1 y Q0.2 ya que en la parte inferior de la bobina esta el número 3.

La bobina (R) en cambio desactiva las bobinas que se encuentran enclavadas.

### En AWL

```

NETWORK 1
LD    I0.0
S     Q0.0, 1

NETWORK 2
LD    I0.1
S     Q0.0, 2

NETWORK 3
LD    I0.2
S     Q0.0, 3

NETWORK 4
LD    I0.3
R     Q0.0, 3

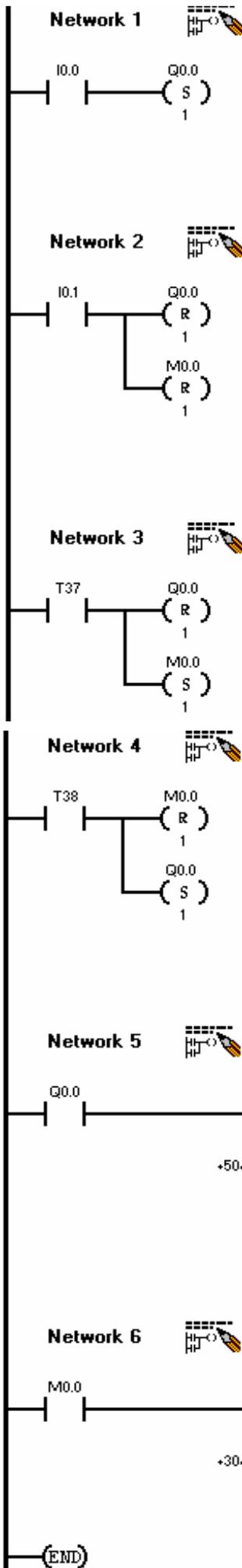
NETWORK 5
MEND

```

#### 4.4.2.4. Programa N° 4

*Realizar un programa para PLC que permita que se encienda consecutiva y cíclicamente una lámpara Q0.0 durante 5 segundos y permanezca apagada durante 3 segundos. Utilizar interruptor master.*

### En KOP



En este ejercicio se utilizarán Temporizadores que a pesar de ser llamados por el programa de acuerdo a la secuencia de control, su activación solo se indica al final del programa.

El control master esta conformado por un pulsador que permite iniciar el programa y otro pulsador que lo detiene.



1. Al pulsar el interruptor I0.0 (NA) se energiza la lámpara Q0.0 (Set)
2. El pulsador I0.1 (NA) desactiva la lámpara Q0.0 y la memoria M0.0 (Reset)
3. El Temporizador T37 desactiva la lámpara Q0.0 y activa la memoria M0.0 (La activación del Temporizador se indica al final del programa)
4. El Temporizador T38 desactiva la memoria M0.0 y activa la lámpara Q0.0
5. Cuando se activo la lámpara Q0.0 (literal 1), también se activo el contacto Q0.0 (Codificados con el mismo nombre) el cuál activa el Temporizador T37. Este temporizador contara 5 segundos (50 deciseundos) desde su activación y dará una señal pulso de salida que desactiva la lámpara Q0.0 y activa la memoria M0.0 (Literal 3).
6. La memoria M0.0 que fue activada por el temporizador T37 (literal 3) activa el

Temporizador T38 el cuál contará 3 segundos desde su activación y dará una señal pulso de salida que desactiva la memoria M0.0 y activa la lámpara Q0.0 (Literal 4).

La secuencia que sigue el PLC es la siguiente,

Literales: 1 – 5 – 3 – 6 – 4 – 5 – 3 – 6 – 4 - 5, manteniendo este ciclo hasta que se la señal de que se detenga a través del pulsador I0.2 (Literal 2).

### En AWL

```

NETWORK 1
LD      I0.0
S       Q0.0, 1

NETWORK 2
LD      I0.1
R       Q0.0, 1
R       M0.0, 1

NETWORK 3
LD      T37
R       Q0.0, 1
S       M0.0, 1

NETWORK 4
LD      T38
R       M0.0, 1
S       Q0.0, 1

NETWORK 5
LD      Q0.0
TON     T37, +50

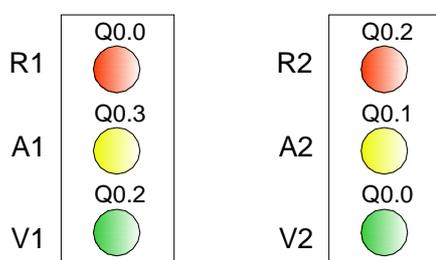
NETWORK 6
LD      M0.0
TON     T38, +30

NETWORK 7
MEND

```

#### 4.4.2.5. Programa N° 5

*Automatizar con un PLC el funcionamiento de un semáforo de dos lados y tres lámparas en cada lado. Utilizar interruptor master.*

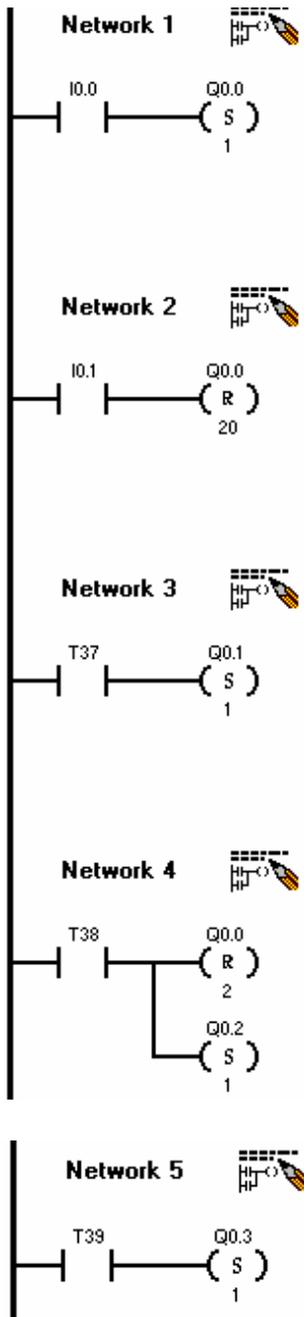


*Secuencia de Eventos:*

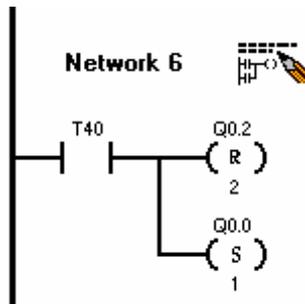
- R1V2

- R1V2A2
- R2V1
- R2V1A1
- Repite el ciclo

### En KOP



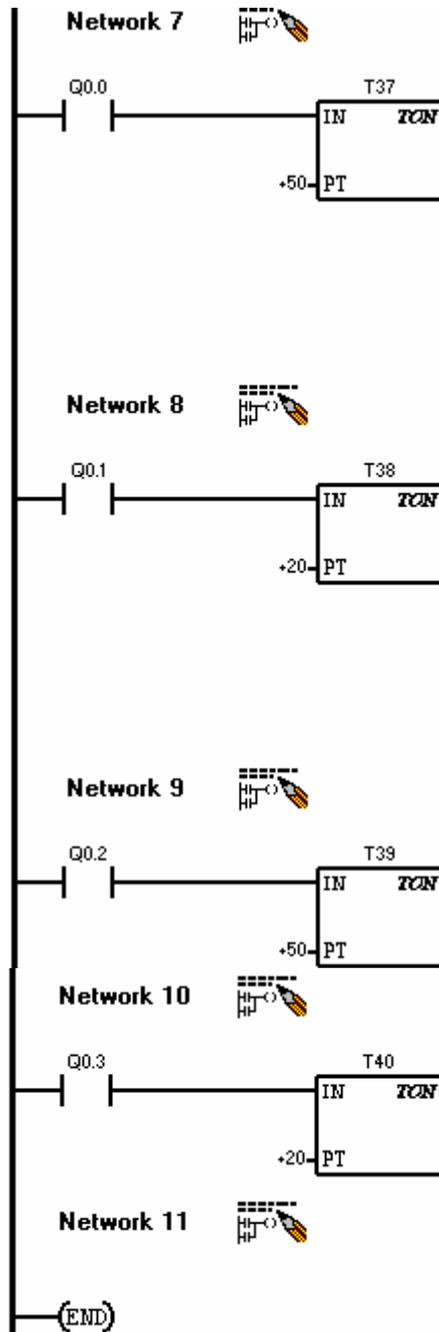
1. Al pulsar el interruptor I0.0 se energizan las lámparas Q0.0 y se mantienen encendidas.
2. Al pulsar el interruptor I0.1 se desconectan 20 lámparas iniciando desde Q0.0, en otras palabras se apaga el semáforo (Se coloca un número alto por seguridad)
3. El temporizador T37 activa la lámpara Q0.1 la cuál se mantiene enclavada.
4. El temporizador T38 desactiva las lámparas Q0.0, Q0.1 y enciende las lámparas Q0.2
5. El temporizador T39 enciende la lámpara Q0.3 la cuál se mantiene enclavada
6. El temporizador T40 apaga las lámparas Q0.2 y Q0.3 y enciende las lámparas Q0.0
7. El contactor Q0.0 activa el Temporizador T37 que actuará después de 5 segundos
8. El contactor Q0.1 activa el temporizador T38 que actuará después de 2 segundos
9. El contactor Q0.2 activa el temporizador T39 que actuará después de 5 segundos
10. El contactor Q0.3. activa el temporizador T40 que actuará después de 2 segundos.



La secuencia que sigue el PLC es la siguiente,

Literales: 1 – 7 – 3 – 8 – 4 – 9 – 5 – 10 – 6 - 7 – 3 – 8 – 4  
– 9 – 5 – 10 – 6 – 7, manteniendo este ciclo hasta que se  
la señal de que se detenga a través del pulsador I0.2

(Literal 2).



### En AWL

```
NETWORK 1
LD    I0.0
S     Q0.0, 1
```

```
NETWORK 2
LD      I0.1
R       Q0.0, 20
```

```
NETWORK 3
LD      T37
S       Q0.1, 1
```

```
NETWORK 4
LD      T38
R       Q0.0, 2
S       Q0.2, 1
```

```
NETWORK 5
LD      T39
S       Q0.3, 1
```

```
NETWORK 6
LD      T40
R       Q0.2, 2
S       Q0.0, 1
```

```
NETWORK 7
LD      Q0.0
TON     T37, +50
```

```
NETWORK 8
LD      Q0.1
TON     T38, +20
```

```
NETWORK 9
LD      Q0.2
TON     T39, +50
```

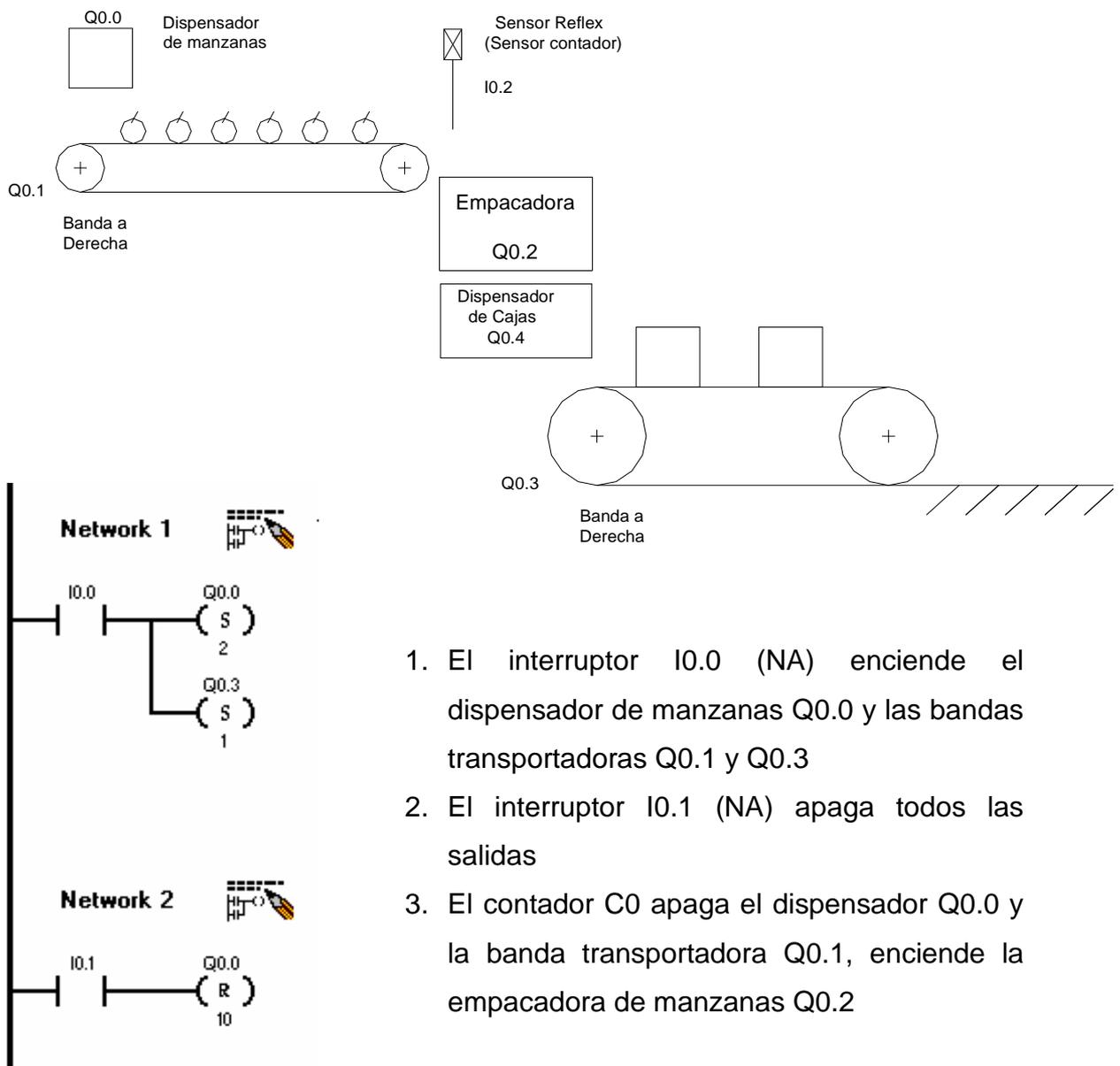
```
NETWORK 10
LD      Q0.3
TON     T40, +20
```

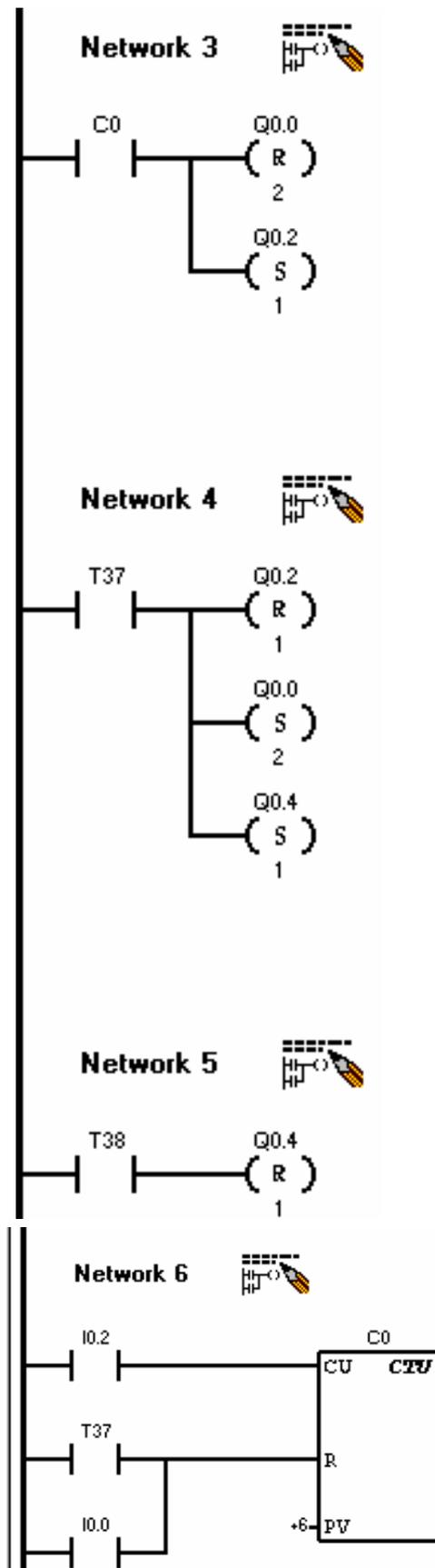
```
NETWORK 11
MEND
```

#### 4.4.2.6. Programa N° 6

*Realizar un programa para PLC que permita automatizar el empaquetado de manzanas de acuerdo al siguiente esquema:*

Inicialmente esta actuando Q0.0, Q0.1 y Q0.3. Cuando el sensor Reflex a contado 6 manzanas se detiene Q0.1 y se desactiva el dispensador Q0.0 durante 15 seg, período en que esta actuando la empacadora Q0.2. Pasado este tiempo la empacadora dispensa una caja de manzanas con un dispensador Q0.4 y nuevamente se activa Q0.0 y Q0.1 repitiéndose el proceso cíclicamente. Usar un interruptor master. (La empacadora trabaja un tiempo determinado y luego envía una caja)

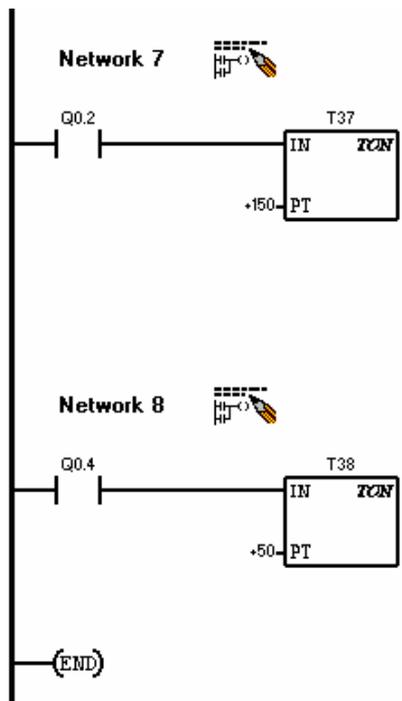




4. El temporizador T37 apaga la empacadora Q0.2 y enciende el dispensador de manzanas Q0.0 y la banda transportadora Q0.1, además enciende el dispensador de cajas Q0.4
5. El temporizador T38 apaga el dispensador de cajas Q0.4
6. El sensor Reflex (sensor contador) de las señales en forma de pulsos que el contador C0 cuenta. Al llegar a los 6 pulsos (6 manzanas) el contador se activa. Para encerrar el contador se dispone del temporizador T37 y por seguridad también del interruptor I0.0
7. El contactor Q0.2 activa el temporizador T37 el cual esta programado para que actúe después de 15 seg.
8. El contactor Q0.4 activa el temporizador T38 el cual esta programado para que actúe después de 5 seg.

La secuencia que sigue el PLC es la siguiente,

Literales: 1 – 6 – 3 - 7 – 4 – 8 – 5 – 6 – 3 – 7 – 4 – 8 – 5 – 6, manteniendo este ciclo hasta que se la señal de que se detenga a través del pulsador I0.2 (Literal 2).



## En AWL

### NETWORK 1

```
LD    I0.0
S     Q0.0, 2
S     Q0.3, 1
```

### NETWORK 2

```
LD    I0.1
R     Q0.0, 10
```

### NETWORK 3

```
LD    C0
R     Q0.0, 2
S     Q0.2, 1
```

### NETWORK 4

```
LD    T37
R     Q0.2, 1
S     Q0.0, 2
S     Q0.4, 1
```

### NETWORK 5

```
LD    T38
R     Q0.4, 1
```

### NETWORK 6

```
LD    I0.2
LD    T37
O     I0.0
CTU   C0, +6
```

```

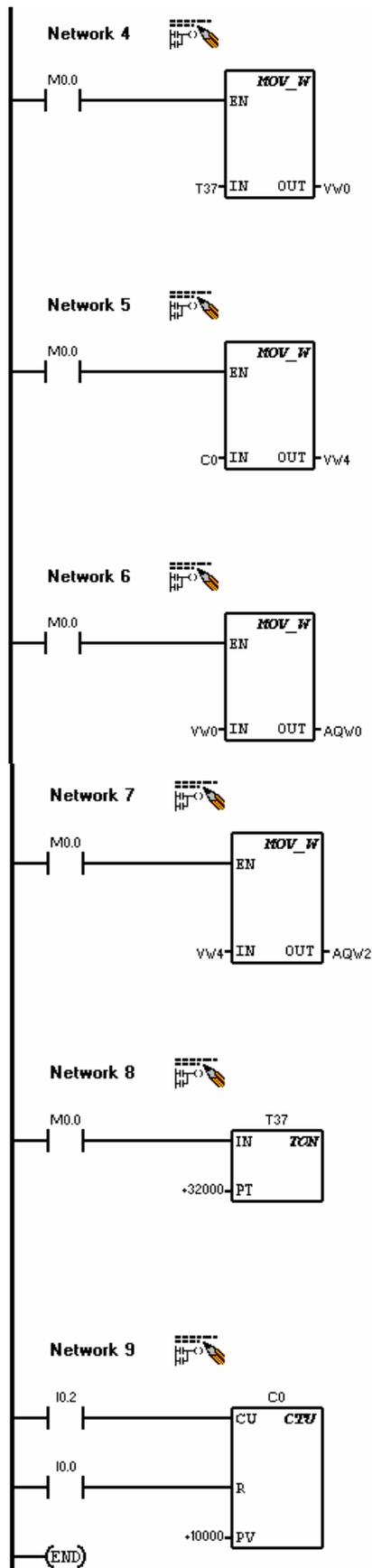
NETWORK 7
LD    Q0.2
TON   T37, +150

```

```

NETWORK 8
LD    Q0.4
TON   T38, +50

```



```

NETWORK 9
MEND

```

#### 4.4.2.7. Programa N° 7

Realizar un programa para PLC que ponga a correr indefinidamente un temporizador y un contador, guardar el valor del cronometro (temporizador) y el valor del acumulador (contador) en las memorias VW0 (Variable, formato palabra, byte 0) y VW4 respectivamente y luego mirar la variación en el simulador PC Simu.

1. El pulsador I0.0 (NA) enciende la memoria M0.0
2. El pulsador I0.1 (NA) apaga todas las memorias
3. El pulsador I0.0 activa el bloque funcional FIIL\_N que encera 100 palabras (200 bytes) iniciando desde la Variable palabra cero (VW0).
4. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor del temporizador T37 en formato palabra a la variable VW0

5. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor del contador C0 en formato palabra a la variable VW4
6. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de VW0 a la salida analógica AQW0 (Para obtener el valor en PC Simu)
7. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de VW4 a la salida analógica AQW2 (Para obtener el valor en PC Simu)
8. La memoria M0.0 activa el temporizador T37. Como el ejercicio pedía que el cronometro corra en forma indefinida, se programa el temporizador con un valor muy alto.
9. El pulsador I0.2 da las señales en forma de pulsos al contador C0. El pulsador I0.0 encera el contador.

La secuencia que sigue el PLC es la siguiente,

Para el cronometro

Literales: 1 – 3 – 4 - 5 – 6 – 7 – 8 – 9, manteniendo este ciclo hasta que se la señal de que se detenga a través del pulsador I0.2 (Literal 2).

Para observar la simulación, en PC Simu, además del interruptor master, se debe dibujar un pulsador I0.2 y dos barras del tipo numérico con los nombres AQ 0 y AQ 2.

### En AWL

```

NETWORK 1
LD      I0.0
S       M0.0, 1

NETWORK 2
LD      I0.1
R       M0.0, 10

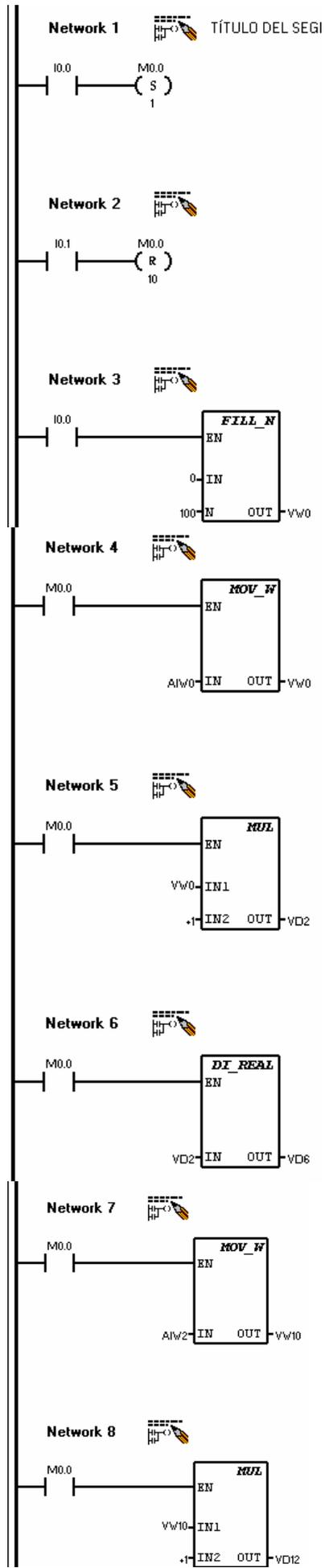
NETWORK 3
LD      I0.0
FILL   0, VW0, 100

NETWORK 4
LD      M0.0
MOVW   T37, VW0

NETWORK 5

```

```
LD      M0.0
MOVW   C0, VW4
```



NETWORK 6

```
LD      M0.0
MOVW   VW0, AQW0
```

NETWORK 7

```
LD      M0.0
MOVW   VW4, AQW2
```

NETWORK 8

```
LD      M0.0
TON    T37, +32000
```

NETWORK 9

```
LD      I0.2
LD      I0.0
CTU    C0, +10000
```

NETWORK 10

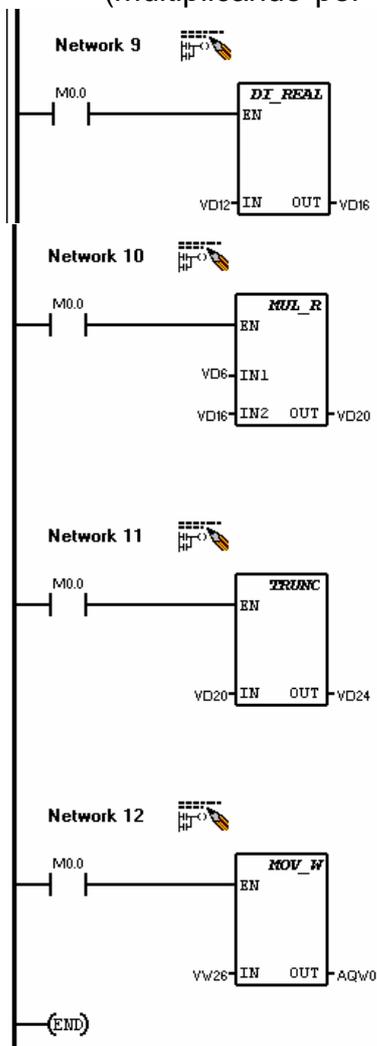
MEND

#### 4.4.2.8. Programa N° 8

*Realizar un programa para PLC que multiplique dos números enteros.*

1. El pulsador I0.0 (NA) enciende la memoria M0.0
2. El pulsador I0.1 (NA) apaga todas las memorias
3. El pulsador I0.0 activa el bloque funcional FILL\_N que encera 100 palabras (200 bytes) iniciando desde la Variable palabra cero (VW0).
4. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de la entrada analógica AIW0 (Este valor se da desde PC Simu) a VW0

5. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MUL que convierte (el valor de la variable VW0 que esta en formato palabra en formato doble palabra (multiplicando por 1) y escribe el valor en VD2 (Variable, Doble palabra, byte 2).
6. La memoria M0.0 activa el bloque funcional DI\_REAL que convierte el número entero en un número real
7. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de la entrada analógica AIW2 (Este valor se da desde PC Simu) a VW10
8. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MUL que convierte el valor de la variable VW10 que esta en formato palabra en formato doble palabra (multiplicando por 1) y escribe el valor en VD12 (Variable, Doble palabra, byte 2).



9. La memoria M0.0 activa el bloque funcional DI\_REAL que convierte el número entero en un número real
10. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MUL\_R que multiplica VD6 y VD16 escribiendo el resultado en VD20
11. La memoria M0.0 activa el bloque funcional TRUNC que convierte el número real en un número entero (borra todos los decimales, redondea a cero) y escribe el resultado en VD24
12. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de VW26 a la salida analógica AQW0 (Para obtener el valor en PC Simu).

La secuencia es consecutiva.

Para observar la simulación, en PC Simu, además de dibujar el interruptor master, se deben dibujar dos potenciómetros del tipo numérico con los nombres AI 0 y AI 2 que darán los valores de entrada.

Para visualizar el resultado se debe dibujar una barra del tipo numérico con el nombre AQ 0.

### En AWL

```
NETWORK 1
LD      I0.0
S       M0.0, 1

NETWORK 2
LD      I0.1
R       M0.0, 10

NETWORK 3
LD      I0.0
FILL   0, VW0, 100
NETWORK 4
LD      M0.0
MOVW   AIW0, VW0

NETWORK 5
LD      M0.0
MOVW   VW0, VW4
MUL    +1, VD2

NETWORK 6
LD      M0.0
DTR    VD2, VD6

NETWORK 7
LD      M0.0
MOVW   AIW2, VW10

NETWORK 8
LD      M0.0
MOVW   VW10, VW14
MUL    +1, VD12

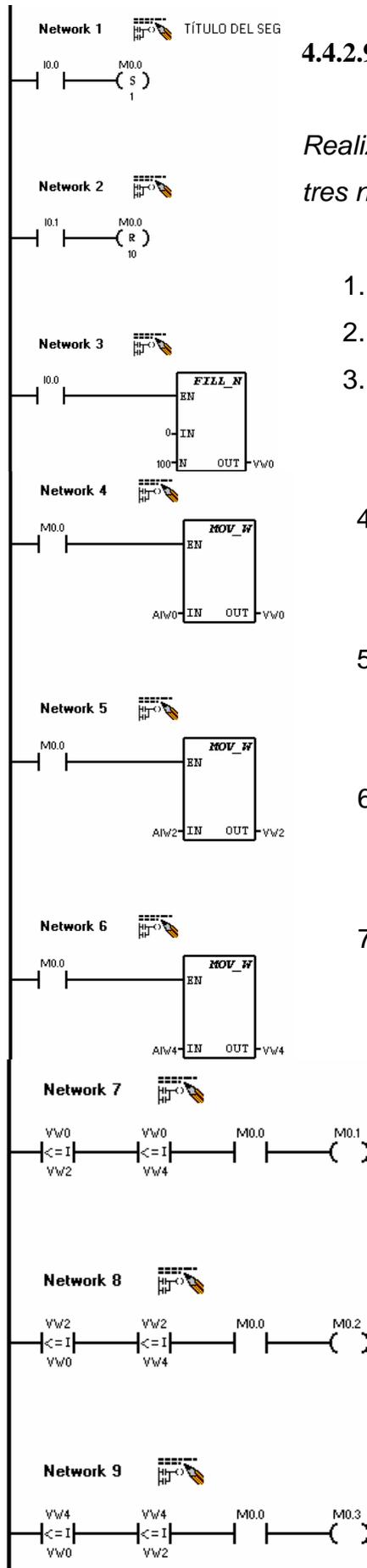
NETWORK 9
LD      M0.0
DTR    VD12, VD16

NETWORK 10
LD      M0.0
MOVR   VD6, VD20
*R     VD16, VD20

NETWORK 11
LD      M0.0
TRUNC  VD20, VD24

NETWORK 12
LD      M0.0
MOVW   VW26, AQW0
```

NETWORK 13  
MEND

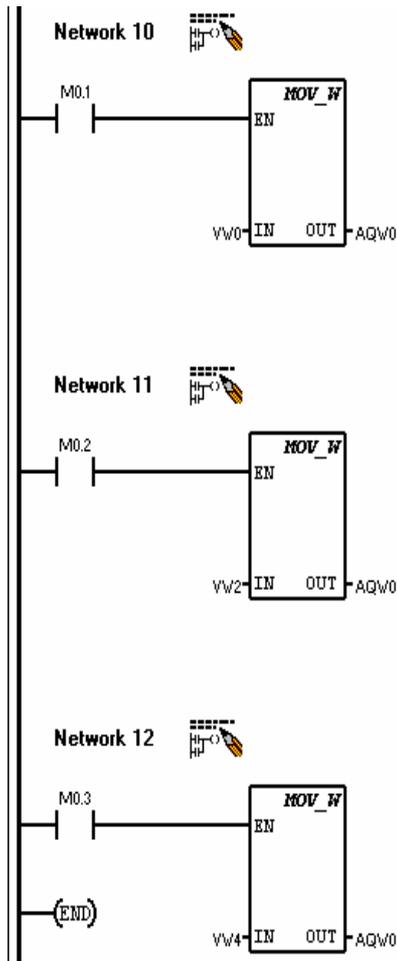


#### 4.4.2.9. Programa N° 9

*Realizar un programa para PLC que seleccione entre tres números, el de menor valor.*

1. El pulsador I0.0 activa la memoria M0.0
2. El pulsador I0.1 desactiva todas las memorias
3. El pulsador I0.0 encera 100 palabras (200 bytes) iniciando desde la Variable palabra cero (VW0).
4. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de la entrada analógica AIW0 a VW0.
5. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de la entrada analógica AIW2 a VW2.
6. La memoria M0.0 activa el bloque funcional MOV\_W que traslada el valor de la entrada analógica AIW4 a VW4.
7. El contacto de comparación <=I comprueba si el valor de VW0 es menor o igual que el valor de VW2. El contacto de comparación <=I comprueba si el valor de VW0 es menor o igual que el valor de VW4.. Si las dos comparaciones son verdaderas y además esta activada la memoria M0.0, se activa la memoria M0.1. Nótese que no se enclava la memoria M0.1, debido a que solo debe permanecer activa

mientras las dos comparaciones sean verdaderas



El contacto de comparación  $\leq$  comprueba si el valor de VW2 es menor o igual que el valor de VW0. El contacto de comparación  $\leq$  comprueba si el valor de VW2 es menor o igual que el valor de VW4. Si las dos comparaciones son verdaderas y además esta activada la memoria M0.0, se activa la memoria M0.2.

8. El contacto de comparación  $\leq$  comprueba si el valor de VW4 es menor o igual que el valor de VW0. El contacto de comparación  $\leq$  comprueba si el valor de VW4 es menor o igual que el valor de VW2.. Si las dos comparaciones son verdaderas y además esta activada la memoria M0.0, se activa la memoria M0.3.
9. Si la memoria M0.1 se activa, el bloque funcional MOV\_W traslada el valor de VW0 a la salida analógica AQW0.

10. Si la memoria M0.2 se activa, el bloque funcional MOV\_W traslada el valor de VW2 a la salida analógica AQW0.

11. Si la memoria M0.3 se activa, el bloque funcional MOV\_W traslada el valor de VW4 a la salida analógica AQW0.

### En AWL

```

NETWORK 1
LD    I0.0
S     M0.0, 1

NETWORK 2
LD    I0.1
R     M0.0, 10

NETWORK 3
LD    I0.0
FILL  0, VW0, 100

NETWORK 4

```

```

LD      M0.0
MOVW   AIW0, VW0

NETWORK 5
LD      M0.0
MOVW   AIW2, VW2
NETWORK 6
LD      M0.0
MOVW   AIW4, VW4
                                AW<=   VW4, VW2
                                A        M0.0
                                =        M0.3

NETWORK 7
LDW<=  VW0, VW2
AW<=   VW0, VW4
A       M0.0
=       M0.1

NETWORK 8
LDW<=  VW2, VW0
AW<=   VW2, VW4
A       M0.0
=       M0.2

NETWORK 9
LDW<=  VW4, VW0

NETWORK 10
LD      M0.1
MOVW   VW0, AQW0

NETWORK 11
LD      M0.2
MOVW   VW2, AQW0

NETWORK 12
LD      M0.3
MOVW   VW4, AQW0

NETWORK 13
MEND

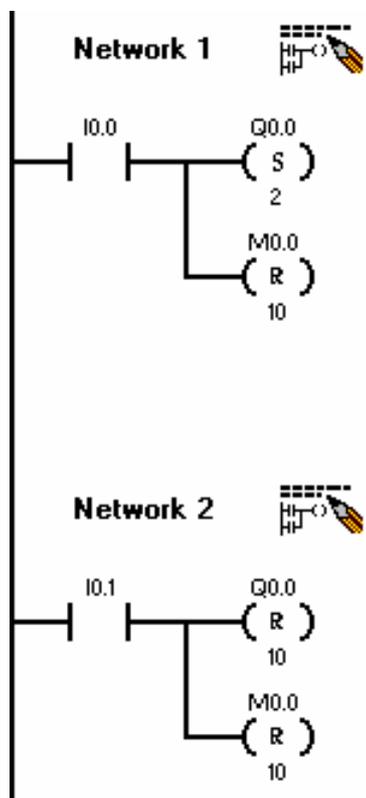
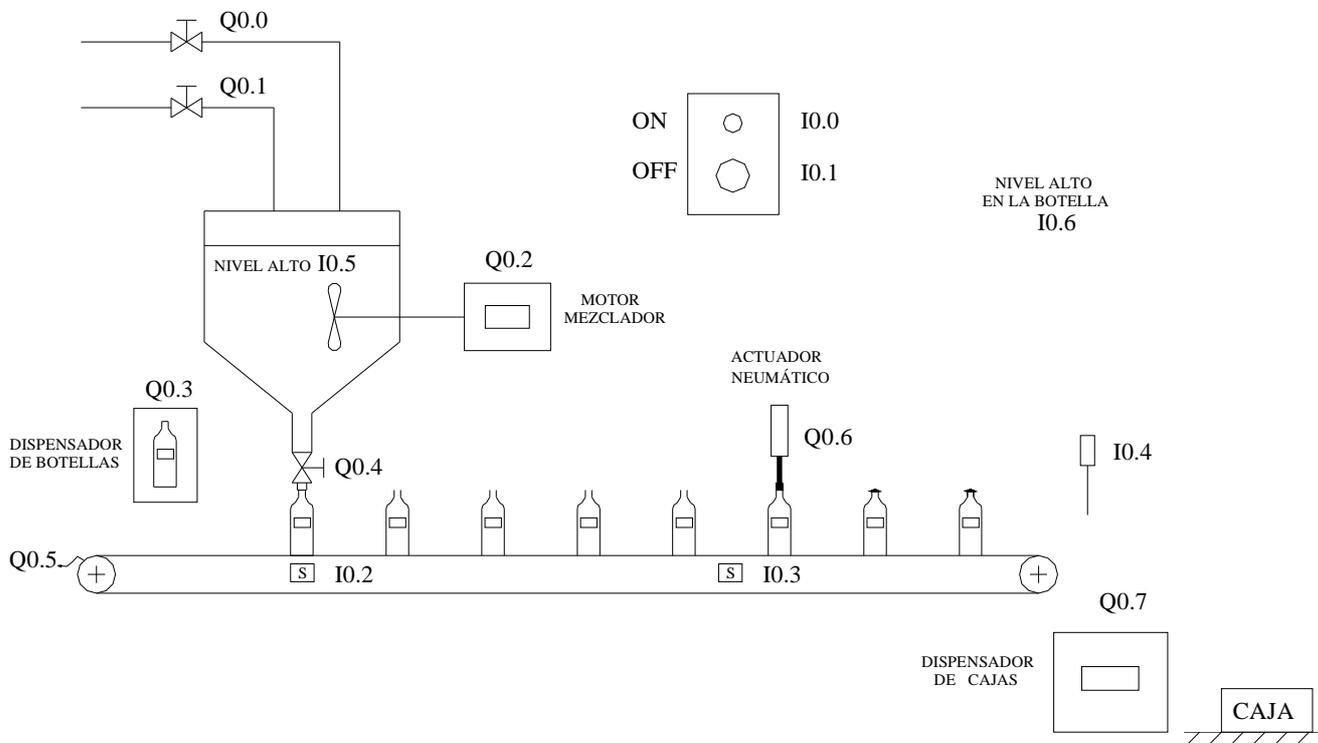
```

#### 4.4.2.10. Programa N° 10

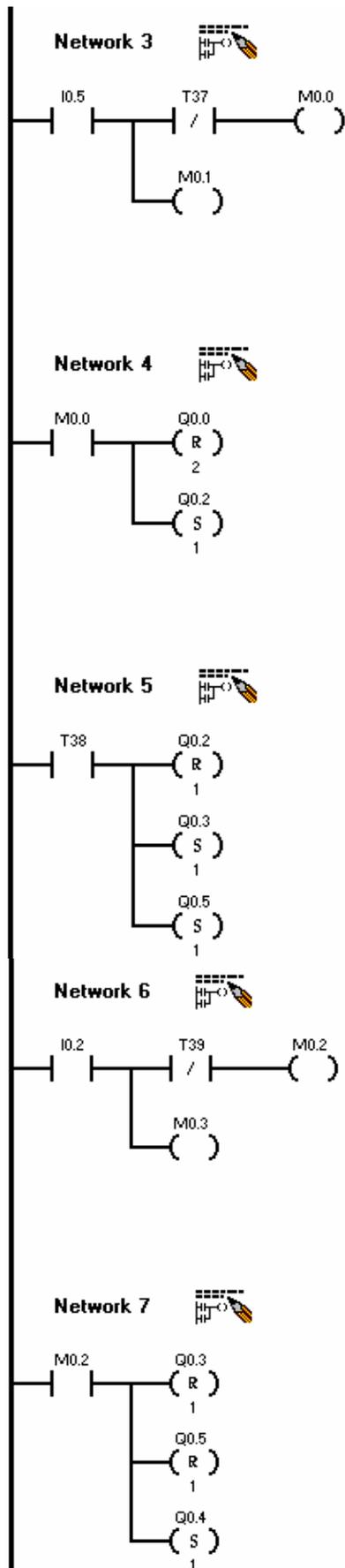
*Realizar un programa para PLC que posibilite automatizar la planta de embotellamiento de la figura:*

- a) *Al inicio actúan las electro válvulas Q0.0 y Q0.1 hasta que se llena el deposito, cuando el sensor I0.5 a comprobado que esta lleno, se cierran las electro válvulas, se prende el Motor mezclador Q0.2 durante 10 seg. y el líquido queda en condiciones de ser envasado.*
- b) *Una vez apagado el motor mezclador Q0.2 se activa el dispensador de botellas Q0.3 y la banda transportadora Q0.5. Cuando el sensor de proximidad I0.2 detecta una botella bajo el depósito, se apaga la banda y el dispensador de botellas y se activa el llenado de la botella por medio de la electro válvula Q0.4. Cuando el sensor de llenado de la botella I0.6 detecta que la botella está llena, se vuelve a encender el dispensador Q0.3 y la banda Q0.5 (Se debe bloquear temporizadamente el sensor de proximidad I0.2)*

c) Al censar una botella, el sensor de proximidad I0.3 acciona el actuador neumático Q0.6 tapando la botella, cuando pasan 4 botellas por el sensor I0.4 el dispensador de cajas Q0.7 arroja una caja.

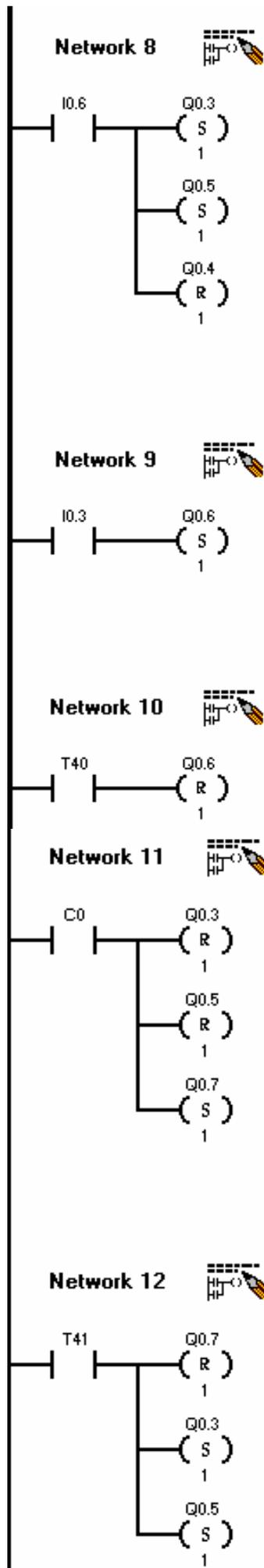


1. El pulsador I0.0 activa las válvulas Q0.0, Q01 y apaga todas las memorias.
2. El pulsador I0.1 apaga todos los equipos y memorias.

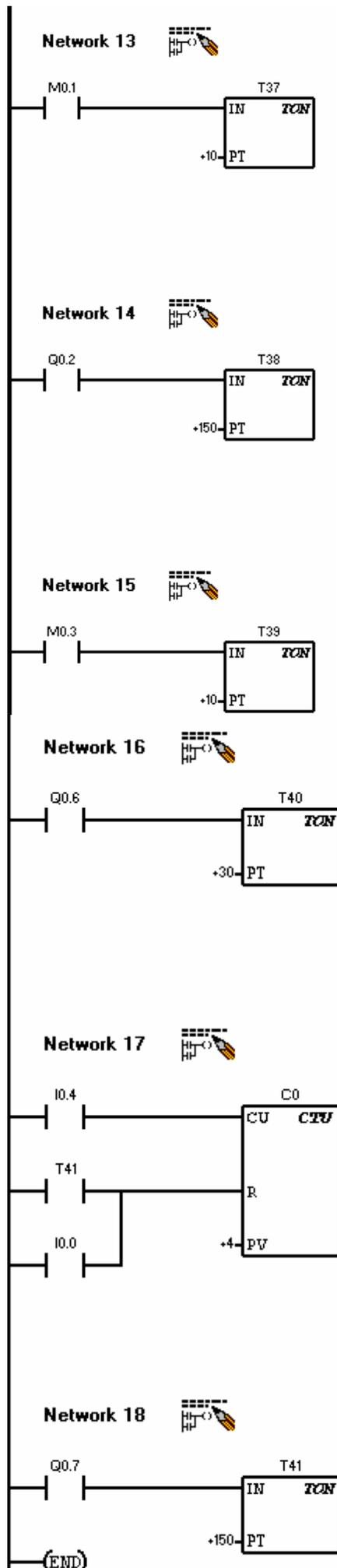


3. Cuando el sensor I0.5 da la señal de nivel alto en el depósito, se enciende la memoria M0.0 y la memoria M0.1. Estas memorias permanecerán encendidas mientras el depósito este lleno, pero la memoria M0.0 puede ser desactivada por medio del contactor (NC) T37 que actuará cuando el Temporizador codificado con el mismo nombre da la señal.
4. La memoria M0.0 apaga las válvulas Q0.0 y Q0.1 y enciende el motor Mezclador Q0.2
5. El contactor (NA) T38 cuando el Temporizador codificado con el mismo nombre da la señal, apaga el motor Mezclador Q0.2 y enciende el dispensador de botellas Q0.3 y la banda transportadora Q0.5.
6. Cuando el sensor de proximidad I0.2 detecta una botella, enciende las memorias M0.2 y M0.3, las cuales permanecen encendidas mientras el sensor I0.2 este activado, pero se puede desconectar la memoria M0.2 por medio del contactor (NC) T39 que actúa cuando el Temporizador del mismo nombre da la señal.
7. La memoria M0.2 apaga el dispensador de botellas Q0.3 y la banda transportadora Q0.5 y enciende la válvula Q0.4 que inicia el proceso de llenado de la botella.
8. Cuando el sensor de nivel alto en la botella I0.6 da la señal de que la botella está llena, se enciende el dispensador de botellas Q0.3

y la banda transportadora Q0.5 y se cierra la válvula Q0.4



9. Cuando el sensor de proximidad I0.3 detecta una botella enciende el actuador neumático Q0.6
10. El contactor (NA) T40 cuando el Temporizador del mismo nombre da la señal, apaga el actuador neumático Q0.6
11. El contactor (NA) C0 cuando el Contador codificado con el mismo nombre da la señal, apaga el dispensador de botellas Q0.3 y la banda transportadora Q0.5 y enciende el dispensador de cajas Q0.7
12. El contactor (NA) T41 cuando el Temporizador del mismo nombre da la señal, apaga el dispensador de cajas Q0.7 y enciende el dispensador de cajas y la banda transportadora
13. La memoria M0.1 enciende el Temporizador T37 que actuara después de 1 seg. (10 decisegundos).
14. El contactor Q0.2 enciende el Temporizador T38 que actuara después de 15 seg.
15. La memoria M0.3 enciende el Temporizador T39 que actuará después de 1 seg.
16. El contactor Q0.2 enciende el Temporizador T40 que actuará después de 3 seg.
17. El sensor I0.4 da las señales de pulso al Contador C0, el cual actuara después de detectar 4 señales de pulso (4 botellas). El Temporizador T41 y el pulsador de encendido I0.0 encerrarán el contador C0.
18. El contactor Q0.7 enciende el Temporizador T41 el cuál actuará después de 15 seg.



La secuencia que sigue el PLC es la siguiente, Literales: 1 – 3 (Enciende M0.0 y M0.1) – 4 - 13 – 14 – 3 (Apaga M0.0) – 5 – 6 (Enciende M0.2 y M0.3) – 7 – 15 – 6 (Apaga M0.2) – 8 – 9 – 16 – 10 – 17 – 11 – 18 – 12 – 6 (Enciende M0.2 y M0.3) – 7 – 15 – 6 (Apaga M0.2) – 8 – 9 – 16 – 10 – 17 – 11 – 18 – 12 – 6 (Enciende M0.2 y M0.3) , manteniendo este ciclo hasta que se la señal de que se detenga a través del pulsador I0.2 (Literal 2).

Para realizar la simulación en PC Simu, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Sensor de Proximidad I0.2 y I0.3: Como detectan botellas, en las propiedades del sensor activar la opción de Sensor Capacitivo. Si se desea detectar objetos metálicos, entonces debe ser Sensor Inductivo.

Actuador Neumático: Si se trata de un actuador Monoestable, se debe mantenerlo enclavado hasta que baje y si se quita la alimentación regresa solo. Si es un actuador Biestable, al dar un pulso, baja el embolo y si se da otro pulso sube el embolo.

Si el sensor de nivel alto en la botella I0.6 no funciona, seguramente es porque la botella no esta bien colocada.

**En AWL**

## NETWORK 1

```
LD      I0.0
S       Q0.0, 2
R       M0.0, 10
```

## NETWORK 2

```
LD      I0.1
R       Q0.0, 10
R       M0.0, 10
```

## NETWORK 3

```
LD      I0.5
LPS
AN      T37
=       M0.0
LPP
=       M0.1
```

## NETWORK 4

```
LD      M0.0
R       Q0.0, 2
S       Q0.2, 1
```

## NETWORK 5

```
LD      T38
R       Q0.2, 1
S       Q0.3, 1
S       Q0.5, 1
```

## NETWORK 6

```
LD      I0.2
LPS
AN      T39
=       M0.2
LPP
=       M0.3
```

## NETWORK 7

```
LD      M0.2
R       Q0.3, 1
R       Q0.5, 1
S       Q0.4, 1
```

## NETWORK 8

```
LD      I0.6
S       Q0.3, 1
S       Q0.5, 1
R       Q0.4, 1
```

## NETWORK 9

```
LD      I0.3
S       Q0.6, 1
```

## NETWORK 10

```
LD      T40
```

```
R      Q0.6, 1
```

```
NETWORK 11
```

```
LD      C0
```

```
R      Q0.3, 1
```

```
R      Q0.5, 1
```

```
S      Q0.7, 1
```

```
NETWORK 12
```

```
LD      T41
```

```
R      Q0.7, 1
```

```
S      Q0.3, 1
```

```
S      Q0.5, 1
```

```
NETWORK 13
```

```
LD      M0.1
```

```
TON     T37, +10
```

```
NETWORK 14
```

```
LD      Q0.2
```

```
TON     T38, +150
```

```
NETWORK 15
```

```
LD      M0.3
```

```
TON     T39, +10
```

```
NETWORK 16
```

```
LD      Q0.6
```

```
TON     T40, +30
```

```
NETWORK 17
```

```
LD      I0.4
```

```
LD      T41
```

```
O      I0.0
```

```
CTU     C0, +4
```

```
NETWORK 18
```

```
LD      Q0.7
```

```
TON     T41, +150
```

```
NETWORK 19
```

```
MEND
```

## 4.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN

A la hora de seleccionar el autómata programable que llevará a cabo el control de una instalación se deben analizar una serie de criterios que pueden ser agrupados en dos categorías: cuantitativos y cualitativos.

### 4.5.1 CRITERIOS CUANTITATIVOS

Dentro de estos criterios se pueden englobar todas aquellas características que definen a este tipo de equipos y que pueden ser medidas y por tanto comparadas, a saber:

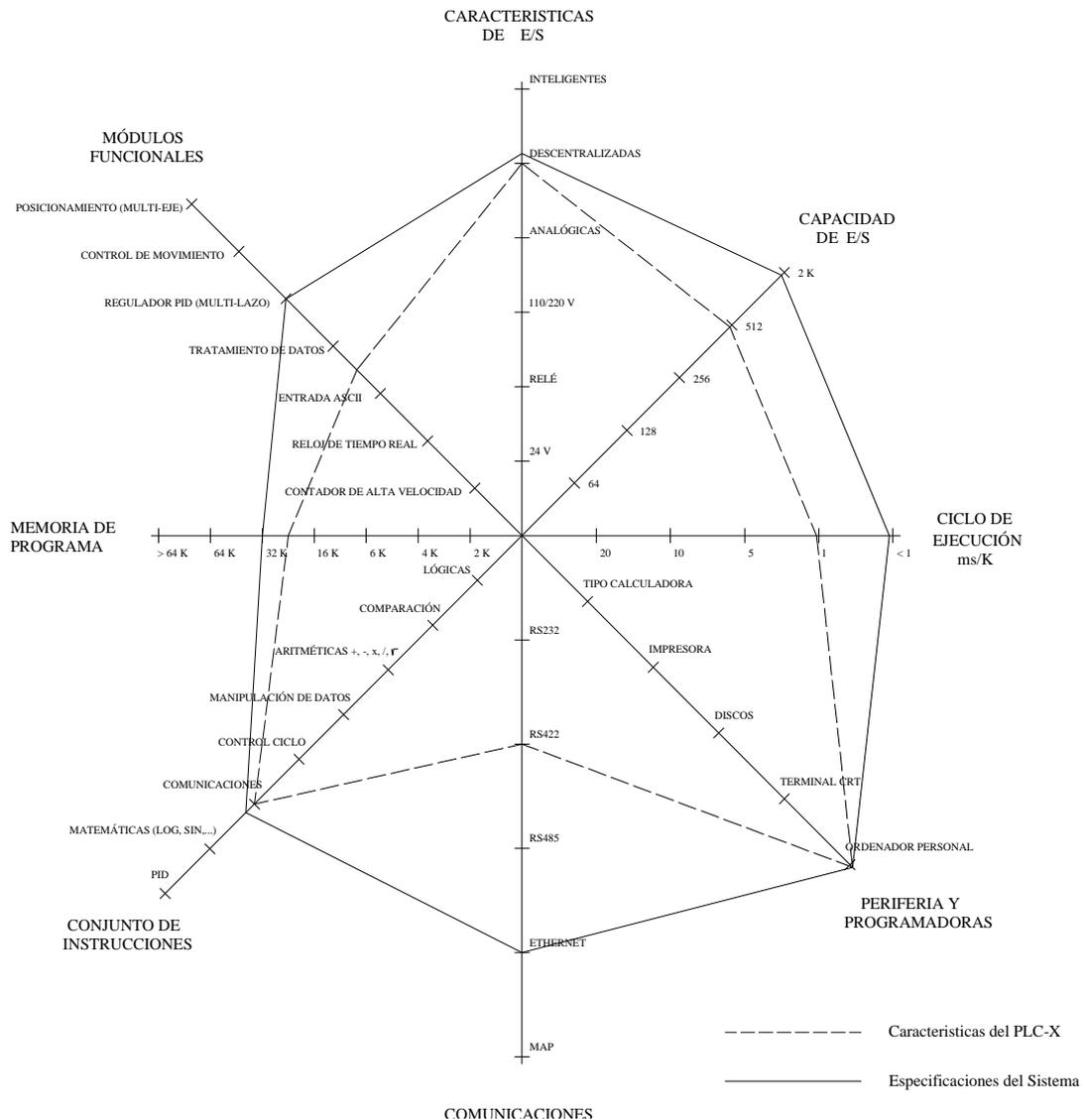
- Ciclo de Ejecución. Mide el tiempo que el autómata tarda en ejecutar una instrucción o un Kbyte de instrucciones. Depende directamente de la velocidad de la CPU del equipo e influirá directamente en el ciclo de scan.
- Capacidad de entradas/salidas. Define el número de E/S que se pueden conectar a un equipo y determina por tanto la capacidad del equipo para conectarse con el proceso.
- Características de las entradas/salidas. Determina el tipo de E/S que se pueden conectar al autómata y determina por tanto la forma en que el equipo se relaciona con el proceso.
- Módulos funcionales. Algunos tipos de acciones que se pueden llevar a cabo sobre el proceso como por ejemplo el posicionamiento de ejes, el control de procesos continuos, la noción del tiempo, etc., requieren de módulos especiales que pueden ser añadidos al autómata para complementarlo pero que en su configuración básica quizá no tenga.
- Memoria de programa. Define el tamaño de la memoria del autómata programable y al igual que en el caso de los PCs, ésta se mide en bytes o múltiplos de bytes.
- Conjunto de instrucciones. No todos los autómatas son capaces de ejecutar los mismos tipos de instrucciones, como por ejemplo, realizar operaciones en coma flotante. Esta característica determinará la potencia del equipo para afrontar el control de ciertos tipos de procesos.
- Comunicaciones. Otra de las características más importantes a la hora de poder establecer comparaciones entre autómatas es la capacidad que tengan para intercambiar información con otros autómatas u otros módulos de E/S.
- Periferia y programadoras. Los autómatas programables pueden ser complementados con dispositivos auxiliares que sin ser esenciales para llevar a cabo su principal función (controlar un proceso), si facilitan ciertas tareas secundarias.

De forma gráfica se puede confeccionar un diagrama que permite comparar de manera visual varios autómatas programables para determinar cuál es el que mejor se adapta a nuestras necesidades.

Como se puede observar en la figura 4.50, en cada eje del mismo se encuentran presentadas las características enumeradas. Estas aumentan en capacidad a medida que se alejan del centro del mismo. Si para cada autómata de los que se pretenden comparar se establece una marca en cada eje en el punto más exterior que por sus características llega a alcanzar y posteriormente se unen todos estos puntos en una línea recta, se obtendrá un polígono octogonal. El polígono que mayor área tenga representará al autómata más potente<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALÉZ, Sistemas Automatizados-Autómatas Programables (PLC's), 2004



**Figura 4.22:** Selección de un PLC (Criterios Cuantitativos).

#### 4.5.2 CRITERIOS CUALITATIVOS

Como su propio nombre lo indica son criterios que hacen referencia a aspectos que determinan en cierta medida la calidad del autómatas. Son por ejemplo:

- Ayudas al desarrollo de programas. Hace referencia a la cantidad de información y ayuda que presta la empresa distribuidora del equipo a nivel local o estatal.
- Fiabilidad del producto. Es una característica muy importante que hace referencia directamente al funcionamiento del autómatas. Por lo general la marca o nombre del fabricante del equipo es un aval suficiente para reconocer el grado de fiabilidad del mismo.

- Servicios del suministrador. Es muy importante evaluar qué servicios extra aporta el distribuidor del equipo a nivel local o nacional, tales como: cursos de formación, su precio, el lugar de impartición y el número de fechas disponibles, capacidad para aportar recursos humanos, capacidad para aportar recursos técnicos, etc.
- Normalización en planta. Esta característica hace referencia a la capacidad del equipo para ser conectado e intercambiar información de manera correcta y efectiva con el resto de dispositivos y equipos que ya estén instalados en una planta dada. Vendrá determinada por la capacidad del autómatas de soportar estándares internacionales de comunicación, de programación, de conexión, de arquitectura, etc.
- Compatibilidad con equipos de otras gamas. Puede darse el caso en que dos equipos del mismo fabricante pero de gamas distintas no sean compatibles entre sí, desde el punto de vista de la conexión y la capacidad de comunicación.
- Coste. Aunque el precio de un producto es un criterio cuantitativo que puede ser medido y comparado, su coste o valor apreciado no lo es. Este hace referencia a la apreciación de qué tan caro o barato le parece a una persona un producto.

Estas características cualitativas a la larga acaban convirtiéndose en las más importantes a la hora de seleccionar no tanto qué equipo adquirir sino de qué fabricante en cuestión. Esto es debido fundamentalmente a que hoy en día todos los fabricantes proporcionan equipos con características cuantitativas muy similares y con una alta gama de formatos. Esto hace que el punto de vista cuantitativo no sea determinante a la hora de seleccionar el autómatas programable más adecuado.

## 4.6 REFERENCIAS

1. FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALEZ, Sistemas Automatizados-  
Autómatas Programables (PLC's), Cap.I
2. DR. AGUINAGA, Álvaro, Automatización de Procesos Industriales con PLC's
3. JOSEP BALCELLS/JOSÉ LUIS ROMERAL, Autómatas Programables, Cap.10.
4. Warnock I. G., Programmable Controllers Operation and Application,  
Prentice-Hall, 1988
5. Rohner P., Automation with Programmable Logic Controllers, Macmillan,  
1996.

## **CAPITULO 5**

# **AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO**

### **INTRODUCCIÓN**

Tradicionalmente, en el campo del Aire Acondicionado se han utilizado métodos de control a base de relés que bosquejan esquemas de contactos, los cuales han sido diseñados de forma intuitiva a base de ensayo y error, métodos que se han seguido empleando en la actualidad. Sin embargo, hoy en día con la existencia de dispositivos de control más potentes, con bloques funcionales más complejos que un simple relé, se exige el empleo de métodos de diseño más globales y sistemáticos, en definitiva, más adaptados a las nuevas tecnologías.

En el presente capítulo se automatizarán dos sistemas de aire acondicionado por medio de PLC's.

### **GENERALIDADES**

En el capítulo II se presentó la gran diversidad de sistemas de aire acondicionado que existen en el campo de la climatización los cuales se han desarrollado por la existencia de diferentes necesidades térmicas.

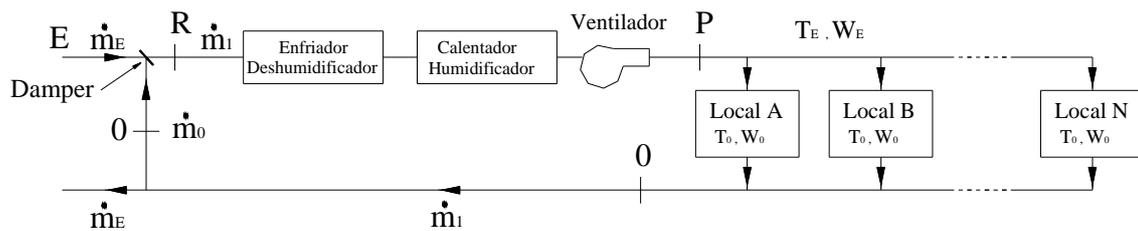
Para desarrollar programas para PLC's que controlen el funcionamiento de sistemas de aire acondicionado se han seleccionado dos sistemas del tipo Todo-aire de conducto único con control combinado de recalentamiento y control de las proporciones de aire exterior y de retorno

Para automatizar los procesos, se seguirán los pasos descritos en la Programación del Autómata (Capítulo 4, literal 4.4).

## 5.1 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA N° 1

### 5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La descripción del sistema de aire acondicionado número 1 esta representada en las figuras 5.1 y 5.2.



**Figura 5.1:** Representación esquemática del Sistema de aire acondicionado.

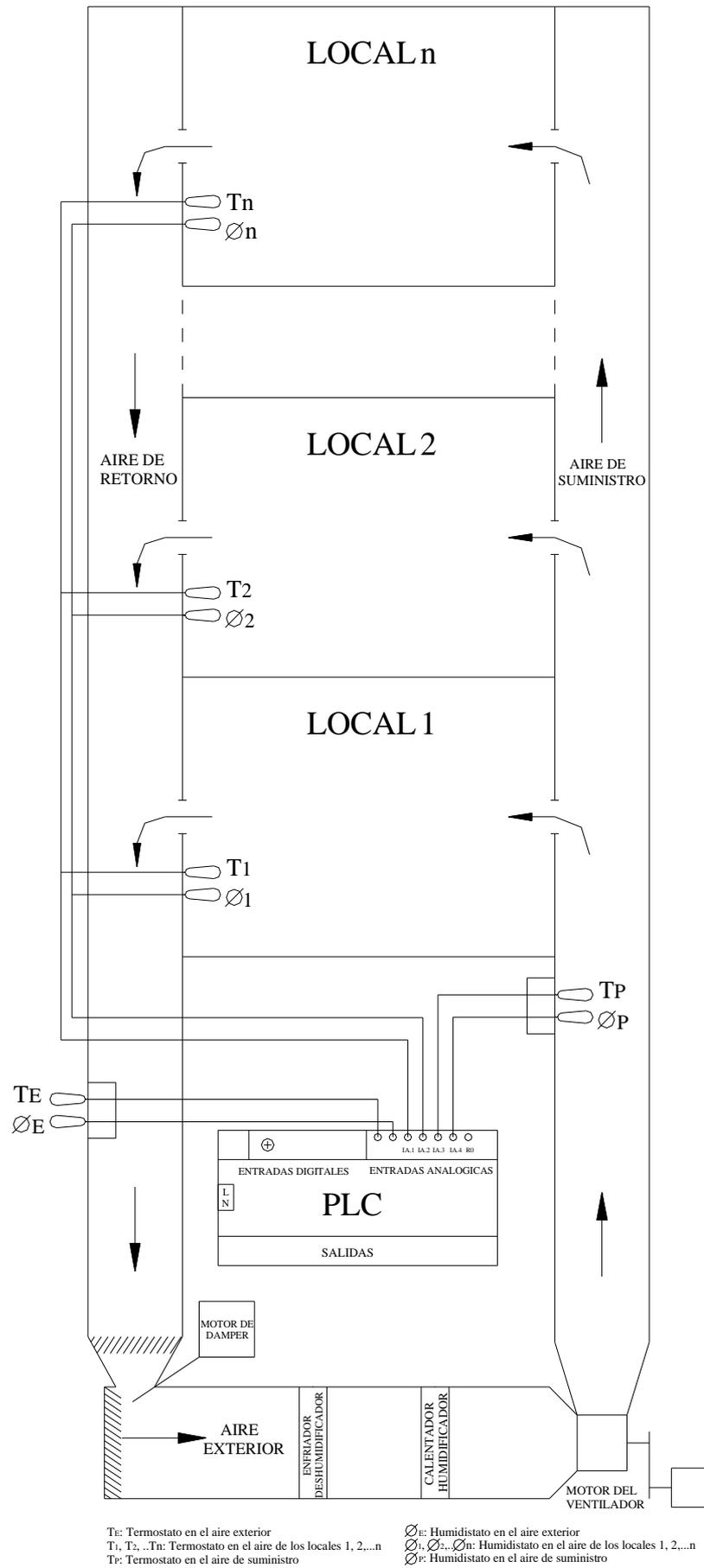
El sistema esta formado por:

- 1 Enfriador Deshumidificador
- 1 Calentador
- 1 Humidificador
- 1 Ventilador
- 1 Damper de mezcla de aire
- n Recalentadores

El sistema de control que se desarrolla a continuación esta diseñado para edificios o construcciones formados por varios locales que poseen factores de calor sensible muy similares.

### 5.1.2 DETERMINAR QUÉ DEBE HACER EL SISTEMA DE CONTROL Y EN QUÉ ORDEN.

El control que se establecerá para gobernar el sistema de aire acondicionado antes indicado, debe ser capaz de variar las condiciones de humedad y temperatura del aire de suministro en valores adecuados para ser introducidos en el local, dependiendo de las necesidades del mismo, para que cuando el aire evolucione en el local, proporcione un ambiente de confort térmico humano. Estos



**Figura 5.2:** Esquema del sistema de control por PLC del sistema de aire acondicionado Nº 1 de tipo todo-aire de conducto único.

valores serán establecidos de acuerdo a la variación de las cargas externas e internas al local.

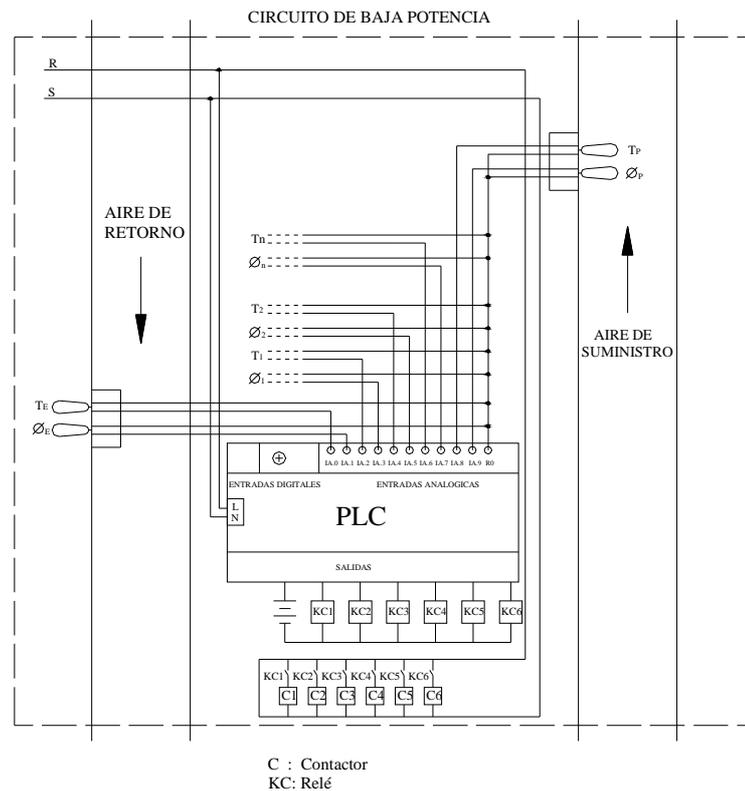
Las tareas que el sistema de control debe realizar son las siguientes:

- I. El PLC por medio de sus sensores externos determinará las condiciones en las que se encuentra el ambiente exterior, luego establecerá si el sistema debe calentar o enfriar (invierno o verano) y encenderá el ventilador, en caso de que este apagado.
- II. Si la estación es Verano, el autómeta encenderá el enfriador-deshumidificador, establecerá la capacidad de calentamiento que el calentador y los recalentadores deben proporcionar para llevar el aire a las condiciones de suministro adecuadas y determinara el movimiento del damper del aire de retorno.
- III. Si la estación es invierno, el autómeta apagará el enfriador-deshumidificador, encenderá el calentador-humidificador y los recalentadores, además determinará el movimiento del damper del aire de retorno para suministrar el aire a las condiciones deseadas.
- IV. Por medio de los sensores ubicados en los locales y a la salida del equipo, el autómeta determinará si las condiciones del aire que suministra el sistema son las adecuadas para alcanzar las condiciones de confort en los locales, de no ser así, el programa del PLC determinará la variación en la capacidad de calentamiento del equipo para corregir el error.
- V. Por medio de un pulsador, el autómeta apagará todos los equipos y pasara al modo de funcionamiento OFF, hasta recibir la indicación de pasar al estado RUN y controlar el sistema de aire acondicionado otra vez.

Es preciso indicar que en el mercado existen muchos constructores de equipos de aire acondicionado, por lo que no es posible establecer un modelo de funcionamiento común para todos los equipos existentes ya que cada equipo tiene un funcionamiento diferente y propio que depende del fabricante. Sin embargo, para el modelo de control del presente estudio, se establecerá que el funcionamiento del enfriador-deshumidificador y del humidificador será únicamente de todo-nada, en cambio el calentador, los recalentadores y el damper deben tener la habilidad de variar su capacidad de funcionamiento.

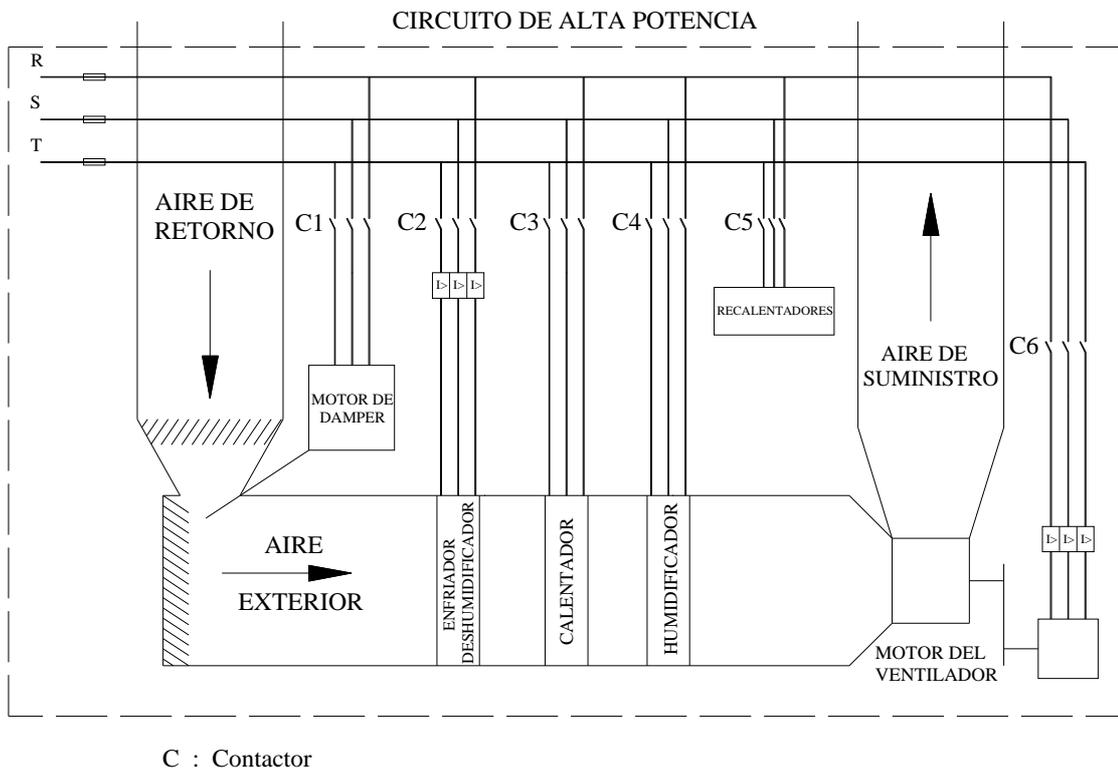
### 5.1.3 IDENTIFICAR LOS COMPONENTES ( SEÑALES ) DE ENTRADA Y SALIDA AL AUTÓMATA

Las señales de entrada al autómata serán dadas por la humedad y la temperatura del aire exterior, del aire de suministro y del aire en los locales.



**Figura 5.3:** Circuito de baja potencia y señales de entrada/salida al autómata.

El autómata de acuerdo al programa en su memoria, dará como señales de salida las indicaciones para modificar el funcionamiento de los equipos (encenderlos, apagarlos o en el caso del calentador variar su capacidad) e indicará el instante y la forma en qué debe moverse el damper que permite el paso del aire de retorno.



**Figura 5.4:** Circuito de alta potencia.

**5.1.4 REPRESENTAR MEDIANTE UN MODELO EL SISTEMA DE CONTROL, INDICANDO TODAS LAS FUNCIONES QUE INTERVIENEN, LAS RELACIONES ENTRE ELLAS Y LA SECUENCIA QUE DEBEN SEGUIR.**

En el Anexo B, se indica el modelo matemático (funciones y relaciones) del sistema de aire acondicionado.

En el Anexo C, se muestra los estados del ciclo del aire a través del sistema de aire acondicionado para las condiciones de temperatura y humedad relativa más estables del aire exterior en una estación determinada, es decir que se resuelve el sistema para condiciones ambientales fijas. Este análisis es muy importante para la selección de los equipos.

A continuación se mostrará cómo se cumplirán las instrucciones indicadas en el literal 5.1.2

Se consideran las siguientes variables:

- La temperatura exterior  $T_E$
- La humedad relativa exterior  $\phi_E$
- La temperatura interior  $T_o$

- La humedad relativa interior  $\phi_o$
- La temperatura del aire de suministro  $T_p$
- La humedad relativa del aire de suministro  $\phi_p$

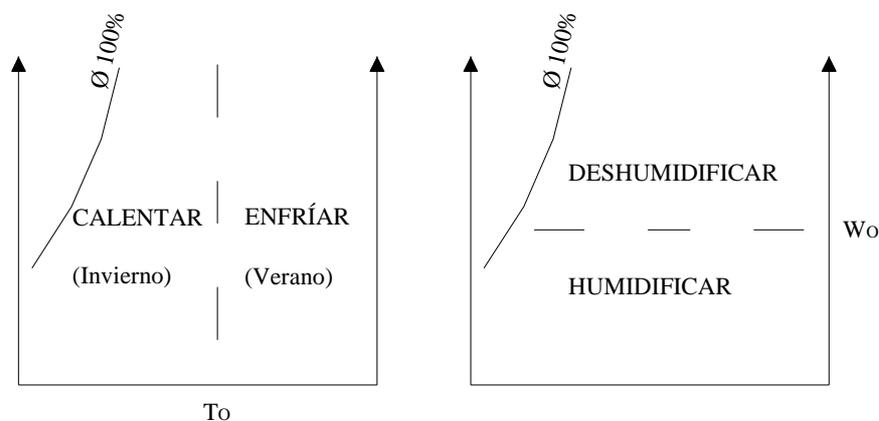
Si bien es cierto que las especificaciones técnicas (FCSB, factor de desviación, etc) de los equipos varían de acuerdo al fabricante, estas especificaciones pasarían a ser constantes una vez que se haya seleccionado el equipo. De igual manera sucede con la presión atmosférica, la cuál queda fija al determinar el lugar en donde se implantará el sistema.

Se tomará como referencia el estado O de diseño ( $T_{O \text{ DISEÑO}}$ ,  $W_{O \text{ DISEÑO}}$ ), que es el estado del aire en las condiciones de confort.

#### 5.1.4.1 Establecer el Estado del Clima

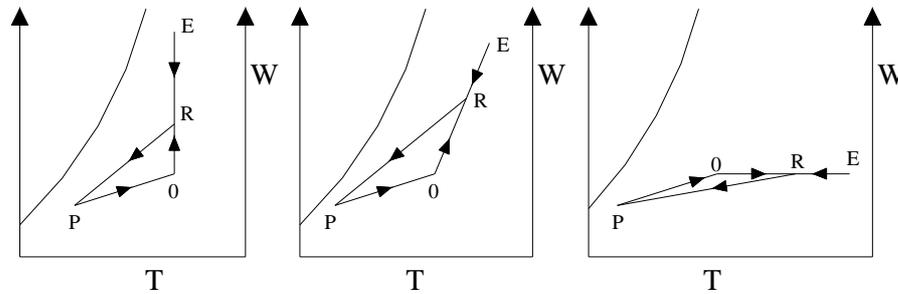
Para determinar las funciones que debe realizar el sistema de aire acondicionado, los sensores ubicados en el ambiente exterior medirán la humedad relativa y temperatura del aire exterior, luego el autómatas calculará la humedad específica exterior  $W_E$  (ecuaciones (1.2) y (1.3)), comparará estos resultados con los valores de las condiciones de confort, de donde se deduce:

$$\begin{array}{ll}
 T_E < T_{O \text{ DISEÑO}} \rightarrow \text{Calentar (Invierno)} & W_E < W_{O \text{ DISEÑO}} \rightarrow \text{Humidificar} \\
 T_E \geq T_{O \text{ DISEÑO}} \rightarrow \text{Enfriar (Verano)} & W_E > W_{O \text{ DISEÑO}} \rightarrow \\
 \text{Deshumidificar} &
 \end{array}$$

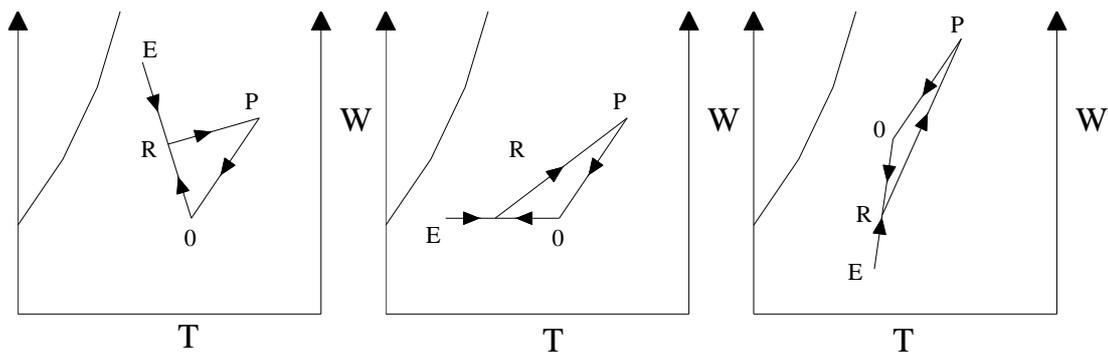


**Figura 5.5:** Representación en la carta sicrométrica las tareas que deben realizar los equipos de acuerdo a la condición de humedad y temperatura del aire exterior.

Debido al cambio constante de las condiciones climáticas, el ciclo del aire a través del sistema de aire acondicionado no siempre será el mismo. Las Figuras 5.6 y 5.7 muestran algunas de las posibilidades del ciclo del aire a través del sistema de aire acondicionado.



**Figura 5.6:** Ciclo del aire en verano, con el enfriador encendido y el calentador apagado



**Figura 5.7:** Ciclo del aire en invierno, con el enfriador apagado y el calentador encendido.

#### 5.1.4.2 En el Invierno

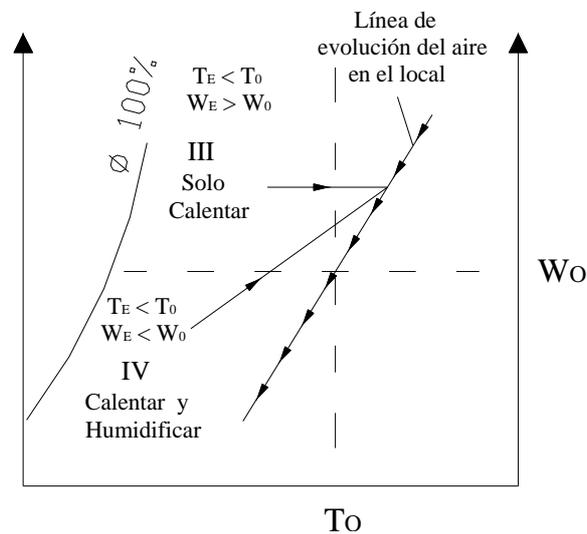
Si la estación es invierno ( $T_E < T_{o \text{ DISEÑO}}$ ), el PLC por medio de contactores y relés, pondrá a funcionar el ventilador para que suministre el flujo de masa que se ha determinado en el diseño, apagará el enfriador-deshumidificador y encenderá el calentador a potencia media la primera vez que el autómatas realice las instrucciones del programa en la estación de Invierno. Para determinar el movimiento apropiado del damper y la energía que debe proporcionar el calentador, se sigue la siguiente lógica de control:

### 5.1.4.2.1 Forma de Acondicionar el Aire en Invierno

El PLC con la humedad específica exterior ya determinada, comparará este valor con la humedad de confort  $W_o$  DISEÑO.

- Si  $W_E < W_o$  DISEÑO -  $\Delta W$ , entonces el equipo debe calentar y humidificar
- Si  $W_E > W_o$  DISEÑO +  $\Delta W$ , entonces el equipo debe solo calentar
- Si  $W_o$  DISEÑO -  $\Delta W \leq W_E \leq W_o$  DISEÑO +  $\Delta W$ , entonces el sistema debe solo calentar sin controlar la humedad específica  $W$ .

El valor de  $\Delta W$  estará determinado por los parámetros de fluctuación de humedad relativa que el diseñador desee para los locales.

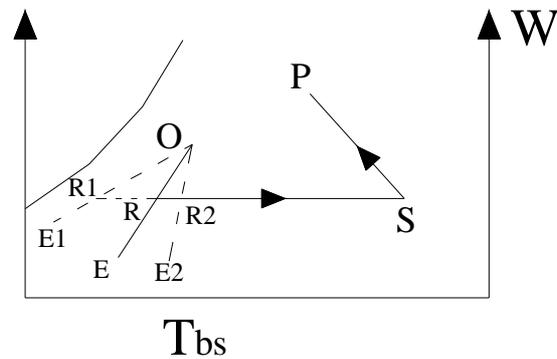


**Figura 5.8:** Condiciones en las que puede estar el aire exterior en el invierno.

### 5.1.4.2.2 Invierno Seco (Calentamiento y Humidificación)

Si  $W_E < W_o$  DISEÑO -  $\Delta W$  (cuadrante IV), el sistema de control, por medio de contactores y relés pondrá a trabajar el humidificador.

Si se mantiene constante el suministro de agua del humectador, para mantener las condiciones deseadas es necesario variar el porcentaje de recirculación de aire y la energía de calentamiento del equipo



**Figura 5.9:** Representación en la carta psicrométrica la variación de las condiciones exteriores en Invierno seco y la posible respuesta del PLC (determinar R)

El PLC por medio de los sensores ubicados en los locales determinará las temperaturas y humedades relativas ( $T_o$ ,  $\Phi_o$ ) de cada uno de ellos y calculará las humedades específicas  $W_o$  (ec. 1.2 y 1.3), comparará estos valores con los parámetros de diseño (confort) y planteará el siguiente condicionante:

Si el aire contenido en todos los locales esta en condiciones muy cercanas a las condiciones de confort, es decir cumple con lo siguiente:

$$T_{o_{DISEÑO}} - \Delta T \leq T_{o_{MEDIDO}} \leq T_{o_{DISEÑO}} + \Delta T$$

$$W_{o_{DISEÑO}} - \Delta W \leq W_{o_{MEDIDO}} \leq W_{o_{DISEÑO}} + \Delta W$$

El programa del PLC termina.

Si el caso es el contrario, el autómata medirá la temperatura y humedad relativa del aire de suministro ( $T_p$ ,  $\Phi_p$ ), calculara la humedad específica respectiva  $W_p$  (ec. 1.2 y 1.3). Para corregir la temperatura y humedad específica del aire de suministro, se hace la siguiente consideración:

Las cargas sensible y latentes reales que se encuentran en los locales se pueden determinar con las ecuaciones B.12 y B.13 (Anexo B).

$$\dot{q}_{S_{REAL}} = \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P_{MEDIDO}} - T_{O_{MEDIDO}})$$

$$\dot{q}_{L_{REAL}} = \dot{m}_L (W_{P_{MEDIDO}} - W_{O_{MEDIDO}}) h_{f80}$$

Pero las ecuaciones necesarias para alcanzar las condiciones de confort son:

$$\dot{q}_{S_{REAL}} = \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P_{CORREGIDO}} - T_{O_{DISEÑO}}) \quad (5.1)$$

$$\dot{q}_{L_{REAL}} = \dot{m}_L (W_{P_{CORREGIDO}} - W_{O_{DISEÑO}}) h_{f80} \quad (5.2)$$

Donde  $T_{p_{CORREGIDO}}$  y  $W_{p_{CORREGIDO}}$  son las condiciones a las que se debería suministrar el aire en el local para alcanzar las condiciones de confort.

Igualando la ecuación (B.12) con la ecuación (5.1)

$$\dot{m}_L C p_e (T_{P_{MEDIDO}} - T_{O_{MEDIDO}}) = \dot{m}_L C p_e (T_{P_{CORREGIDO}} - T_{O_{DISEÑO}})$$

De donde se tiene 
$$T_{P_{CORREGIDO}} = T_{P_{MEDIDO}} - T_{O_{MEDIDO}} + T_{O_{DISEÑO}} \quad (5.3)$$

Realizando el mismo procedimiento con las ecuaciones (B.13) y (5.2) se tiene

$$W_{P_{CORREGIDO}} = W_{P_{MEDIDO}} - W_{O_{MEDIDO}} + W_{O_{DISEÑO}} \quad (5.4)$$

Las ecuaciones antes calculadas son validas si el sistema mantiene constante el caudal de flujo de aire.

El autómata calculará estos dos valores para todos los locales, luego comparará los valores de Tp corregidos y seleccionará el de menor valor ( $T_{p_{seleccionado}}$ ), que será la temperatura del aire de suministro, luego se dará el calentamiento adicional que requieran los locales. Para la humedad corregida, debido a que no existen humidificadores adicionales en los locales, la humedad específica seleccionada será:

$$W_{P_{SELECCIONADA}} = \frac{W_{P_{CORREGIDO1}} + W_{P_{CORREGIDO2}} + \dots + W_{P_{CORREGIDOn}}}{n} \quad (5.5)$$

Por medio de la ecuación 1.4 o 1.4a, el PLC calculará la entalpía del estado P

$$h_p = T_p + W_p (2501 + 1.86T_p) \quad T \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ y } H \text{ (kJ/kg aire seco)}$$

$$h_p = 0.24T_p + W_p (1061 + 0.444T_p) \quad T \text{ (}^\circ\text{F)} \text{ y } H \text{ (Btu/lbm aire seco)}$$

La humedad específica del estado S se determina con la ecuación (B.11):

$$W_s = W_p - \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_1}$$

Como del estado S al estado P existe un proceso de Enfriamiento Evaporativo a entalpía constante, despejando de la ecuación 1.4 la temperatura y reemplazando las condiciones del estado S, se tiene:

$$T_s = \frac{h_p - 2501W_s}{1 + 1.86W_s} \quad T \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ y } H \text{ (kJ/kg aire seco)} \quad (5.6)$$

$$T_s = \frac{h_p - 1061W_s}{0.24 + 0.444W_s} \quad T \text{ (}^\circ\text{F)} \text{ y } H \text{ (Btu/lbm aire seco)} \quad (5.6a)$$

Para poder controlar el cambio de las condiciones exteriores, es necesario encontrar la ecuación que rige la recta OE, para lo cuál, se conocen las

condiciones de los estados O (estado de confort establecido en el diseño) y E (estado del aire exterior medido por sensores).

La ecuación genérica de la recta es:  $W = k_1 T + k_2$  donde:

$K_1$ : pendiente de la recta

$K_2$ : constante

En O ( $T_o, W_o$ )  $\rightarrow W_o = k_1 T_o + k_2$

En E ( $T_E, W_E$ )  $\rightarrow W_E = k_1 T_E + k_2$

$$\rightarrow k_1 = \frac{W_E - W_o}{T_E - T_o}$$

$$\rightarrow k_2 = W_o - \frac{W_E - W_o}{T_E - T_o} T_o$$

De donde la ecuación de la recta OE es:

$$W = W_{O_{DISEÑO}} + \frac{W_E - W_{O_{DISEÑO}}}{T_E - T_{O_{DISEÑO}}} (T - T_{O_{DISEÑO}}) \quad (5.7)$$

Ahora, se reemplaza la humedad del estado S ( $W_S = W_R$ ) en la ecuación de la recta OE, ecuación (5.7)

$$W_S = W_o + \frac{W_E - W_o}{T_E - T_o} (T_R - T_o) \quad \text{despejando } T_R$$

$$T_R = T_{O_{DISEÑO}} + \frac{W_S - W_{O_{DISEÑO}}}{W_E - W_{O_{DISEÑO}}} (T_E - T_{O_{DISEÑO}}) \quad (5.8)$$

Para determinar el porcentaje de recirculación de aire, se reemplaza el valor de  $T_R$  en la ecuación (C.2) del Anexo C.

$$\text{recirculación (\%)} = \frac{T_E - T_R}{T_E - T_{O_{DISEÑO}}} * 100 = \frac{W_E - W_R}{W_E - W_{O_{DISEÑO}}} * 100 \quad (5.9)$$

La capacidad de calentamiento necesario se determina con la ecuación (B.10).

$$\dot{q}_{CALENTADOR} = \dot{m}_1 C p_e (T_S - T_R)$$

El PLC enviara las señales a los relés y contactores para que modifiquen el funcionamiento del calentador.

Las acciones antes realizadas llevarán a las condiciones de confort únicamente al local cuya  $T_p$  corregido se escogió (el de menor valor). Para conseguir que todos los locales alcancen el estado de confort, el PLC debe calcular la cantidad de energía que deben proporcionar los recalentadores en cada uno de los locales

restantes, utilizando la ecuación (B.10), pero a diferencia del cálculo para el calentador general que va de la temperatura  $T_R$  a la temperatura  $T_S$ , el recalentamiento lo hará desde la temperatura  $T_p$  seleccionada a la temperatura  $T_p$  corregida correspondiente a cada local. Además el flujo de aire que ingresa al local no es  $\dot{m}_1$  sino  $\dot{m}_L$ ;

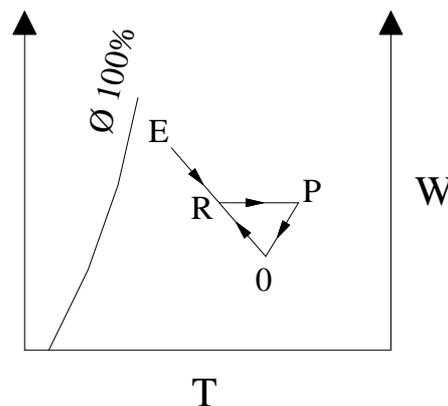
$$\dot{m}_L = \frac{\dot{m}_1}{\#de\ locales} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} \dot{q}_{RECALENTADOR\ 1} &= \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P\ Corregido\ 1} - T_{P\ Seleccionado}) \\ \dot{q}_{RECALENTADOR\ 2} &= \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P\ Corregido\ 2} - T_{P\ Seleccionado}) \\ &\vdots \\ \dot{q}_{RECALENTADOR\ i} &= \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P\ Corregido\ i} - T_{P\ Seleccionado}) \end{aligned} \quad (5.11)$$

Finalmente el autómata encenderá los recalentadores.

#### 5.1.4.2.3 Invierno Húmedo (Solo Calentamiento)

Si  $W_E > W_{O\_DISEÑO} + \Delta W$  (cuadrante III, Fig 5.8), el sistema de control, por medio de contactores y relés, apagará el humidificador en el caso de que este encendido.



**Figura 5.10:** Evolución del aire en el ciclo de calentamiento sin humidificación.

El PLC por medio de los sensores ubicados en los locales determinará las temperaturas y humedades relativas ( $T_o$ ,  $\Phi_o$ ) de cada uno de ellos y calculará las humedades específicas  $W_o$  (ec. 1.2 y 1.3), comparará estos valores con los parámetros de diseño (confort) y planteará el siguiente condicionante:

Si el aire contenido en todos los locales esta en condiciones muy cercanas a las condiciones de confort, es decir cumple con lo siguiente:

$$T_{O_{DISEÑO}} - \Delta T \leq T_{O_{MEDIDO}} \leq T_{O_{DISEÑO}} + \Delta T$$

$$W_{O_{DISEÑO}} - \Delta W \leq W_{O_{MEDIDO}} \leq W_{O_{DISEÑO}} + \Delta W$$

El programa del PLC termina.

Si el caso es el contrario, el autómata medirá la temperatura y humedad relativa del aire de suministro ( $T_p$ ,  $\Phi_p$ ), calculara la humedad específica respectivas  $W_p$  (ec. 1.2 y 1.3). Para corregir las condiciones del aire de suministro se realiza el mismo procedimiento indicado anteriormente en el Invierno Seco, es decir se utilizarán las ecuaciones 5.3 y 5.4:

$$T_{P_{CORREGIDO}} = T_{P_{MEDIDO}} - T_{O_{MEDIDO}} + T_{O_{DISEÑO}}$$

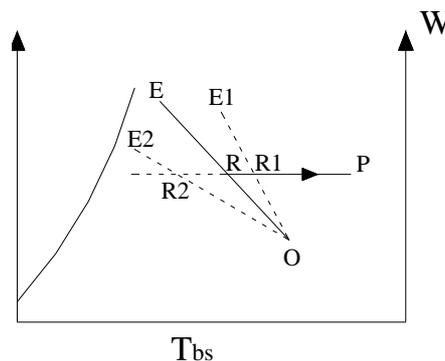
$$W_{P_{CORREGIDO}} = W_{P_{MEDIDO}} - W_{O_{MEDIDO}} + W_{O_{DISEÑO}}$$

Luego el autómata comparará los valores de  $T_p$  corregidos y seleccionará el de menor valor ( $T_p$  seleccionado).

La humedad específica seleccionada se calculará de la misma manera que en el invierno seco con la ecuación 5.5:

$$W_{P_{SELECCIONADA}} = \frac{W_{P_{CORREGIDO1}} + W_{P_{CORREGIDO2}} + \dots + W_{P_{CORREGIDOn}}}{n}$$

Ahora, como se trata de un proceso de calentamiento, la humedad específica del estado P es la misma que la del estado de mezcla R ( $W_P = W_R$ ). Entonces se puede determinar el porcentaje de recirculación de aire y la capacidad de calentamiento a utilizarse.



**Figura 5.11:** Representación en la carta sicrométrica la variación de las condiciones exteriores en Invierno Húmedo y la posible respuesta del PLC (determinar R).

Para poder controlar el cambio de las condiciones exteriores, se reemplaza la humedad del estado P ( $W_P = W_R$ ) en la ecuación de la recta OE, ecuación (5.7)

$$W_P = W_O + \frac{W_E - W_O}{T_E - T_O} (T_R - T_O) \quad \text{despejando } T_R$$

$$T_R = T_{O_{DISEÑO}} + \frac{W_P - W_{O_{DISEÑO}}}{W_E - W_{O_{DISEÑO}}} (T_E - T_{O_{DISEÑO}}) \quad (5.12)$$

Para determinar el porcentaje de recirculación de aire, se reemplaza  $T_R$  en la ecuación (5.9).

El calentamiento necesario que debe proporcionar el calentador se determina con la ecuación (B.10), donde  $T_s$  es reemplazada por  $T_p$  seleccionado.

$$\dot{q}_{CALENTADOR} = \dot{m}_1 C_{p_e} (T_{P_{SELECCIONADO}} - T_R) \quad (5.13)$$

El PLC enviará las señales a los relés y contactores para que modifiquen el funcionamiento del calentador.

Las acciones antes realizadas llevarán a las condiciones de confort únicamente al local cuya temperatura  $T_p$  se escogió ( $T_p$  de menor valor). Para conseguir que todos los locales alcancen el estado de confort, se calcula el calentamiento adicional que deben proporcionar los recalentadores por medio de la ecuación (5.11):

$$\dot{q}_{RECALENTADOR \ i} = \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P_{CORREGIDO \ i}} - T_{P_{SELECCIONADO}})$$

Finalmente el autómata encenderá los recalentadores.

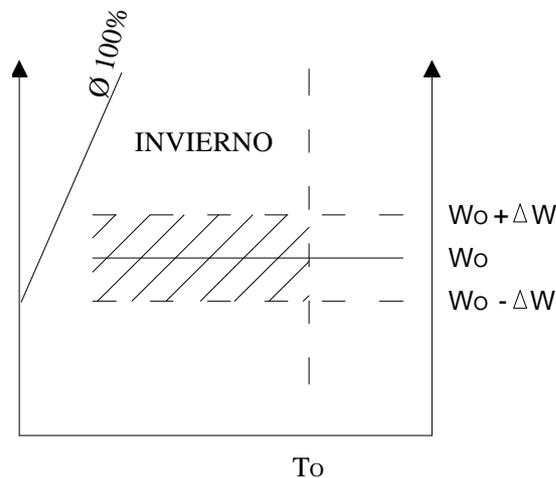
#### 5.1.4.2.4 Invierno con Humedad específica cercana al valor de la Humedad de Confort

Si  $W_{O_{DISEÑO}} - \Delta W \leq W_E \leq W_{O_{DISEÑO}} + \Delta W$ , el sistema de control, por medio de contactores y relés, apagará el humidificador en el caso de que este encendido.

Cuando el ambiente exterior se encuentra en esta condición, el sistema de control utilizará el 50% de recirculación, debido a que la humedad del aire exterior se encuentra en un valor cercano al valor de la humedad de confort. Estas acciones de control que se toman para esta condición se deben a que al utilizar el valor de

la humedad exterior que es muy similar al valor de confort en las ecuaciones desarrolladas para los otros dos estados de invierno, producen indeterminaciones con valores que tienden al infinito (Por ejemplo: en la ecuación (5.8),

$$T_R = T_{O_{DISEÑO}} + \frac{W_S - W_{O_{DISEÑO}}}{W_E - W_{O_{DISEÑO}}} (T_E - T_{O_{DISEÑO}}).$$



**Figura 5.12:** Representación en la carta sicrométrica del estado de Invierno con humedad cercana al valor de la humedad de confort.

Para calcular la temperatura de mezcla, de la ecuación 5.9 se despeja  $T_R$ :

$$T_R = T_E - 0.5 * (T_E - T_{O_{DISEÑO}})$$

La lógica de control que se tomará será la misma que para el Invierno Húmedo pero sin realizar control de la humedad, únicamente se realizará control de temperatura.

El PLC por medio de los sensores ubicados en los locales determinará las temperaturas ( $T_o$ ), comparará estos valores con los parámetros de diseño (confort) y planteará el siguiente condicionante:

Si el aire contenido en todos los locales esta en condiciones muy cercanas a las condiciones de confort, es decir cumple con lo siguiente:

$$T_{O_{DISEÑO}} - \Delta T \leq T_{O_{MEDIDO}} \leq T_{O_{DISEÑO}} + \Delta T$$

El programa del PLC termina.

Si el caso es el contrario, el autómatas medirá la temperatura del aire de suministro ( $T_p$ ), para corregir las condiciones del aire de suministro se realiza el mismo

procedimiento indicado anteriormente en el Invierno Seco, es decir se utilizará la ecuación 5.3:

$$T_{P_{CORREGIDO}} = T_{P_{MEDIDO}} - T_{O_{MEDIDO}} + T_{O_{DISEÑO}}$$

Luego el autómata comparará los valores de Tp corregidos y seleccionará el de menor valor ( $T_{p \text{ seleccionado}}$ ).

La energía necesaria que debe proporcionar el calentador se determina con la ecuación (B.10), donde Ts es reemplazado por Tp seleccionado

$$\dot{q}_{CALENTADOR} = \dot{m}_1 C_{p_e} (T_{P \text{ SELECCIONADO}} - T_R) \quad (5.14)$$

El PLC enviará las señales a los relés y contactores para que modifiquen el funcionamiento del calentador.

Las acciones antes realizadas llevarán a la Temperatura de confort únicamente al local cuya temperatura Tp se escogió ( $T_{p \text{ de menor valor}}$ ). Para conseguir que todos los locales alcancen el estado de confort, se calcula el calentamiento adicional que deben proporcionar los recalentadores por medio de la ecuación (5.11):

$$\dot{q}_{RECALENTADOR \ i} = \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P \text{ CORREGIDO } i} - T_{P \text{ SELECCIONADO}})$$

Finalmente el autómata encenderá los recalentadores.

#### 5.1.4.3 En el Verano

Si la estación es verano ( $T_E \geq T_{O \text{ DISEÑO}}$ ), el PLC por medio de contactores y relés, realizará las siguientes acciones:

- Pondrá a funcionar el ventilador para que suministre el flujo de masa que se ha determinado en el diseño la primera vez que realice el ciclo.
- Apagará el Humidificador
- Encenderá el enfriador-deshumidificador
- Determinará el movimiento del damper del aire de retorno
- Establecerá el calentamiento adecuado que debe proporcionar tanto el Calentador principal como los recalentadores

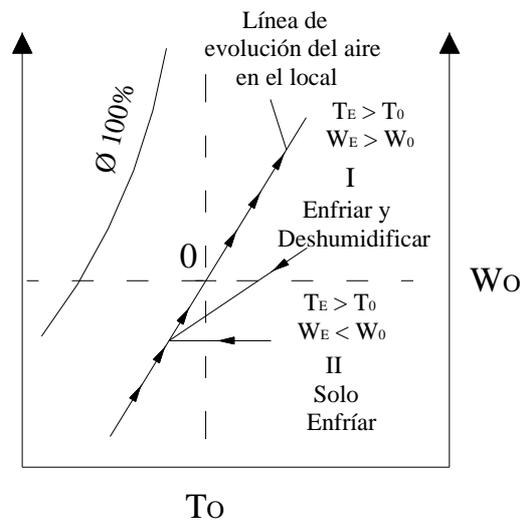
Para “indicar” al PLC ¿Cómo? realizar las tareas antes señaladas, se sigue la siguiente lógica de control:

#### 5.1.4.3.1 Forma de Acondicionar el aire en el Verano

Se toma como referencia la humedad específica de confort establecido  $W_o$  DISEÑO.

Sí:  $W_E \geq W_o$  DISEÑO entonces el equipo debe enfriar y deshumidificar.

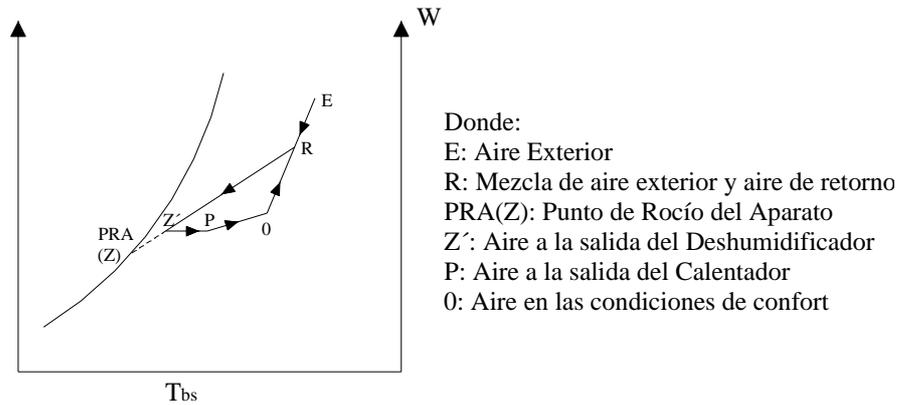
Sí:  $W_E < W_o$  DISEÑO entonces el equipo debe solo enfriar.



**Figura 5.13:** Condiciones adecuadas para el sistema de aire acondicionado establecido, cuadrante I.

El sistema No 1 que se ha planteado (fig. 5.1), es aplicable para sitios en los cuales exista una humedad relativa alta en el verano (cuadrante I), ya que el equipo de refrigeración de aire, enfría y deshumidifica al mismo tiempo y no puede realizar estas acciones de forma separada, por lo tanto no es recomendable para lugares con climas calido-secos, es decir, el sistema de control que se desarrolla no es aplicable para casos en que el aire exterior se encuentre en el cuadrante II de la figura 5.13.

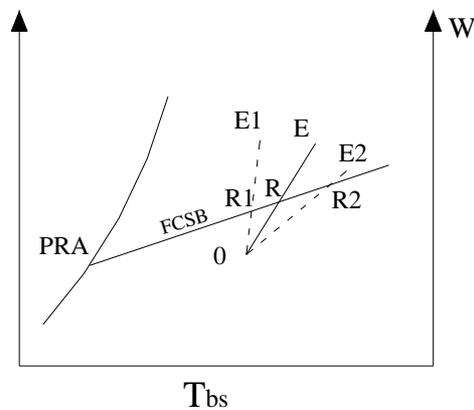
La figura 5.14 muestra el ciclo de aire a través del sistema de aire acondicionado en el verano. En el Anexo C, se muestra la forma de establecer el ciclo en la carta psicrométrica y se indica que el Punto de Roció del Aparato va ha ser considerado como un estado que se mantiene constante, así como también la recta del FCSB sin importar las variaciones internas o externas.



**Figura 5.14:** Ciclo del aire en el Verano

Este ciclo sera afectado básicamente por dos factores:

1. La variación de las condiciones del aire exterior.



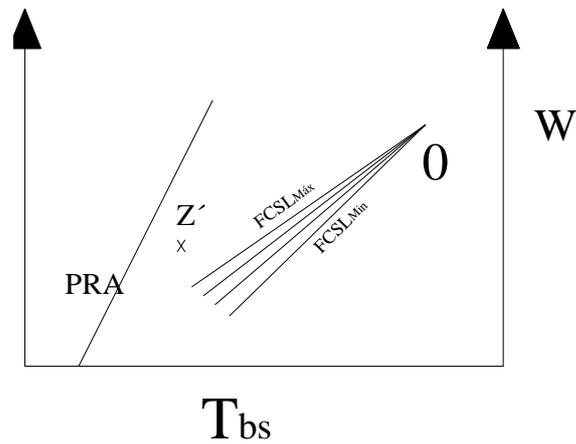
**Figura 5.15:** Variación de las condiciones exteriores en verano húmedo.

2. La forma de evolución del aire en el local, que se modifica según el tipo de carga interna: total o parcial.

En el capítulo III en el Estudio de la Carga Parcial se indicaron dos consideraciones para la carga parcial.

- 2.1 Carga latente mínima posible en el local ( $q_{l_{\text{Mínima}}}$ ) y la misma carga sensible del proyecto ( $q_{s_{\text{Diseño}}}$ )
- 2.2 Carga sensible mínima posible en el local ( $q_{s_{\text{Mínima}}}$ ) y plena carga de calor latente ( $q_{l_{\text{DISEÑO}}}$ )

Si se calcula el FCSL con estas dos consideraciones, se determina que el factor de calor sensible del local variará entre dos límites que son:



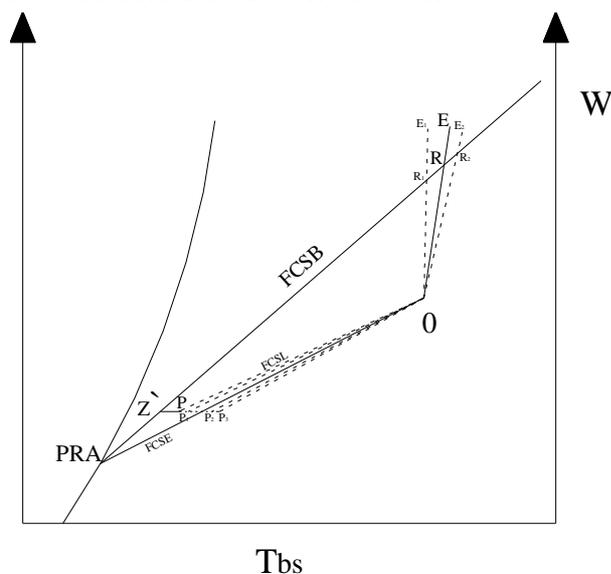
$$FCSL_{Mínimo} = \frac{\dot{q} S_{DISEÑO}}{\dot{q} S_{DISEÑO} + \dot{q} l_{Mínimo}} \quad \text{y} \quad FCSL_{Máximo} = \frac{\dot{q} S_{Mínimo}}{\dot{q} S_{Mínimo} + \dot{q} l_{DISEÑO}}$$

**Figura 5.16:** Variación del FCSL y sus límites.

El análisis anterior sirve como ayuda para entender entre que límites varía la carga térmica en los locales.

En consecuencia, se puede decir que el control del sistema de aire acondicionado en el verano, estará orientado a realizar dos aspectos importantes:

- Mantener el punto de mezcla R en la línea de evolución del aire en el equipo FCSB.
- Encontrar el estado del aire de suministro P adecuado con respecto a la variación de la evolución del aire en el local.



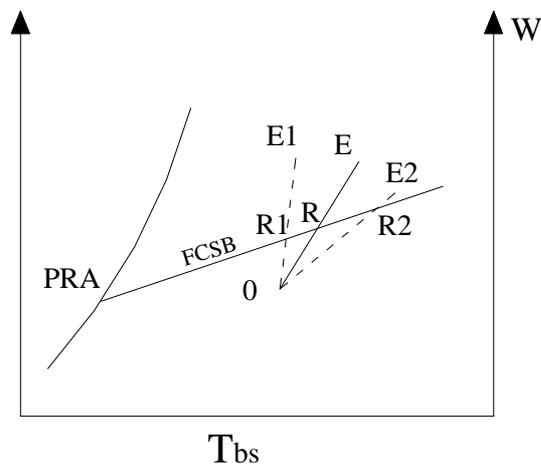
**Figura 5.17:** Variación del ciclo del aire a través del sistema de aire acondicionado

### 5.1.4.3.2 Determinación del Estado de Mezcla R

Debido a la facilidad de cambio de las condiciones del aire exterior, es preciso encontrar el porcentaje de recirculación de aire que el sistema debe proporcionar para mantener el estado de mezcla R en la línea de evolución del aire en el equipo (FCSB). Para poder controlar el cambio de las condiciones exteriores, es necesario utilizar la ecuación de la recta OE (5.7)

$$W = W_{O_{DISEÑO}} + \frac{W_E - W_{O_{DISEÑO}}}{T_E - T_{O_{DISEÑO}}} (T - T_{O_{DISEÑO}})$$

Por medio de las ecuaciones de FCSB (ec. B.17) y de la recta OE (ec. 5.7) se puede determinar el estado de mezcla R ( $T_R$ ,  $W_R$ ).



**Figura 5.18:** Variación de las condiciones exteriores en verano húmedo y la posible respuesta del PLC (determinar R).

Igualando la ecuación (B.17) y la ecuación (5.7)

$$W_{PRA} + \frac{(1 - FCSB)Cp_e}{FCSB * h_{fg_{PRA}}} (T_R - T_{PRA}) = W_0 + \left( \frac{W_E - W_0}{T_E - T_0} \right) (T_R - T_0)$$

De donde se tiene:

$$T_R = \frac{W_{O_{DISEÑO}} - W_{PRA} + \frac{Cpe(1 - FCSB)}{FCSB * h_{fg_{PRA}}} T_{PRA} - \left( \frac{W_E - W_{O_{DISEÑO}}}{T_E - T_{O_{DISEÑO}}} \right) T_{O_{DISEÑO}}}{\frac{Cpe(1 - FCSB)}{FCSB * h_{fg_{PRA}}} - \frac{W_E - W_{O_{DISEÑO}}}{T_E - T_{O_{DISEÑO}}}}$$

Simplificando:

$$T_R = \frac{a * T_E - T_{0_{DISEÑO}} * W_E + (W_{0_{DISEÑO}} - a) * T_{0_{DISEÑO}}}{b * T_E - W_E + (W_{0_{DISEÑO}} - b * T_{0_{DISEÑO}})} \quad (5.15)$$

Donde:

$$a = W_{0_{DISEÑO}} - W_{PRA} + \frac{Cpe(1 - FCSB)}{FCSB * h_{fg PRA}} T_{PRA}$$

$$b = \frac{Cpe(1 - FCSB)}{FCSB * h_{fg PRA}}$$

Por Analogía también se puede determinar:

$$W_R = \frac{T_{0_{DISEÑO}} - T_{PRA} + \frac{FCSB * h_{fg PRA}}{(1 - FCSB) * Cpe} W_{PRA} - \left( \frac{T_E - T_{0_{DISEÑO}}}{W_E - W_{0_{DISEÑO}}} \right) W_{0_{DISEÑO}}}{\frac{FCSB * h_{fg PRA}}{(1 - FCSB) * Cpe} - \frac{T_E - T_{0_{DISEÑO}}}{W_E - W_{0_{DISEÑO}}}}$$

$$W_R = \frac{m * W_E - W_{0_{DISEÑO}} * T_E + (T_{0_{DISEÑO}} - m) * W_{0_{DISEÑO}}}{n * W_E - T_E + (T_{0_{DISEÑO}} - n * W_{0_{DISEÑO}})} \quad (5.16)$$

Donde:

$$m = T_{0_{DISEÑO}} - T_{PRA} + \frac{FCSB * h_{fg PRA}}{(1 - FCSB) * Cpe} W_{PRA}$$

$$n = \frac{FCSB * h_{fg PRA}}{(1 - FCSB) * Cpe}$$

Como el sistema N° 1 es recomendado para lugares con climas cálido-húmedo, es de entenderse que la humedad específica del exterior en ningún momento se acercará al valor de la humedad de confort, lo que no ocurre con la temperatura exterior que si puede aproximarse a la temperatura de confort, por tal motivo, para que no se produzcan indeterminaciones en las ecuaciones de la lógica de control, se recomienda utilizar la ecuación de la Humedad específica de la mezcla  $W_R$  (ec. 5.16) en lugar de la ecuación de la Temperatura de la mezcla  $T_R$ .

Esta Humedad específica se reemplaza en la ecuación (5.9) y se encuentra el porcentaje de recirculación.

$$\text{recirculación (\%)} = \frac{T_E - T_R}{T_E - T_{0_{DISEÑO}}} * 100 = \frac{W_E - W_R}{W_E - W_{0_{DISEÑO}}} * 100$$

Una vez calculado este valor, el autómatas enviará las señales a los relés y contactores para que abran o cierren el damper de recirculación de aire.

Ahora con la misma ecuación (5.9) pero con la relación de Temperaturas se despeja  $T_R$

$$T_R = T_E - \frac{(T_E - T_{O_{DISEÑO}}) * \text{recirculación} (\%)}{100} \quad (5.17)$$

#### 5.1.4.3.3 Determinación del Estado de Suministro (P) adecuado para el local

El PLC por medio de los sensores ubicados en los locales determinará las temperaturas y humedades relativas ( $T_o$ ,  $\Phi_o$ ) de cada uno de ellos y calculará las humedades específicas  $W_o$  (ec. 1.2 y 1.3), comparará estos valores con los parámetros de diseño (confort) y planteará el siguiente condicionante:

Si el aire contenido en todos los locales esta en condiciones muy cercanas a las condiciones de confort, es decir cumple con lo siguiente:

$$T_{O_{DISEÑO}} - \Delta T \leq T_{O_{MEDIDO}} \leq T_{O_{DISEÑO}} + \Delta T$$

$$W_{O_{DISEÑO}} - \Delta W \leq W_{O_{MEDIDO}} \leq W_{O_{DISEÑO}} + \Delta W$$

El programa del PLC termina.

Si el caso es el contrario, el PLC calculará la temperatura y humedad específica del aire a la salida del enfriador-deshumidificador,  $Tz'$  y  $Wz'$ , (ec. B.6 y B.7), luego por medio de los sensores ubicados a la salida del calentador medirá la temperatura y humedad relativa del aire de suministro ( $T_p$ ,  $\Phi_p$ ) y determinará la humedad específica  $W_p$  (ec.1.2 y 1.3).

Antes de continuar con el desarrollo de la lógica de control, es preciso indicar que el procedimiento para corregir las condiciones del aire de suministro adecuadas para los locales en el verano no es el mismo que se utilizó en el invierno debido a que se utilizan equipos diferentes en las dos estaciones, así:

En el Invierno se corrige la temperatura y humedad específica del aire por medio del calentador y del damper de aire de recirculación respectivamente para un sistema de flujo de aire constante, en cambio, en el verano, aunque de igual manera se busca la proporción adecuada de recirculación de aire, el sistema no esta en condiciones de corregir la humedad específica del aire de suministro ya que el enfriador deshumidificador entrega el aire en el estado  $Z'$ , acción que no admite control de su variación ya que es propia del equipo, es decir  $W_p$  es igual a  $Wz'$  (Ver figura 5.14).

Ahora se establecerá el estado del aire de suministro considerando que a partir del estado  $Z'$  solo se puede calentar el aire:

El  $FCSL_{REAL}$  es el factor que indica la evolución real del aire en el local, por lo tanto este valor se puede determinar remplazando las temperaturas del aire medidas en el local y a la salida del equipo en la ec. B.16:

$$FCSL_{REAL} = \frac{Cp_e (T_{0_{MEDIDO}} - T_{P_{MEDIDO}})}{Cp_e (T_{0_{MEDIDO}} - T_{P_{MEDIDO}}) + (W_{0_{MEDIDO}} - W_{P_{MEDIDO}}) h_{fg0}} \quad (5.18)$$

Sin embargo, la expresión correcta para alcanzar el estado de confort térmico es

$$FCSL_{REAL} = \frac{Cp_e (T_{0_{DISEÑO}} - T_{P_{SUMINISTRO}})}{Cp_e (T_{0_{DISEÑO}} - T_{P_{SUMINISTRO}}) + (W_{0_{DISEÑO}} - W_{P_{SUMINISTRO}}) h_{fg0}} \quad (5.19)$$

Igualando la ecuación (5.18) y la ecuación (5.19):

$$\frac{Cp_e (T_{0_{MEDIDO}} - T_{P_{MEDIDO}})}{Cp_e (T_{0_{MEDIDO}} - T_{P_{MEDIDO}}) + (W_{0_{MEDIDO}} - W_{P_{MEDIDO}}) h_{fg0}} = \frac{Cp_e (T_{0_{DISEÑO}} - T_{P_{SUMINISTRO}})}{Cp_e (T_{0_{DISEÑO}} - T_{P_{SUMINISTRO}}) + (W_{0_{DISEÑO}} - W_{P_{SUMINISTRO}}) h_{fg0}}$$

Considerando que  $Wz' = Wp$ , se tiene:

$$T_{P_{SUMINISTRO}} = T_{0_{DISEÑO}} - \frac{(W_{0_{DISEÑO}} - W_{Z'})}{(W_{0_{MEDIDO}} - W_{P_{MEDIDO}})} (T_{0_{MEDIDO}} - T_{P_{MEDIDO}}) \quad (5.20)$$

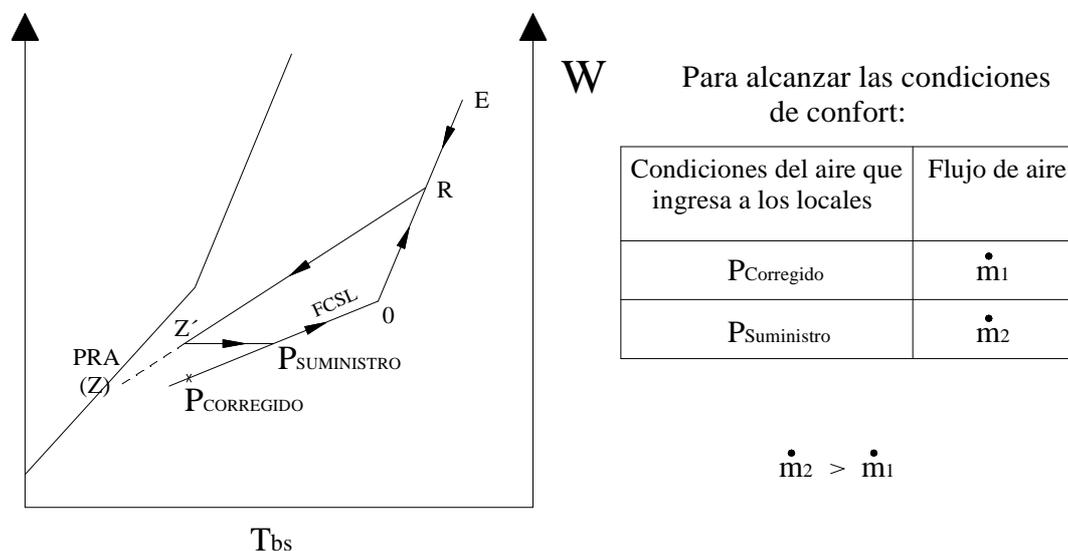
Con el uso de esta ecuación, se determinará la temperatura adecuada a la que debe suministrarse el aire en cada uno de los locales.

A continuación, el PLC realizará este cálculo para todos los locales y seleccionará la temperatura de menor valor ( $T_{P_{SELECCIONADO}}$ ), la que además tiene que ser mayor o como mínimo igual que la temperatura a la salida del equipo.

De esta manera se calcula la temperatura que debe alcanzar el aire de suministro que sale de los equipos, pero a pesar de que el sistema entregue el aire a las condiciones calculadas (condiciones de suministro), el aire en el local no alcanzará las condiciones de confort si no se cambia el caudal ya que el aire de suministro no se encuentra en las condiciones corregidas para satisfacer las cargas existentes en los locales (condiciones calculadas con las ecuaciones 5.3 y 5.4 que se desarrollaron en el literal sobre el invierno).

Para alcanzar las condiciones de confort en los locales es necesario cambiar el flujo de aire proporcionado por el sistema (cambiar de  $\dot{m}_1$  a  $\dot{m}_2$ ), lo cual depende

de las condiciones de suministro calculadas y las condiciones corregidas a las que se debería entregar el aire si no se realizará variación de flujo ( $\dot{m}_1$ ).



**Figura 5.19:** Representación en la carta sicrométrica del estado del aire de suministro

El local escogido para calcular la Temperatura corregida será el mismo cuya temperatura de suministro se seleccionó. Para corregir las condiciones del aire de suministro se utilizarán las ecuaciones 5.3 y 5.4:

$$T_{P_{\text{CORREGIDO}}} = T_{P_{\text{MEDIDO}}} - T_{O_{\text{MEDIDO}}} + T_{O_{\text{DISEÑO}}}$$

$$W_{P_{\text{CORREGIDO}}} = W_{P_{\text{MEDIDO}}} - W_{O_{\text{MEDIDO}}} + W_{O_{\text{DISEÑO}}}$$

Para que el aire de suministro entregado al local en las condiciones del estado P de suministro ( $T_{p_{\text{SUMINISTRO}}}$ ,  $W_{p_{\text{SUMINISTRO}}}$ ) compensen las ganancias de calor del local y se alcance el confort térmico, es necesario variar el caudal de aire, para lo cual se deduce la ecuación del nuevo flujo de aire  $\dot{m}_2$ :

$$\dot{q}_s = \dot{m}_1 C_{pe} (T_{O_{\text{DISEÑO}}} - T_{p_{\text{CORREGIDO}}}) \quad (5.21)$$

$$\dot{q}_s = \dot{m}_2 C_{pe} (T_{O_{\text{DISEÑO}}} - T_{p_{\text{SELECCIONADO}}}) \quad (5.22)$$

Igualando la ecuación (5.21) con la ecuación (5.22):

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 C_{pe} (T_{O_{\text{DISEÑO}}} - T_{p_{\text{CORREGIDO}}}) &= \dot{m}_2 C_{pe} (T_{O_{\text{DISEÑO}}} - T_{p_{\text{SELECCIONADO}}}) \\ \dot{m}_2 &= \left( \frac{T_{O_{\text{DISEÑO}}} - T_{p_{\text{CORREGIDO}}}}{T_{O_{\text{DISEÑO}}} - T_{p_{\text{SELECCIONADO}}}} \right) \dot{m}_1 \end{aligned} \quad (5.23)$$

En el sistema inglés:

$$scfm_2 = \frac{(T_{o_{DISEÑO}} - T_{p_{CORREGIDO}})}{(T_{o_{DISEÑO}} - T_{p_{SELECCIONADO}})} scfm_1 \quad (5.23a)$$

La energía que el calentador debe entregar estará determinada por la siguiente ecuación:

$$\dot{q}_{CALENTADOR} = \dot{m}_2 C_{p_e} (T_{p_{SELECCIONADA}} - T_{z'}) \quad (5.24)$$

Las acciones antes realizadas llevarán a las condiciones de confort únicamente al local cuya  $T_p$  corregido se escogió (el de menor valor). Para conseguir que todos los locales alcancen el estado de confort, el PLC debe calcular la cantidad de energía que deben proporcionar los recalentadores en cada uno de los locales restantes.

Para calcular la energía que deben entregar los recalentadores se considera el calor sensible real presente en los locales por medio de la ecuación B.14 con las Temperaturas medidas a la salida del equipo y en el local antes de cambiar el flujo del aire de suministro

$$\dot{q}_{S_{REAL}i} = \frac{\dot{m}_1 C_{p_e} (T_{o_{MEDIDO}i} - T_{p_{MEDIDO}})}{\#locales} \quad (5.25)$$

Ahora despejando de la ecuación 5.25 la variación de temperatura pero utilizando el nuevo flujo de aire  $\dot{m}_2$ , se calcula el aumento de la temperatura que se producirá en cada uno de los locales luego de cambiar el flujo de aire y de accionar el calentador.

$$\Delta T_{Li} = \frac{\dot{q}_{S_{REAL}i} * \#locales}{\dot{m}_2 C_{p_e}} \quad (5.26)$$

Si esta variación de temperatura se suma a la temperatura de suministro se calcularía la temperatura que se alcanzaría en los locales ( $T_{o_{CALCULADA}}$ ).

$$T_{o_{CALCULADA}i} = T_{p_{SELECCIONADA}} + \Delta T_{Li} \quad (5.27)$$

Entonces, los recalentadores solo deberán actuar si las temperaturas en los locales calculadas son menores que la temperatura de diseño restado el parámetro de fluctuación dado por el diseñador.

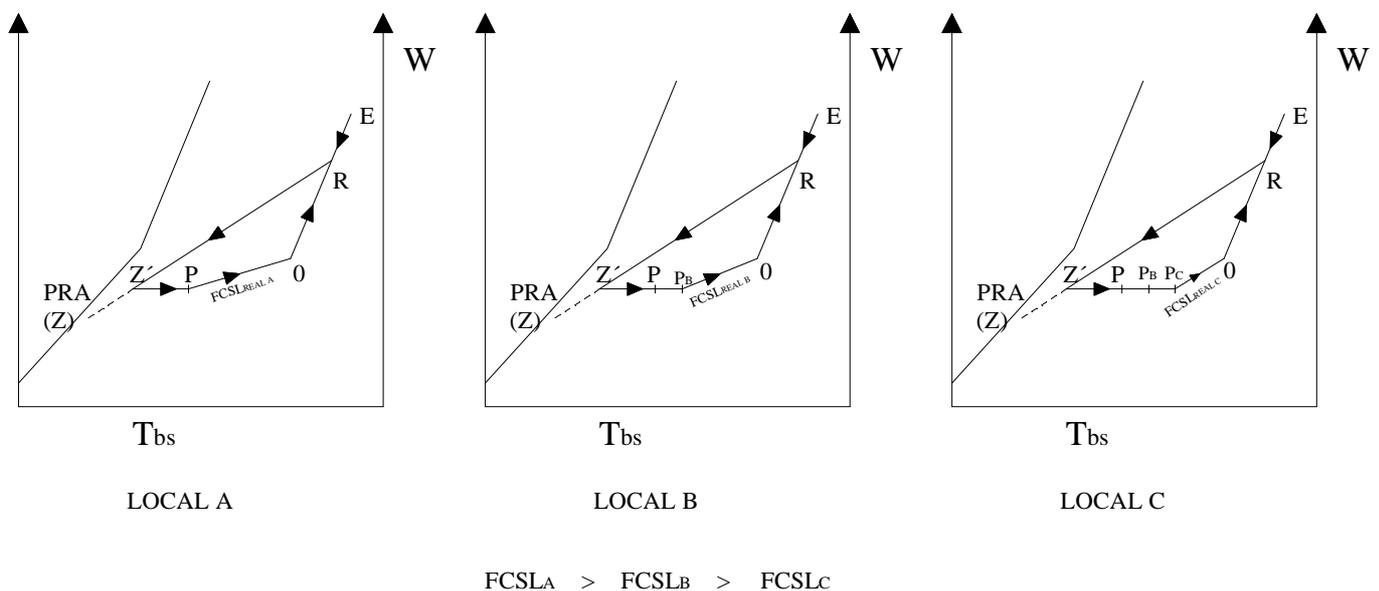
$$T_{o_{CALCULADA}i} < T_{o_{DISEÑO}} - \Delta T$$

La energía proporcionada por los recalentadores se determina con la ecuación 5.28

$$\dot{q}_{\text{RECALENTADOR } i} = \frac{\dot{m}_2 C p_e (T_{o_{\text{DISEÑO}}} - T_{o_{\text{CALCULADA } i}})}{\# \text{ locales}} \quad (5.28)$$

El PLC enviará las señales a los relés y contactores para que modifiquen el funcionamiento del ventilador, del calentador y de los recalentadores.

El ciclo de aire para los diferentes locales se muestra en la figura 5.20.

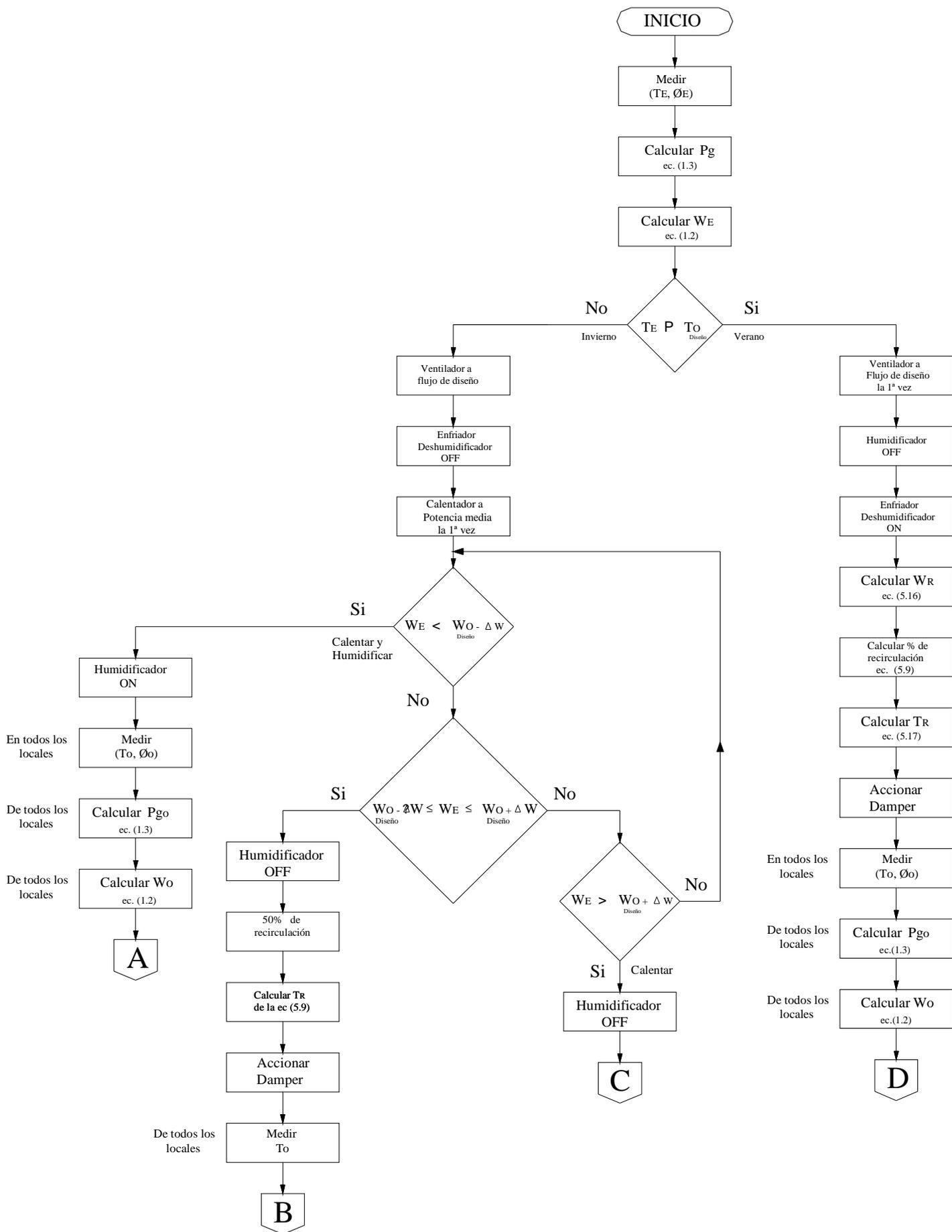


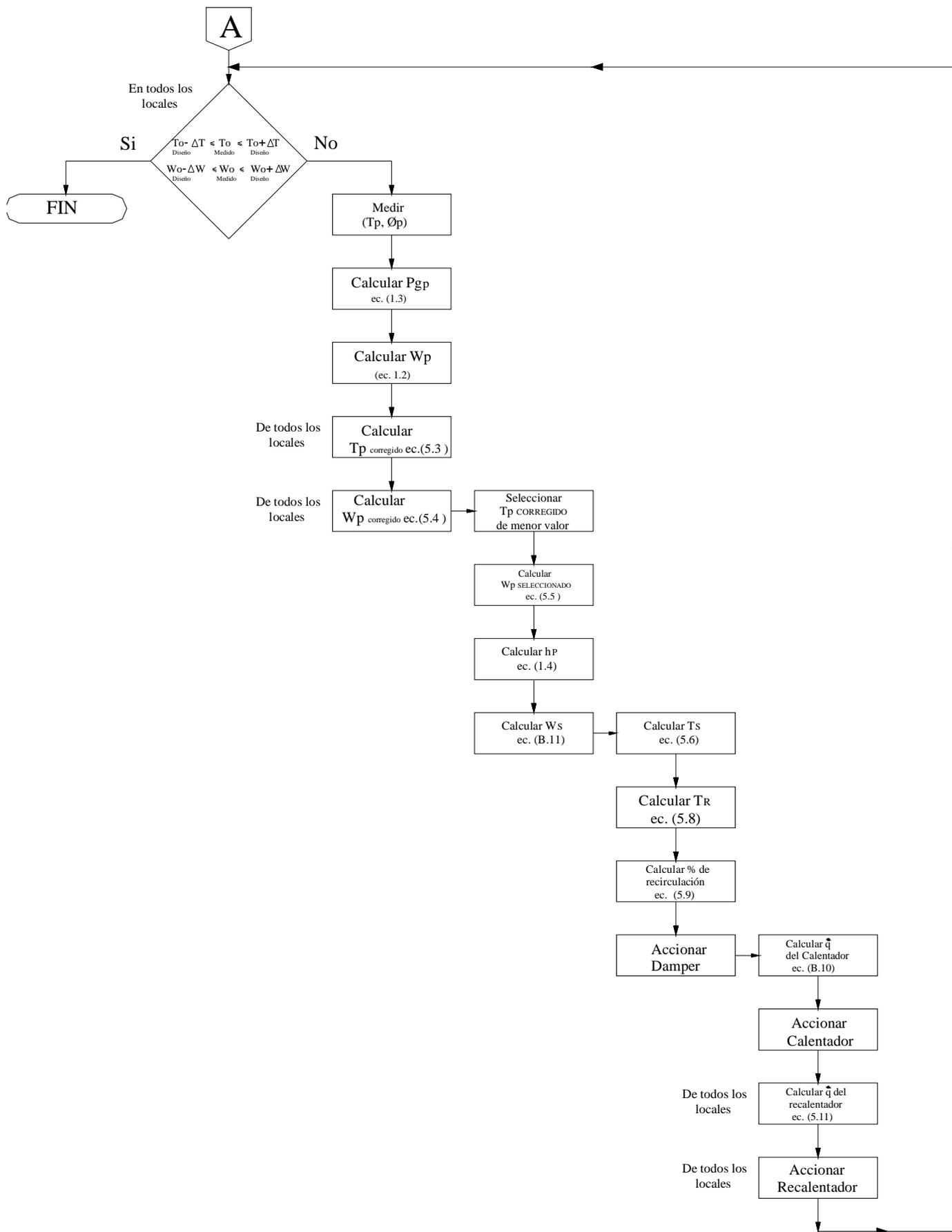
**Figura 5.20:** Ciclo de aire en los diferentes locales del edificio.

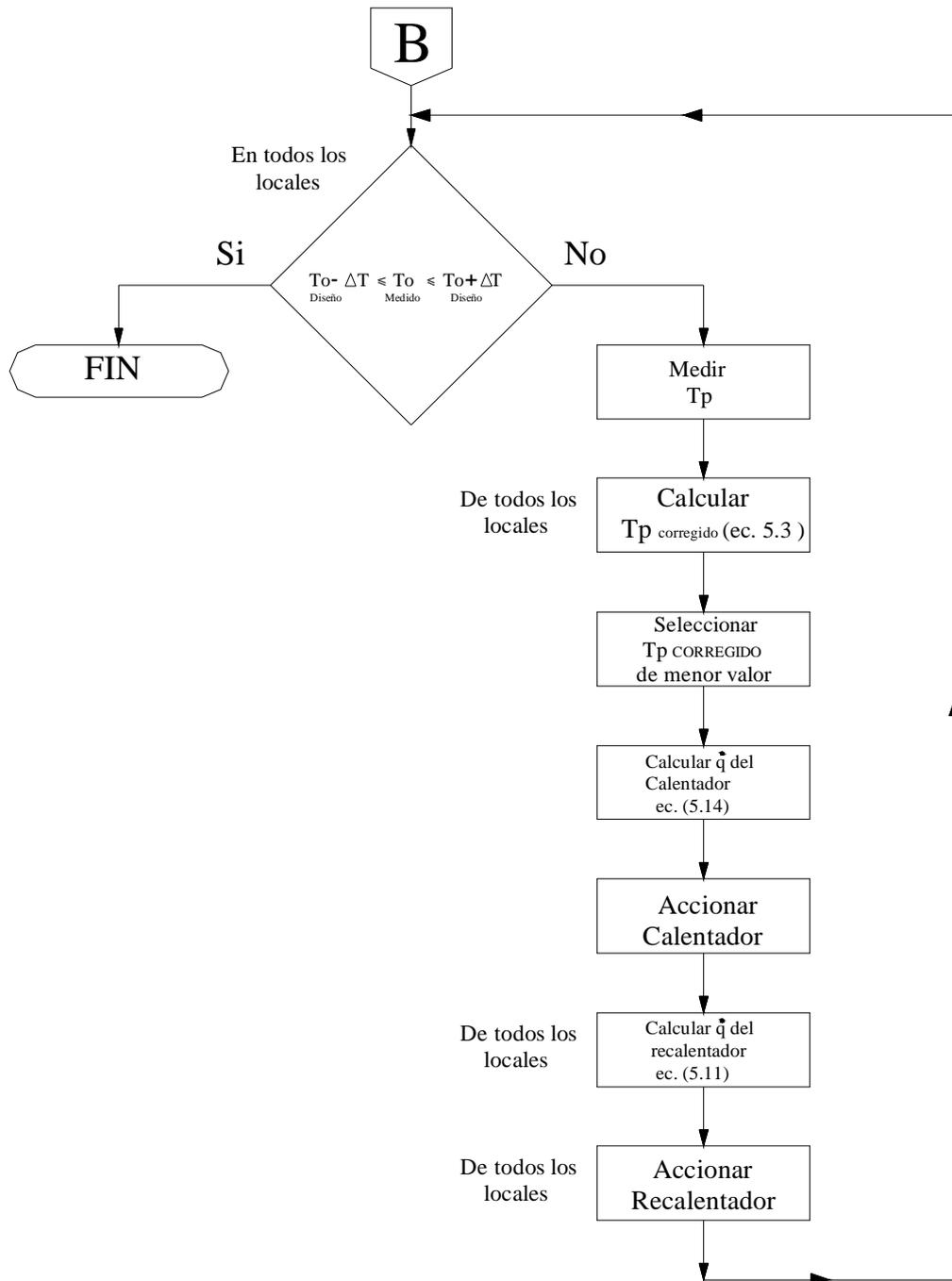
Constantemente, el PLC comparará las medidas de humedad y temperatura del aire de los locales con los valores de diseño, si estos valores son iguales, el programa termina, caso contrario recalcula el porcentaje de recirculación de aire por los métodos ya indicados anteriormente.

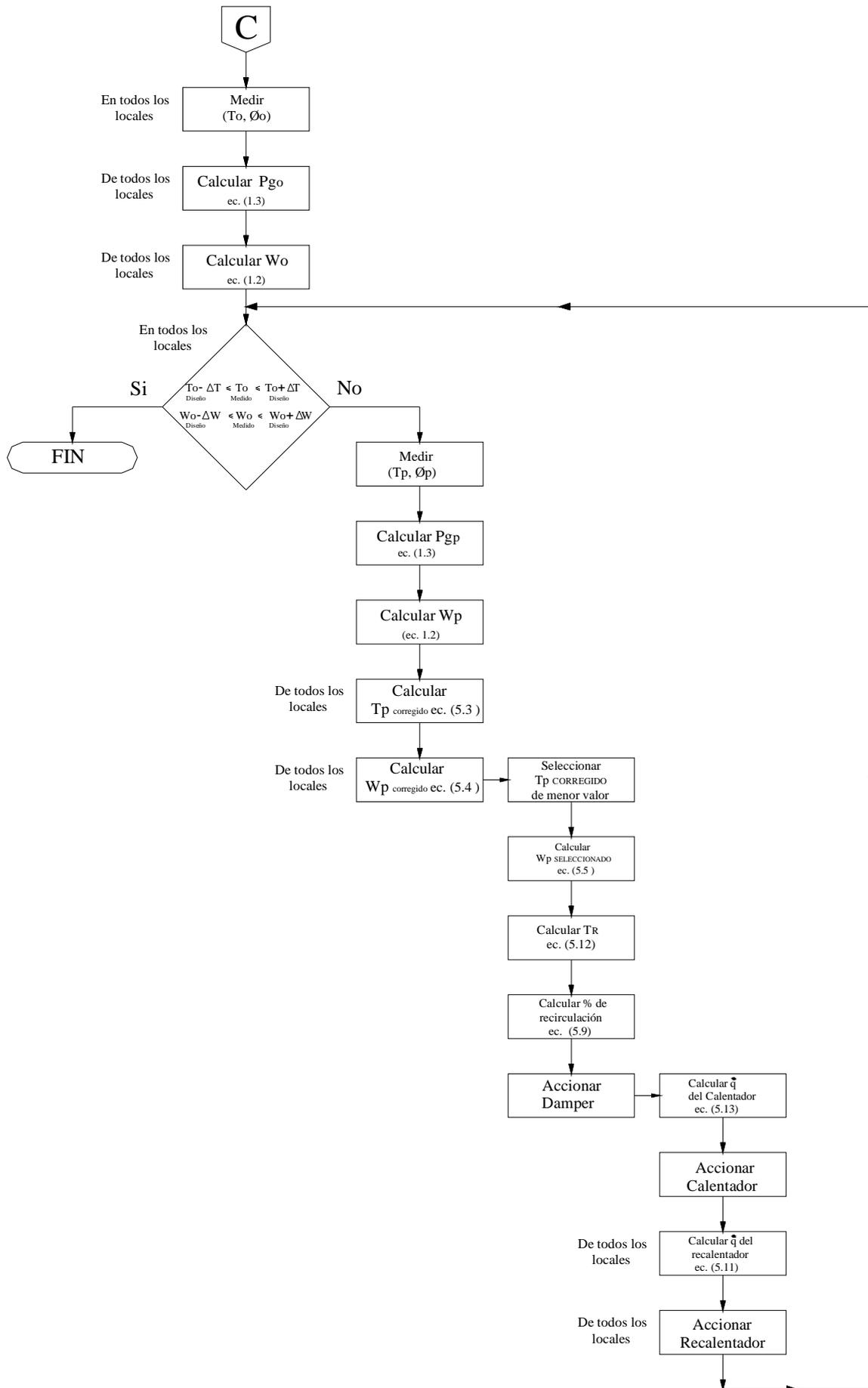
Cuando el programa del autómatas detecte la señal que indica el momento en el que el sistema de aire acondicionado debe dejar de funcionar, entonces el PLC apagará todos los equipos. Esta señal se dará por medio de un pulsador.

De igual manera, cuando el autómatas detecte la señal que indica el momento en el que el sistema de aire acondicionado debe iniciar su funcionamiento, el PLC encenderá los equipos dependiendo de las condiciones internas y externas a los locales. El Diagrama de Flujo es el siguiente:









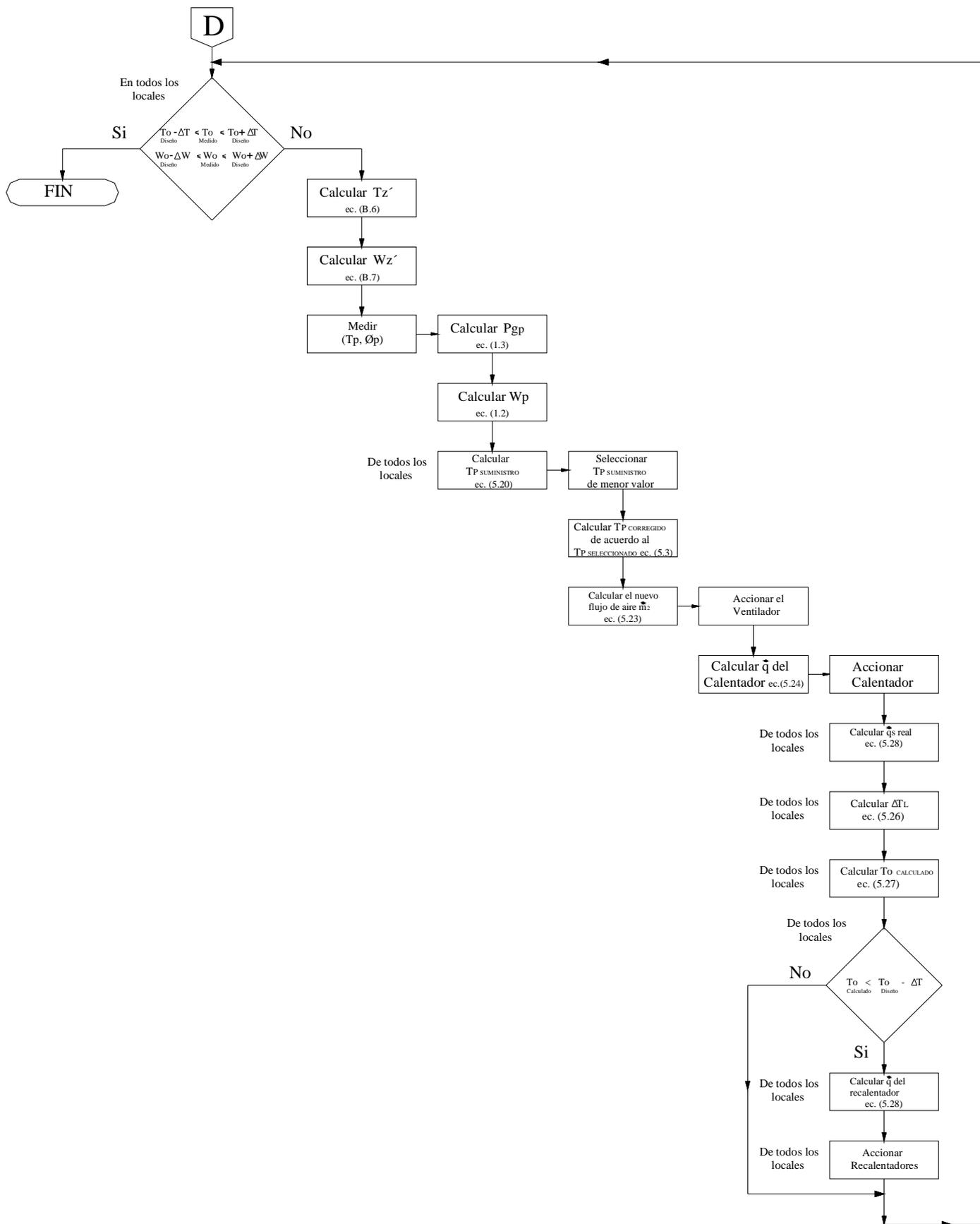


Figura 5.21: Diagrama de Flujo del Sistema de control N° 1.

### 5.1.5 ASIGNAR DIRECCIONES DE ENTRADA/SALIDA A CADA UNO DE LOS COMPONENTES QUE APARECEN EN EL MODELO

El programa de control se desarrollará para suministrar aire acondicionado a 4 locales al mismo tiempo.

#### 5.1.5.1 Entradas

I0.0 (Verde): Pulsador de Encendido ON

I0.1 (Rojo): Pulsador de Apagado OFF

El sistema calcula el flujo de aire necesario en el verano y lo retroalimenta cada vez que se realiza el ciclo, entonces se calculará un flujo diferente hasta que los sensores ubicados en los locales envíen las señales de que se ha alcanzado la condición de confort, instante en el cuál, el sistema de control se estabilizará. Por tal motivo y para mostrar los cálculos realizados por el PLC en el simulador PC Simu, se utilizan los siguientes pulsadores, los cuales no son necesarios en el programa original:

I0.2 (Cian): Pulsador utilizado para estabilizar el sistema y observar los valores de salida para condiciones específicas en el verano

I0.3 (Negro): Pulsador utilizado para regresar al sistema original

**Tabla 5.1:** Codificación de las entradas al PLC del Sistema N° 1.

|                    | AIRE     | LOCALES |       |       |       | AIRE DE    |
|--------------------|----------|---------|-------|-------|-------|------------|
|                    | EXTERIOR | 1       | 2     | 3     | 4     | SUMINISTRO |
| <b>Termostato</b>  | AIW0     | AIW4    | AIW8  | AIW12 | AIW16 | AIW20      |
| <b>Humidistato</b> | AIW2     | AIW6    | AIW10 | AIW14 | AIW18 | AIW22      |

#### 5.1.5.2 Salidas

Q0.0 (Led Cian): Enfriador-Deshumidificador

Q0.1 (Led Azul): Humidificador

Q0.4 (Led Amarillo): Verano

Q0.5 (Led Amarillo): Invierno Seco

Q0.6 (Led Amarillo): Invierno Húmedo  
 Q0.7 (Led Amarillo): Invierno Neutro  
 AQW0: Valor del Porcentaje de Recirculación de aire  
 AQW2: Representación del Porcentaje de Recirculación  
 AQW4: Valor de la energía del calentador general  
 AQW6: Representación de la energía del Calentador General  
 AQW8: Valor de la energía del recalentador 1  
 AQW10: Representación de la energía del Recalentador 1  
 AQW12: Valor de la energía del recalentador 2  
 AQW14: Representación de la energía del Recalentador 2  
 AQW16: Valor de la energía del recalentador 3  
 AQW18: Representación de la energía del Recalentador 3  
 AQW20: Valor de la energía del recalentador 4  
 AQW22: Representación de la energía del Recalentador 4  
 AQW24: Valor del caudal de aire de suministro en scfm  
 AQW26: Simulador del cambio de flujo por el ventilador  
 Q1.0: (Led Verde): Condición de Confort Térmico

### **5.1.6 CODIFICAR LA REPRESENTACIÓN ANTERIOR EN INSTRUCCIONES O SÍMBOLOS INTELIGIBLES POR LA UNIDAD DE PROGRAMACIÓN**

Para desarrollar el programa de control implementado por la lógica de control antes descrita, se necesita que el PLC tenga la capacidad de realizar las operaciones matemáticas básicas (suma, resta, multiplicación y división) así como también operaciones exponenciales y logarítmicas, necesarias para calcular la presión de saturación de líquido, ec. 1.3.

$$P_g = \exp\left(\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6\ln T\right)$$

En el grupo SIEMENS, los autómatas que reúnen estas características son los PLC's con tecnología SIEMENS SIMATIC S7-300 o con tecnología superior, sin embargo el PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 puede realizar todas las operaciones requeridas con excepción de las operaciones exponenciales y logarítmicas. No obstante, este

inconveniente quedaría superado al linealizar en intervalos la curva exponencial de la presión de saturación.

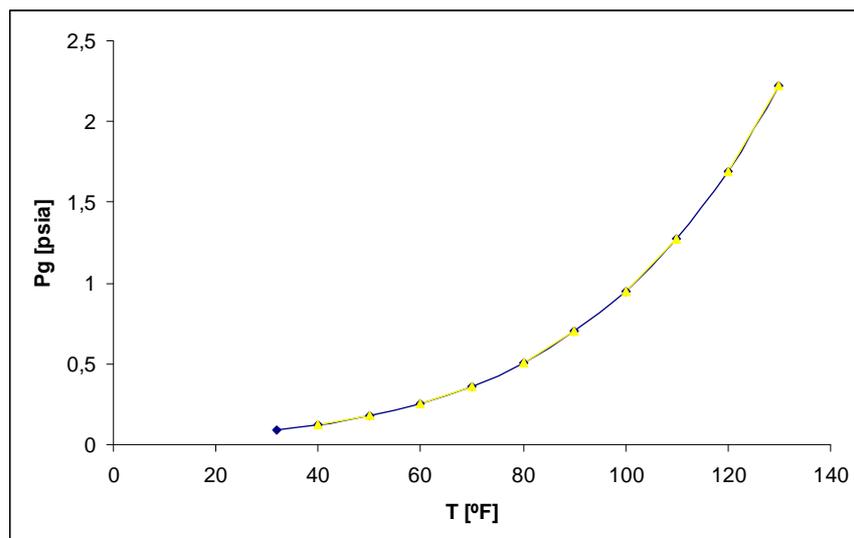
La razón por la cuál se busca la manera de utilizar el PLC S7-200 son las siguientes:

- El programa de control para sistemas de aire acondicionado puede ser realizado satisfactoriamente con el autómeta S7-200
- La programación y operación es más sencilla que con tecnologías más avanzadas que necesitan de mayores conocimientos en el campo de la electrónica como sucede con los PLC's de la familia S7-300 en adelante.
- Se obtiene un gran ahorro económico en el costo inicial.

La forma genérica de la ecuación de linealización es:

$$Pg = K_1 * T + K_2 \quad (5.29)$$

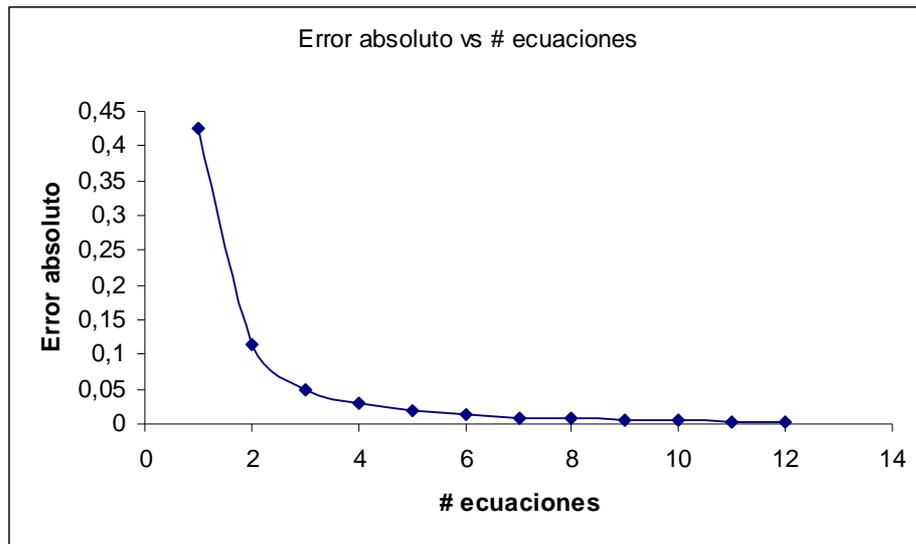
Donde  $K_1$  y  $K_2$  son constantes que dependen del intervalo de temperatura en el cuál se calcula la presión de saturación de líquido.



**Figura 5.22:** Linealización de la curva exponencial de la presión de saturación de líquido en intervalos de 10 °F.

Utilizando la ecuación de la Presión de Saturación de líquido (1.3), tomada de "ASHRAE HandbookCD – Browse 1997 Fundamentals" se ha encontrado los valores correspondientes de  $P_g$  [psia] en un rango de temperatura comprendido entre 32° F y 130° F (rango en el que trabajan los sistemas de aire acondicionado). A continuación se encuentran diferentes ecuaciones lineales que reemplazaran a la ecuación 1.3 y se ha calculado el error absoluto promedio, determinando que el número de

ecuaciones convenientes para la linealización es 10, ya que tiene un error menor que 0.005.



**Figura 5.23:** Error absoluto vs # ecuaciones.

En el Anexo D se muestra el procedimiento para calcular estas ecuaciones y sus errores.

#### 5.1.6.1 Ecuaciones para calcular la Presión de saturación de líquido

- $32^{\circ} \text{ F} \leq T_E \leq 40^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.004134329 * T - 0.043649644$
- $40^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 50^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.005638205 * T - 0.103804679$
- $50^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 60^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.007823904 * T - 0.213089638$
- $60^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 70^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.01069324 * T - 0.38524997$
- $70^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 80^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.01440769 * T - 0.64526135$
- $80^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 90^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.01915338 * T - 1.02491648$
- $90^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 100^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.02514221 * T - 1.56391097$

- $100^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 110^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.03261259 * T - 2.31094919$
- $110^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 120^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.04182983 * T - 3.32484605$
- $120^{\circ} \text{ F} < T_E \leq 130^{\circ} \text{ F}$   
 $P_g = 0.05308613 * T - 4.67560089$

### 5.1.6.2 Valores de Diseño

Número de locales  $n = 4$

Sistema a Nivel del Mar  $\rightarrow P_T = 14.7 \text{ psi}$

A condiciones estándar:  $C_{pe} = 0.245 \text{ Btu/lbm}^{\circ}\text{F}$ ,  $h_{fg} = 1056.77 \text{ Btu/lbm}$

Flujo de aire de diseño = 28000 scfm  $\rightarrow \dot{m}_1 = 35.6374 \text{ lbm/s}$

$T_{O \text{ DISEÑO}} = 77^{\circ} \text{ F}$

$\Phi_{O \text{ DISEÑO}} = 50\% \rightarrow W_{O \text{ DISEÑO}} = 0.00997554$

Condiciones de Confort Térmico

$\Delta T = 1^{\circ} \text{ F} \rightarrow 76^{\circ} \text{ F} \leq T_o \leq 78^{\circ} \text{ F}$

$\Delta \Phi = 5 \% \rightarrow 45 \% \leq \Phi_o \leq 55 \%$

$\rightarrow 0.00896361 \leq W_o \leq 0.010990721$

FCSB = 68 %

Temperatura del Punto de Roció del Aparato ( $T_{pra}$ ) =  $54.5^{\circ} \text{ F}$

Humedad específica del Punto de Roció del Aparato ( $W_{pra}$ ) = 0.009156121

Factor de Desviación del Deshumidificador ( $X$ ) = 20%

Flujo de agua en el Humidificador  $\dot{m}_w = 0.14008 \text{ lbm/s}$

El diagrama de flujo del sistema de control antes indicado se ha modificado para reducir el tamaño del programa, agrupando cálculos comunes en las diferentes estaciones por un solo proceso de cálculos que se realizarán al inicio del programa (Medir  $T$ ,  $\Phi$  y calcular  $W$  para el aire en el exterior, en los locales y el aire de suministro), pero en especial la modificación se ha hecho para adaptarla a la forma de programación del PLC.

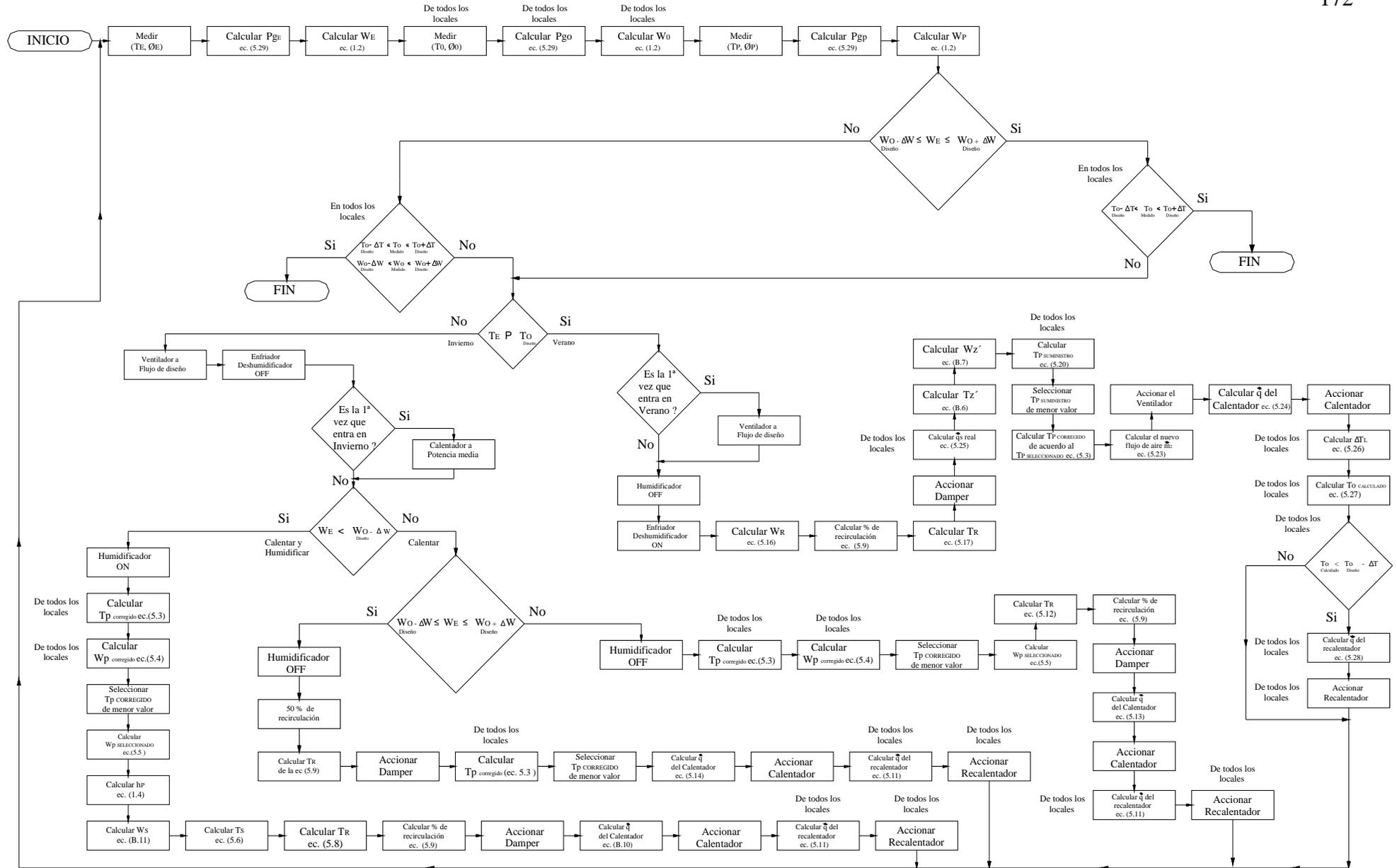


Figura 5.24: Diagrama de Flujo modificado del Sistema de control N° 1.

## PROGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA N° 1

```

NETWORK 1 //INICIO                LD      M0.0
LD      I0.0                       /R      100.0000, VD8
S       M0.0, 1

NETWORK 2 //OFF                    NETWORK 11 //Te <= 40° F
//Apaga todas las memorias,      LDR<=  VD4, 40.00000
//todos los equipos y encera     A       M0.0
//todas las salidas              =       M0.1
//analógicas                      NETWORK 12 //40°F < Te <= 50°F
LD      I0.1                       LDR<=  VD4, 40.00000
R       M0.0, 200                   NOT
R       Q0.0, 50                    AR<=   VD4, 50.00000
FILL   0, AQW0, 100                 A       M0.0
                                     =       M0.2

NETWORK 3 //Encera                 NETWORK 13 //50°F < Te <= 60°F
//Encera desde la variable       LDR<=  VD4, 50.00000
//VW0 hasta 100                  NOT
LD      I0.0                       AR<=   VD4, 60.00000
FILL   0, VW0, 100                 A       M0.0
                                     =       M0.3

NETWORK 4 //Termostato            NETWORK 14 //60°F < Te <= 70°F
//Exterior                       LDR<=  VD4, 60.00000
//Toma el valor de Temp. del     NOT
//aire exterior                  AR<=   VD4, 70.00000
LD      M0.0                       A       M0.0
MOVW   AIW0, VW0                   =       M0.4

NETWORK 5 //pasa del formato      NETWORK 15 //70°F < Te <= 80°F
//palabra a doble palabra       LDR<=  VD4, 70.00000
LD      M0.0                       NOT
MOVW   VW0, VW6                   AR<=   VD4, 80.00000
MUL    +1, VD4                    A       M0.0
                                     =       M0.5

NETWORK 6 //Te (Temperatura       NETWORK 16 //80°F < Te <= 90°F
//del aire exterior)           LDR<=  VD4, 80.00000
LD      M0.0                       NOT
DTR    VD4, VD4                   AR<=   VD4, 90.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.6

NETWORK 7 //Humidistato          NETWORK 17 //90°F < Te <=
//Exterior                       //100° F
//Toma el valor de la humedad    LDR<=  VD4, 90.00000
//relativa exterior             NOT
LD      M0.0                       AR<=   VD4, 100.0000
MOVW   AIW2, VW2                  A       M0.0
                                     =       M0.7

NETWORK 8 //pasa del formato      NETWORK 18 //100°F < Te <=
//palabra a doble palabra       //110° F
LD      M0.0                       LDR<=  VD4, 100.0000
MOVW   VW2, VW10                  NOT
MUL    +1, VD8                   AR<=   VD4, 110.0000
                                     A       M0.0
                                     =       M1.0

NETWORK 9 //HRe [Humedad         NETWORK 10 //HRe considerada
//Relativa del aire exterior]   //(Porque en el PC Simu no se
LD      M0.0                       //puede ingresar números
DTR    VD8, VD8                   //menores que 1)
                                     LD      M0.0
                                     /R      100.0000, VD8
                                     S       M0.0, 1
                                     LDR<=  VD4, 40.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.1
                                     LDR<=  VD4, 40.00000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 50.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.2
                                     LDR<=  VD4, 50.00000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 60.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.3
                                     LDR<=  VD4, 60.00000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 70.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.4
                                     LDR<=  VD4, 70.00000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 80.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.5
                                     LDR<=  VD4, 80.00000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 90.00000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.6
                                     LDR<=  VD4, 90.00000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 100.0000
                                     A       M0.0
                                     =       M0.7
                                     LDR<=  VD4, 100.0000
                                     NOT
                                     AR<=   VD4, 110.0000
                                     A       M0.0
                                     =       M1.0

```

```

NETWORK 19 //110°F < Te <=
//120° F
LDR<= VD4, 110.0000
NOT
AR<= VD4, 120.0000
A M0.0
= M1.1

NETWORK 20 //Te > 120° F
LDR<= VD4, 120.0000
NOT
A M0.0
= M1.2

NETWORK 21 //Pg exterior (T
//<= 40°F)
//ec. 5.29
LD M0.1
MOVR VD4, VD12
*R 0.004134329, VD12
-R 0.04364961, VD12

NETWORK 22 //Pg exterior (40
//< T <= 50°F)
//ec. 5.29
LD M0.2
MOVR VD4, VD12
*R 0.005638205, VD12
-R 0.1038047, VD12

NETWORK 23 //Pg exterior (50
//< T <= 60° F)
//ec. 5.29
LD M0.3
MOVR VD4, VD12
*R 0.007823904, VD12
-R 0.2130896, VD12

NETWORK 24 //Pg exterior (60 <
//T <= 70° F)
//ec. 5.29
LD M0.4
MOVR VD4, VD12
*R 0.01069324, VD12
-R 0.3852500, VD12

NETWORK 25 //Pg exterior (70 <
//T <= 80° F)
//ec. 5.29
LD M0.5
MOVR VD4, VD12
*R 0.01440769, VD12
-R 0.6452613, VD12

NETWORK 26 //Pg exterior (80 <
//T <= 90° F)
//ec. 5.29
LD M0.6
MOVR VD4, VD12
*R 0.01915338, VD12
-R 1.024917, VD12

NETWORK 27 //Pg exterior (90 <
//T <= 100° F)
//ec. 5.29
LD M0.7
MOVR VD4, VD12
*R 0.02514221, VD12
-R 1.563911, VD12

NETWORK 28 //Pg exterior (100
//< T <= 110° F)
//ec. 5.29
LD M1.0
MOVR VD4, VD12
*R 0.03261259, VD12
-R 2.310949, VD12

NETWORK 29 //Pg exterior (110
//< T <= 120° F)
//ec. 5.29
LD M1.1
MOVR VD4, VD12
*R 0.04182983, VD12
-R 3.324846, VD12

NETWORK 30 //Pg exterior (T >
//120 ° F)
//ec. 5.29
LD M1.2
MOVR VD4, VD12
*R 0.05308613, VD12
-R 4.675601, VD12

NETWORK 31 //HR * Pg
//(exterior)
LD M0.0
MOVR VD8, VD16
*R VD12, VD16

NETWORK 32 //P total - HR*Pg
//(exterior)
//P total = 14.7 psi
LD M0.0
MOVR 14.70000, VD20
-R VD16, VD20

NETWORK 33 //0.622*HR*Pg
//(exterior)
LD M0.0
MOVR VD16, VD24
*R 0.6220000, VD24

NETWORK 34 //W exterior
//=(0.622*HR*Pg)/(Pt-HR*Pg)
LD M0.0
MOVR VD24, VD28
/R VD20, VD28

NETWORK 35 //Termostato en el
//Local 1
//Toma el valor de la
//temperatura del aire en el
//local 1
LD M0.0

```

```

MOVW   AIW4, VW32

NETWORK 36 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW   VW32, VW38
MUL    +1, VD36

NETWORK 37 //To 1
//(Temperatura del aire en el
//local 1)
LD      M0.0
DTR    VD36, VD36

NETWORK 38 //Humidistato en
//el Local 1
//Toma el valor de la humedad
//relativa del local 1
LD      M0.0
MOVW   AIW6, VW34

NETWORK 39 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW   VW34, VW42
MUL    +1, VD40

NETWORK 40 //HRO 1(Humedad Re-
//lativa del aire del local 1)
LD      M0.0
DTR    VD40, VD40

NETWORK 41 //HRO 1 (Porque en
//PC Simu no se puede ingresar
//números menores que 1)
LD      M0.0
/R     100.0000, VD40

NETWORK 42 //To1 <= 40° F
LDR<=  VD36, 40.00000
A      M0.0
=      M1.3

NETWORK 43 //40°F < To1 <=
//50°F
LDR<=  VD36, 40.00000
NOT
AR<=   VD36, 50.00000
A      M0.0
=      M1.4

NETWORK 44 //50°F < To1 <=
//60°F
LDR<=  VD36, 50.00000
NOT
AR<=   VD36, 60.00000
A      M0.0
=      M1.5

NETWORK 45 //60°F < To1 <=
//70°F
LDR<=  VD36, 60.00000

NOT
AR<=   VD36, 70.00000
A      M0.0
=      M1.6

NETWORK 46 //70°F < To1 <=
//80°F
LDR<=  VD36, 70.00000
NOT
AR<=   VD36, 80.00000
A      M0.0
=      M1.7

NETWORK 47 //80°F < To1 <=
//90°F
LDR<=  VD36, 80.00000
NOT
AR<=   VD36, 90.00000
A      M0.0
=      M2.0

NETWORK 48 //90°F < To1 <=
//100°F
LDR<=  VD36, 90.00000
NOT
AR<=   VD36, 100.0000
A      M0.0
=      M2.1

NETWORK 49 //100°F < To1 <=
//110°F
LDR<=  VD36, 100.0000
NOT
AR<=   VD36, 110.0000
A      M0.0
=      M2.2

NETWORK 50 //110°F < To1 <=
//120°F
LDR<=  VD36, 110.0000
NOT
AR<=   VD36, 120.0000
A      M0.0
=      M2.3

NETWORK 51 //To1 > 120°F
LDR<=  VD36, 120.0000
NOT
A      M0.0
=      M2.4

NETWORK 52 //Pg del Local 1
//(T <= 40°F)
LD      M1.3
MOVR   VD36, VD44
*R     0.004134329, VD44
-R     0.04364961, VD44

NETWORK 53 //Pg del Local 1
//(40 < T <= 50°F)
LD      M1.4
MOVR   VD36, VD44

```

```

*R      0.005638205, VD44
-R      0.1038047, VD44

NETWORK 54 //Pg del Local 1
//(50 < T <= 60° F)
LD      M1.5
MOVR    VD36, VD44
*R      0.007823904, VD44
-R      0.2130896, VD44

NETWORK 55 //Pg del Local 1
//(60 < T <= 70° F)
LD      M1.6
MOVR    VD36, VD44
*R      0.01069324, VD44
-R      0.3852500, VD44

NETWORK 56 //Pg del Local 1
//(70 < T <= 80° F)
LD      M1.7
MOVR    VD36, VD44
*R      0.01440769, VD44
-R      0.6452613, VD44

NETWORK 57 //Pg del Local 1
//(80 < T <= 90° F)
LD      M2.0
MOVR    VD36, VD44
*R      0.01915338, VD44
-R      1.024917, VD44

NETWORK 58 //Pg del Local 1
//(90 < T <= 100° F)
LD      M2.1
MOVR    VD36, VD44
*R      0.02514221, VD44
-R      1.563911, VD44

NETWORK 59 //Pg del Local 1
//(100 < T <= 110° F)
LD      M2.2
MOVR    VD36, VD44
*R      0.03261259, VD44
-R      2.310949, VD44

NETWORK 60 //Pg del Local 1
//(110 < T <= 120° F)
LD      M2.3
MOVR    VD36, VD44
*R      0.04182983, VD44
-R      3.324846, VD44

NETWORK 61 //Pg del Local 1 (T
//> 120 ° F)
LD      M2.4
MOVR    VD36, VD44
*R      0.05308613, VD44
-R      4.675601, VD44

NETWORK 62 //HR * Pg (local 1)
LD      M0.0
MOVR    VD40, VD48

*R      VD44, VD48

NETWORK 63 //P total - HR*Pg
//(local 1)
LD      M0.0
MOVR    14.70000, VD52
-R      VD48, VD52

NETWORK 64 //0.622*HR*Pg
//(local 1)
LD      M0.0
MOVR    0.6220000, VD56
*R      VD48, VD56

NETWORK 65 //Wo 1 (local 1)
//(=(0.622*HRo*Pgo)/(Pt-
HRo*Pgo)
LD      M0.0
MOVR    VD56, VD60
/R      VD52, VD60

NETWORK 66 //Termostato en el
//Local 2
//Toma el valor de la
//temperatura en el local 2
LD      M0.0
MOVW    AIW8, VW64

NETWORK 67 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW    VW64, VW70
MUL     +1, VD68

NETWORK 68 //To 2 (Temperatura
//del aire en el local 2)
LD      M0.0
DTR     VD68, VD68

NETWORK 69 //Humidistato en el
//Local 2
//Toma el valor de la humedad
//del local 2
LD      M0.0
MOVW    AIW10, VW66

NETWORK 70 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW    VW66, VW74
MUL     +1, VD72

NETWORK 71 //HRo 2 (Humedad
Re-//lativa del aire del local
2)
LD      M0.0
DTR     VD72, VD72

NETWORK 72 //HRo 2 considerada
//(Porque en el PC Simu no se
//puede ingresar números
//menores que 1)

```

```

LD      M0.0
/R      100.0000, VD72

NETWORK 73 //To2 <= 40°F
LDR<=  VD68, 40.00000
A      M0.0
=      M2.5

NETWORK 74 //40°F < To2 <=
//50°F
LDR<=  VD68, 40.00000
NOT
AR<=   VD68, 50.00000
A      M0.0
=      M2.6

NETWORK 75 //50°F < To2 <=
//60°F
LDR<=  VD68, 50.00000
NOT
AR<=   VD68, 60.00000
A      M0.0
=      M2.7

NETWORK 76 //60°F < To2 <=
//70°F
LDR<=  VD68, 60.00000
NOT
AR<=   VD68, 70.00000
A      M0.0
=      M3.0

NETWORK 77 //70°F < To2 <=
//80°F
LDR<=  VD68, 70.00000
NOT
AR<=   VD68, 80.00000
A      M0.0
=      M3.1

NETWORK 78 //80°F < To2 <=
//90°F
LDR<=  VD68, 80.00000
NOT
AR<=   VD68, 90.00000
A      M0.0
=      M3.2

NETWORK 79 //90°F < To2 <=
//100°F
LDR<=  VD68, 90.00000
NOT
AR<=   VD68, 100.0000
A      M0.0
=      M3.3

NETWORK 80 //100°F < To2 <=
//110°F
LDR<=  VD68, 100.0000
NOT
AR<=   VD68, 110.0000
A      M0.0

LD      M3.4
=      M3.4

NETWORK 81 //110°F < To2 <=
//120°F
LDR<=  VD68, 110.0000
NOT
AR<=   VD68, 120.0000
A      M0.0
=      M3.5

NETWORK 82 //To2 > 120°F
LDR<=  VD68, 120.0000
NOT
A      M0.0
=      M3.6

NETWORK 83 //Pg del Local 2 (T
//<= 40°F)
LD      M2.5
MOVR   VD68, VD76
*R     0.004134329, VD76
-R     0.04364961, VD76

NETWORK 84 //Pg del Local 2
(40 //< T <= 50°F)
LD      M2.6
MOVR   VD68, VD76
*R     0.005638205, VD76
-R     0.1038047, VD76

NETWORK 85 //Pg del Local 2
(50 //< T <= 60° F)
LD      M2.7
MOVR   VD68, VD76
*R     0.007823904, VD76
-R     0.2130896, VD76

NETWORK 86 //Pg del Local 2
(60 //< T <= 70° F)
LD      M3.0
MOVR   VD68, VD76
*R     0.01069324, VD76
-R     0.3852500, VD76

NETWORK 87 //Pg del Local 2
//(70 < T <= 80° F)
LD      M3.1
MOVR   VD68, VD76
*R     0.01440769, VD76
-R     0.6452613, VD76

NETWORK 88 //Pg del Local 2
//(80 < T <= 90° F)
LD      M3.2
MOVR   VD68, VD76
*R     0.01915338, VD76
-R     1.024917, VD76

NETWORK 89 //Pg del Local 2
//(90 < T <= 100° F)
LD      M3.3
MOVR   VD68, VD76

```

```

*R      0.02514221, VD76
-R      1.563911, VD76

NETWORK 90 //Pg del Local 2
//(100 < T <= 110° F)
LD      M3.4
MOVR   VD68, VD76
*R      0.03261259, VD76
-R      2.310949, VD76

NETWORK 91 //Pg del Local 2
//(110 < T <= 120° F)
LD      M3.5
MOVR   VD68, VD76
*R      0.04182983, VD76
-R      3.324846, VD76

NETWORK 92 //Pg del Local 2 (T
//> 120 ° F)
LD      M3.6
MOVR   VD68, VD76
*R      0.05308613, VD76
-R      4.675601, VD76

NETWORK 93 //HR * Pg (local 2)
LD      M0.0
MOVR   VD72, VD80
*R      VD76, VD80

NETWORK 94 //P total - HR*Pg
//(local 2)
LD      M0.0
MOVR   14.70000, VD84
-R      VD80, VD84

NETWORK 95 //0.622*HR*Pg
//(local 2)
LD      M0.0
MOVR   0.6220000, VD88
*R      VD80, VD88

NETWORK 96 //Wo 2 (local 2)
//(0.622*HRo*Pgo)/(Pt-HRo*Pgo)
LD      M0.0
MOVR   VD88, VD92
/R      VD84, VD92

NETWORK 97 //Termostato en el
//Local 3
//Toma el valor de la
//temperatura en el local 3
LD      M0.0
MOVW   AIW12, VW96

NETWORK 98 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW   VW96, VW102
MUL    +1, VD100

NETWORK 99 //To 3 (Temperatura
//del aire en el local 3)

LD      M0.0
DTR    VD100, VD100

NETWORK 100 //Humidistato en
el //Local 3
//Toma el valor de la humedad
//en el local 3
LD      M0.0
MOVW   AIW14, VW98

NETWORK 101 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW   VW98, VW106
MUL    +1, VD104

NETWORK 102 //HRO 3(Humedad
Re-//lativa del aire del local
3)
LD      M0.0
DTR    VD104, VD104

NETWORK 103 //HRO 3 (Porque en
//el PC Simu no se puede in-
//gresar números menores que
3)
LD      M0.0
/R      100.0000, VD104

NETWORK 104 //To3 <= 40°F
LDR<=  VD100, 40.00000
A      M0.0
=      M3.7

NETWORK 105 //40°F<To3<= 50°F
LDR<=  VD100, 40.00000
NOT
AR<=   VD100, 50.00000
A      M0.0
=      M4.0

NETWORK 106 //50°F<To3<= 60°F
LDR<=  VD100, 50.00000
NOT
AR<=   VD100, 60.00000
A      M0.0
=      M4.1

NETWORK 107 //60°F <To3<= 70°F
LDR<=  VD100, 60.00000
NOT
AR<=   VD100, 70.00000
A      M0.0
=      M4.2

NETWORK 108 //70°F <To3<= 80°F
LDR<=  VD100, 70.00000
NOT
AR<=   VD100, 80.00000
A      M0.0
=      M4.3

```

```

NETWORK 109 //80°F <To3<= 90°F
LDR<= VD100, 80.00000
NOT
AR<= VD100, 90.00000
A M0.0
= M4.4

NETWORK 110 //90°F<To3<= 100°F
LDR<= VD100, 90.00000
NOT
AR<= VD100, 100.0000
A M0.0
= M4.5

NETWORK 111 //100°F<To3<=110°F
LDR<= VD100, 100.0000
NOT
AR<= VD100, 110.0000
A M0.0
= M4.6

NETWORK 112 //110°F<To3<=120°F
LDR<= VD100, 110.0000
NOT
AR<= VD100, 120.0000
A M0.0
= M4.7

NETWORK 113 //To3 > 120°F
LDR<= VD100, 120.0000
NOT
A M0.0
= M5.0

NETWORK 114 //Pg del Local 3 (T
//<= 40°F)
LD M3.7
MOVR VD100, VD108
*R 0.004134329, VD108
-R 0.04364961, VD108

NETWORK 115 //Pg del Local 3
//(40 < T <= 50°F)
LD M4.0
MOVR VD100, VD108
*R 0.005638205, VD108
-R 0.1038047, VD108

NETWORK 116 //Pg del Local 3
//(50 < T <= 60° F)
LD M4.1
MOVR VD100, VD108
*R 0.007823904, VD108
-R 0.2130896, VD108

NETWORK 117 //Pg del Local 3
//(60 < T <= 70° F)
LD M4.2
MOVR VD100, VD108
*R 0.01069324, VD108
-R 0.3852500, VD108

NETWORK 118 //Pg del Local 3
//(70 < T <= 80° F)
LD M4.3
MOVR VD100, VD108
*R 0.01440769, VD108
-R 0.6452613, VD108

NETWORK 119 //Pg del Local 3
//(80 < T <= 90° F)
LD M4.4
MOVR VD100, VD108
*R 0.01915338, VD108
-R 1.024917, VD108

NETWORK 120 //Pg del Local 3
//(90 < T <= 100° F)
LD M4.5
MOVR VD100, VD108
*R 0.02514221, VD108
-R 1.563911, VD108

NETWORK 121 //Pg del Local 3
//(100 < T <= 110° F)
LD M4.6
MOVR VD100, VD108
*R 0.03261259, VD108
-R 2.310949, VD108

NETWORK 122 //Pg del Local 3
//(110 < T <= 120° F)
LD M4.7
MOVR VD100, VD108
*R 0.04182983, VD108
-R 3.324846, VD108

NETWORK 123 //Pg del Local 3
//(T > 120 ° F)
LD M5.0
MOVR VD100, VD108
*R 0.05308613, VD108
-R 4.675601, VD108

NETWORK 124 //HR*Pg (local 3)
LD M0.0
MOVR VD104, VD112
*R VD108, VD112

NETWORK 125 //P total - HR*Pg
//(local 3)
LD M0.0
MOVR 14.70000, VD116
-R VD112, VD116

NETWORK 126 //0.622*HR*Pg
//(local 3)
LD M0.0
MOVR 0.6220000, VD120
*R VD112, VD120

NETWORK 127 //Wo 3 (local 3)
//=0.622*HRo*Pgo/(Pt-HRo*Pgo)
LD M0.0

```

```

MOVR   VD120, VD124
/R     VD116, VD124

NETWORK 128 //Termostato en el
//Local 4
//Toma el valor de la
//temperatura en el local 4
LD     M0.0
MOVW   AIW16, VW128

NETWORK 129 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD     M0.0
MOVW   VW128, VW134
MUL    +1, VD132

NETWORK 130 //To 4 (Temperatura
//del aire en el local 4)
LD     M0.0
DTR    VD132, VD132

NETWORK 131 //Humidistato en el
//Local 4
//Toma el valor de la humedad
//en el local 4
LD     M0.0
MOVW   AIW18, VW130

NETWORK 132 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD     M0.0
MOVW   VW130, VW138
MUL    +1, VD136

NETWORK 133 //HRo 4 (Humedad
//Relativa del aire del local4)
LD     M0.0
DTR    VD136, VD136

NETWORK 134 //HRo 4 (Porque en
//PC Simu no se puede ingresar
//números menores que 1)
LD     M0.0
/R     100.0000, VD136

NETWORK 135 //To4 <= 40°F
LDR<= VD132, 40.00000
A      M0.0
=      M5.1

NETWORK 136 //40°F <To4<= 50°F
LDR<= VD132, 40.00000
NOT
AR<=  VD132, 50.00000
A      M0.0
=      M5.2

NETWORK 137 //50°F <To4<= 60°F
LDR<= VD132, 50.00000
NOT
AR<=  VD132, 60.00000
A      M0.0

=      M5.3

NETWORK 138 //60°F <To4<= 70°F
LDR<= VD132, 60.00000
NOT
AR<=  VD132, 70.00000
A      M0.0
=      M5.4

NETWORK 139 //70°F <To4<= 80°F
LDR<= VD132, 70.00000
NOT
AR<=  VD132, 80.00000
A      M0.0
=      M5.5

NETWORK 140 //80°F <To4<= 90°F
LDR<= VD132, 80.00000
NOT
AR<=  VD132, 90.00000
A      M0.0
=      M5.6

NETWORK 141 //90°F<To4<= 100°F
LDR<= VD132, 90.00000
NOT
AR<=  VD132, 100.0000
A      M0.0
=      M5.7

NETWORK 142 //100°F<To4<=110°F
LDR<= VD132, 100.0000
NOT
AR<=  VD132, 110.0000
A      M0.0
=      M6.0

NETWORK 143 //110°F<To4<=120°F
LDR<= VD132, 110.0000
NOT
AR<=  VD132, 120.0000
A      M0.0
=      M6.1

NETWORK 144 //To4 > 120°F
LDR<= VD132, 120.0000
NOT
A      M0.0
=      M6.2

NETWORK 145 //Pg del Local 4
//(T <= 40°F)
LD     M5.1
MOVW   VD132, VD140
*R     0.004134329, VD140
-R     0.04364961, VD140

NETWORK 146 //Pg del Local 4
//(40 < T <= 50°F)
LD     M5.2
MOVW   VD132, VD140
*R     0.005638205, VD140
-R     0.1038047, VD140

```

```

NETWORK 147 //Pg del Local 4
//(50 < T <= 60° F)
LD      M5.3
MOVR    VD132, VD140
*R      0.007823904, VD140
-R      0.2130896, VD140

NETWORK 148 //Pg del Local 4
//(60 < T <= 70° F)
LD      M5.4
MOVR    VD132, VD140
*R      0.01069324, VD140
-R      0.3852500, VD140

NETWORK 149 //Pg del Local 4
//(70 < T <= 80° F)
LD      M5.5
MOVR    VD132, VD140
*R      0.01440769, VD140
-R      0.6452613, VD140

NETWORK 150 //Pg del Local 4
//(80 < T <= 90° F)
LD      M5.6
MOVR    VD132, VD140
*R      0.01915338, VD140
-R      1.024917, VD140

NETWORK 151 //Pg del Local 4
//(90 < T <= 100° F)
LD      M5.7
MOVR    VD132, VD140
*R      0.02514221, VD140
-R      1.563911, VD140

NETWORK 152 //Pg del Local 4
//(100 < T <= 110° F)
LD      M6.0
MOVR    VD132, VD140
*R      0.03261259, VD140
-R      2.310949, VD140

NETWORK 153 //Pg del Local 4
//(110 < T <= 120° F)
LD      M6.1
MOVR    VD132, VD140
*R      0.04182983, VD140
-R      3.324846, VD140

NETWORK 154 //Pg del Local 4
//(T > 120 ° F)
LD      M6.2
MOVR    VD132, VD140
*R      0.05308613, VD140
-R      4.675601, VD140

NETWORK 155 //HR*Pg (local 4)
LD      M0.0
MOVR    VD136, VD144
*R      VD140, VD144

NETWORK 156 //P total - HR*Pg
//(local 4)
LD      M0.0
MOVR    14.70000, VD148
-R      VD144, VD148

NETWORK 157 //0.622*HR*Pg
//(local 4)
LD      M0.0
MOVR    0.6220000, VD152
*R      VD144, VD152

NETWORK 158 //Wo 4 (local 4)
//=0.622*HRo*Pgo/(Pt-HRo*Pgo)
LD      M0.0
MOVR    VD152, VD156
/R      VD148, VD156

NETWORK 159 //Termostato en el
//Aire de Suministro
//Toma el valor del aire de
//suministro
LD      M0.0
MOVW    AIW20, VW160

NETWORK 160 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW    VW160, VW166
MUL     +1, VD164

NETWORK 161 //Tp (Temperatura
//en el aire de suministro)
LD      M0.0
DTR     VD164, VD164

NETWORK 162 //Humidistato en
//el Aire de Suministro
//Toma el valor de la humedad
//del aire de suministro
LD      M0.0
MOVW    AIW22, VW162

NETWORK 163 //pasa del formato
//palabra a doble palabra
LD      M0.0
MOVW    VW162, VW170
MUL     +1, VD168

NETWORK 164 //HRp (Humedad
//Relativa en el aire de
//suministro)
LD      M0.0
DTR     VD168, VD168

NETWORK 165 //HRp considerada
//(Porque en el PC Simu no se
//puede ingresar números
//menores que 1)
LD      M0.0
/R      100.0000, VD168

```

NETWORK 166 //Tp <= 40°F  
 LDR<= VD164, 40.00000  
 A M0.0  
 = M6.3

NETWORK 167 //40°F < Tp <= 50°F  
 LDR<= VD164, 40.00000  
 NOT  
 AR<= VD164, 50.00000  
 A M0.0  
 = M6.4

NETWORK 168 //50°F < Tp <= 60°F  
 LDR<= VD164, 50.00000  
 NOT  
 AR<= VD164, 60.00000  
 A M0.0  
 = M6.5

NETWORK 169 //60°F < Tp <= 70°F  
 LDR<= VD164, 60.00000  
 NOT  
 AR<= VD164, 70.00000  
 A M0.0  
 = M6.6

NETWORK 170 //70°F < Tp <= 80°F  
 LDR<= VD164, 70.00000  
 NOT  
 AR<= VD164, 80.00000  
 A M0.0  
 = M6.7

NETWORK 171 //80°F < Tp <= 90°F  
 LDR<= VD164, 80.00000  
 NOT  
 AR<= VD164, 90.00000  
 A M0.0  
 = M7.0

NETWORK 172 //90°F <Tp<= 100°F  
 LDR<= VD164, 90.00000  
 NOT  
 AR<= VD164, 100.0000  
 A M0.0  
 = M7.1

NETWORK 173 //100°F<Tp<= 110°F  
 LDR<= VD164, 100.0000  
 NOT  
 AR<= VD164, 110.0000  
 A M0.0  
 = M7.2

NETWORK 174 //110°F<Tp<= 120°F  
 LDR<= VD164, 110.0000  
 NOT  
 AR<= VD164, 120.0000  
 A M0.0  
 = M7.3

NETWORK 175 //Tp > 120°F  
 LDR<= VD164, 120.0000

NOT  
 A M0.0  
 = M7.4

NETWORK 176 //Pg del aire de  
 //suministro (T <= 40°F)  
 LD M6.3  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.004134329, VD172  
 -R 0.04364961, VD172

NETWORK 177 //Pg del aire de  
 //suministro (40 < T <= 50°F)  
 LD M6.4  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.005638205, VD172  
 -R 0.1038047, VD172

NETWORK 178 //Pg del aire de  
 //suministro (50 < T <= 60° F)  
 LD M6.5  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.007823904, VD172  
 -R 0.2130896, VD172

NETWORK 179 //Pg del aire de  
 //suministro (60 < T <= 70° F)  
 LD M6.6  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.01069324, VD172  
 -R 0.3852500, VD172

NETWORK 180 //Pg del aire de  
 //suministro (70 < T <= 80° F)  
 LD M6.7  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.01440769, VD172  
 -R 0.6452613, VD172

NETWORK 181 //Pg del aire de  
 //suministro (80 < T <= 90° F)  
 LD M7.0  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.01915338, VD172  
 -R 1.024917, VD172

NETWORK 182 //Pg del aire de  
 //suministro (90 < T <= 100°  
 F)  
 LD M7.1  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.02514221, VD172  
 -R 1.563911, VD172

NETWORK 183 //Pg del aire de  
 //suministro (100 < T <=  
 110°F)  
 LD M7.2  
 MOVR VD164, VD172  
 \*R 0.03261259, VD172  
 -R 2.310949, VD172

```

NETWORK 184 //Pg del aire de
//suministro (110 < T <= 120°F)
LD      M7.3
MOVR    VD164, VD172
*R      0.04182983, VD172
-R      3.324846, VD172

NETWORK 185 //Pg del aire de
//suministro (T > 120 ° F)
LD      M7.4
MOVR    VD164, VD172
*R      0.05308613, VD172
-R      4.675601, VD172

NETWORK 186 //HR * Pg (aire de
//suministro)
LD      M0.0
MOVR    VD168, VD176
*R      VD172, VD176

NETWORK 187 //P total - HR*Pg
//(aire de suministro)
LD      M0.0
MOVR    14.70000, VD180
-R      VD176, VD180

NETWORK 188 //0.622*HR*Pg
//(aire de suministro)
LD      M0.0
MOVR    0.6220000, VD184
*R      VD176, VD184

NETWORK 189 //W del aire de
//suministro=(0.622*HR*Pg)/(Pt/
/-HR*Pg)
LD      M0.0
MOVR    VD184, VD188
/R      VD180, VD188

NETWORK 190 //Condiciones de
//Humedad exterior semejante a
//la de diseño, No se hace
//control de Humedad
//Wo (diseño) - delta W <= We
//(medido)<=Wo(diseño)+delta W
//Wo (diseño) - delta W =
//0.00896361
//Wo (diseño) + delta W =
//0.010990721
LDR>=  VD28, 0.008963610
AR<=   VD28, 0.01099072
A       M0.0
=       M13.0

NETWORK 191 //Condiciones de
//Humedad exterior diferente a
//la de diseño, Se controla la
//Humedad
LDR>=  VD28, 0.008963610
NOT
LDR<=  VD28, 0.01099072
NOT

NETWORK 184 //Pg del aire de
//suministro (110 < T <= 120°F)
OLD
A       M0.0
=       M13.1

NETWORK 192 //Condiciones de
//Confort térmico en el local
//1, sin control de Humedad
//To (diseño) - delta T <= To
//(medido)<=To(diseño)+delta T
//Wo (diseño) - delta W <= Wo
//(medido)<=Wo(diseño)+delta W
LDR>=  VD36, 76.00000
AR<=   VD36, 78.00000
A       M13.0
S       M13.2, 1

NETWORK 193 //Condiciones de
//Confort térmico en el local
//2, sin control de humedad
LDR>=  VD68, 76.00000
AR<=   VD68, 78.00000
A       M13.0
S       M13.3, 1

NETWORK 194 //Condiciones de
//Confort térmico en el local
//3, sin control de humedad
LDR>=  VD100, 76.00000
AR<=   VD100, 78.00000
A       M13.0
S       M13.4, 1

NETWORK 195 //Condiciones de
//Confort térmico en el local
//4, sin control de humedad
LDR>=  VD132, 76.00000
AR<=   VD132, 78.00000
A       M13.0
S       M13.5, 1

NETWORK 196 //Condiciones de
//Confort térmico en todos los
//locales, sin control de
//humedad
LD      M13.2
A       M13.3
A       M13.4
A       M13.5
S       Q1.0, 1
R       M8.1, 1

NETWORK 197 //Condición de No
//confort térmico en el Local
//1, sin control de humedad
//To (medido) < To (diseño) -
//delta T
LDR>=  VD36, 76.00000
NOT
LDR<=  VD36, 78.00000
NOT
OLD
A       M13.0

```

```

S      M8.1, 1

NETWORK 198 //Condición de No
//confort térmico en el Local
//2, sin control de humedad
LDR>= VD68, 76.00000
NOT
LDR<= VD68, 78.00000
NOT
OLD
A      M13.0
S      M8.1, 1

NETWORK 199 //Condición de No
//confort térmico en el Local
//3, sin control de humedad
LDR>= VD100, 76.00000
NOT
LDR<= VD100, 78.00000
NOT
OLD
A      M13.0
S      M8.1, 1

NETWORK 200 //Condición de No
//confort térmico en el Local
//4, sin control de humedad
//To (medido) < To (diseño) -
//delta T
LDR>= VD132, 76.00000
NOT
LDR<= VD132, 78.00000
NOT
OLD
A      M13.0
S      M8.1, 1

NETWORK 201 //Si las condicio-
//nes en los locales no son
//las de confort térmico, sin
//control de humedad
LD     M8.1
R      Q1.0, 1
R      M11.2, 1
R      M11.3, 1
R      M11.4, 1
R      M11.5, 1

NETWORK 202 //Condiciones
//Confort térmico local 1,
//control total
//To (diseño) - delta T <= To
//(medido)<=To(diseño)+delta T
//Wo (diseño) - delta W <= Wo
//(medido)<=Wo(diseño)+delta W
LDR>= VD36, 76.00000
AR<=  VD36, 78.00000
AR>=  VD60, 0.008963610
AR<=  VD60, 0.01099072
A      M13.1
S      M7.5, 1

NETWORK 203 //Condiciones
//Confort térmico local 2,
//control total
LDR>=  VD68, 76.00000
AR<=  VD68, 78.00000
AR>=  VD92, 0.008963610
AR<=  VD92, 0.01099072
A      M13.1
S      M7.6, 1

NETWORK 204 //Condiciones
//Confort térmico local 3,
//control total
LDR>=  VD100, 76.00000
AR<=  VD100, 78.00000
AR>=  VD124, 0.008963610
AR<=  VD124, 0.01099072
A      M13.1
S      M7.7, 1

NETWORK 205 //Condiciones
//Confort térmico local 4,
//control total
LDR>=  VD132, 76.00000
AR<=  VD132, 78.00000
AR>=  VD156, 0.008963610
AR<=  VD156, 0.01099072
A      M13.1
S      M8.0, 1

NETWORK 206 //Confort térmico
//en todos los locales,control
//total
LD     M7.5
A      M7.6
A      M7.7
A      M8.0
S      Q1.0, 1
R      M8.1, 1

NETWORK 207 //Condición No
//confort térmico Local 1,
//control total
//To (medido) < To (diseño) -
//delta T
LDR>=  VD36, 76.00000
NOT
LDR<=  VD36, 78.00000
NOT
OLD
LDR>=  VD60, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<=  VD60, 0.01099072
NOT
OLD
A      M13.1
S      M8.1, 1

NETWORK 208 //Condición No
//confort térmico Local 2,
//control total

```

```

LDR>= VD68, 76.00000      A      M0.0
NOT                        =      Q0.3
LDR<= VD68, 78.00000      =      M8.2
NOT
OLD
LDR>= VD92, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD92, 0.01099072
NOT
OLD
A      M13.1
S      M8.1, 1

NETWORK 209 //Condición No
//confort térmico Local 3,
//control total
LDR>= VD100, 76.00000
NOT
LDR<= VD100, 78.00000
NOT
OLD
LDR>= VD124, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD124, 0.01099072
NOT
OLD
A      M13.1
S      M8.1, 1

NETWORK 210 //Condición No
//confort térmico Local 4,
//control total
LDR>= VD132, 76.00000
NOT
LDR<= VD132, 78.00000
NOT
OLD
LDR>= VD156, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD156, 0.01099072
NOT
OLD
A      M13.1
S      M8.1, 1

NETWORK 211 //Si las
//condiciones en los locales no
//son las de confort térmico,
//control total
LD      M8.1
R      Q1.0, 1
R      M7.5, 1
R      M7.6, 1
R      M7.7, 1
R      M8.0, 1

NETWORK 212 //INVIERNO (Te< To)
LDR>= VD4, 77.00000
NOT
A      M0.0
=      Q0.3
=      M8.2

NETWORK 213 //VERANO (Te >=
To)
LDR>= VD4, 77.00000
A      M0.0
=      Q0.4
=      M8.3

NETWORK 214 //DURANTE EL
//INVIERNO
//Enfriador-Deshumidificador
en //OFF
//Ventilador en ON (a flujo de
//diseño)
//flujo de diseño = 28000 scfm
LD      M8.2
MOVW   +28000, AQW24
MOVW   +28000, AQW26

NETWORK 215 //Calentador a
//Potencia media la 1ª vez
//q medio = 50 Btu/s
LD      M8.2
EU
MOVW   +50, AQW4
MOVW   +50, AQW6

NETWORK 216 //Invierno Seco,
Si
//We < Wo (diseño) entonces
Ca- //lentar y Humidificar el
aire
LDR>= VD28, 0.008963610
NOT
A      M8.2
=      M8.4
=      Q0.5

NETWORK 217 //Invierno con
//humedad especifica muy
//similar a la de confort
//Wo diseño - Delta W <= We <=
//Wo diseño + Delta W
LDR>= VD28, 0.008963610
AR<=   VD28, 0.01099072
A      M8.2
=      M10.5
=      Q0.7

NETWORK 218 //Invierno Húmedo
//Si We >= Wo (diseño)
//entonces Calentar el aire
LDR<= VD28, 0.01099072
NOT
A      M8.2
=      M8.5
=      Q0.6

```

```

NETWORK 219 //DURANTE EL
//INVIERNO SECO
//Humidificador en ON
//Calentador en ON a Potencia
//media
LD      M8.4
=       Q0.1

NETWORK 220 //M8.6 trabaja si
//almenos uno de los locales
//no esta en las condiciones
//de confort
LD      M8.1
A       M8.4
=       M8.6

NETWORK 221 //(ec 5.3) : Tp
//medido - To 1 medido
LD      M8.6
MOVR    VD164, VD192
-R      VD36, VD192

NETWORK 222 //Tp1
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To1 medido)+To diseño
LD      M8.6
MOVR    VD192, VD196
+R      77.00000, VD196

NETWORK 223 //(ec 5.4) : Wp
//medido - Wo 1 medido
LD      M8.6
MOVR    VD188, VD200
-R      VD60, VD200

NETWORK 224 //Wp1
//corregido(ec5.4)=(Wp medido-
//Wo1 medido)+Wo diseño
LD      M8.6
MOVR    VD200, VD204
+R      0.009975540, VD204

NETWORK 225 //(ec 5.3) : Tp
//medido - To 2 medido
LD      M8.6
MOVR    VD164, VD208
-R      VD68, VD208

NETWORK 226 //Tp2
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To2 medido)+To diseño
LD      M8.6
MOVR    VD208, VD212
+R      77.00000, VD212

NETWORK 227 //(ec 5.4) : Wp
//medido - Wo 2 medido
LD      M8.6
MOVR    VD188, VD216
-R      VD92, VD216

NETWORK 228 //Wp2
//corregido(ec5.4)=(Wp medido-
//Wo2 medido)+Wo diseño
LD      M8.6
MOVR    VD216, VD220
+R      0.009975540, VD220

NETWORK 229 //(ec 5.3) : Tp
//medido - To 3 medido
LD      M8.6
MOVR    VD164, VD224
-R      VD100, VD224

NETWORK 230 //Tp3
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To3 medido)+To diseño
LD      M8.6
MOVR    VD224, VD228
+R      77.00000, VD228

NETWORK 231 //(ec 5.4) : Wp
//medido - Wo 3 medido
LD      M8.6
MOVR    VD188, VD232
-R      VD124, VD232

NETWORK 232 //Wp3
//corregido(ec5.4)=(Wp medido-
//Wo3 medido)+Wo diseño
LD      M8.6
MOVR    VD232, VD236
+R      0.009975540, VD236

NETWORK 233 //(ec 5.3) : Tp
//medido - To 4 medido
LD      M8.6
MOVR    VD164, VD240
-R      VD132, VD240

NETWORK 234 //Tp4
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To4 medido)+To diseño
LD      M8.6
MOVR    VD240, VD244
+R      77.00000, VD244

NETWORK 235 //(ec 5.4) : Wp
//medido - Wo 4 medido
LD      M8.6
MOVR    VD188, VD248
-R      VD156, VD248

NETWORK 236 //Wp4
//corregido(ec5.4)=(Wp medido-
//Wo4 medido)+Wo diseño
LD      M8.6
MOVR    VD248, VD252
+R      0.009975540, VD252

NETWORK 237 //Comprueba si Tp
//1 corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD196, VD212

```

```

AR<= VD196, VD228 //((Wp 1 corregido + Wp 2
AR<= VD196, VD244 //corregido) + Wp 3 corregido
A M8.6 LD M8.6
= M8.7 +R VD236, VD260

NETWORK 238 //Comprueba si Tp
//2 corregido es el de menor
//valor
LDR<= VD212, VD196
AR<= VD212, VD228
AR<= VD212, VD244
A M8.6
= M9.0

NETWORK 239 //Comprueba si Tp
//3 corregido es el de menor
//valor
LDR<= VD228, VD196
AR<= VD228, VD212
AR<= VD228, VD244
A M8.6
= M9.1

NETWORK 240 //Comprueba si Tp 4
//corregido es el de menor
//valor
LDR<= VD244, VD196
AR<= VD244, VD212
AR<= VD244, VD228
A M8.6
= M9.2

NETWORK 241 //Tp seleccionado =
//Tp corregido (1)
LD M8.7
MOVR VD196, VD256

NETWORK 242 //Tp seleccionado =
//Tp corregido (2)
LD M9.0
MOVR VD212, VD256

NETWORK 243 //Tp seleccionado =
//Tp corregido (3)
LD M9.1
MOVR VD228, VD256

NETWORK 244 //Tp seleccionado =
//Tp corregido (4)
LD M9.2
MOVR VD244, VD256

NETWORK 245 //(ec 5.5) Para
//calcular W seleccionada
//Wp 1 corregido + Wp 2
//corregido
LD M8.6
MOVR VD204, VD260
+R VD220, VD260

NETWORK 246 //(ec 5.5) Para
//calcular W seleccionada
//((Wp 1 corregido + Wp 2
//corregido) + Wp 3 corregido
LD M8.6
+R VD236, VD260

NETWORK 247 //(ec 5.5) Para
//calcular W seleccionada
//((Wp1 corregido + Wp2
//corregido + Wp3 corregido) +
//Wp4 corregido
LD M8.6
+R VD252, VD260

NETWORK 248 //Wp seleccionada
//(ec 5.5)
//((Wp1 corregido + Wp2
//corregido + Wp3 corregido +
//Wp4 corregido)/4
LD M8.6
/R 4.000000, VD260

NETWORK 249 //(ec 1.4) Para
//calcular hp
//0.444*Tp seleccionado
LD M8.6
MOVR 0.4440000, VD264
*R VD256, VD264

NETWORK 250 //(ec 1.4) Para
//calcular hp
//1061 + 0.444*Tp seleccionado
LD M8.6
MOVR 1061.000, VD268
+R VD264, VD268

NETWORK 251 //(ec 1.4) Para
//calcular hp
//Wp seleccionado *(1061 +
//0.444*Tp seleccionado)
LD M8.6
MOVR VD260, VD272
*R VD268, VD272

NETWORK 252 //(ec 1.4) Para
//calcular hp
//0.24*Tp seleccionado
LD M8.6
MOVR 0.2400000, VD276
*R VD256, VD276

NETWORK 253 //hp =0.24*Tp+Wp
//corregido*(1061+0.444*Tp
//corregido)
LD M8.6
MOVR VD276, VD280
+R VD272, VD280

NETWORK 254 //Ws (ec B.11) =
//Wp seleccionado - [mw / m1]
//mw : Flujo de agua que se
//rocia en el aire
//mw = 0,1400840977558 lbm/s

```

```

//m1: Flujo de aire del
//sistema de acondicionamiento
//m1: 35.6374 lbm/s
//(equivalente a 28000 scfm)
//mw / m1 = 0.003930817
LD      M8.6
MOVR    VD260, VD284
-R      0.003930817, VD284
NETWORK 255 //(ec 5.6) Para
//calcular Ts
//1061 * Ws
LD      M8.6
MOVR    1061.000, VD288
*R      VD284, VD288

NETWORK 256 //(ec 5.6) Para
//calcular Ts
//hp - 1061*Ws
LD      M8.6
MOVR    VD280, VD292
-R      VD288, VD292

NETWORK 257 //(ec 5.6) Para
//calcular Ts
//0.444 * Ws
LD      M8.6
MOVR    0.4440000, VD296
*R      VD284, VD296

NETWORK 258 //(ec 5.6) Para
//calcular Ts
//0.24 + 0.444*Ws
LD      M8.6
MOVR    0.2400000, VD300
+R      VD296, VD300

NETWORK 259 //Ts (ec 5.6)=[hp -
//1061*Ws] / [0.24 + 0.444*Ws]
LD      M8.6
MOVR    VD292, VD304
/R      VD300, VD304

NETWORK 260 //(ec 5.9) Para
//calcular % de Recirculación
//We - Wr donde Wr = Ws
LD      M8.6
MOVR    VD28, VD308
-R      VD284, VD308

NETWORK 261 //(ec 5.9) Para
//calcular % de Recirculación
//We - Wo diseño
LD      M8.6
MOVR    VD28, VD312
-R      0.009975540, VD312

NETWORK 262 // %
//Recirculación(ec 5.9)= [We -
//Wr] / [We - Wo diseño]
LD      M8.6
MOVR    VD308, VD316
/R      VD312, VD316

MOVR    VD316, VD320
*R      100.0000, VD320
TRUNC   VD320, VD320
MOVW    VW322, AQW0

NETWORK 263 //Para representar
//en PC Simu la acción del
//damper **
LD      M8.6
MOVR    VD316, VD324
*R      1000000., VD324
TRUNC   VD324, VD324
MOVW    VW326, AQW2

NETWORK 264 //Para calcular Tr
//(ec 5.17)
//Te - To diseño
LD      M8.6
MOVR    VD4, VD328
-R      77.00000, VD328

NETWORK 265 //Para calcular Tr
//(ec 5.17)
//% Recirculación * (Te - To
//diseño)
LD      M8.6
MOVR    VD316, VD332
*R      VD328, VD332

NETWORK 266 //Tr (ec 5.17) =
//Te - % * (Te - To diseño)
LD      M8.6
MOVR    VD4, VD336
-R      VD332, VD336

NETWORK 267 //(ec B.10) Para
//calcular q del calentador
//Ts - Tr
LD      M8.6
MOVR    VD304, VD340
-R      VD336, VD340

NETWORK 268 //q calentador (ec
//B.10) = 1.1scfm*(Ts - Tr) en
//BTU/h
//scfm = 28000
//1.1scfm = 30800
LD      M8.6
MOVR    30800.00, VD344
*R      VD340, VD344

NETWORK 269 //q calentador en
//BTU/s
LD      M8.6
MOVR    VD344, VD348
/R      3600.000, VD348
MOVR    VD348, VD352
*R      1.000000, VD352
TRUNC   VD352, VD352
MOVW    VW354, AQW4

```

```

NETWORK 270 //Para representar
//la acción del calentador en
//PC Simu **
LD      M8.6
MOVR    VD348, VD356
*R      100.0000, VD356
TRUNC   VD356, VD356
MOVW    VW358, AQW6

```

```

NETWORK 271 //(ec 5.11) Para
//calcular q recalentador 1
//Tp 1 corregido - Tp corregido
//seleccionado
LD      M8.6
MOVR    VD196, VD360
-R      VD256, VD360

```

```

NETWORK 272 //q recalentador 1
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 1 corregido - Tp
//corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M8.6
MOVR    7700.000, VD364
*R      VD360, VD364

```

```

NETWORK 273 //q recalentador 1
//[Btu/s]
LD      M8.6
MOVR    VD364, VD368
/R      3600.000, VD368
MOVR    VD368, VD372
*R      100.0000, VD372
TRUNC   VD372, VD372
MOVW    VW374, AQW8

```

```

NETWORK 274 //Para representar
//la acción de Recalentador 1**
LD      M8.6
MOVR    VD368, VD376
*R      10000.00, VD376
TRUNC   VD376, VD376
MOVW    VW378, AQW10

```

```

NETWORK 275 //(ec 5.11) Para
//calcular q recalentador 2
//Tp 2 corregido - Tp corregido
//seleccionado
LD      M8.6
MOVR    VD212, VD380
-R      VD256, VD380

```

```

NETWORK 276 //q recalentador 2
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 2 corregido - Tp
//corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M8.6
MOVR    7700.000, VD384
*R      VD380, VD384

```

```

NETWORK 277 //q recalentador 2
//[Btu/s]
LD      M8.6
MOVR    VD384, VD388
/R      3600.000, VD388
MOVR    VD388, VD392
*R      100.0000, VD392
TRUNC   VD392, VD392
MOVW    VW394, AQW12

```

```

NETWORK 278 //Para representar
//la acción Recalentador 2**
LD      M8.6
MOVR    VD388, VD396
*R      10000.00, VD396
TRUNC   VD396, VD396
MOVW    VW398, AQW14

```

```

NETWORK 279 //(ec 5.11) Para
//calcular q recalentador 3
//Tp 3 corregido - Tp
//corregido seleccionado
LD      M8.6
MOVR    VD228, VD400
-R      VD256, VD400

```

```

NETWORK 280 //q recalentador 3
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 3 corregido - Tp
//corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M8.6
MOVR    7700.000, VD404
*R      VD400, VD404

```

```

NETWORK 281 //q recalentador 3
//[Btu/s]
LD      M8.6
MOVR    VD404, VD408
/R      3600.000, VD408
MOVR    VD408, VD412
*R      100.0000, VD412
TRUNC   VD412, VD412
MOVW    VW414, AQW16

```

```

NETWORK 282 //Para simular la
//acción del Recalentador 3 en
//PC Simu **
LD      M8.6
MOVR    VD408, VD416
*R      10000.00, VD416
TRUNC   VD416, VD416
MOVW    VW418, AQW18

```

```

NETWORK 283 //(ec 5.11) Para
//calcular q recalentador 4
//Tp 4 corregido - Tp
corregido //seleccionado
LD      M8.6
MOVR    VD244, VD420

```

```

-R      VD256, VD420

NETWORK 284 //q recalentador 4
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 4 corregido - Tp
//corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M8.6
MOVR    7700.000, VD424
*R      VD420, VD424

NETWORK 285 //q recalentador 4
//[Btu/s]
LD      M8.6
MOVR    VD424, VD428
/R      3600.000, VD428
MOVR    VD428, VD432
*R      100.0000, VD432
TRUNC   VD432, VD432
MOVW    VW434, AQW20

NETWORK 286 //Para simular la
//acción del Recalentador 4 en
//PC Simu **
LD      M8.6
MOVR    VD428, VD436
*R      10000.00, VD436
TRUNC   VD436, VD436
MOVW    VW438, AQW22

NETWORK 287 //DURANTE EL
//INVIERNO CON HUMEDAD
//ESPECIFICA SIMILAR A LA DE
//DISEÑO
//Humidificador en OFF
//Calentador en ON a Potencia
//media la 1º vez
LD      M8.1
A       M10.5
=       M10.6

NETWORK 288 //% recirculación
LD      M10.6
MOVW    +50, AQW0

NETWORK 289 //Para simular la
//acción del Damper de
//Recirculación en PC Simu **
LD      M10.6
MOVW    +50, AQW2

NETWORK 290 //Para calcular Tr
LD      M10.6
MOVR    0.5000000, VD1156
*R      VD4, VD1156

NETWORK 291 //Tr
//0.5*Te+0.5*To diseño
//0.5*To diseño= 38.5
LD      M10.6
MOVR    VD1156, VD1160

+R      38.50000, VD1160

NETWORK 292 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 1
//Tp medido - To 1 medido
LD      M10.6
MOVR    VD164, VD440
-R      VD36, VD440

NETWORK 293 //Tp1
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To1 medido)+To diseño
LD      M10.6
MOVR    VD440, VD444
+R      77.00000, VD444

NETWORK 294 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 2
//Tp medido - To 2 medido
LD      M10.6
MOVR    VD164, VD448
-R      VD68, VD448

NETWORK 295 //Tp2
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To2 medido)+To diseño
LD      M10.6
MOVR    VD448, VD452
+R      77.00000, VD452

NETWORK 296 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 3
//Tp medido - To 3 medido
LD      M10.6
MOVR    VD164, VD456
-R      VD100, VD456

NETWORK 297 //Tp3
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To3 medido)+To diseño
LD      M10.6
MOVR    VD456, VD460
+R      77.00000, VD460

NETWORK 298 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 4
//Tp medido - To 4 medido
LD      M10.6
MOVR    VD164, VD464
-R      VD132, VD464

NETWORK 299 //Tp4
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To4 medido)+To diseño
LD      M10.6
MOVR    VD464, VD468
+R      77.00000, VD468

NETWORK 300 //Comprueba si Tp
1 //corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD444, VD452
AR<=  VD444, VD460

```

```

AR<=  VD444, VD468
A      M10.6
=      M10.7

NETWORK 301 //Comprueba si Tp 2
//corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD452, VD444
AR<=   VD452, VD460
AR<=   VD452, VD468
A      M10.6
=      M11.0

NETWORK 302 //Comprueba si Tp 3
//corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD460, VD444
AR<=   VD460, VD452
AR<=   VD460, VD468
A      M10.6
=      M11.1

NETWORK 303 //Comprueba si Tp
//4 corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD468, VD444
AR<=   VD468, VD452
AR<=   VD468, VD460
A      M10.6
=      M11.2

NETWORK 304 //Tp seleccionado
//= Tp corregido (1)
LD      M10.7
MOVR    VD444, VD472

NETWORK 305 //Tp seleccionado
//= Tp corregido (2)
LD      M11.0
MOVR    VD452, VD472

NETWORK 306 //Tp seleccionado
//= Tp corregido (3)
LD      M11.1
MOVR    VD460, VD472

NETWORK 307 //Tp seleccionado
//= Tp corregido (4)
LD      M11.2
MOVR    VD468, VD472

NETWORK 308 //(ec 5.14) Para
//calcular q del calentador
//Tp (seleccionado) - Tr
LD      M10.6
MOVR    VD472, VD476
-R      VD1160, VD476

NETWORK 309 //q calenta-
//dor(ec5.14)=1.1scfm(Tp
//seleccionado-Tr)BTU/h
//scfm = 28000
//1.1*scfm = 30800
LD      M10.6
MOVR    30800.00, VD480
*R      VD476, VD480

NETWORK 310 //q del calentador
//en BTU/s
LD      M10.6
MOVR    VD480, VD484
/R      3600.000, VD484
MOVR    VD484, VD488
*R      1.000000, VD488
TRUNC   VD488, VD488
MOVW    VW490, AQW4

NETWORK 311 //Para simular la
//acción del Calentador en el
//PC Simu **
LD      M10.6
MOVR    VD484, VD492
*R      100.0000, VD492
TRUNC   VD492, VD492
MOVW    VW494, AQW6

NETWORK 312 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador
1
//Tp 1 corregido - Tp
//seleccionado
LD      M10.6
MOVR    VD444, VD496
-R      VD472, VD496

NETWORK 313 //q recalentador 1
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 1 corregido - Tp
//corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M10.6
MOVR    7700.000, VD500
*R      VD496, VD500

NETWORK 314 //q recalentador 1
//[Btu/s]
LD      M10.6
MOVR    VD500, VD504
/R      3600.000, VD504
MOVR    VD504, VD508
*R      100.0000, VD508
TRUNC   VD508, VD508
MOVW    VW510, AQW8

NETWORK 315 //Para simular la
//acción del Recalentador 1 en
//PC Simu **
LD      M10.6
MOVR    VD504, VD512
*R      10000.00, VD512
TRUNC   VD512, VD512
MOVW    VW514, AQW10

```

```

NETWORK 316 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador 2
//Tp 2 corregido - Tp
//seleccionado
LD      M10.6
MOVR   VD452, VD516
-R     VD472, VD516

NETWORK 317 //q recalentador 2
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 2 corregido - Tp
//seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M10.6
MOVR   7700.000, VD520
*R     VD516, VD520

NETWORK 318 //q recalentador 2
//[Btu/s]
LD      M10.6
MOVR   VD520, VD524
/R     3600.000, VD524
MOVR   VD524, VD528
*R     100.0000, VD528
TRUNC  VD528, VD528
MOVW   VW530, AQW12

NETWORK 319 //Para simular la
//acción del Recalentador 2 en
//PC Simu **
LD      M10.6
MOVR   VD524, VD532
*R     10000.00, VD532
TRUNC  VD532, VD532
MOVW   VW534, AQW14

NETWORK 320 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador3
//Tp 3 corregido - Tp
//corregido seleccionado
LD      M10.6
MOVR   VD460, VD536
-R     VD472, VD536

NETWORK 321 //q recalentador 3
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 3 corregido - Tp
//seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M10.6
MOVR   7700.000, VD540
*R     VD536, VD540

NETWORK 322 //q recalentador 3
//[Btu/s]
LD      M10.6
MOVR   VD540, VD544
/R     3600.000, VD544
MOVR   VD544, VD548
*R     100.0000, VD548

NETWORK 323 //Para simular la
//acción del Recalentador 3 en
//PC Simu **
LD      M10.6
MOVR   VD544, VD552
*R     10000.00, VD552
TRUNC  VD552, VD552
MOVW   VW554, AQW18

NETWORK 324 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador
4
//Tp 4 corregido - Tp
//seleccionado
LD      M10.6
MOVR   VD468, VD556
-R     VD472, VD556

NETWORK 325 //q recalentador 4
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 4 corregido - Tp
//corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M10.6
MOVR   7700.000, VD560
*R     VD556, VD560

NETWORK 326 //q recalentador 4
//[Btu/s]
LD      M10.6
MOVR   VD560, VD564
/R     3600.000, VD564
MOVR   VD564, VD568
*R     100.0000, VD568
TRUNC  VD568, VD568
MOVW   VW570, AQW20

NETWORK 327 //Para simular la
//acción del Recalentador 4 en
//PC Simu **
LD      M10.6
MOVR   VD564, VD568
*R     10000.00, VD568
TRUNC  VD568, VD568
MOVW   VW570, AQW22

NETWORK 328 //DURANTE EL
//INVIERNO HUMEDO
//Humidificador en OFF
LD      M8.1
A       M8.5
=       M9.3

NETWORK 329 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 1
//Tp medido - To 1 medido
LD      M9.3
MOVR   VD164, VD572

```

```

-R      VD36, VD572

NETWORK 330 //Tp1
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To1 medido)+To diseño
LD      M9.3
MOVR    VD572, VD576
+R      77.00000, VD576

NETWORK 331 //(ec 5.4) Para
//calcular Wp corregido 1
//Wp medido - Wo 1 medido
LD      M9.3
MOVR    VD188, VD580
-R      VD60, VD580

NETWORK 332 //Wp1
//corregido(ec5.4)=(Wp medido-
//Wo1 medido)+Wo diseño
LD      M9.3
MOVR    VD580, VD584
+R      0.009975540, VD584

NETWORK 333 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 2
//Tp medido - To 2 medido
LD      M9.3
MOVR    VD164, VD588
-R      VD68, VD588

NETWORK 334 //Tp2
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To2 medido)+To diseño
LD      M9.3
MOVR    VD588, VD592
+R      77.00000, VD592

NETWORK 335 //(ec 5.4) Para
//calcular Wp corregido 2
//Wp medido - Wo 2 medido
LD      M9.3
MOVR    VD188, VD596
-R      VD92, VD596

NETWORK 336 //Wp2
//corregido(ec5.4)=(Wp medido-
//Wo2 medido)+Wo diseño
LD      M9.3
MOVR    VD596, VD600
+R      0.009975540, VD600
NETWORK 337 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 3
//Tp medido - To 3 medido
LD      M9.3
MOVR    VD164, VD604
-R      VD100, VD604

NETWORK 338 //Tp3
//corregido(ec5.3)=(Tp medido-
//To3 medido)+To diseño
LD      M9.3
MOVR    VD604, VD608

+R      77.00000, VD608

NETWORK 339 //(ec 5.4) Para
//calcular Wp corregido 3
//Wp medido - Wo 3 medido
LD      M9.3
MOVR    VD188, VD612
-R      VD124, VD612

NETWORK 340 //Wp3 corri-
//do(ec5.4)=(Wp medido-Wo3
//medido)+Wo diseño
LD      M9.3
MOVR    VD612, VD616
+R      0.009975540, VD616

NETWORK 341 //(ec 5.3) Para
//calcular Tp corregido 4
//Tp medido - To 4 medido
LD      M9.3
MOVR    VD164, VD620
-R      VD132, VD620

NETWORK 342 //Tp4 corri-
//do(ec5.3)=(Tp medido-To4
//medido)+To diseño
LD      M9.3
MOVR    VD620, VD624
+R      77.00000, VD624

NETWORK 343 //(ec 5.4) Para
//calcular Wp corregido 4
//Wp medido - Wo 4 medido
LD      M9.3
MOVR    VD188, VD628
-R      VD156, VD628

NETWORK 344 //Wp4 corri-
//do(ec5.4)=(Wp medido-Wo4
//medido)+Wo diseño
LD      M9.3
MOVR    VD628, VD632
+R      0.009975540, VD632
NETWORK 345 //Comprueba si Tp
//1 corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD576, VD592
AR<=    VD576, VD608
AR<=    VD576, VD624
A       M9.3
=       M9.4

NETWORK 346 //Comprueba si Tp
//2 corregido es el de menor
//valor
LDR<=  VD592, VD576
AR<=    VD592, VD608
AR<=    VD592, VD624
A       M9.3
=       M9.5

```

```

NETWORK 347 //Comprueba si Tp //3 corregido es el de menor //valor
LDR<= VD608, VD576
AR<= VD608, VD592
AR<= VD608, VD624
A M9.3
= M9.6

NETWORK 348 //Comprueba si Tp //4 corregido es el de menor //valor
LDR<= VD624, VD576
AR<= VD624, VD592
AR<= VD624, VD608
A M9.3
= M9.7

NETWORK 349 //Tp seleccionado // = Tp corregido (1)
LD M9.4
MOVR VD576, VD636

NETWORK 350 //Tp seleccionado // = Tp corregido (2)
LD M9.5
MOVR VD592, VD636

NETWORK 351 //Tp seleccionado // = Tp corregido (3)
LD M9.6
MOVR VD608, VD636

NETWORK 352 //Tp seleccionado // = Tp corregido (4)
LD M9.7
MOVR VD624, VD636
NETWORK 353 //(ec 5.5) Para //calcular W seleccionada //Wp 1 corregido + Wp 2 //corregido
LD M9.3
MOVR VD584, VD640
+R VD600, VD640

NETWORK 354 //(ec 5.5) Para //calcular W seleccionada //(Wp 1 corregido + Wp 2 //corregido) + Wp 3 corregido
LD M9.3
+R VD616, VD640

NETWORK 355 //(ec 5.5) Para //calcular W seleccionada //(Wp1 corregido + Wp2 //corregido + Wp3 corregido) + //Wp4 corregido
LD M9.3
+R VD632, VD640

NETWORK 356 //Wp seleccionada //(ec 5.5) //(Wp1 corregido + Wp2 //corregido + Wp3 corregido + //Wp4 co-//rregido)/4
LD M9.3
/R 4.000000, VD640

NETWORK 357 //(ec 5.9) Para //calcular % de Recirculación //(We - Wr donde Wr = Wp //seleccionada)
LD M9.3
MOVR VD28, VD644
-R VD640, VD644

NETWORK 358 //(ec 5.9) Para //calcular % de Recirculación //We - Wo diseño
LD M9.3
MOVR VD28, VD648
-R 0.009975540, VD648

NETWORK 359 // % recircula- //ción(ec 5.9)= [We - Wr] / [We //- Wo diseño]
LD M9.3
MOVR VD644, VD652
/R VD648, VD652
MOVR VD652, VD656
*R 100.0000, VD656
TRUNC VD656, VD656
MOVW VW658, AQW0

NETWORK 360 //Para simular la //acción del Damper de //Recirculación en PC Simu **
LD M9.3
MOVR VD652, VD660
*R 1000000., VD660
TRUNC VD660, VD660
MOVW VW662, AQW2

NETWORK 361 //Para calcular Tr //(5.17) //Te - To diseño
LD M9.3
MOVR VD4, VD664
-R 77.00000, VD664

NETWORK 362 //Para calcular Tr //(ec 5.17) // % * (Te - To diseño)
LD M9.3
MOVR VD652, VD668
*R VD664, VD668

NETWORK 363 //Tr (ec 5.17) = //Te - % * (Te - To diseño)
LD M9.3
MOVR VD4, VD672
-R VD668, VD672

```

```

NETWORK 364 //(ec 5.13) Para
//calcular q del calentador
//Tp (seleccionado) - Tr
LD      M9.3
MOVR    VD636, VD676
-R      VD672, VD676

NETWORK 365 //q calenta-
//dor(ec5.13)=1.1scfm(Tp se-
//leccionado-Tr)BTU/h
//scfm = 28000
//1.1*scfm = 30800
LD      M9.3
MOVR    30800.00, VD680
*R      VD676, VD680

NETWORK 366 //q del calentador
//en BTU/s
LD      M9.3
MOVR    VD680, VD684
/R      3600.000, VD684
MOVR    VD684, VD688
*R      1.000000, VD688
TRUNC   VD688, VD688
MOVW    VW690, AQW4

NETWORK 367 //Para simular la
//acción del Calentador en el
//PC Simu
LD      M9.3
MOVR    VD684, VD692
*R      100.0000, VD692
TRUNC   VD692, VD692
MOVW    VW694, AQW6

NETWORK 368 //(ec.43) Para
//calcular q del recalentador 1
//Tp 1 corregido - Tp
//seleccionado
LD      M9.3
MOVR    VD576, VD696
-R      VD636, VD696

NETWORK 369 //q recalentador 1
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 1 //corregido -
//Tp seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M9.3
MOVR    7700.000, VD700
*R      VD696, VD700

NETWORK 370 //q recalentador 1
//[Btu/s]
LD      M9.3
MOVR    VD700, VD704
/R      3600.000, VD704
MOVR    VD704, VD708
*R      100.0000, VD708
TRUNC   VD708, VD708
MOVW    VW710, AQW8

NETWORK 371 //Para simular la
//acción del Recalentador 1 en
//PC Simu **
LD      M9.3
MOVR    VD704, VD712
*R      10000.00, VD712
TRUNC   VD712, VD712
MOVW    VW714, AQW10

NETWORK 372 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador
2
//Tp 2 corregido - Tp
//seleccionado
LD      M9.3
MOVR    VD592, VD716
-R      VD636, VD716
NETWORK 373 //q recalentador 2
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 2 //corregido -
//Tp seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M9.3
MOVR    7700.000, VD720
*R      VD716, VD720

NETWORK 374 //q recalentador 2
//[Btu/s]
LD      M9.3
MOVR    VD720, VD724
/R      3600.000, VD724
MOVR    VD724, VD728
*R      100.0000, VD728
TRUNC   VD728, VD728
MOVW    VW730, AQW12

NETWORK 375 //Para simular la
//acción del Recalentador 2 en
//PC Simu **
LD      M9.3
MOVR    VD724, VD732
*R      10000.00, VD732
TRUNC   VD732, VD732
MOVW    VW734, AQW14

NETWORK 376 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador3
//Tp 3 corregido - Tp
//seleccionado
LD      M9.3
MOVR    VD608, VD736
-R      VD636, VD736

NETWORK 377 //q recalentador 3
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 3 //corregido -
//Tp corregido seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD      M9.3

```

```

MOVR 7700.000, VD740
*R VD736, VD740

NETWORK 378 //q recalentador 3
//[Btu/s]
LD M9.3
MOVR VD740, VD744
/R 3600.000, VD744
MOVR VD744, VD748
*R 100.0000, VD748
TRUNC VD748, VD748
MOVW VW750, AQW16

NETWORK 379 //Para simular la
//acción del Recalentador 3 en
//PC Simu **
LD M9.3
MOVR VD744, VD752
*R 10000.00, VD752
TRUNC VD752, VD752
MOVW VW754, AQW18

NETWORK 380 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador 4
//Tp 4 corregido - Tp
//seleccionado
LD M9.3
MOVR VD624, VD756
-R VD636, VD756

NETWORK 381 //q recalentador 4
//(ec 5.11) [Btu/h] =
//1.1scfmL(Tp 4 corregido - Tp
//seleccionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL = 7700
LD M9.3
MOVR 7700.000, VD760
*R VD756, VD760

NETWORK 382 //q recalentador 4
//[Btu/s]
LD M9.3
MOVR VD760, VD764
/R 3600.000, VD764
MOVR VD764, VD768
*R 100.0000, VD768
TRUNC VD768, VD768
MOVW VW770, AQW20

NETWORK 383 //Para simular la
//acción del Recalentador 4 en
//PC Simu **
LD M9.3
MOVR VD764, VD772
*R 10000.00, VD772
TRUNC VD772, VD772
MOVW VW774, AQW22

NETWORK 384 //DURANTE EL VERANO
//En el Verano
//Humidificador (Q0.1): OFF
//Enfriador-Deshumidificador
//(Q0.0): ON
LD M8.3
= Q0.0
NETWORK 385 //Ventilador a
//flujo de diseño la 1° vez
//flujo de diseño = 28000 scfm
//scfm2 en VD1000
LD M8.3
EU
MOVR 28000.00, VD1000
MOVW +28000, AQW24
MOVW +28000, AQW26

NETWORK 386 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//m*We
//m = 106.2237506
LD M8.3
MOVR VD28, VD776
*R 106.2237, VD776

NETWORK 387 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//Wo (diseño) * T (exterior)
//Wo (diseño) = 0.00997554
LD M8.3
MOVR 0.009975540, VD780
*R VD4, VD780

NETWORK 388 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//m*Te - [Wo (diseño) * T
//(exterior)]
LD M8.3
MOVR VD776, VD784
-R VD780, VD784

NETWORK 389 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//m*We - [Wo (diseño)*T
//(exterior)] + [To (diseño) -
//m]*Wo (diseño)]
//[To (diseño) - m]*Wo
//(diseño)] = - 0.291522693
LD M8.3
MOVR VD784, VD788
-R 0.2915227, VD788

NETWORK 390 //(ec 5.16) Para
//calculara Wr
//n*We
//n = 9165.862244
LD M8.3
MOVR VD28, VD792
*R 9165.862, VD792

NETWORK 391 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//n*We - T (exterior)
LD M8.3
MOVR VD792, VD796

```

```

-R      VD4, VD796

NETWORK 392 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//[n*We - T (exterior) + [To
//(diseño) - n*Wo (diseño)]
//[To (diseño) - n*Wo (diseño)]
//= - 14.434425
LD      M8.3
MOVR   VD796, VD800
-R      14.43443, VD800

NETWORK 393 //Wr (ec 5.16)
//Wr = [m*We -[Wo (diseño) * T
//(exterior)] + [To (diseño) -
//[m]*Wo (diseño)]] / [n*We - T
//(exterior) + [To (diseño) -
//[n*Wo (diseño)]]]
LD      M8.3
MOVR   VD788, VD804
/R      VD800, VD804

NETWORK 394 //(ec 5.9) Para
//calcular % de recirculación
//We - Wr (mezcla)
LD      M8.3
MOVR   VD28, VD808
-R      VD804, VD808

NETWORK 395 //(ec 5.9) Para
//calcular % de recirculación
//We - Wo (diseño)
LD      M8.3
MOVR   VD28, VD812
-R      0.009975540, VD812

NETWORK 396 // % Recirculación
//(ec 5.9):[We-Wr(mezcla)]/[We
// - Wo (diseño)]
LD      M8.3
MOVR   VD808, VD816
/R      VD812, VD816
MOVR   VD816, VD820
*R      100.0000, VD820
TRUNC  VD820, VD820
MOVW   VW822, AQW0

NETWORK 397 //Para simular la
//acción del Damper de
//Recirculación en PC Simu **
LD      M8.3
MOVR   VD816, VD824
*R      10000.00, VD824
TRUNC  VD824, VD824
MOVW   VW826, AQW2

NETWORK 398 //(ec 5.17) Para
//calcular Tr
//Te - To diseño
LD      M8.3
MOVR   VD4, VD828
-R      77.00000, VD828

NETWORK 399 //(ec 5.17) Para
//calcular Tr
//(Te - To diseño) * %
//recirculación
LD      M8.3
MOVR   VD828, VD832
*R      VD816, VD832

NETWORK 400 //Tr (ec 5.17)
//Te - (Te - To diseño) * %
//recirculación
LD      M8.3
MOVR   VD4, VD836
-R      VD832, VD836

NETWORK 401 //Para mostrar 1°
//calculo en PC Simu
LD      I0.2
S      M14.0, 1

NETWORK 402 //Para regresar al
//sistema original
LD      I0.3
R      M14.0, 1

NETWORK 403 //Si los locales
//no estan en las condiciones
//de confort
LD      M8.1
A      M8.3
AN     M14.0
=      M10.0

NETWORK 404 //Si los locales
//no estan en condiciones de
//confort
LD      M8.1
A      M8.3
A      M14.0
=      M14.1

NETWORK 405 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 1
//To 1 - Tp (valores medidos)
LD      M10.0
MOVR   VD36, VD840
-R      VD164, VD840

NETWORK 406 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 1
//scfm1 * (To1 - Tp)
//scfm1: VD1000
LD      M10.0
MOVR   VD1000, VD844
*R      VD840, VD844

NETWORK 407 //qs real en el
//local 1 (ec 5.25)
//[1.1*scfm1*(To1 - Tp)]/4
//[1.1/4=0.275
LD      M10.0

```

```

MOVR    0.2750000, VD848
*R      VD844, VD848

NETWORK 408 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 2
//To 2 - Tp (valores medidos)
LD      M10.0
MOVR    VD68, VD852
-R      VD164, VD852

NETWORK 409 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 2
//scfm1*(To2 - Tp)
//scfm1: VD1000
LD      M10.0
MOVR    VD1000, VD856
*R      VD852, VD856

NETWORK 410 //qs real en el
//local 2 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To2 - Tp)/4
//1.1/4 = 0.275
LD      M10.0
MOVR    0.2750000, VD860
*R      VD856, VD860

NETWORK 411 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 3
//To 3 - Tp (valores medidos)
LD      M10.0
MOVR    VD100, VD864
-R      VD164, VD864

NETWORK 412 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 3
//scfm1*(To3 - Tp)
//scfm1: VD1000
LD      M10.0
MOVR    VD1000, VD868
*R      VD864, VD868

NETWORK 413 //qs real en el
//local 3 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To3 - Tp)/4
//1.1/4 = 0.275
LD      M10.0
MOVR    0.2750000, VD872
*R      VD868, VD872

NETWORK 414 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 4
//To 4 - Tp (valores medidos)
LD      M10.0
MOVR    VD132, VD876
-R      VD164, VD876

NETWORK 415 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 4
//scfm1*(To4 - Tp)
//scfm1: VD1000
LD      M10.0
MOVR    VD1000, VD880

*R      VD876, VD880

NETWORK 416 //qs real en el
//local 4 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To4 - Tp)/4
//1.1/4 = 0.275
LD      M10.0
MOVR    0.2750000, VD884
*R      VD880, VD884

NETWORK 417 //(ec B.6) Para
//calcular Tz'
//Tpra - Tr
//Tpra = 54.5 °F
LD      M10.0
MOVR    54.50000, VD888
-R      VD836, VD888

NETWORK 418 //(ec B.6) Para
//calcular Tz'
//((1-x)(Tpra - Tr)
//x: Factor de desviación
//x = 0.20
LD      M10.0
MOVR    0.8000000, VD892
*R      VD888, VD892

NETWORK 419 //Tz' (ec.B.6) =
//Tr + (1-x)(Tpra-Tr)
LD      M10.0
MOVR    VD836, VD896
+R      VD892, VD896

NETWORK 420 //(ec B.7) Para
//calcular Wz'
//Wpra - Wr
LD      M10.0
MOVR    0.009156121, VD900
-R      VD804, VD900

NETWORK 421 //(ec B.7) Para
//calcular Wz'
//((1 - x) (Wpra - Wr)
//x: Factor de desviación
//x = 0.20
LD      M10.0
MOVR    0.8000000, VD904
*R      VD900, VD904

NETWORK 422 //Wz' (ec B.7) = Wr
//+ (1 - x) (Wpra - Wr)
LD      M10.0
MOVR    VD804, VD908
+R      VD904, VD908

NETWORK 423 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//Wo diseño - Wz'
LD      M10.0
MOVR    0.009975540, VD912
-R      VD908, VD912

```

```

NETWORK 424 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//(Wo 1 - Wp) valores medidos
LD      M10.0
MOVR    VD60, VD916
-R      VD188, VD916

NETWORK 425 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//(Wo diseño - Wz') / (Wo 1 -
//Wp) medidos
LD      M10.0
MOVR    VD912, VD920
/R      VD916, VD920

NETWORK 426 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//{(Wo diseño - Wz') / (Wo 1 -
//Wp) medidos} * (To 1 - Tp)
//medidos
//(To 1 -Tp) se calculo en
//Network 405, VD840
LD      M10.0
MOVR    VD920, VD924
*R      VD840, VD924

NETWORK 427 //Tp 1 suministro
//(ec 5.20)
//Tp 1 suministro = To
//(diseño) - {(Wo diseño -
//Wz') / (Wo 1 - Wp) medidos}
//* (To 1 - Tp) medidos
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD928
-R      VD924, VD928

NETWORK 428 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 2
//(Wo 2 - Wp) valores medidos
LD      M10.0
MOVR    VD92, VD932
-R      VD188, VD932

NETWORK 429 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 2
//(Wo diseño - Wz') / (Wo 2 -
//Wp) medidos
//(Wo diseño - Wz'): se
//calculo en Network 423,
//VD912
LD      M10.0
MOVR    VD912, VD936
/R      VD932, VD936

NETWORK 430 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 2
//{(Wo diseño - Wz') / (Wo 2 -
//Wp) medidos} * (To 2 - Tp)
//medidos
//(To 2 -Tp) se calculo en
//Network 408, VD852
LD      M10.0

MOVR    VD936, VD940
*R      VD852, VD940

NETWORK 431 //Tp 2 suministro
//(ec 5.20)
//Tp 2 suministro = To
//(diseño) - {(Wo diseño -
//Wz') / (Wo 2 - Wp) medidos}
//* (To 2 - Tp) medidos
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD944
-R      VD940, VD944

NETWORK 432 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 3
//(Wo 3 - Wp) valores medidos
LD      M10.0
MOVR    VD124, VD948
-R      VD188, VD948

NETWORK 433 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 3
//(Wo diseño - Wz') / (Wo 3 -
//Wp) medidos
//(Wo diseño - Wz'): se
calculo //en Network 423,
VD912
LD      M10.0
MOVR    VD912, VD952
/R      VD948, VD952

NETWORK 434 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 3
//{(Wo diseño - Wz') / (Wo 3 -
//Wp) medidos} * (To 3 - Tp)
//medidos
//(To 3 -Tp) se calculo en
//Network 411, VD864
LD      M10.0
MOVR    VD952, VD956
*R      VD864, VD956

NETWORK 435 //Tp 3 suministro
//(ec 5.20)
//Tp 3 suministro = To
(diseño) //- {(Wo diseño -
Wz') / (Wo 3 //- Wp) medidos}
* (To 3 - Tp) //medidos
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD960
-R      VD956, VD960

NETWORK 436 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 4
//(Wo 4 - Wp) valores medidos
LD      M10.0
MOVR    VD156, VD964
-R      VD188, VD964

NETWORK 437 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 4

```

```

//(Wo diseño - Wz') / (Wo 4 -
//Wp) medidos
//(Wo diseño - Wz'): se calculo
//en Network 423, VD912
LD      M10.0
MOVR    VD912, VD968
/R      VD964, VD968

NETWORK 438 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 4
//{(Wo diseño - Wz') / (Wo 4 -
//Wp) medidos} * (To 4 - Tp)
//medidos
//(To 4 - Tp) se calculo en
//Network 414, VD876
LD      M10.0
MOVR    VD968, VD972
*R      VD876, VD972

NETWORK 439 //Tp 4 suministro
//(ec 5.20)
//Tp 4 suministro = To
//(diseño) - {(Wo diseño -
//Wz') / (Wo 4 - Wp)medidos} *
//(To 4 - Tp) medidos
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD976
-R      VD972, VD976

NETWORK 440 //Comprueba si Tp
//1 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<=   VD928, VD944
AR<=    VD928, VD960
AR<=    VD928, VD976
AR>=    VD928, VD896
A       M10.0
=       M10.1

NETWORK 441 //Comprueba si Tp
//2 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<=   VD944, VD928
AR<=    VD944, VD960
AR<=    VD944, VD976
AR>=    VD944, VD896
A       M10.0
=       M10.2

NETWORK 442 //Comprueba si Tp
//3 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<=   VD960, VD928
AR<=    VD960, VD944
AR<=    VD960, VD976
AR>=    VD960, VD896
A       M10.0
=       M10.3

NETWORK 443 //Comprueba si Tp
//4 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<=   VD976, VD928
AR<=    VD976, VD944
AR<=    VD976, VD960
AR>=    VD976, VD896
A       M10.0
=       M10.4

NETWORK 444 //Tp seleccionado
= //Tp suministro (1)
LD      M10.1
MOVR    VD928, VD980

NETWORK 445 //Tp seleccionado
= //Tp suministro (2)
LD      M10.2
MOVR    VD944, VD980

NETWORK 446 //Tp seleccionado
= //Tp suministro (3)
LD      M10.3
MOVR    VD960, VD980

NETWORK 447 //Tp seleccionado
= //Tp suministro (4)
LD      M10.4
MOVR    VD976, VD980

NETWORK 448 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 1 es
//seleccionado
//Tp corregido = (Tp medido -
//To 1 medido) + To diseño
//To 1 medido - Tp medido, fue
//calculado en network 405,
//VD840
LD      M10.1
MOVR    77.00000, VD984
-R      VD840, VD984

NETWORK 449 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 2 es
//seleccionado
//Tp corregido = (Tp medido -
//To 2 medido) + To diseño
//To 2 medido - Tp medido, fue
//calculado en network 408,
//VD852
LD      M10.2
MOVR    77.00000, VD984
-R      VD852, VD984

NETWORK 450 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 3 es
//seleccionado
//Tp corregido = (Tp medido -
//To 3 medido) + To diseño
//To 3 medido - Tp medido, fue
//calculado en network 411,
//VD864
LD      M10.3
MOVR    77.00000, VD984
-R      VD864, VD984

```

```

NETWORK 451 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 4 es
//seleccionado
//Tp corregido = (Tp medido -
//To 4 medido) + To diseño
//To 4 medido - Tp medido, fue
//calculado en network 414,
//VD876
LD      M10.4
MOVR    77.00000, VD984
-R      VD876, VD984

NETWORK 452 //(ec 5.23) Para
//calcular el nuevo flujo de
//aire
//To diseño - Tp corregido
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD988
-R      VD984, VD988

NETWORK 453 //(ec 5.23) Para
//calcular el nuevo flujo de
//aire
//To diseño - Tp seleccionado
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD992
-R      VD980, VD992

NETWORK 454 //(ec 5.23) Para
//calcular el nuevo flujo de
//aire
//(To diseño - Tp corregido) /
//(To diseño -Tp seleccionado)
LD      M10.0
MOVR    VD988, VD996
/R      VD992, VD996

NETWORK 455 //scfm 2(ec 5.23)=
//[ (To diseño -Tp corregido) / (To
//diseño -Tp seleccionado) ] *
//scfm1
//scfm1 inicial = 28000
//scfm2 en VD1000
LD      M10.0
*R      VD996, VD1000
TRUNC   VD1000, VD1004
MOVW    VW1006, AQW24

NETWORK 456 //Para simular la
//acción del Ventilador en el
//PC Simu **
LD      M10.0
TRUNC   VD1000, VD1008
MOVW    VW1010, AQW26

NETWORK 457 //(ec 5.24) Para
//calcular q del calentador
//Tp seleccionado - Tz´
LD      M10.0
MOVR    VD980, VD1012
-R      VD896, VD1012

NETWORK 458 //(ec 5.24) Para
//calcular q del calentador
//((scfm2)*(Tp corregido - Tz´)
LD      M10.0
MOVR    VD1000, VD1016
*R      VD1012, VD1016

NETWORK 459 //q calenta-
//dor(ec5.24):1.1(scfm2)(Tp
co-//rregid-Tz´)Btu/h
LD      M10.0
MOVR    1.100000, VD1020
*R      VD1016, VD1020

NETWORK 460 //q calentador
//en BTU/s
LD      M10.0
MOVR    VD1020, VD1024
/R      3600.000, VD1024
MOVR    VD1024, VD1028
*R      1.000000, VD1028
TRUNC   VD1028, VD1028
MOVW    VW1030, AQW4

NETWORK 461 //Para simular la
//acción del Calentador en PC
//Simu **
LD      M10.0
MOVR    VD1024, VD1032
*R      1000.000, VD1032
TRUNC   VD1032, VD1032
MOVW    VW1034, AQW6

NETWORK 462 //scfmL(ec
//5.10):Nuevo flujo de aire en
//los locales
//scfmL = scfm / 4
LD      M10.0
MOVR    VD1000, VD1036
/R      4.000000, VD1036

NETWORK 463 //(ec5.26) Para
//calcular aumento de temp. en
//el local 1
//1.1*scfmL
LD      M10.0
MOVR    1.100000, VD1040
*R      VD1036, VD1040

NETWORK 464 //Aumento de temp.
//en el local 1 (ec 5.26)
//qs real 1 /(1.1*scfmL)
LD      M10.0
MOVR    VD848, VD1044
/R      VD1040, VD1044

NETWORK 465 //Aumento de temp.
//en el local 2 (ec 5.26)
//qs real 2 /(1.1*scfm1)
//1.1*scfm1: calculado en
//Network 463,VD1040

```

```

LD      M10.0
MOVR   VD860, VD1048
/R     VD1040, VD1048

NETWORK 466 //Aumento de temp.
//en el local 3 (ec 5.26)
//qs real 3 /(1.1*scfml)
//1.1*scfml: calculado en
//Network 463,VD1040
LD      M10.0
MOVR   VD872, VD1052
/R     VD1040, VD1052

NETWORK 467 //Aumento de temp.
//en el local 4 (ec 5.26)
//qs real 4 /(1.1*scfml)
//1.1*scfml: calculado en
//Network 463,VD1040
LD      M10.0
MOVR   VD884, VD1056
/R     VD1040, VD1056

NETWORK 468 //To 1 calculado
//(ec 5.27)
//To 1 calculado = Tp selec-
//cionado + Aumento de temp. 1
LD      M10.0
MOVR   VD980, VD1060
+R     VD1044, VD1060

NETWORK 469 //To 2 calculado
//(ec 5.27)
//To 2 calculado = Tp selec-
//cionado + Aumento de temp. 2
LD      M10.0
MOVR   VD980, VD1064
+R     VD1048, VD1064

NETWORK 470 //To 3 calculado
//(ec 5.27)
//To 3 calculado = Tp selec-
//cionado + Aumento de temp. 3
LD      M10.0
MOVR   VD980, VD1068
+R     VD1052, VD1068

NETWORK 471 //To 4 calculado
//(ec 5.27)
//To 4 calculado = Tp selec-
//cionado + Aumento de temp. 4
LD      M10.0
MOVR   VD980, VD1072
+R     VD1056, VD1072

NETWORK 472 //Condición para
//que funcione el recalentador1
//To calculado 1 < To diseño -
//Delta T
//To diseño - Delta T = 76
LDR>= VD1060, 76.00000
NOT
A      M10.0

=      M11.6

NETWORK 473 //Condición para
//que funcione el
recalentador2
//To calculado 2 < To diseño -
//Delta T
LDR>= VD1064, 76.00000
NOT
A      M10.0
=      M11.7

NETWORK 474 //Condición para
//que funcione el
recalentador3
//To calculado 3 < To diseño -
//Delta T
LDR>= VD1068, 76.00000
NOT
A      M10.0
=      M12.0

NETWORK 475 //Condición para
//que funcione el
recalentador4
//To calculado 4 < To diseño -
//Delta T
LDR>= VD1072, 76.00000
NOT
A      M10.0
=      M12.1

NETWORK 476 //(ec 5.28) Para
//calcular q del recalentador1
//To diseño - To calculado
LD      M11.6
MOVR   77.00000, VD1076
-R     VD1060, VD1076

NETWORK 477 //q del
//recalentador 1 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 463 ,VD1040
LD      M11.6
MOVR   VD1076, VD1080
*R     VD1040, VD1080

NETWORK 478 //q recalentador 1
//[Btu/s]
LD      M11.6
MOVR   VD1080, VD1084
/R     3600.000, VD1084
MOVR   VD1084, VD1088
*R     100.0000, VD1088
TRUNC  VD1088, VD1088
MOVW   VW1090, AQW8

NETWORK 479 //Para simular la
//acción del Recalentador 1 en
//PC Simu **
LD      M11.6

```

```

MOVR   VD1084, VD1092
*R     10000.00, VD1092
TRUNC  VD1092, VD1092
MOVW   VW1094, AQW10

NETWORK 480 //(ec 5.28) Para
//calcular q del recalentador2
//To diseño - To 2 calculado
LD     M11.7
MOVR   77.00000, VD1096
-R     VD1064, VD1096

NETWORK 481 //q del
//recalentador 2 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 463 ,VD1040
LD     M11.7
MOVR   VD1096, VD1100
*R     VD1040, VD1100

NETWORK 482 //q recalentador 2
//[Btu/s]
LD     M11.7
MOVR   VD1100, VD1104
/R     3600.000, VD1104
MOVR   VD1104, VD1108
*R     100.0000, VD1108
TRUNC  VD1108, VD1108
MOVW   VW1110, AQW8

NETWORK 483 //Para simular la
//acción del Recalentador 2 en
//PC Simu **
LD     M11.7
MOVR   VD1104, VD1112
*R     10000.00, VD1112
TRUNC  VD1112, VD1112
MOVW   VW1114, AQW10

NETWORK 484 //(ec 5.28) Para
//calcular q del recalentador 3
//To diseño - To 3 calculado
LD     M12.0
MOVR   77.00000, VD1116
-R     VD1068, VD1116

NETWORK 485 //q del
//recalentador 3 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 463 ,VD1040
LD     M12.0
MOVR   VD1116, VD1120
*R     VD1040, VD1120

NETWORK 486 //q recalentador 3
//[Btu/s]
LD     M12.0
MOVR   VD1120, VD1124

/R     3600.000, VD1124
MOVR   VD1124, VD1128
*R     100.0000, VD1128
TRUNC  VD1128, VD1128
MOVW   VW1130, AQW8

NETWORK 487 //Para simular la
//acción del Recalentador 3 en
//PC Simu **
LD     M12.0
MOVR   VD1124, VD1132
*R     10000.00, VD1132
TRUNC  VD1132, VD1132
MOVW   VW1134, AQW10

NETWORK 488 //(ec 5.28) Para
//calcular q del recalentador
4
//To diseño - To 4 calculado
LD     M12.1
MOVR   77.00000, VD1136
-R     VD1072, VD1136

NETWORK 489 //q del
//recalentador 4 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 463 ,VD1040
LD     M12.1
MOVR   VD1136, VD1140
*R     VD1040, VD1140

NETWORK 490 //q recalentador 4
//[Btu/s]
LD     M12.1
MOVR   VD1140, VD1144
/R     3600.000, VD1144
MOVR   VD1144, VD1148
*R     100.0000, VD1148
TRUNC  VD1148, VD1148
MOVW   VW1150, AQW8

NETWORK 491 //Para simular la
//acción del Recalentador 4 en
//PC Simu **
LD     M12.1
MOVR   VD1144, VD1152
*R     10000.00, VD1152
TRUNC  VD1152, VD1152
MOVW   VW1154, AQW10

NETWORK 492 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 1
//To 1 - Tp (valores medidos)
LD     M14.1
MOVR   VD36, VD840
-R     VD164, VD840

NETWORK 493 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 1
//scfm1 * (To1 - Tp)

```

```

//scfm1: 28000
LD      M14.1
MOVR   28000.00, VD844
*R     VD840, VD844

NETWORK 494 //qs real en el
//local 1 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To1 - Tp)/4
//1.1/4=0.275
LD      M14.1
MOVR   0.2750000, VD848
*R     VD844, VD848

NETWORK 495 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 2
//To 2 - Tp (valores medidos)
LD      M14.1
MOVR   VD68, VD852
-R     VD164, VD852

NETWORK 496 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 2
//scfm1*(To2 - Tp)
//scfm1: 28000
LD      M14.1
MOVR   28000.00, VD856
*R     VD852, VD856

NETWORK 497 //qs real en el
//local 2 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To2 - Tp)/4
//1.1/4 = 0.275
LD      M14.1
MOVR   0.2750000, VD860
*R     VD856, VD860

NETWORK 498 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 3
//To 3 - Tp (valores medidos)
LD      M14.1
MOVR   VD100, VD864
-R     VD164, VD864

NETWORK 499 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 3
//scfm1*(To3 - Tp)
//scfm1: 28000
LD      M14.1
MOVR   28000.00, VD868
*R     VD864, VD868

NETWORK 500 //qs real en el
//local 3 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To3 - Tp)/4
//1.1/4 = 0.275
LD      M14.1
MOVR   0.2750000, VD872
*R     VD868, VD872

NETWORK 501 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 4
//To 4 - Tp (valores medidos)
LD      M14.1
MOVR   VD132, VD876
-R     VD164, VD876

NETWORK 502 //(ec 5.25) para
//calcular qs real del local 4
//scfm1*(To4 - Tp)
//scfm1: 28000
LD      M14.1
MOVR   28000.00, VD880
*R     VD876, VD880

NETWORK 503 //qs real en el
//local 4 (ec 5.25)
//1.1*scfm1*(To4 - Tp)/4
//1.1/4 = 0.275
LD      M14.1
MOVR   0.2750000, VD884
*R     VD880, VD884

NETWORK 504 //(ec B.6) Para
//calcular Tz'
//Tpra - Tr
//Tpra = 54.5 °F
LD      M14.1
MOVR   54.50000, VD888
-R     VD836, VD888

NETWORK 505 //(ec B.6) Para
//calcular Tz'
//(1-x)(Tpra - Tr)
//x: Factor de desviación
//x = 0.20
LD      M14.1
MOVR   0.8000000, VD892
*R     VD888, VD892

NETWORK 506 //Tz' (ec.B.6) =
//Tr + (1-x)(Tpra-Tr)
LD      M14.1
MOVR   VD836, VD896
+R     VD892, VD896

NETWORK 507 //(ec B.7) Para
//calcular Wz'
//Wpra - Wr
LD      M14.1
MOVR   0.009156121, VD900
-R     VD804, VD900

NETWORK 508 //(ec B.7) Para
//calcular Wz'
//(1 - x) (Wpra - Wr)
//x: Factor de desviación
//x = 0.20
LD      M14.1
MOVR   0.8000000, VD904
*R     VD900, VD904

NETWORK 509 //Wz' (ec B.7) = Wr
//+ (1 - x) (Wpra - Wr)
LD      M14.1

```

```

MOVR    VD804, VD908
+R      VD904, VD908

NETWORK 510 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//Wo diseño - Wz´
LD      M14.1
MOVR    0.009975540, VD912
-R      VD908, VD912

NETWORK 511 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//(Wo 1 - Wp) valores medidos
LD      M14.1
MOVR    VD60, VD916
-R      VD188, VD916

NETWORK 512 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//(Wo diseño - Wz´) / (Wo 1 -
//Wp) medidos
LD      M14.1
MOVR    VD912, VD920
/R      VD916, VD920

NETWORK 513 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 1
//{(Wo diseño - Wz´) / (Wo 1 -
//Wp) medidos} * (To 1 - Tp)
//medidos
//(To 1 -Tp) se calculo en
//Network 492, VD840
LD      M14.1
MOVR    VD920, VD924
*R      VD840, VD924

NETWORK 514 //Tp 1 suministro
//(ec 5.20)
//Tp 1 suministro = To (diseño)
//- {(Wo diseño - Wz´) / (Wo 1
//- Wp) //medidos} * (To 1 -
//Tp) medidos
LD      M14.1
MOVR    77.00000, VD928
-R      VD924, VD928

NETWORK 515 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 2
//(Wo 2 - Wp) valores medidos
LD      M14.1
MOVR    VD92, VD932
-R      VD188, VD932
NETWORK 516 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 2
//(Wo diseño - Wz´) / (Wo 2 -
//Wp) medidos
//(Wo diseño - Wz´): se
//calculo en Network 510,
//VD912
LD      M14.1
MOVR    VD912, VD936
/R      VD932, VD936

NETWORK 517 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 2
//{(Wo diseño - Wz´) / (Wo 2 -
//Wp) medidos} * (To 2 - Tp)
//medidos
//(To 2 -Tp) se calculo en
//Network 495, VD852
LD      M14.1
MOVR    VD936, VD940
*R      VD852, VD940

NETWORK 518 //Tp 2 suministro
//(ec 5.20)
//Tp 2 suministro = To (dise-
//ño) - {(Wo diseño - Wz´) /
//(Wo 2 - Wp) //medidos} * (To
//2 - Tp) medidos
LD      M14.1
MOVR    77.00000, VD944
-R      VD940, VD944

NETWORK 519 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 3
//(Wo 3 - Wp) valores medidos
LD      M14.1
MOVR    VD124, VD948
-R      VD188, VD948

NETWORK 520 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 3
//(Wo diseño - Wz´) / (Wo 3 -
//Wp) medidos
//(Wo diseño - Wz´): se calculo
//lo en Network 510, VD912
LD      M14.1
MOVR    VD912, VD952
/R      VD948, VD952

NETWORK 521 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 3
//{(Wo diseño - Wz´) / (Wo 3 -
//Wp) medidos} * (To 3 - Tp)
//medidos
//(To 3 -Tp) se calculo en
//Network 498, VD864
LD      M14.1
MOVR    VD952, VD956
*R      VD864, VD956

NETWORK 522 //Tp 3 suministro
//(ec 5.20); Tp 3 suministro =
//To (diseño) - {(Wo diseño -
//Wz´) / (Wo 3 - Wp)
//medidos} // * (To 3 - Tp)
medidos
LD      M14.1
MOVR    77.00000, VD960
-R      VD956, VD960

NETWORK 523 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 4

```

```

//(Wo 4 - Wp) valores medidos
LD M14.1
MOVR VD156, VD964
-R VD188, VD964

NETWORK 524 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 4
//(Wo diseño - Wz') / (Wo 4 -
//Wp) medidos
//(Wo diseño - Wz'): se calculo
//en Network 510, VD912
LD M14.1
MOVR VD912, VD968
/R VD964, VD968

NETWORK 525 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp suministro 4
//{(Wo diseño - Wz') / (Wo 4 -
//Wp) medidos} * (To 4 - Tp)
//medidos
//(To 4 -Tp) se calculo en
//Network 501, VD876
LD M14.1
MOVR VD968, VD972
*R VD876, VD972

NETWORK 526 //Tp 4 suministro
//(ec 5.20); Tp 4 suministro =
//To (diseño) - {(Wo diseño -
//Wz') / (Wo 4 - Wp) //medidos}
//* (To 4 - Tp) medidos
LD M14.1
MOVR 77.00000, VD976
-R VD972, VD976

NETWORK 527 //Comprueba si Tp 1
//suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<= VD928, VD944
AR<= VD928, VD960
AR<= VD928, VD976
AR>= VD928, VD896
A M14.1
= M10.1

NETWORK 528 //Comprueba si Tp
//2 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<= VD944, VD928
AR<= VD944, VD960
AR<= VD944, VD976
AR>= VD944, VD896
A M14.1
= M10.2

NETWORK 529 //Comprueba si Tp
//3 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<= VD960, VD928
AR<= VD960, VD944
AR<= VD960, VD976
AR>= VD960, VD896

A M14.1
= M10.3

NETWORK 530 //Comprueba si Tp
//4 suministro es el de menor
//valor, (además Tp > Tz')
LDR<= VD976, VD928
AR<= VD976, VD944
AR<= VD976, VD960
AR>= VD976, VD896
A M14.1
= M10.4

NETWORK 531 //Tp seleccionado
//= Tp suministro (1)
LD M10.1
MOVR VD928, VD980

NETWORK 532 //Tp seleccionado
//= Tp suministro (2)
LD M10.2
MOVR VD944, VD980

NETWORK 533 //Tp seleccionado
//= Tp suministro (3)
LD M10.3
MOVR VD960, VD980

NETWORK 534 //Tp seleccionado
//= Tp suministro (4)
LD M10.4
MOVR VD976, VD980

NETWORK 535 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 1 es
//seleccionado; Tp corregido =
//(Tp medido - To 1 medido) +
//To diseño
//To1 medido-Tp medido,fue
cal-//culado en network 492,
VD840
LD M10.1
MOVR 77.00000, VD984
-R VD840, VD984

NETWORK 536 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 2 es
//seleccionado; Tp corregido =
//(Tp medido - To 2 medido) +
//To diseño
//To2 medido-Tp medido,fue
cal-//culado en network 495,
VD852
LD M10.2
MOVR 77.00000, VD984
-R VD852, VD984

NETWORK 537 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 3 es
//seleccionado; Tp corregido =
//(Tp medido - To 3 medido) +
//To diseño

```

```

//To3 medido-Tp medido,fue cal-
//culado en network 411, VD864
LD      M10.3
MOVR    77.00000, VD984
-R      VD864, VD984

NETWORK 538 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 4 es
//seleccionado; Tp corregido =
//(Tp medido - To 4 medido) +
//To diseño
//To4 medido-Tp medido,fue cal-
//culado en network 501, VD876
LD      M10.4
MOVR    77.00000, VD984
-R      VD876, VD984

NETWORK 539 //(ec 5.23) Para
//calcular el nuevo flujo de
//aire;To diseño - Tp corregido
LD      M14.1
MOVR    77.00000, VD988
-R      VD984, VD988

NETWORK 540 //(ec 5.23) Para
//calcular el nuevo flujo de
//aire; To diseño - Tp selec-
//cionado
LD      M14.1
MOVR    77.00000, VD992
-R      VD980, VD992

NETWORK 541 //(ec 5.23) Para
//calcular el nuevo flujo de
//aire; (To diseño - Tp corre-
//gido) / (To diseño-Tp selec-
//cionado)
LD      M14.1
MOVR    VD988, VD996
/R      VD992, VD996

NETWORK 542 //scfm 2 (ec 5.23)
//= [(To diseño - Tp corri-
//do) / (To diseño - Tp selec-
//cionado)] * scfm1.
//scfm1 inicial = 28000
LD      M14.1
MOVR    VD996, VD1000
*R      28000.00, VD1000
MOVR    VD1000, VD1004
/R      10.00000, VD1004
TRUNC   VD1004, VD1004
MOVW    VW1006, AQW24

NETWORK 543 //Para simular la
//acción del Ventilador en el
//PC Simu
LD      M14.1
TRUNC   VD1000, VD1008
MOVW    VW1010, AQW26

NETWORK 544 //(ec 5.24) Para
//calcular q del calentador
//Tp seleccionado - Tz´
LD      M14.1
MOVR    VD980, VD1012
-R      VD896, VD1012

NETWORK 545 //(ec 5.24) Para
//calcular q del calentador
//(scfm2)*(Tp corregido - Tz´)
LD      M14.1
MOVR    VD1000, VD1016
*R      VD1012, VD1016

NETWORK 546 //q calentador (ec
//5.24) : 1.1(scfm2) (Tp
//corregido - Tz´) en BTU/h
LD      M14.1
MOVR    1.100000, VD1020
*R      VD1016, VD1020

NETWORK 547 //q calentador en
//BTU/s
LD      M14.1
MOVR    VD1020, VD1024
/R      3600.000, VD1024
MOVR    VD1024, VD1028
*R      1.000000, VD1028
TRUNC   VD1028, VD1028
MOVW    VW1030, AQW4

NETWORK 548 //Para simular la
//acción del Calentador en PC
//Simu
LD      M14.1
MOVR    VD1024, VD1032
*R      1000.000, VD1032
TRUNC   VD1032, VD1032
MOVW    VW1034, AQW6

NETWORK 549 //scfmL (ec 5.10):
//Nuevo flujo de aire en los
//locales scfmL
//scfmL = scfm / 4
LD      M14.1
MOVR    VD1000, VD1036
/R      4.000000, VD1036

NETWORK 550 //(ec 5.26) Para
//calcular el aumento de temp.
//en el local 1
//1.1*scfmL
LD      M14.1
MOVR    1.100000, VD1040
*R      VD1036, VD1040

NETWORK 551 //Aumento de temp.
//en el local 1 (ec 5.26)
//qs real 1 /(1.1*scfmL)
LD      M14.1
MOVR    VD848, VD1044
/R      VD1040, VD1044

```

```

NETWORK 552 //Aumento de temp. //To calculado 1 < To diseño -
//en el local 2 (ec 5.26) //Delta T
//qs real 2 /(1.1*scfml) //To diseño - Delta T = 76
//1.1*scfml: calculado en LDR>= VD1060, 76.00000
//Network 550,VD1040 NOT
LD M14.1 A M14.1
MOVR VD860, VD1048 = M11.6
/R VD1040, VD1048

NETWORK 553 //Aumento de temp. //Condición para
//en el local 3 (ec 5.26) //que funcione el recalentador
//qs real 3 /(1.1*scfml) //2
//1.1*scfml: calculado en //To calculado 2 < To diseño -
//Network 550,VD1040 //Delta T
LD M14.1 LDR>= VD1064, 76.00000
MOVR VD872, VD1052 NOT
/R VD1040, VD1052 A M14.1
= M11.7

NETWORK 554 //Aumento de temp. NETWORK 561 //Condición para
//en el local 4 (ec 5.26) //que funcione el recalentador
//qs real 4 /(1.1*scfml) //3
//1.1*scfml: calculado en //To calculado 3 < To diseño -
//Network 550,VD1040 //Delta T
LD M14.1 //To diseño - Delta T = 76
MOVR VD884, VD1056 LDR>= VD1068, 76.00000
/R VD1040, VD1056 NOT
A M14.1
= M12.0

NETWORK 555 //To 1 calculado NETWORK 562 //Condición para
//(ec 5.27); To 1 calculado = //que funcione el recalentador
//Tp seleccionado + Aumento de //4
//temp. 1 //To calculado 4 < To diseño -
LD M14.1 //Delta T
MOVR VD980, VD1060 //To diseño - Delta T = 76
+R VD1044, VD1060 LDR>= VD1072, 76.00000
NOT
A M14.1
= M12.1

NETWORK 556 //To 2 calculado NETWORK 563 //(ec5.28)Para
//(ec 5.27); To 2 calculado = cal-//cular q del recalentador
//Tp seleccionado + Aumento de 1
//temp. 2 //To diseño - To calculado
LD M14.1 LD M11.6
MOVR VD980, VD1064 MOVR 77.00000, VD1076
+R VD1048, VD1064 -R VD1060, VD1076

NETWORK 557 //To 3 calculado NETWORK 564 //q del recalenta-
//(ec 5.27); To 3 calculado = //dor 1 (ec 5.28)
//Tp seleccionado + Aumento de //q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//temp. 3 To //calculado)
LD M14.1 //1.1*scfmL: se calculo en
MOVR VD980, VD1068 //Network 550 ,VD1040
+R VD1052, VD1068 LD M11.6
MOVR VD1076, VD1080
+R VD1040, VD1080

NETWORK 558 //To 4 calculado NETWORK 565 //q recalentador 1
//(ec 5.27); To 4 calculado = //[Btu/s] (PC Simu)
//Tp seleccionado + Aumento de LD M11.6
//temp. 4 MOVR VD1080, VD1084
LD M14.1
MOVR VD980, VD1072
+R VD1056, VD1072

NETWORK 559 //Condición para
//que funcione el recalentador
//1

```

```

/R      3600.000, VD1084
MOVR   VD1084, VD1088
*R      100.0000, VD1088
TRUNC  VD1088, VD1088
MOVW   VW1090, AQW8

NETWORK 566 //Para simular la
//acción del Recalentador 1 en
//PC Simu
LD      M11.6
MOVR   VD1084, VD1092
*R      10000.00, VD1092
TRUNC  VD1092, VD1092
MOVW   VW1094, AQW10

NETWORK 567 //(ec 5.28) Para
//calcular q del recalentador
//2
//To diseño - To 2 calculado
LD      M11.7
MOVR   77.00000, VD1096
-R      VD1064, VD1096

NETWORK 568 //q del recalenta-
//dor 2 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 550 ,VD1040
LD      M11.7
MOVR   VD1096, VD1100
*R      VD1040, VD1100

NETWORK 569 //q recalentador 2
//[Btu/s]
LD      M11.7
MOVR   VD1100, VD1104
/R      3600.000, VD1104
MOVR   VD1104, VD1108
*R      100.0000, VD1108
TRUNC  VD1108, VD1108
MOVW   VW1110, AQW8

NETWORK 570 //Para simular la
//acción del Recalentador 2 en
//PC Simu
LD      M11.7
MOVR   VD1104, VD1112
*R      10000.00, VD1112
TRUNC  VD1112, VD1112
MOVW   VW1114, AQW10

NETWORK 571 //(ec5.28)Para cal-
//cular q del recalentador 3
//To diseño - To 3 calculado
LD      M12.0
MOVR   77.00000, VD1116
-R      VD1068, VD1116

NETWORK 572 //q del recalenta-
//dor 3 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 550 ,VD1040
LD      M12.0
MOVR   VD1116, VD1120
*R      VD1040, VD1120

NETWORK 573 //q recalentador 3
//[Btu/s] (PC Simu)
LD      M12.0
MOVR   VD1120, VD1124
/R      3600.000, VD1124
MOVR   VD1124, VD1128
*R      100.0000, VD1128
TRUNC  VD1128, VD1128
MOVW   VW1130, AQW8

NETWORK 574 //Para simular la
//acción del Recalentador 3 en
//PC Simu
LD      M12.0
MOVR   VD1124, VD1132
*R      10000.00, VD1132
TRUNC  VD1132, VD1132
MOVW   VW1134, AQW10

NETWORK 575 //(ec5.28)Para
cal-//cular q del recalentador
4
//To diseño - To 4 calculado
LD      M12.1
MOVR   77.00000, VD1136
-R      VD1072, VD1136

NETWORK 576 //q del recalenta-
//dor 4 (ec 5.28)
//q = 1.1*scfmL * (To diseño -
//To calculado)
//1.1*scfmL: se calculo en
//Network 550 ,VD1040
LD      M12.1
MOVR   VD1136, VD1140
*R      VD1040, VD1140

NETWORK 577 //q recalentador 4
//[Btu/s]
LD      M12.1
MOVR   VD1140, VD1144
/R      3600.000, VD1144
MOVR   VD1144, VD1148
*R      100.0000, VD1148
TRUNC  VD1148, VD1148
MOVW   VW1150, AQW8

NETWORK 578 //Para simular la
//acción del Recalentador 4 en
//PC Simu
LD      M12.1
MOVR   VD1144, VD1152
*R      10000.00, VD1152
TRUNC  VD1152, VD1152

```

MOVW VW1154, AQW10

NETWORK 579  
MEND**Nota:**

- Los literales marcados con dos asteriscos (\*\*) no son necesarios para el control, únicamente son utilizados para simular la acción de los diferentes elementos en PC Simu.
- Las frases presedidas por las dos barras (//) son comentarios que el diseñador coloca para ayudar al entendimiento del lector.
- Los literales 401, 402, 404 y de 492 hasta 578 no son necesarios para el control, unicamente se utilizan para mostrar el primer calculo realizado por el PLC durante la condicion de Verano.

**5.1.7 SIMULACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL N° 1**

Para verificar el buen funcionamiento del programa de control, se asumen valores de entrada al sistema y se encuentran los valores de salida siguiendo el mismo procedimiento mostrado en el diagrama de flujo.

**5.1.7.1 Invierno Seco**

Los valores de entrada son los siguientes:

**Tabla 5.2:** Valores de entrada del Sistema N° 1 estimados para la simulación en Invierno Seco.

|                               | Aire Exterior | Aire en los Locales |    |    |    | Aire de Suministro |
|-------------------------------|---------------|---------------------|----|----|----|--------------------|
|                               |               | 1                   | 2  | 3  | 4  |                    |
| <b>Temperatura</b><br>[ ° F ] | 65            | 74                  | 76 | 72 | 70 | 84                 |
| <b>Humedad Relativa</b> [%]   | 40            | 45                  | 54 | 50 | 48 | 42                 |

Los valores de salida calculados son:

**Tabla 5.3:** Valores de salida del Sistema N° 1 calculados para el Invierno Seco.

| Estación                    |   | Invierno Seco |
|-----------------------------|---|---------------|
| Recirculación [ % ]         |   | 57            |
| Flujo de Aire [scfm]        |   | 28000         |
| Enfriador-Deshumidificador  |   | OFF           |
| Calentador [Btu/s]          |   | 263.67        |
| Humidificador               |   | ON            |
| Recalentadores<br>[ Btu/s ] | 1 | 4.27          |
|                             | 2 | 0             |
|                             | 3 | 8.55          |
|                             | 4 | 12.83         |

Todos los cálculos realizados para la simulación se encuentran en el Anexo E.

Para la simulación del programa, se traslada el programa de control N° 1 de Step 7 a S7 200 y se pasa el estado del PLC de STOP a RUN, en PC Simu se dibujan todas las entradas y salidas necesarias. A continuación se inicia la simulación pasando del modo de diseño al modo de simulación, además se pulsa el icono de inicio y se da un clic con el mouse en el pulsador de encendido ON.

The screenshot shows the PC\_SIMU software interface with the following data displayed:

- Control Elements:**
  - ON (Green circle), OFF (Red circle)
  - Enfriador Deshumidificador (Cyan circle)
  - Humidificador (Blue circle)
  - INVIERNO (Yellow bar), VERANO (Grey bar)
  - Seco (Yellow bar), Neutro (Grey bar), Humedo (Grey bar)
  - Condiciones de Confort (Grey circle)
- AIRE EXTERIOR:**
  - Temperatura: 65.00
  - Humedad Relativa: 40.00
- AIRE EN LOS LOCALES:**
  - 1: Temperatura 74.00, Humedad Relativa 45.00
  - 2: Temperatura 76.00, Humedad Relativa 54.00
  - 3: Temperatura 72.00, Humedad Relativa 50.00
  - 4: Temperatura 70.00, Humedad Relativa 48.00
- AIRE DE SUMINISTRO:**
  - Temperatura: 84.00
  - Humedad Relativa: 42.00
- Other Parameters:**
  - % de Recirculación de Aire: 57.00
  - Calentador Btu / s: 263.00
  - Suministro de Aire scfm: 28000.00 X 10 (Solo en el Verano)
  - Recalentadores Btu/s:
    - 1: 427.00 / 100
    - 2: 0.00 / 100
    - 3: 855.00 / 100
    - 4: 1283.00 / 100

**Figura 5.25:** Simulación del Programa de Control N° 1 en Invierno Seco

Los valores de salida calculados por el PLC son muy similares a los valores encontrados en la tabla 5.3. La diferencia radica en las limitaciones que presenta el programa simulador PC Simu, el cuál es incapaz de mostrar valores decimales o números demasiado altos, por lo que se ha tenido la necesidad de realizar algunas modificaciones en los resultados, así por ejemplo, el valor de la energía de los recalentadores mostrados en la pantalla, debe dividirse para 100 para obtener el valor calculado por el PLC. Sin embargo, a pesar de estos pequeños inconvenientes, se observa que el programa de control funciona correctamente.

#### 5.1.7.2 Invierno con Humedad Similar a la de Diseño

Los valores de entrada son los siguientes:

**Tabla 5.4:** Valores de entrada del Sistema N° 1 estimados para la simulación en Invierno Neutro.

|                             | Aire Exterior | Aire en los Locales |    |    |    | Aire de Suministro |
|-----------------------------|---------------|---------------------|----|----|----|--------------------|
|                             |               | 1                   | 2  | 3  | 4  |                    |
| <b>Temperatura [ ° F ]</b>  | 65            | 72                  | 75 | 78 | 79 | 84                 |
| <b>Humedad Relativa [%]</b> | 70            | 60                  | 48 | 45 | 47 | 55                 |

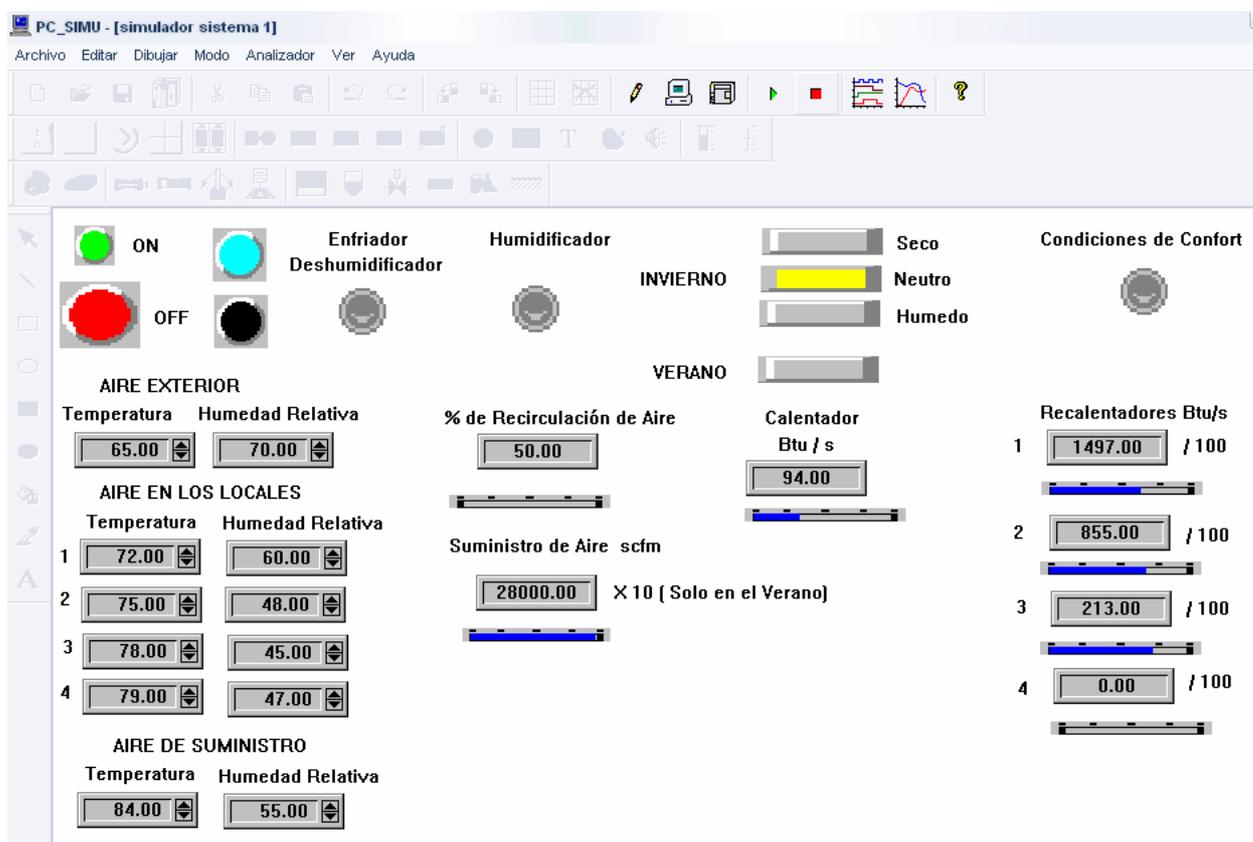
Los valores de salida calculados son:

**Tabla 5.5:** Valores de salida del Sistema N° 1 calculados para el Invierno Neutro

| Estación                          | Invierno Neutro |
|-----------------------------------|-----------------|
| <b>Recirculación [ % ]</b>        | 50              |
| <b>Flujo de Aire [scfm]</b>       | 28000           |
| <b>Enfriador-Deshumidificador</b> | OFF             |
| <b>Calentador [Btu/s]</b>         | 94.11           |

|                                     |          |       |
|-------------------------------------|----------|-------|
| <b>Humidificador</b>                |          | OFF   |
| <b>Recalentadores<br/>[ Btu/s ]</b> | <b>1</b> | 14.97 |
|                                     | <b>2</b> | 8.55  |
|                                     | <b>3</b> | 2.13  |
|                                     | <b>4</b> | 0     |

Todos los cálculos realizados para la simulación se encuentran en el Anexo E.



**Figura 5.26:** Simulación del Programa de Control N° 1 en Invierno Neutro.

### 5.1.7.3 Invierno Húmedo

Los valores de entrada son los siguientes:

**Tabla 5.6:** Valores de entrada del Sistema N° 1 estimados para la simulación en Invierno Húmedo.

|                             | <b>Aire Exterior</b> | <b>Aire en los Locales</b> |          |          |          | <b>Aire de Suministro</b> |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|
|                             |                      | <b>1</b>                   | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |                           |
| <b>Temperatura [ ° F ]</b>  | 65                   | 74                         | 75       | 77       | 72       | 80                        |
| <b>Humedad Relativa [%]</b> | 85                   | 58                         | 53       | 48       | 60       | 51                        |

Los valores de salida calculados son:

**Tabla 5.7:** Valores de salida del Sistema N° 1 calculados para el Invierno Húmedo

| <b>Estación</b>                   | <b>Invierno Húmedo</b> |       |
|-----------------------------------|------------------------|-------|
| <b>Recirculación [ % ]</b>        | 18.31                  |       |
| <b>Flujo de Aire [scfm]</b>       | 28000                  |       |
| <b>Enfriador-Deshumidificador</b> | OFF                    |       |
| <b>Calentador [Btu/s]</b>         | 109.53                 |       |
| <b>Humidificador</b>              | OFF                    |       |
| <b>Recalentadores [ Btu/s ]</b>   | <b>1</b>               | 6.41  |
|                                   | <b>2</b>               | 4.27  |
|                                   | <b>3</b>               | 0     |
|                                   | <b>4</b>               | 10.69 |

Todos los cálculos realizados para la simulación se encuentran en el Anexo E.

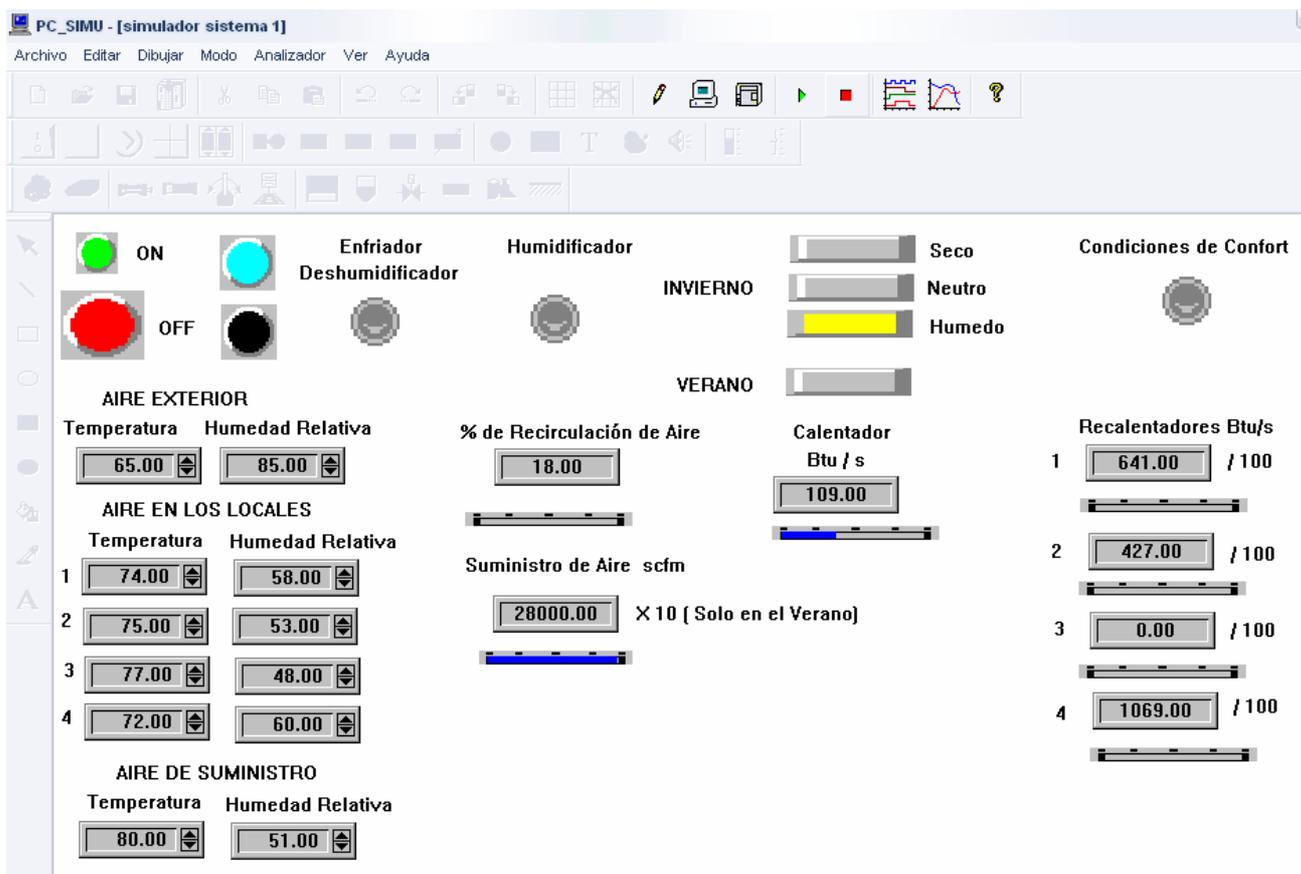


Figura 5.27: Simulación del Programa de Control N° 1 en Invierno Húmedo

#### 5.1.7.4 Verano

Los valores de entrada son los siguientes:

Tabla 5.8: Valores de entrada del Sistema N° 1 estimados para la simulación en Verano.

|                      | Aire Exterior | Aire en los Locales |    |    |    | Aire de Suministro |
|----------------------|---------------|---------------------|----|----|----|--------------------|
|                      |               | 1                   | 2  | 3  | 4  |                    |
| Temperatura [ ° F ]  | 90            | 80                  | 82 | 79 | 78 | 60                 |
| Humedad Relativa [%] | 55            | 50                  | 45 | 50 | 49 | 88                 |

Para obtener los valores de la primera acción que realiza el PLC al detectar las señales de entrada dadas, se da un clic en el pulsador I0.2 (color Cian) y para regresar se pulsa el botón negro.

Los valores de salida calculados son:

**Tabla 5.9:** Valores de salida del Sistema N° 1 calculados para el Verano

|                                     |          |          |
|-------------------------------------|----------|----------|
| <b>Estación</b>                     |          | Verano   |
| <b>Recirculación [ % ]</b>          |          | 69.58    |
| <b>Flujo de Aire [scfm]</b>         |          | 44171.77 |
| <b>Enfriador-Deshumidificador</b>   |          | ON       |
| <b>Calentador [Btu/s]</b>           |          | 78.28    |
| <b>Humidificador</b>                |          | OFF      |
| <b>Recalentadores<br/>[ Btu/s ]</b> | <b>1</b> | 0        |
|                                     | <b>2</b> | 0        |
|                                     | <b>3</b> | 0        |
|                                     | <b>4</b> | 0        |

Todos los cálculos realizados para la simulación se encuentran en el Anexo E.

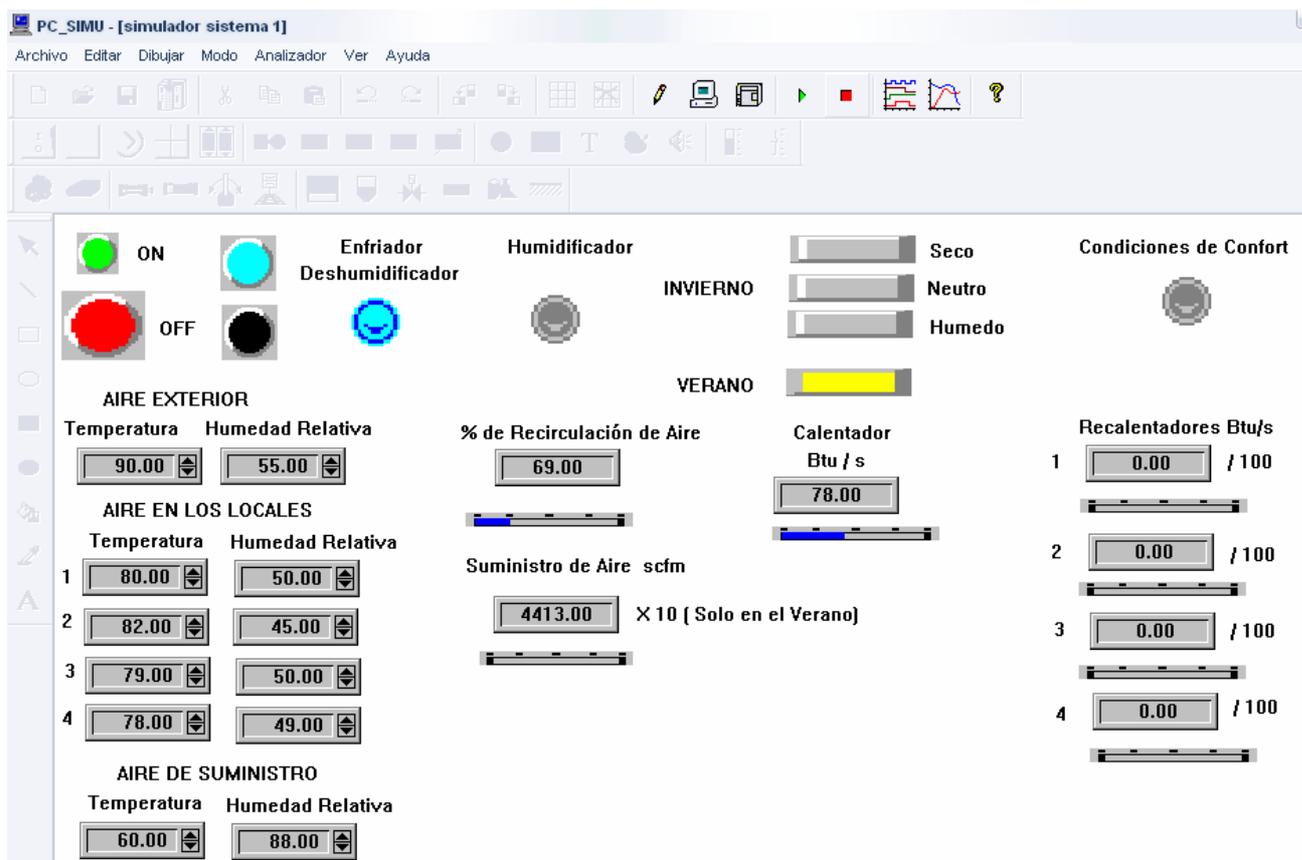
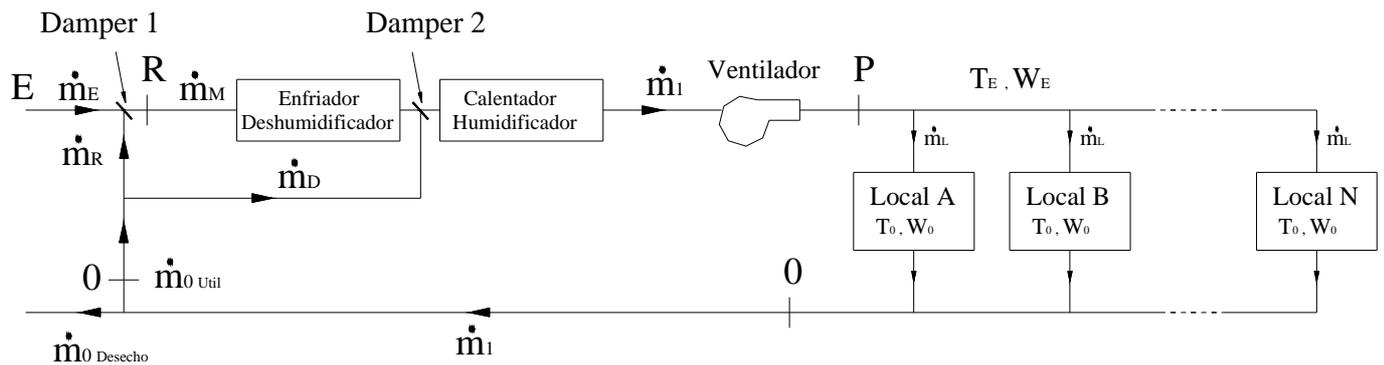


Figura 5.28: Simulación del Programa de Control N° 1 en Verano.

## 5.2 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA N° 2

### 5.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA N° 2

La descripción del sistema de aire acondicionado número 2 esta representada en las figuras 5.29 y 5.30.



**Figura 5.29:** Representación esquemática del Sistema de aire acondicionado.

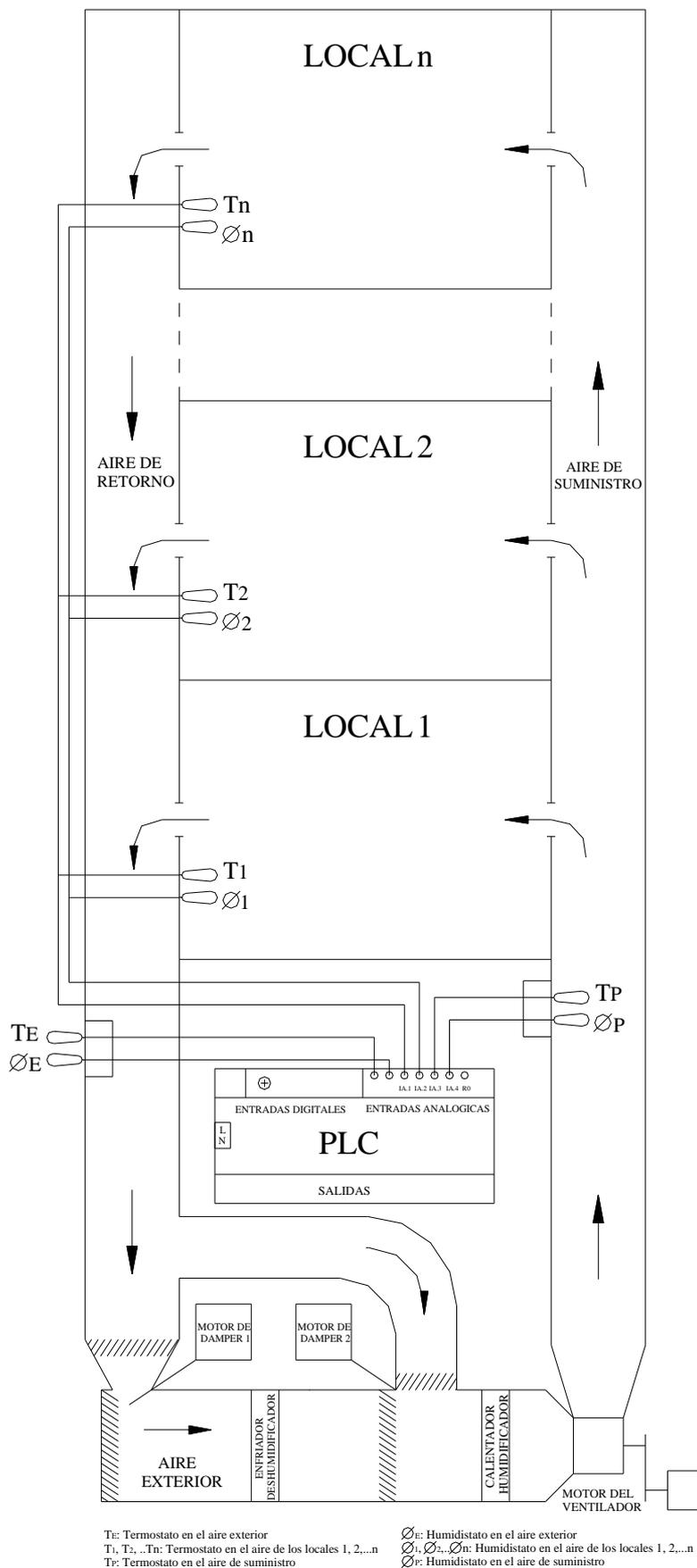
El sistema esta formado por:

- 1 Enfriador Deshumidificador
- 1 Calentador
- 1 Humidificador
- 1 Ventilador
- 2 Dampers de mezcla de aire

De la misma forma que para el sistema N° 1, el sistema de control N° 2 esta diseñado para edificios o construcciones formados por varios locales que poseen factores de calor sensible muy similares.

### 5.2.2 DETERMINAR QUÉ DEBE HACER EL SISTEMA DE CONTROL Y EN QUÉ ORDEN.

El control que se implantará para gobernar el sistema de aire acondicionado número 2, debe ser capaz de variar las condiciones de temperatura del aire de suministro en valores adecuados para ser introducidos en el local, dependiendo



**Figura 5.30:** Esquema del sistema de control por PLC del sistema de aire acondicionado Nº 2 de tipo todo-aire de conducto único.

de las necesidades del mismo, para que cuando el aire evolucione en el local, proporcione un ambiente de confort térmico humano. Este sistema de control es muy eficiente en cuanto al control de temperatura pero sacrifica la humedad.

Estos valores serán establecidos de acuerdo a la variación de las cargas externas e internas al local.

Las tareas que el sistema de control debe realizar son las siguientes:

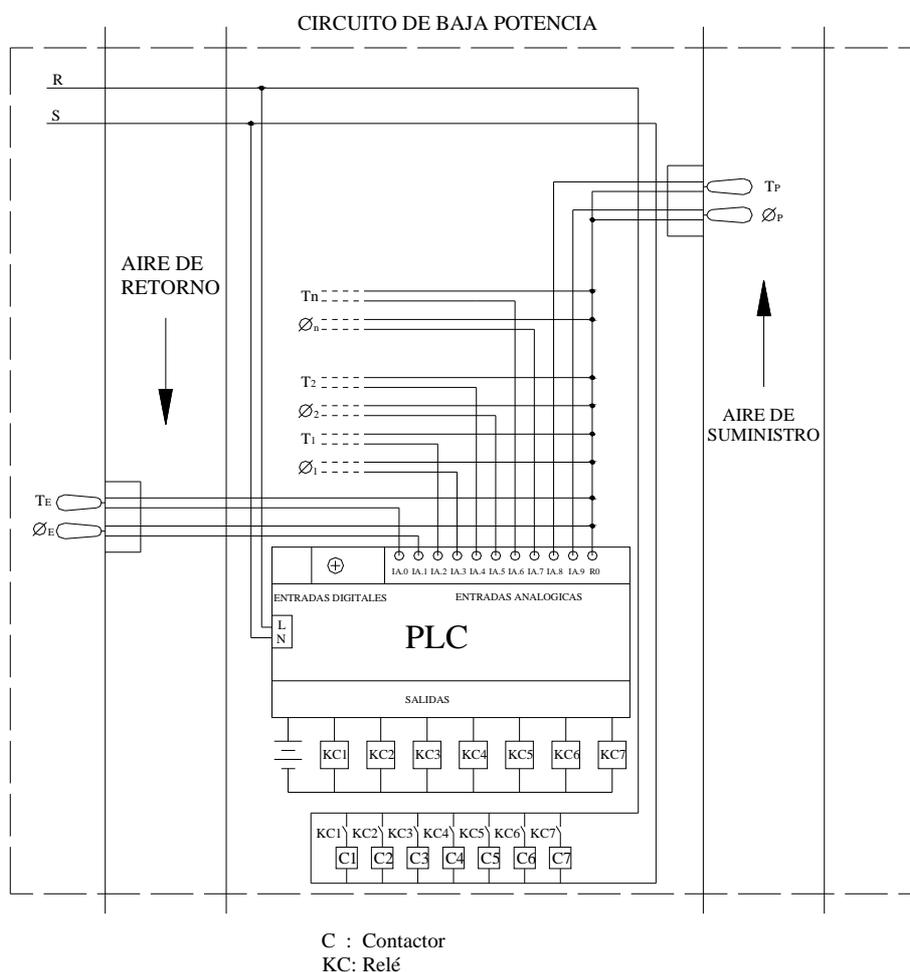
- I. El PLC por medio de sus sensores externos determinará las condiciones en las que se encuentra el ambiente exterior, luego establecerá si el sistema debe calentar o enfriar (invierno o verano) y encenderá el ventilador, en caso de que este apagado.
- II. Si la estación es verano, el autómatas encenderá el enfriador-deshumidificador, establecerá la cantidad de aire de retorno necesario tanto para la recirculación como para ser desviado del Enfriador-Deshumidificador para llevar el aire a las condiciones de suministro y determinara el movimiento de los dampers.
- III. Si la estación es invierno, el autómatas apagará el enfriador-deshumidificador, encenderá el calentador-humidificador y determinará el movimiento del damper del aire de retorno para suministrar el aire a las condiciones deseadas. El damper de desviación permanecerá cerrado.
- IV. Por medio de los sensores ubicados en el local y a la salida del equipo, el autómatas determinará si las condiciones del aire que suministra el sistema son las adecuadas para alcanzar las condiciones de confort en el local, de no ser así, el programa del PLC determinará la variación en porcentaje de la mezcla de aire de retorno y aire que ha sido enfriado y deshumidificado para corregir el error en el verano, o determinara el porcentaje de recirculación de aire y calentamiento necesarios en el invierno.
- V. Por medio de un pulsador, el autómatas apagará todos los equipos y pasara al modo de funcionamiento OFF, hasta recibir la indicación de pasar al estado RUN y controlar el sistema de aire acondicionado otra vez.

Es preciso indicar que en el mercado existen muchos constructores de equipos de aire acondicionado, por lo que no es posible establecer un modelo de funcionamiento común para todos los equipos existentes, ya que cada equipo tiene un funcionamiento diferente y propio que depende del fabricante. Sin

embargo, para el modelo de control del presente estudio, se establecerá que el funcionamiento del enfriador-deshumidificador y del humidificador, será únicamente de todo-nada, en cambio el calentador y los dampers deben tener la habilidad de variar su capacidad de funcionamiento.

### 5.2.3 IDENTIFICAR LOS COMPONENTES ( SEÑALES ) DE ENTRADA Y SALIDA AL AUTÓMATA

Las señales de entrada al autómata serán dadas por la humedad y la temperatura del aire exterior, del aire de suministro y del aire en los locales.

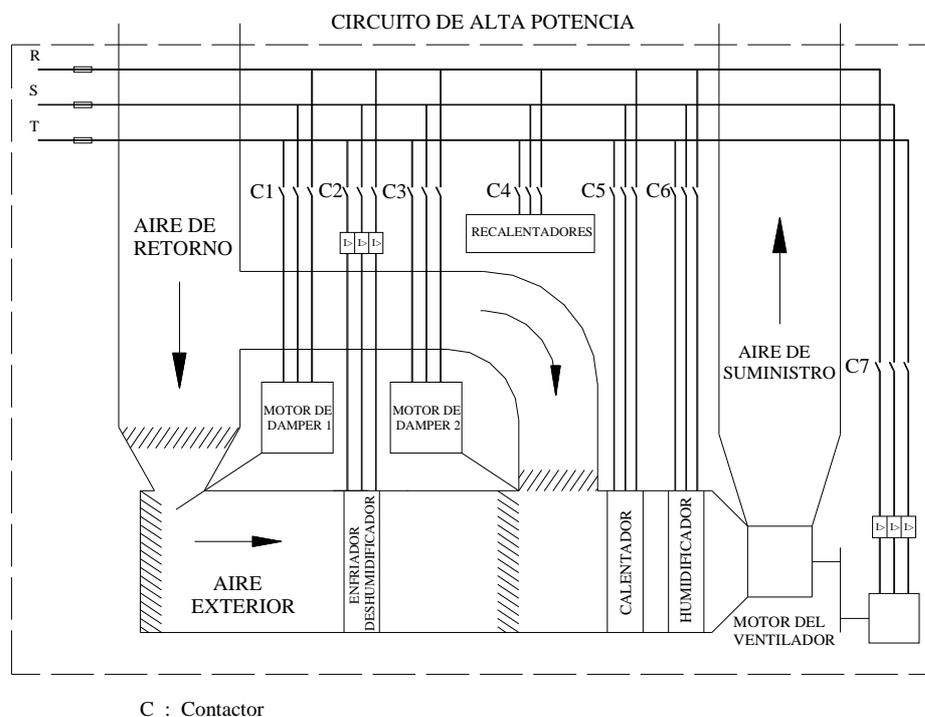


**Figura 5.31:** Circuito de baja potencia del sistema 2 y señales de entrada al autómata.

El autómata de acuerdo al programa en su memoria, dará como señales de salida las indicaciones para modificar el funcionamiento de los equipos (encenderlos, apagarlos o en el caso del calentador variar su capacidad) e indicara el instante y

la forma en qué deben moverse los dampers que permite el paso del aire de retorno.

El esquema es muy similar al presentado para el sistema N° 1 con la única diferencia que tiene 1 salida adicional.



**Figura 5.32:** Circuito de alta potencia del sistema 2.

#### 5.2.4 REPRESENTAR MEDIANTE UN MODELO EL SISTEMA DE CONTROL, INDICANDO TODAS LAS FUNCIONES QUE INTERVIENEN, LAS RELACIONES ENTRE ELLAS Y LA SECUENCIA QUE DEBEN SEGUIR.

La diferencia entre el sistema N° 1 y el sistema N° 2 únicamente radica durante el funcionamiento en la estación de Verano, en esta estación, el sistema N° 1 enfría y deshumidifica una mezcla de aire exterior y aire de retorno, en cambio el segundo sistema desvía un porcentaje del aire de retorno del enfriador-deshumidificador y luego mezcla este flujo de aire con el aire que si fue enfriado y deshumidificado (mezcla de aire exterior y de retorno).

Entonces la lógica de control del sistema N° 2 será la misma que el sistema N° 1 cuando el aire exterior se encuentre en la estación de invierno y diferente cuando el aire exterior se encuentre en la estación de verano.

### 5.2.4.1 En el Verano

En el Verano únicamente se realizará control de Temperatura y no de humedad debido a que el sistema de control por desviación no controla la humedad, únicamente controla la temperatura.

Si la estación es verano ( $T_E > T_{O \text{ DISEÑO}}$ ), el PLC por medio de contactores y relés, realizará las siguientes acciones:

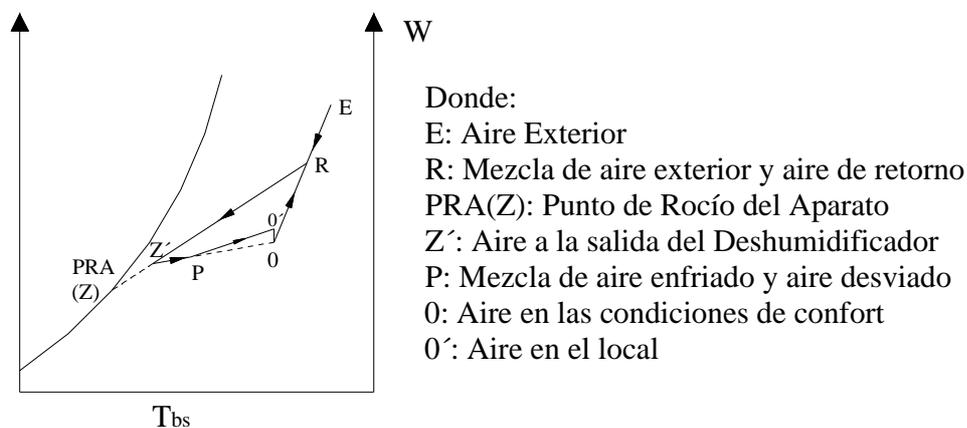
- Apagará el Humidificador
- Encenderá el enfriador-deshumidificador
- Determinará el movimiento de los dampers del aire de retorno
- Establecerá el calentamiento adecuado que deben proporcionar los recalentadores.

Para “indicar” al PLC ¿Cómo? realizar las tareas antes señaladas, se sigue la siguiente lógica de control:

### 5.2.4.2 Forma de Acondicionar el aire en el Verano

De igual manera que el sistema anterior, el sistema N° 2 solo es aplicable en sitios donde se tenga una humedad relativa alta durante el verano, es decir no es recomendable para lugares con climas calido-secos.

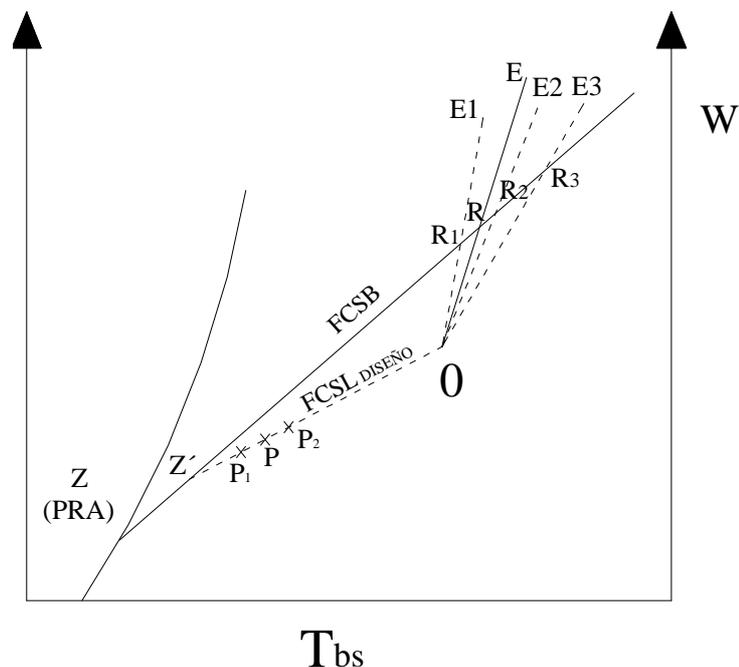
La figura 5.33 muestra el ciclo de aire a través del sistema de aire acondicionado en el verano. En el Anexo C, se muestra la forma de establecer el ciclo en la carta sicrométrica y se indica que el Punto de Rocío del Aparato va a ser considerado como un estado que se mantiene constante, así como también la recta del FCSB, sin importar las variaciones internas o externas.



**Figura 5.33:** Ciclo del aire del sistema N° 2 en el Verano

El control del sistema de aire acondicionado en el verano, estará orientado a realizar dos aspectos importantes:

- Mantener el punto de mezcla R en la línea de evolución del aire en el equipo FCSB.
- Encontrar el estado del aire de suministro P adecuado con respecto a la variación de la evolución del aire en el local.



**Figura 5.34:** Variación de las condiciones del aire de suministro.

### 5.2.4.3 Determinación del Estado de Mezcla R

La deducción de las formulas para calcular los diferentes estados que a continuación se realizan han sido desarrolladas en el sistema N° 1, por lo que no se explicará la forma de obtener las ecuaciones sino simplemente su utilización para realizar el control.

Para determinar el estado de mezcla entre el aire exterior y el aire de recirculación se usará la ecuación 5.16.

$$W_R = \frac{m * W_E - W_{0_{DISEÑO}} * T_E + (T_{0_{DISEÑO}} - m) * W_{0_{DISEÑO}}}{n * W_E - T_E + (T_{0_{DISEÑO}} - n * W_{0_{DISEÑO}})}$$

Donde:

$$m = T_{0_{DISEÑO}} - T_{PRA} + \frac{FCSB * h_{fg_{PRA}}}{(1 - FCSB) * Cpe} W_{PRA}$$

$$n = \frac{FCSB * h_{fg_{PRA}}}{(1 - FCSB) * Cpe}$$

Esta Humedad específica se reemplaza en la ecuación (5.9) y se encuentra el porcentaje de recirculación.

$$recirculación (\%) = \frac{T_E - T_R}{T_E - T_{O_{DISEÑO}}} * 100 = \frac{W_E - W_R}{W_E - W_{O_{DISEÑO}}} * 100$$

Una vez calculado este valor, el autómata enviará las señales a los relés y contactores para que abran o cierren el damper de recirculación de aire.

Para encontrar la temperatura de mezcla  $T_R$  se reemplaza el porcentaje de recirculación en la ecuación 5.17.

$$T_R = T_E - \frac{(T_E - T_{O_{DISEÑO}}) * recirculación (\%)}{100}$$

#### 5.2.4.4 Determinación del Estado de Suministro (P) adecuado para el local

El PLC por medio de los sensores ubicados en los locales determinará las temperaturas y humedades relativas ( $T_o$ ,  $\Phi_o$ ) de cada uno de ellos y calculará las humedades específicas  $W_o$  (ec. 1.2 y 1.3), comparará estos valores con los parámetros de diseño (confort) y planteará el siguiente condicionante:

Si el aire contenido en todos los locales esta en condiciones muy cercanas a las condiciones de confort, es decir cumple con lo siguiente:

$$T_{O_{DISEÑO}} - \Delta T \leq T_{O_{MEDIDO}} \leq T_{O_{DISEÑO}} + \Delta T$$

El programa del PLC termina.

Si el caso es el contrario, el PLC calculará la temperatura y humedad específica del aire a la salida del enfriador-deshumidificador,  $Tz'$  y  $Wz'$ , (ec. B.6 y B.7), luego por medio de los sensores ubicados a la salida del calentador medirá la temperatura y humedad relativa del aire de suministro ( $T_p$ ,  $\Phi_p$ ) y determinará la humedad específica  $W_p$  (ec.1.2 y 1.3).

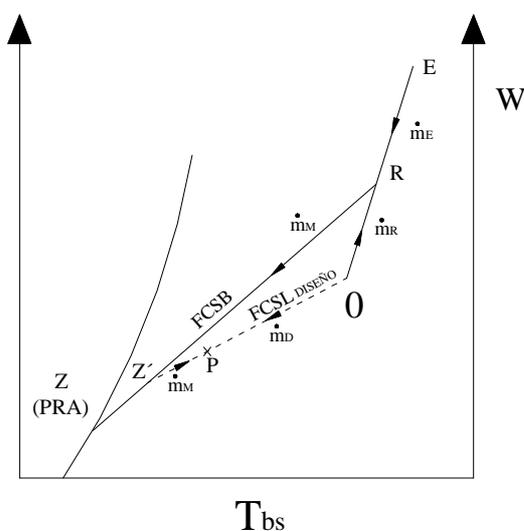
Para corregir las condiciones del aire de suministro se realiza el mismo procedimiento indicado anteriormente en el Sistema N° 1, se utilizará la ecuación 5.3 para todos los locales:

$$T_{P_{CORREGIDO}} = T_{P_{MEDIDO}} - T_{O_{MEDIDO}} + T_{O_{DISEÑO}}$$

No se realiza corrección de la humedad específica ya que el sistema de control por desviación no controla la humedad sino únicamente la temperatura.

Luego el autómatas comparará los valores de  $T_p$  corregidos y seleccionará el de menor valor ( $T_p$  seleccionado).

Una vez determinada la Temperatura a la que debe suministrar el aire el sistema de acondicionamiento, es necesario encontrar los flujos de masa tanto del aire que se desvía del enfriador-deshumidificador  $\dot{m}_D$  como del aire que no lo hace  $\dot{m}_M$  que se deben mezclar para alcanzar la temperatura corregida.



**Figura 5.35:** Ciclo del aire a través del sistema de aire acondicionado

Aplicando la ecuación de la mezcla adiabática (1.6) se tiene:

$$\frac{\dot{m}_D}{\dot{m}_M} = \frac{T_{P_{corregida}} - T_{Z'}}{T_{O_{DISEÑO}} - T_{P_{corregida}}}$$

Despejando  $\dot{m}_D$  de la ecuación (B.19)  $\dot{m}_1 = \dot{m}_M + \dot{m}_D$  y reemplazándolo en la expresión anterior, además, la Temperatura corregida es la Temperatura seleccionada:

$$\frac{\dot{m}_1 - \dot{m}_M}{\dot{m}_M} = \frac{T_{P \text{ Seleccionada}} - T_{Z'}}{T_{0 \text{ DISEÑO}} - T_{P \text{ Seleccionada}}} \quad \text{de donde se tiene}$$

$$\dot{m}_M = \left( \frac{T_{0 \text{ DISEÑO}} - T_{P \text{ Seleccionada}}}{T_{0 \text{ DISEÑO}} - T_{Z'}} \right) \dot{m}_1 \quad (5.30)$$

que es el flujo de aire enfriado y deshumidificado necesario para la mezcla.

Realizando el mismo procedimiento anterior pero despejando de la ecuación B.19

$\dot{m}_M$  y resolviendo la expresión se tiene:

$$\dot{m}_D = \left( \frac{T_{P \text{ seleccionada}} - T_{Z'}}{T_{0 \text{ DISEÑO}} - T_{Z'}} \right) \dot{m}_1 \quad (5.31)$$

que es el flujo de aire desviado del enfriador-deshumidificador necesario para la mezcla. La temperatura  $T_p$  corregida de las ecuaciones 5.30 y 5.31

Para calcular el flujo de recirculación se multiplica el porcentaje de recirculación antes calculado por el flujo de aire no desviado:

$$\dot{m}_R = \%_{\text{RECIRCULACIÓN}} * \dot{m}_M \quad (5.32)$$

Entonces el flujo de aire exterior es:

$$\dot{m}_E = \left( 1 - \%_{\text{RECIRCULACIÓN}} \right) * \dot{m}_M \quad (5.33)$$

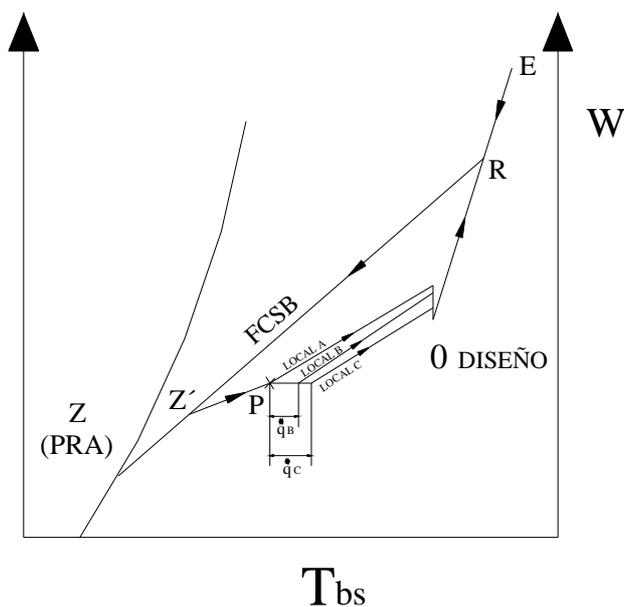
Al obtener el PLC estos valores, enviará las señales a los relés y contactores para que modifiquen la posición de los dampers 1 y 2 de control de flujo de aire.

Las acciones antes realizadas llevarán a las condiciones de confort únicamente al local cuya  $T_p$  corregido se escogió (el de menor valor). Para conseguir que todos los locales alcancen el estado de confort, el PLC debe calcular la cantidad de energía que deben proporcionar los recalentadores en cada uno de los locales restantes, utilizando la ecuación 5.11:

$$q_{\text{RECALENTADOR } i} = \dot{m}_L C_{p_e} (T_{P \text{ CORREGIDO } i} - T_{P \text{ SELECCIONADO}})$$

Por último, el autómatas encenderá los recalentadores.

El ciclo de aire para los diferentes locales se muestra en la figura 5.36.



$\dot{q}_B$ : Energía proporcionada por el calentador B

$\dot{q}_C$ : Energía proporcionada por el calentador C

**Figura 5.36:** Ciclo de aire del sistema N° 2 en los diferentes locales.

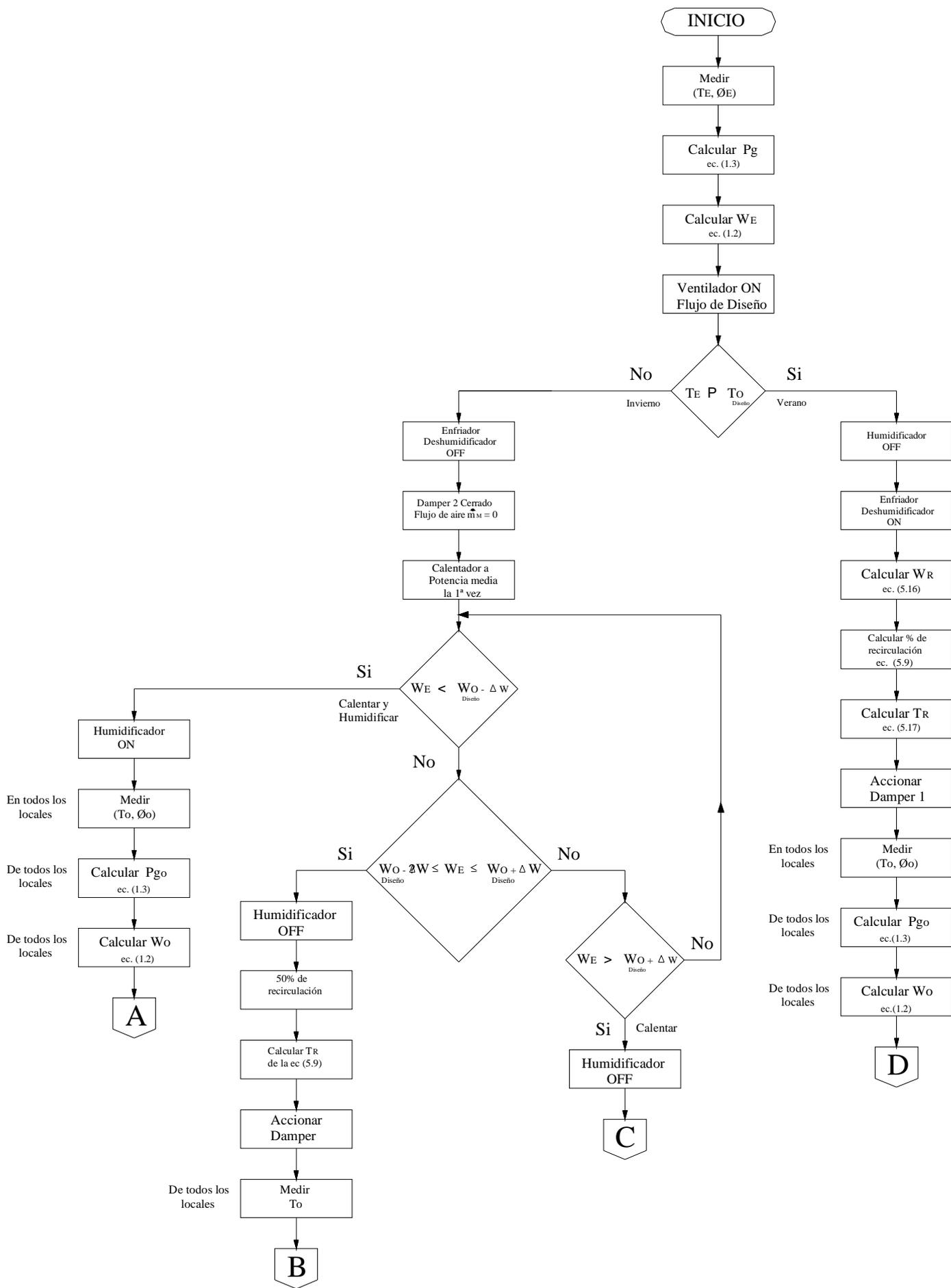
Constantemente, el PLC comparará las medidas de temperatura del aire de los locales con los valores de diseño, si estos valores están dentro del rango de control, el programa termina, caso contrario recalcula el porcentaje de recirculación de aire por los métodos ya indicados anteriormente.

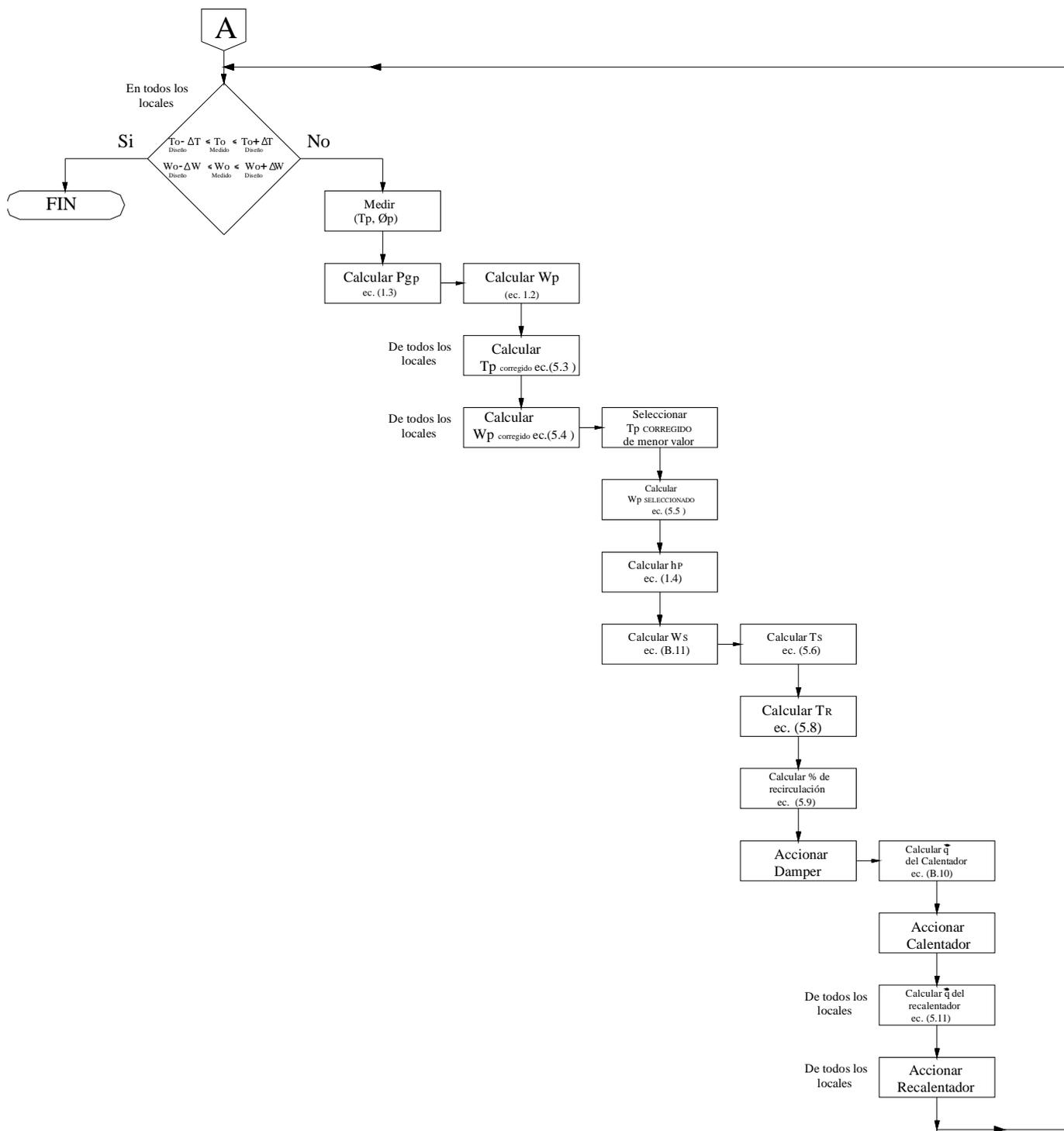
El programa del autómatas indicará la hora del día a la cuál el sistema deja de funcionar, instante en el cuál apagará todos los equipos.

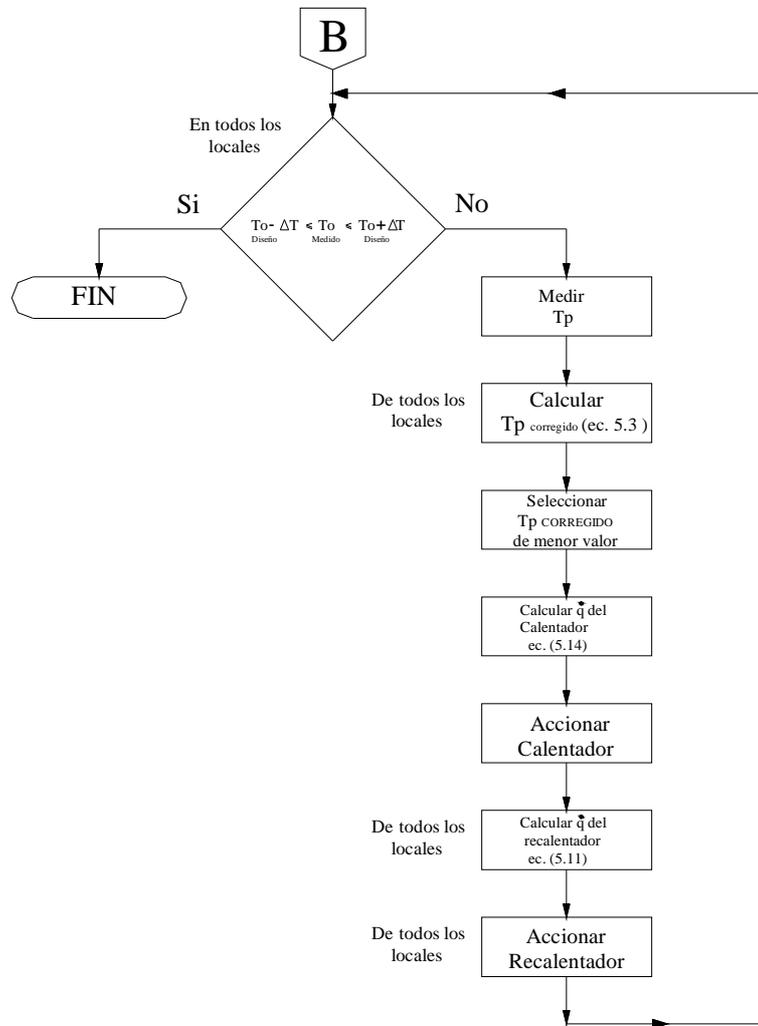
Cuando el programa del autómatas detecte la señal que indica el momento en el que el sistema de aire acondicionado debe dejar de funcionar, entonces el PLC apagará todos los equipos. Esta señal se dará por medio de un pulsador.

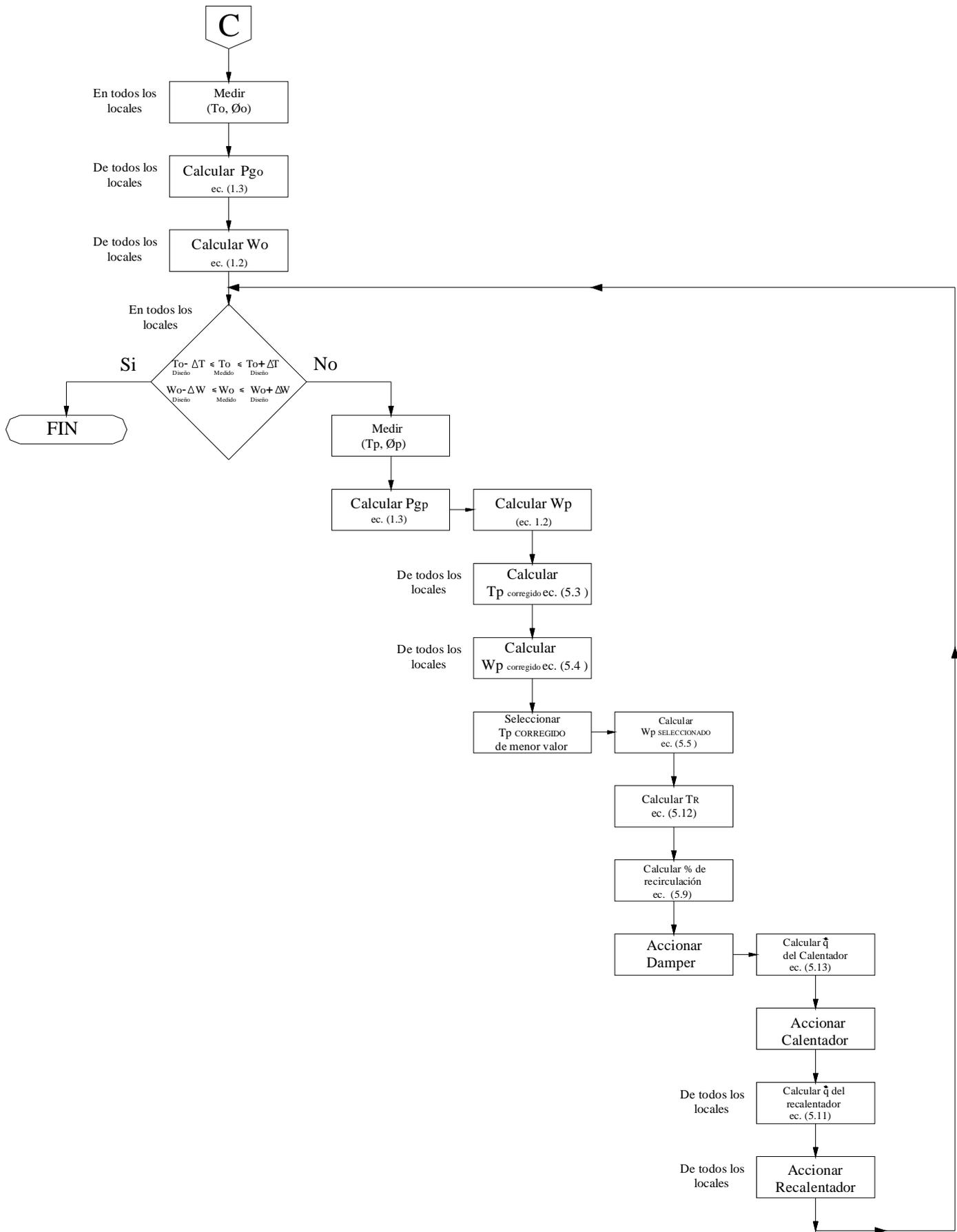
De igual manera, cuando el autómatas detecte la señal que indica el momento en el que el sistema de aire acondicionado debe iniciar su funcionamiento, el PLC encenderá los equipos dependiendo de las condiciones internas y externas a los locales.

El Diagrama de Flujo es el siguiente:









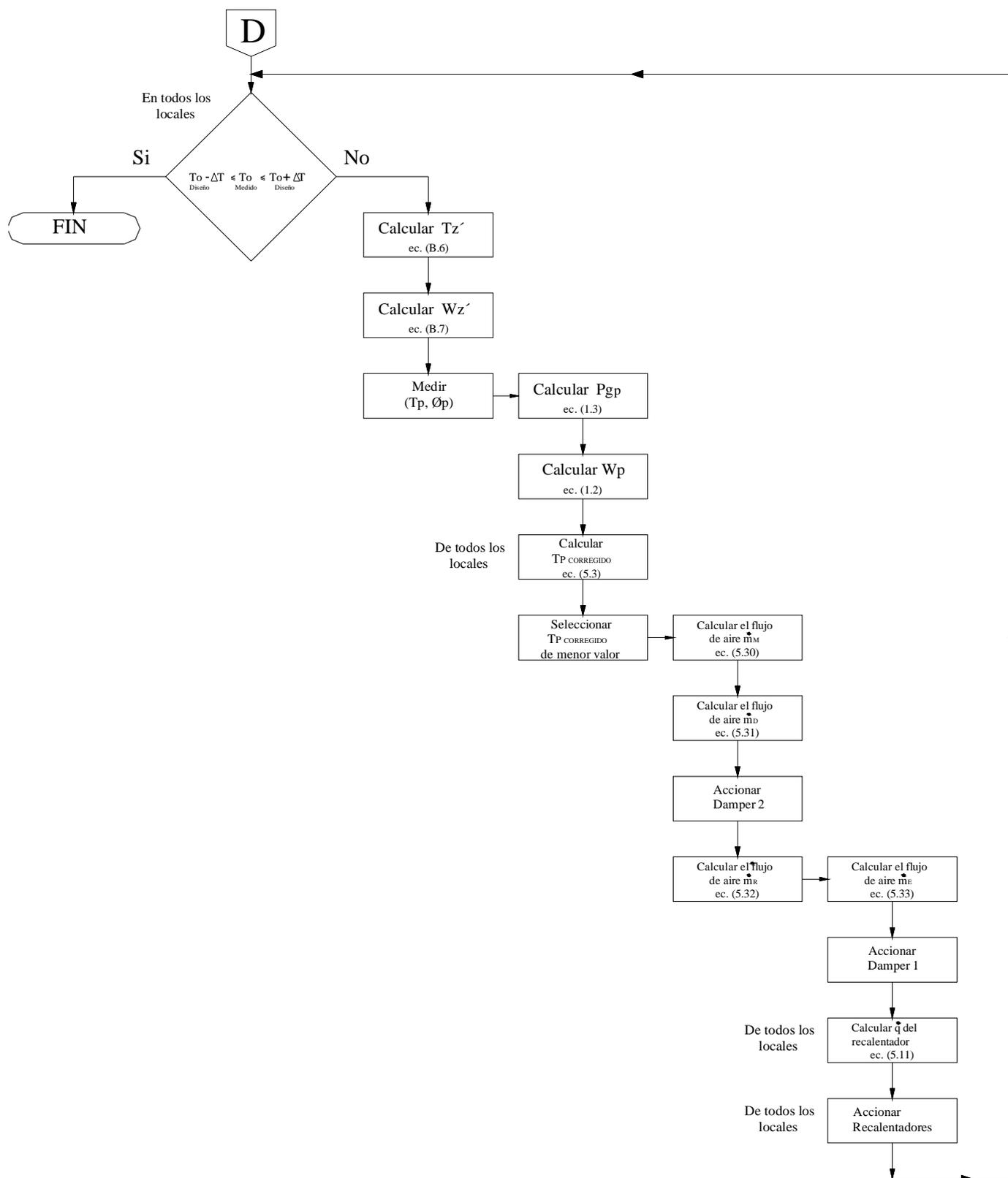


Figura 5.37: Diagrama de Flujo del Sistema de control N° 2.

### 5.2.5 ASIGNAR DIRECCIONES DE ENTRADA/SALIDA A CADA UNO DE LOS COMPONENTES QUE APARECEN EN EL MODELO

El programa de control se desarrollará para suministrar aire acondicionado a 4 locales al mismo tiempo.

#### 5.2.5.1 Entradas

I0.0 (Verde): Pulsador de Encendido ON

I0.1(Rojo): Pulsador de Apagado OFF

**Tabla 5.10:** Codificación de las entradas al PLC del Sistema N° 2.

|                    | AIRE     | LOCALES |       |       |       | AIRE DE    |
|--------------------|----------|---------|-------|-------|-------|------------|
|                    | EXTERIOR | 1       | 2     | 3     | 4     | SUMINISTRO |
| <b>Termostato</b>  | AIW0     | AIW4    | AIW8  | AIW12 | AIW16 | AIW20      |
| <b>Humidistato</b> | AIW2     | AIW6    | AIW10 | AIW14 | AIW18 | AIW22      |

#### 5.2.5.2 Salidas

Q0.0 (Led Cian): Enfriador-Deshumidificador

Q0.1(Led Azul): Humidificador

Q0.4(Led Amarillo): Verano

Q0.5 (Led Amarillo): Invierno Seco

Q0.6 (Led Amarillo): Invierno Húmedo

Q0.7 (Led Amarillo): Invierno con Humedad similar a la de Confort

AQW0: Valor del Porcentaje de Recirculación de aire

AQW2: Representación del Porcentaje de Recirculación

AQW4: Valor de la energía del calentador general

AQW6: Representación de la energía del Calentador General

AQW8: Valor de la energía del recalentador 1

AQW10: Representación de la energía del Recalentador 1

AQW12: Valor de la energía del recalentador 2

AQW14: Representación de la energía del Recalentador 2  
AQW16: Valor de la energía del recalentador 3  
AQW18: Representación de la energía del Recalentador 3  
AQW20: Valor de la energía del recalentador 4  
AQW22: Representación de la energía del Recalentador 4  
AQW24: Valor del caudal de aire de suministro en scfm  
AQW26: Valor del caudal de aire desviado del Enfriador en scfm  
AQW28: Valor del caudal de aire exterior necesario en scfm  
AQW30: Valor del caudal de aire de recirculación necesario en scfm  
Q1.0 (Led Verde): Condición de Confort Térmico

### **5.2.6 CODIFICAR LA REPRESENTACIÓN ANTERIOR EN INSTRUCCIONES O SÍMBOLOS INTELIGIBLES POR LA UNIDAD DE PROGRAMACIÓN**

Los Datos de diseño que se utilizaran para el programa de control N° 2 serán los mismos descritos para el programa N° 1.

El diagrama de flujo del sistema de control antes indicado se ha modificado para reducir el tamaño del programa, agrupando cálculos comunes en las diferentes estaciones por un solo proceso de cálculos que se realizarán al inicio del programa (Medir  $T$ ,  $\Phi$  y calcular  $W$  para el aire en el exterior, en los locales y el aire de suministro), pero en especial la modificación se ha hecho para adaptarla a la forma de programación del PLC. Además, debido a que el programa de control N° 2 desarrollado es demasiado extenso y considerando que la única diferencia con el programa de control N° 1 radica en la condición de Verano, solo se mostrará la parte del programa que difiere con el programa N° 1.



## PROGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA N° 2

|  |   |          |  |
|--|---|----------|--|
| NETWORKS del 1 al 3, los mismos que en el programa N° 1  | A | M11.0    |  |
|  | S | M11.3, 1 |  |
| NETWORK 4 //Ventilador ON<br>//Flujo de diseño = 28000 scfm<br>LD M0.0<br>MOVW +28000, AQW24   |   |          | NETWORK 196 //Condiciones de<br>//Confort térmico en el local<br>//3, sin control de humedad<br>LDR>= VD100, 76.00000<br>AR<= VD100, 78.00000<br>A M11.0<br>S M11.4, 1   |
| NETWORKS del 5 al 190, son los Networks del 4 al 189 del programa N° 1   |   |          | NETWORK 197 //Condiciones de<br>//Confort térmico en el local<br>//4, sin control de humedad<br>LDR>= VD132, 76.00000<br>AR<= VD132, 78.00000<br>A M11.0<br>S M11.5, 1   |
| NETWORK 191 //Te > To, ó Humedad exterior semejante a la //de diseño, No se controla la //Humedad<br>//Wo (diseño) - delta W <= We<br>//(medido)<=Wo (diseño)+delta W<br>LDR>= VD28, 0.008963610<br>AR<= VD28, 0.01099072<br>OR>= VD4, 77.00000<br>A M0.0<br>= M11.0 |   |          | NETWORK 198 //Condiciones de<br>//Confort térmico en todos los //locales, sin control de //humedad<br>LD M11.2<br>A M11.3<br>A M11.4<br>A M11.5<br>S Q1.0, 1<br>R M8.1, 1  |
| NETWORK 192 //Condiciones de //Humedad exterior diferente a //la de diseño, Si se controla //la Humedad<br>LDR>= VD28, 0.008963610<br>NOT<br>LDR<= VD28, 0.01099072<br>NOT<br>OLD<br>A M0.0<br>= M13.0   |   |          | NETWORK 199 //Condición de No //confort térmico en el Local //1, sin control de humedad //To (medido) < To (diseño) - //delta T<br>LDR>= VD36, 76.00000<br>NOT<br>LDR<= VD36, 78.00000<br>NOT<br>OLD<br>A M11.0<br>S M8.1, 1 |
| NETWORK 193 //Condiciones de //Humedad exterior diferente a //la de diseño, Si se controla //la Humedad<br>LDR>= VD4, 77.00000<br>NOT<br>A M13.0<br>= M11.1  |   |          | NETWORK 200 //Condición de No //confort térmico en el Local //2, sin control de humedad<br>LDR>= VD68, 76.00000<br>NOT<br>LDR<= VD68, 78.00000<br>NOT<br>OLD<br>A M11.0<br>S M8.1, 1   |
| NETWORK 194 //Condiciones de //Confort térmico en el local //1, sin control de Humedad<br>//To (diseño) - delta T <= To<br>//(medido)<=To (diseño)+delta T<br>LDR>= VD36, 76.00000<br>AR<= VD36, 78.00000<br>A M11.0<br>S M11.2, 1                                   |   |          | NETWORK 201 //Condición de No //confort térmico en el Local //3, sin control de humedad<br>LDR>= VD100, 76.00000<br>NOT<br>LDR<= VD100, 78.00000   |
| NETWORK 195 //Condiciones de //Confort térmico en el local //2, sin control de humedad<br>LDR>= VD68, 76.00000<br>AR<= VD68, 78.00000  |   |          |  |

```

NOT
OLD
A      M11.0
S      M8.1, 1

NETWORK 202 //Condición de No
//confort térmico en el Local
//4, sin control de humedad
//To (medido) < To (diseño) -
//delta T
LDR>= VD132, 76.00000
NOT
LDR<= VD132, 78.00000
NOT
OLD
A      M11.0
S      M8.1, 1

NETWORK 203 //Si las condicio-
//nes en los locales no son las
//de confort térmico, sin
//control de humedad
LD      M8.1
R      Q1.0, 1
R      M11.2, 1
R      M11.3, 1
R      M11.4, 1
R      M11.5, 1

NETWORK 204 //Condiciones de
//Confort térmico local 1,
//control total
//To (diseño) - delta T <= To
//(medido)<=To (diseño)+delta T
//Wo (diseño) - delta W <= Wo
//(medido)<=Wo (diseño)+delta W
LDR>= VD36, 76.00000
AR<=  VD36, 78.00000
AR>=  VD60, 0.008963610
AR<=  VD60, 0.01099072
A      M11.1
S      M7.5, 1

NETWORK 205 //Condiciones de
//Confort térmico local 2,
//control total
LDR>= VD68, 76.00000
AR<=  VD68, 78.00000
AR>=  VD92, 0.008963610
AR<=  VD92, 0.01099072
A      M11.1
S      M7.6, 1

NETWORK 206 //Condiciones de
//Confort térmico local 3,
//control total
LDR>= VD100, 76.00000
AR<=  VD100, 78.00000
AR>=  VD124, 0.008963610
AR<=  VD124, 0.01099072
A      M11.1
S      M7.7, 1

NETWORK 207 //Condiciones de
//Confort térmico local 4,
//control total
LDR>= VD132, 76.00000
AR<=  VD132, 78.00000
AR>=  VD156, 0.008963610
AR<=  VD156, 0.01099072
A      M11.1
S      M8.0, 1

NETWORK 208 //Confort térmico
//en todos los locales, control
//total
LD      M7.5
A      M7.6
A      M7.7
A      M8.0
S      Q1.0, 1
R      M8.1, 1

NETWORK 209 //Condición No con-
//fort térmico Local 1, control
//total
//To(medido)<To(diseño)-delta T
LDR>= VD36, 76.00000
NOT
LDR<= VD36, 78.00000
NOT
OLD
LDR>= VD60, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD60, 0.01099072
NOT
OLD
A      M11.1
S      M8.1, 1

NETWORK 210 //Condición No con-
//fort térmico Local 2, control
//total
//To(medido)<To(diseño)-delta T
LDR>= VD68, 76.00000
NOT
LDR<= VD68, 78.00000
NOT
OLD
LDR>= VD92, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD92, 0.01099072
NOT
OLD
A      M11.1
S      M8.1, 1

NETWORK 211 //Condición No
//confort térmico Local 3,
//control total
//To(medido)<To(diseño)-delta T
LDR>= VD100, 76.00000

```

```

NOT
LDR<= VD100, 78.00000
NOT
OLD
LDR>= VD124, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD124, 0.01099072
NOT
OLD
A      M11.1
S      M8.1, 1

NETWORK 212 //Condición No
//confort térmico Local 4,
//control total
//To(medido)<To(diseño)-delta T
LDR>= VD132, 76.00000
NOT
LDR<= VD132, 78.00000
NOT
OLD
LDR>= VD156, 0.008963610
NOT
OLD
LDR<= VD156, 0.01099072
NOT
OLD
A      M11.1
S      M8.1, 1

NETWORK 213 //Si las condicio-
//nes en los locales no son las
//de confort térmico, control
//total
LD      M8.1
R      Q1.0, 1
R      M7.5, 1
R      M7.6, 1
R      M7.7, 1
R      M8.0, 1

NETWORK 214 //INVIERNO (Te< To)
LDR>= VD4, 77.00000
NOT
A      M0.0
=      Q0.3
=      M8.2

NETWORK 215 //VERANO (Te >= To)
LDR>= VD4, 77.00000
A      M0.0
=      Q0.4
=      M8.3

NETWORK 216 //DURANTE EL
//INVIERNO
//Enfriador-Deshumidificador en
//OFF
//Damper 2: Cerrado
//mM=0, mD=0, mR=0
LD      M8.2

MOVW   +0, AQW26
MOVW   +0, AQW28
MOVW   +0, AQW30

NETWORKS del 217 al 385, son
los Networks del 215 al 383 del
programa N° 1

NETWORK 386 //DURANTE EL VERANO
//Humidificador (Q0.1): OFF
//Enfriador-Deshumidificador
//(Q0.0): ON
LD      M8.3
=      Q0.0

NETWORK 387 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//m*We
//m = 106.2237506
LD      M8.3
MOVR   VD28, VD776
*R     106.2237, VD776

NETWORK 388 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//Wo (diseño) * T (exterior)
LD      M8.3
MOVR   0.009975540, VD780
*R     VD4, VD780

NETWORK 389 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//m*Te-[Wo(diseño)*T(exterior)]
LD      M8.3
MOVR   VD776, VD784
-R     VD780, VD784

NETWORK 390 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//m*We -[Wo (diseño)*T (exte-
//rior)] + [To (diseño) - m]*Wo
//[diseño)]
//[To (diseño) - m]*Wo (dise-
//ño)] = - 0.291522693
LD      M8.3
MOVR   VD784, VD788
-R     0.2915227, VD788

NETWORK 391 //(ec 5.16) Para
//calculara Wr
//n*We
//n = 9165.862244
LD      M8.3
MOVR   VD28, VD792
*R     9165.862, VD792

NETWORK 392 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//n*We - T (exterior)
LD      M8.3

```

```

MOVR   VD792, VD796
-R     VD4, VD796

NETWORK 393 //(ec 5.16) Para
//calcular Wr
//n*We-T (exterior) + [To (di-
//seño) - n*Wo (diseño)]
//[To (diseño) - n*Wo (diseño)]
//= - 14.434425
LD     M8.3
MOVR   VD796, VD800
-R     14.43443, VD800

NETWORK 394 //Wr (ec 5.16)
//Wr= [m*We - [Wo (diseño)*T(ex-
//terior)] + [To (diseño) -
//m]*Wo //(diseño)]] / [n*We
//- T (exterior)+[To (diseño) -
//n*Wo (diseño)]]
LD     M8.3
MOVR   VD788, VD804
/R     VD800, VD804

NETWORK 395 //(ec 5.9) Para
//calcular % de recirculación
//We - Wr (mezcla)
LD     M8.3
MOVR   VD28, VD808
-R     VD804, VD808

NETWORK 396 //(ec 5.9) Para
//calcular % de recirculación
//We - Wo (diseño)
LD     M8.3
MOVR   VD28, VD812
-R     0.009975540, VD812

NETWORK 397 // % Recirculación
//(ec 5.9):[We - Wr (mezcla)] /
//[We - Wo (diseño)]
LD     M8.3
MOVR   VD808, VD816
/R     VD812, VD816
MOVR   VD816, VD820
*R     100.0000, VD820
TRUNC  VD820, VD820
MOVW   VW822, AQW0

NETWORK 398 //Para simular la
//acción del Damper de Rec. en
//PC Simu **
LD     M8.3
MOVR   VD816, VD824
*R     10000.00, VD824
TRUNC  VD824, VD824
MOVW   VW826, AQW2

NETWORK 399 //(ec 5.17) Para
//calcular Tr
//Te - To diseño
LD     M8.3
MOVR   VD4, VD828
-R     77.00000, VD828

NETWORK 400 //(ec 5.17) Para
//calcular Tr
//(Te - To diseño) * % recircu-
//lación
LD     M8.3
MOVR   VD828, VD832
*R     VD816, VD832

NETWORK 401 //Tr (ec 5.17)
//Te - (Te - To diseño) * % re-
//circulación
LD     M8.3
MOVR   VD4, VD836
-R     VD832, VD836

NETWORK 402 //Si los locales no
//están en las condiciones de
//confort
LD     M8.1
A      M8.3
=      M10.0

NETWORK 403 //(ec B.6) Para
//calcular Tz'
//Tpra - Tr
//Tpra = 54.5 °F
LD     M10.0
MOVR   54.50000, VD840
-R     VD836, VD840

NETWORK 404 //(ec B.6) Para
//calcular Tz'
//(1-x)(Tpra - Tr)
//x: Factor de desviación
//x = 0.20
LD     M10.0
MOVR   0.8000000, VD844
*R     VD840, VD844

NETWORK 405 //Tz' (ec.B.6) = Tr
//+ (1-x)(Tpra-Tr)
LD     M10.0
MOVR   VD836, VD848
+R     VD844, VD848

NETWORK 406 //(ec B.7) Para
//calcular Wz'
//Wpra - Wr
LD     M10.0
MOVR   0.009156121, VD852
-R     VD804, VD852

NETWORK 407 //(ec B.7) Para
//calcular Wz'
//(1 - x) (Wpra - Wr)
//x: Factor de desviación
//x = 0.20
LD     M10.0
MOVR   0.8000000, VD856
*R     VD852, VD856

```

```

NETWORK 408 //Wz'(ec B.7) = Wr
//+ (1 - x) (Wpra - Wr)
LD      M10.0
MOVR    VD804, VD860
+R      VD856, VD860

NETWORK 409 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp corregido 1
//Tp medido - To medido
LD      M10.0
MOVR    VD164, VD864
-R      VD36, VD864

NETWORK 410 //Tp corregido 1
//(ec 5.3)
//(Tp medido - To medido) + To
//diseño
LD      M10.0
MOVR    VD864, VD868
+R      77.00000, VD868

NETWORK 411 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp corregido 2
//Tp medido - To medido 2
LD      M10.0
MOVR    VD164, VD872
-R      VD68, VD872

NETWORK 412 //Tp corregido 2
//(ec 5.3)
//(Tp medido - To medido 2) +
//To diseño
LD      M10.0
MOVR    VD872, VD876
+R      77.00000, VD876

NETWORK 413 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp corregido 3
//Tp medido - To medido 3
LD      M10.0
MOVR    VD164, VD880
-R      VD100, VD880

NETWORK 414 //Tp corregido 3
//(ec 5.3)
//(Tp medido - To medido 3) +
//To diseño
LD      M10.0
MOVR    VD880, VD884
+R      77.00000, VD884

NETWORK 415 //(ec 5.20) Para
//calcular Tp corregido 4
//Tp medido - To medido 4
LD      M10.0
MOVR    VD164, VD888
-R      VD132, VD888

NETWORK 416 //Tp corregido 4
//(ec 5.3)
//(Tp medido - To medido 4) +
//To diseño
LD      M10.0
MOVR    VD888, VD892
+R      77.00000, VD892

NETWORK 417 //Comprueba si Tp1
//corregido es el menor (Tp >
//Tz')
LDR<=   VD868, VD876
AR<=    VD868, VD884
AR<=    VD868, VD892
AR>=    VD868, VD848
A       M10.0
=       M10.1

NETWORK 418 //Comprueba si Tp2
//corregido es el menor (Tp >
//Tz')
LDR<=   VD876, VD868
AR<=    VD876, VD884
AR<=    VD876, VD892
AR>=    VD876, VD848
A       M10.0
=       M10.2

NETWORK 419 //Comprueba si Tp3
//corregido es el menor (Tp >
//Tz')
LDR<=   VD884, VD868
AR<=    VD884, VD876
AR<=    VD884, VD892
AR>=    VD884, VD848
A       M10.0
=       M10.3

NETWORK 420 //Comprueba si Tp4
//corregido es el menor (Tp >
//Tz')
LDR<=   VD892, VD868
AR<=    VD892, VD876
AR<=    VD892, VD884
AR>=    VD892, VD848
A       M10.0
=       M10.4

NETWORK 421 //Tp seleccionado
//si Tp corregido 1 es el menor
LD      M10.1
MOVR    VD868, VD896

NETWORK 422 //Tp seleccionado
//si Tp corregido 2 es el menor
LD      M10.2
MOVR    VD876, VD896

NETWORK 423 //Tp seleccionado
//si Tp corregido 3 es el menor
LD      M10.3
MOVR    VD884, VD896

```

```

NETWORK 424 //Tp seleccionado
//si Tp corregido 4 es el menor
LD      M10.4
MOVR    VD892, VD896

NETWORK 425 //(ec 5.30) Para
//calcular Mm. Flujo de aire
//que no se desvia del
//Enfriador Deshumidificador
//To diseño - Tp corregido
//seleccionado
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD900
-R      VD896, VD900

NETWORK 426 //(ec 5.30) Para
//calcular Mm
//To diseño - Tz'
LD      M10.0
MOVR    77.00000, VD904
-R      VD848, VD904

NETWORK 427 //Tp corregido (ec
//5.3), si Tp suministro 3 es
//seleccionado
//(Tp diseño - Tp corregido
//seleccionado) / (To diseño -
//Tz')
LD      M10.0
MOVR    VD900, VD908
/R      VD904, VD908

NETWORK 428 //Mm (ec 5.30)
//[ (To diseño - Tp selecciona-
//da) / (To diseño - Tz')] *flujo de
//diseño
//Flujo de diseño = 28000 scfm
LD      M10.0
MOVR    VD908, VD912
*R      28000.00, VD912

NETWORK 429 //(ec 5.31) Para
//calcular Md. Flujo de aire
//que se desvia del enfriador
//deshumidificador
//Tp seleccionada - Tz'
LD      M10.0
MOVR    VD896, VD916
-R      VD848, VD916

NETWORK 430 //(ec 5.31) Para
//calcular Md
//(Tp seleccionado - Tz') / (To
//diseño - Tz')
//(To diseño - Tz') en VD904,
//Calculado en Network 424
LD      M10.0
MOVR    VD916, VD920
/R      VD904, VD920

NETWORK 431 //Md (ec 5.31)

NETWORK 424 //[(Tp seleccionado - Tz') /
//(To diseño - Tz')] *flujo de
//diseño
//Flujo de diseño = 28000 scfm
LD      M10.0
MOVR    VD920, VD924
*R      28000.00, VD924
MOVR    VD924, VD928
*R      1.000000, VD928
TRUNC   VD928, VD928
MOVW    VW930, AQW26

NETWORK 432 //Mr(ec 5.32): Flu-
//jo de aire de recirculación
//Mr = % recirculación*Mm
LD      M10.0
MOVR    VD816, VD932
*R      VD912, VD932
MOVR    VD932, VD936
*R      1.000000, VD936
TRUNC   VD936, VD936
MOVW    VW938, AQW30

NETWORK 433 //Me (ec 5.33):
//Flujo de aire exterior
//Me = (1-%recirculación)*Mm =
//Mm-%recirculación*Mm
//%recirculación*Mm=Mr: VD932
//calculado en el Network 430
LD      M10.0
MOVR    VD912, VD940
-R      VD932, VD940
MOVR    VD940, VD944
*R      1.000000, VD944
TRUNC   VD944, VD944
MOVW    VW946, AQW28

NETWORK 434 //Calentador en OFF
LD      M10.0
MOVW    +0, AQW4
MOVW    +0, AQW6

NETWORK 435 //(ec5.11)Para cal-
//cular q del recalentador 1
//Tp1 corregido-Tp seleccionado
LD      M10.0
MOVR    VD868, VD948
-R      VD896, VD948

NETWORK 436 //q recalentador 1
//(ec 5.11) [Btu/h] = 1.1scfmL
//(Tp 1 corregido - Tp selec-
//cionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL= 7700
LD      M10.0
MOVR    7700.000, VD952
*R      VD948, VD952

NETWORK 437 //q recalentador 1
//[BTU/s]
LD      M10.0

```

```

MOVR    VD952, VD956
/R      3600.000, VD956
MOVR    VD956, VD960
*R      100.0000, VD960
TRUNC   VD960, VD960
MOVW    VW962, AQW8

NETWORK 438 //Para simular la
//acción del Recalentador 1 en
//PC Simu **
LD      M10.0
MOVR    VD956, VD964
*R      10000.00, VD964
TRUNC   VD964, VD964
MOVW    VW966, AQW10

NETWORK 439 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador 2
//Tp2 corregido-Tp seleccionado
LD      M10.0
MOVR    VD876, VD968
-R      VD896, VD968

NETWORK 440 //q recalentador 2
//(ec 5.11) [Btu/h] = 1.1scfmL
//(Tp 2 corregido - Tp selec-
//cionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL= 7700
LD      M10.0
MOVR    7700.000, VD972
*R      VD968, VD972

NETWORK 441 //q recalentador 2
//[BTU/s]
LD      M10.0
MOVR    VD972, VD976
/R      3600.000, VD976
MOVR    VD976, VD980
*R      100.0000, VD980
TRUNC   VD980, VD980
MOVW    VW982, AQW12

NETWORK 442 //Para simular la
//acción del Recalentador 2 en
//PC Simu **
LD      M10.0
MOVR    VD976, VD984
*R      10000.00, VD984
TRUNC   VD984, VD984
MOVW    VW986, AQW14

NETWORK 443 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador 3
//Tp3 corregido-Tp seleccionado
LD      M10.0
MOVR    VD884, VD988
-R      VD896, VD988

NETWORK 444 //q recalentador 3
//(ec 5.11) [Btu/h] = 1.1scfmL
//(Tp 3 corregido - Tp selec-
//cionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL= 7700
LD      M10.0
MOVR    7700.000, VD992
*R      VD988, VD992

NETWORK 445 //q recalentador 3
//[BTU/s]
LD      M10.0
MOVR    VD992, VD996
/R      3600.000, VD996
MOVR    VD996, VD1000
*R      100.0000, VD1000
TRUNC   VD1000, VD1000
MOVW    VW1002, AQW16

NETWORK 446 //Para simular la
//acción del Recalentador 3 en
//PC Simu **
LD      M10.0
MOVR    VD996, VD1004
*R      10000.00, VD1004
TRUNC   VD1004, VD1004
MOVW    VW1006, AQW18

NETWORK 447 //(ec 5.11) Para
//calcular q del recalentador 4
//Tp4 corregido-Tp seleccionado
LD      M10.0
MOVR    VD892, VD1008
-R      VD896, VD1008

NETWORK 448 //q recalentador 4
//(ec 5.11) [Btu/h] = 1.1scfmL
//(Tp 4 corregido - Tp selec-
//cionado)
//scfmL = 7000
//1.1scfmL= 7700
LD      M10.0
MOVR    7700.000, VD1012
*R      VD1008, VD1012

NETWORK 449 //q recalentador 4
//[BTU/s]
LD      M10.0
MOVR    VD1012, VD1016
/R      3600.000, VD1016
MOVR    VD1016, VD1020
*R      100.0000, VD1020
TRUNC   VD1020, VD1020
MOVW    VW1022, AQW20

NETWORK 450 //Para simular la
//acción del Recalentador 2 en
//PC Simu **
LD      M10.0
MOVR    VD1016, VD1024
*R      10000.00, VD1024
TRUNC   VD1024, VD1024
MOVW    VW1026, AQW22

```

NETWORK 451  
MEND

Nota: Los literales marcados con \*\*, no son necesarios para el control, solo sirven para simular la acción de los elementos en PC Simu.

### 5.2.7 SIMULACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL N° 2

La Simulación del Sistema de Control N° 2 es la misma que en el Sistema N° 1 para la estación de Invierno, por lo que solo se realizará la comprobación del programa para la condición de Verano.

#### 5.2.7.1 Verano

Los valores de entrada son los siguientes:

**Tabla 5.11:** Valores de entrada estimados para la simulación del Sistema N° 2 en Verano.

|                             | Aire Exterior | Aire en los Locales |    |    |    | Aire de Suministro |
|-----------------------------|---------------|---------------------|----|----|----|--------------------|
|                             |               | 1                   | 2  | 3  | 4  |                    |
| <b>Temperatura [ ° F ]</b>  | 90            | 80                  | 82 | 79 | 78 | 69                 |
| <b>Humedad Relativa [%]</b> | 55            | 50                  | 45 | 50 | 49 | 82                 |

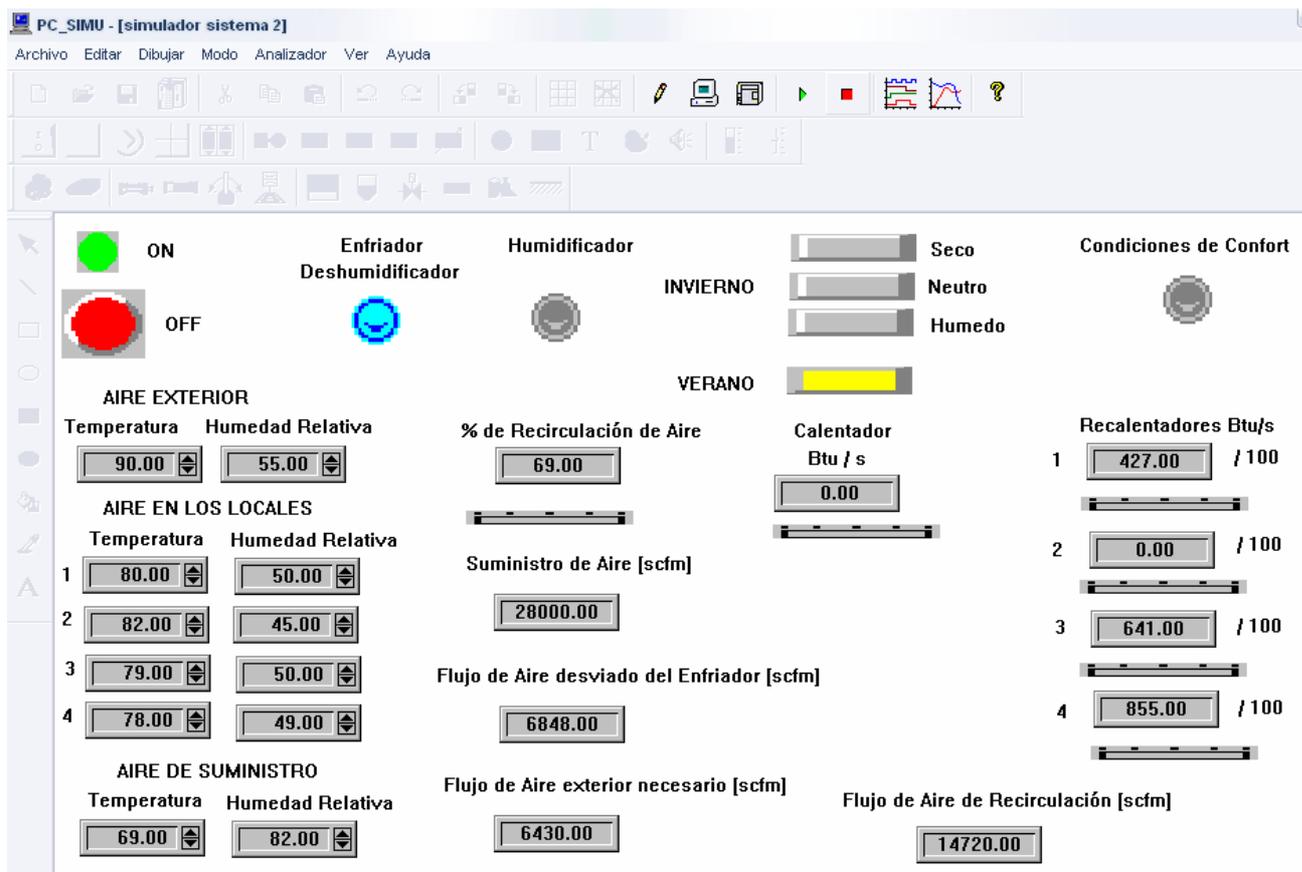
Los valores de salida calculados son:

**Tabla 5.12:** Valores de salida del Sistema N° 2 calculados para el Verano.

| Estación                                | Verano   |
|---|----------|
| <b>Recirculación [ % ]</b>              | 69.58    |
| <b>Flujo de Aire [scfm]</b>             | 28000    |
| <b>Enfriador-Deshumidificador</b>       | ON       |
| <b>Calentador [Btu/s]</b>               | 0        |
| <b>Humidificador</b>                    | OFF      |
| <b>Flujo de Aire Desviado</b>           | 6849.50  |
| <b>Flujo de Aire Exterior Necesario</b> | 6432.71  |
| <b>Flujo de Aire de Recirculación</b>   | 14717.78 |
|   | <b>1</b> |
|   | 4.27     |

|                                     |          |      |
|-------------------------------------|----------|------|
| <b>Recalentadores<br/>[ Btu/s ]</b> | <b>2</b> | 0    |
|                                     | <b>3</b> | 6.41 |
|                                     | <b>4</b> | 8.55 |

Todos los cálculos realizados para la simulación se encuentran en el Anexo E.



**Figura 5.39:** Simulación del Programa de Control N° 2 en Verano.

Los valores de salida calculados por el PLC son muy similares a los valores encontrados en la tabla 5.12, por lo que se concluye que el programa de control funciona correctamente.

## **CAPITULO 6**

### **RESPUESTA EN EL TIEMPO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL**

#### **INTRODUCCIÓN**

En el capítulo 5 se automatizaron dos sistemas de aire acondicionado por medio de PLC's, los cuales serán analizados en el presente capítulo para comprobar el desempeño de los sistemas en el transcurso del tiempo.

En la práctica, la señal de entrada para un sistema de control es de naturaleza aleatoria y no se conoce con anticipación, pero en algunos casos especiales se puede expresar la entrada instantánea en forma analítica o mediante curvas; tal es el caso del control automático de sistemas de aire acondicionado.

Para obtener los gráficos de la Respuesta del Sistema de Control en el tiempo se aplican los algoritmos estructurados en el capítulo 5 para crear un programa en MATLAB 6.5 que realiza los cálculos correspondientes (El programa se muestra en el Anexo F).

#### **GENERALIDADES**

Para proporcionar las señales de entrada al sistema, se utilizan funciones senoidales que indicarán la variación de los siguientes factores:

- Temperatura exterior
- Humedad relativa exterior

- Factor de calor sensible en los locales
- Ganancia de calor sensible en los locales

Los valores de diseño utilizados en el programa en MATLAB son los mismos que se utilizaron en la programación del PLC (Capítulo 5, literal 5.1.6.2).

Para el análisis, se seleccionan condiciones ambientales de humedad y temperatura que varían en el transcurso del tiempo y se encuentran los gráficos de la respuesta del sistema en el tiempo para tres diferentes condiciones en los locales:

- Factores de Calor Sensible y Ganancias de calor sensible similares
- Factores de Calor Sensible diferentes y Ganancias de calor sensible similares
- Factores de Calor Sensible similares y Ganancias de calor sensible diferentes

Además de estas discrepancias, los valores de estos factores en los locales se encuentran desfasados en el tiempo.

## **6.1 RESPUESTA EN EL TIEMPO DEL SISTEMA N° 1**

Se encontrará la respuesta del Sistema de Control N° 1 con señales de entrada, Temperatura exterior y Humedad relativa exterior principalmente, seleccionadas de tal forma que se tenga todas las posibilidades estimadas para el ambiente exterior.

El tiempo considerado es de 1 día completo, 86400 segundos. Las Funciones que indican las señales de entrada son las siguientes:

Para el intervalo de tiempo comprendido entre 6:00 a 12:00 h:

$$\text{TextF}=[T_0+23*\sin(\pi*(2*t-21600)/43200)]$$

$$\text{Hrext}=[0.7-0.25*\sin(\pi*(2*t-21600)/43200)]$$

Para el intervalo de tiempo comprendido entre 12:00 a 6:00 h:

$$\text{TextF}=[T_0+23*\sin(\pi*(t+10800)/64800)]$$

$$H_{\text{rext}} = [0.7 - 0.25 \cdot \sin(\pi \cdot (t + 10800) / 64800)]$$

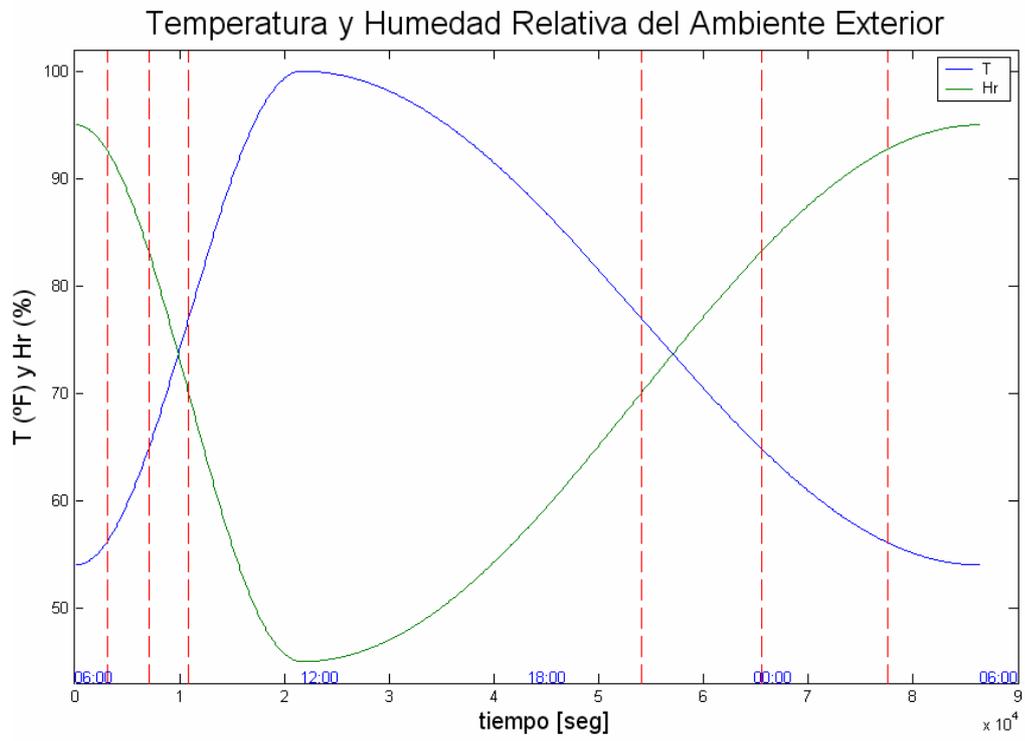
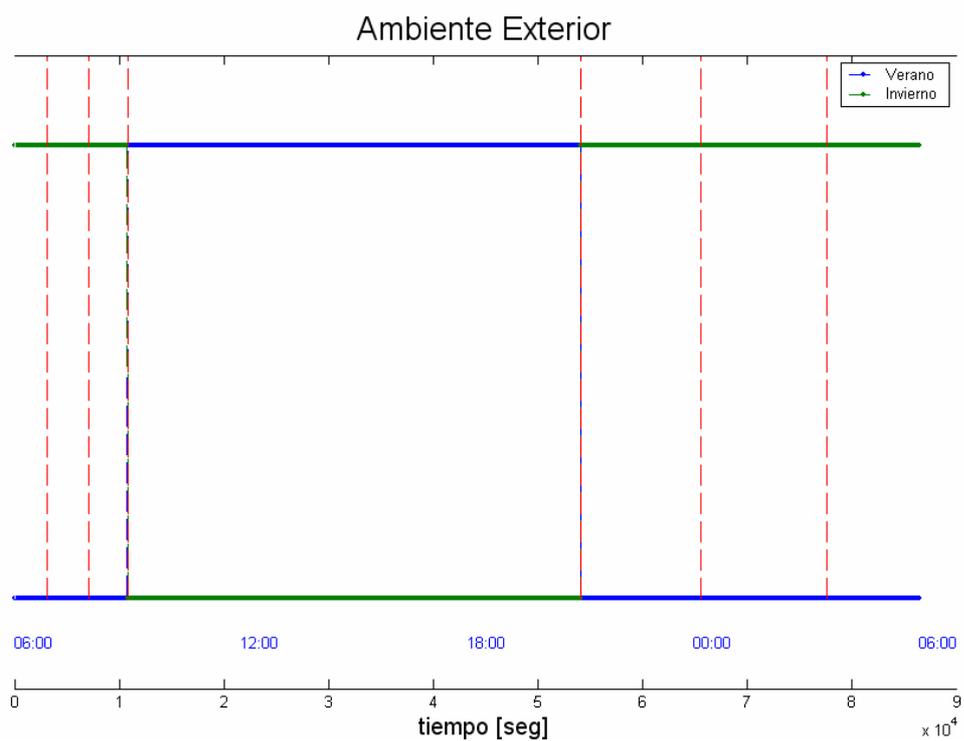
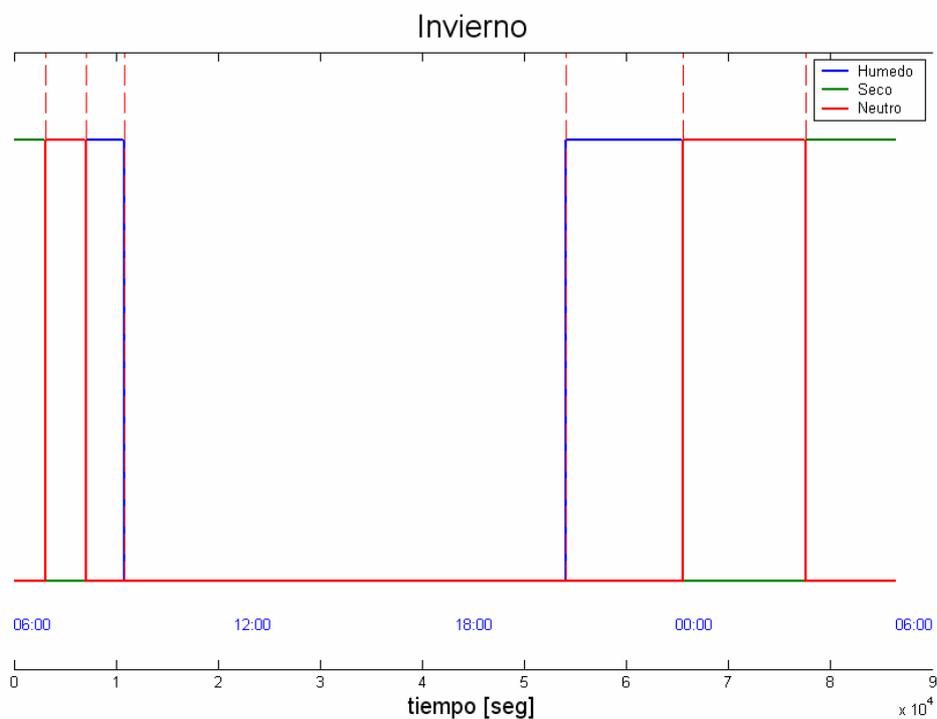


Figura 6.1: Temperatura y Humedad Relativa del aire exterior vs tiempo.



**Figura 6.2:** Condiciones del Ambiente exterior vs tiempo.



**Figura 6.3:** Condiciones del Ambiente exterior en el Invierno vs tiempo.

### 6.1.1. LOCALES CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES

Las señales de entrada están dadas por las siguientes funciones:

$$FCSL1=[0.70+0.05*\sin(\pi*t/43200)]$$

$$FCSL2=[0.70+0.05*\sin(\pi*(t-43200)/43200)]$$

$$FCSL3=[0.70+0.05*\sin(\pi*(t-21600)/43200)]$$

$$FCSL4=[0.70+0.05*\sin(\pi*(t-10000)/43200)]$$

$$qsl1=[20000+1000*\sin(\pi*(t-21600)/43200)]$$

$$qsl2=[20000+1000*\sin(\pi*(t-10000)/43200)]$$

$$qsl3=[20000+1000*\sin(\pi*t/43200)]$$

$$qsl4=[20000+1000*\sin(\pi*(t-43200)/43200)]$$

$$q_{ll1} = [(1-FCSL1) \cdot q_{sl1} / FCSL1]$$

$$q_{ll2} = [(1-FCSL2) \cdot q_{sl2} / FCSL2]$$

$$q_{ll3} =$$

$$[(1-$$

$$FCSL$$

$$3) \cdot q_{sl}$$

$$3 / FC$$

$$SL3]$$

$$q_{ll4} =$$

$$[(1-$$

$$FCSL$$

$$4) \cdot q_{sl}$$

$$4 / FC$$

$$SL4]$$

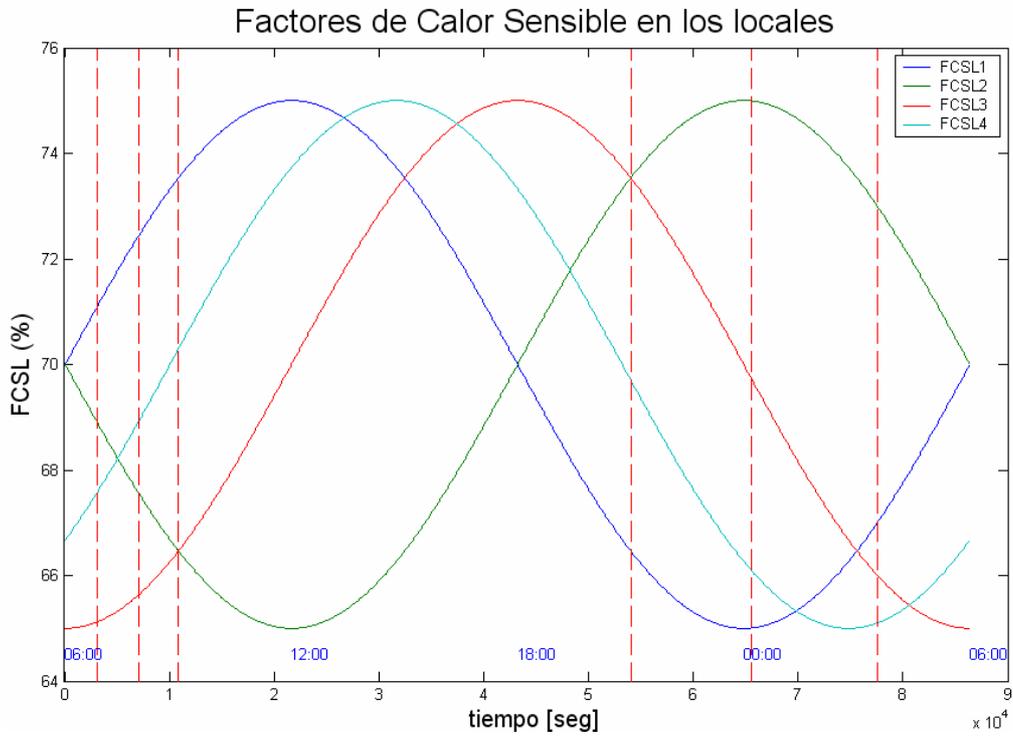
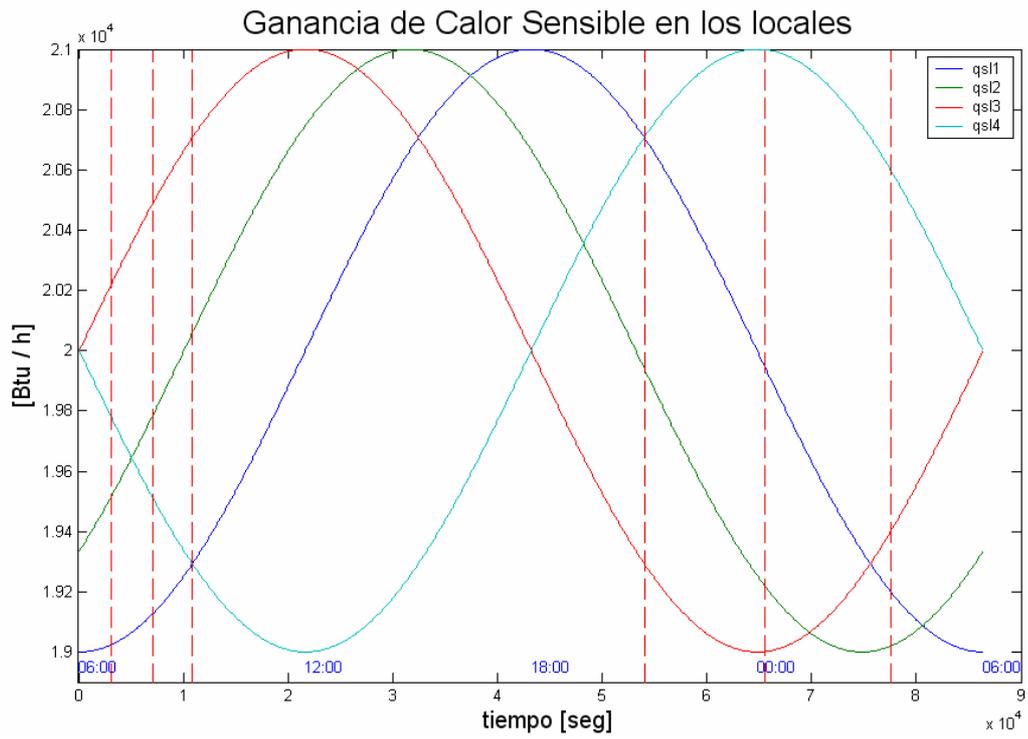
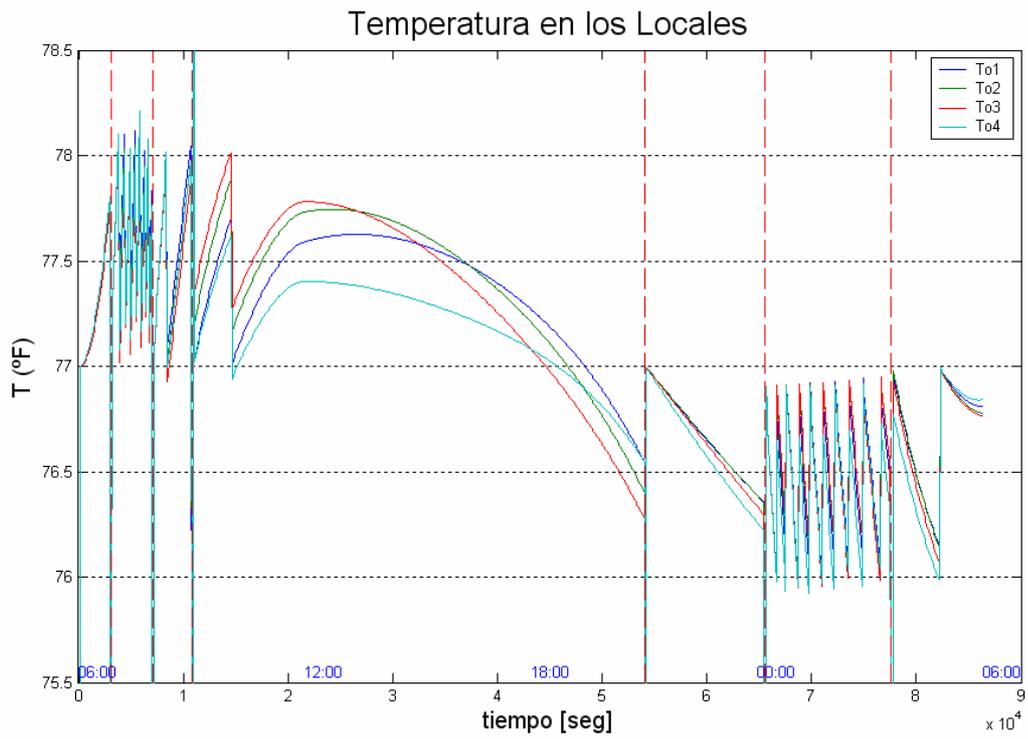


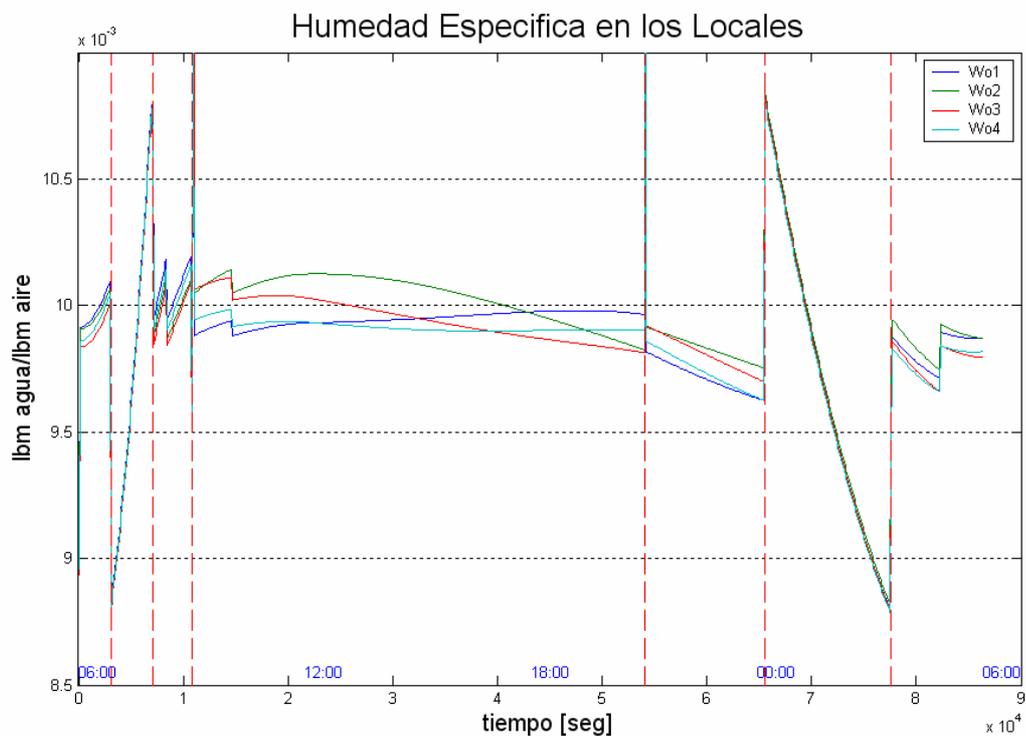
Figura 6.4: Factores de Calor Sensible de los locales vs tiempo.



**Figura 6.5**  
: Ganancia de Calor Sensible en los locales vs tiempo.



**Figura 6.6:** Temperatura de los Locales vs tiempo.



**Figura 6.7:** Humedad Especifica de los Locales vs tiempo.

### 6.1.2 LOCALES CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES

Las funciones que indican las señales de entrada son las siguientes:

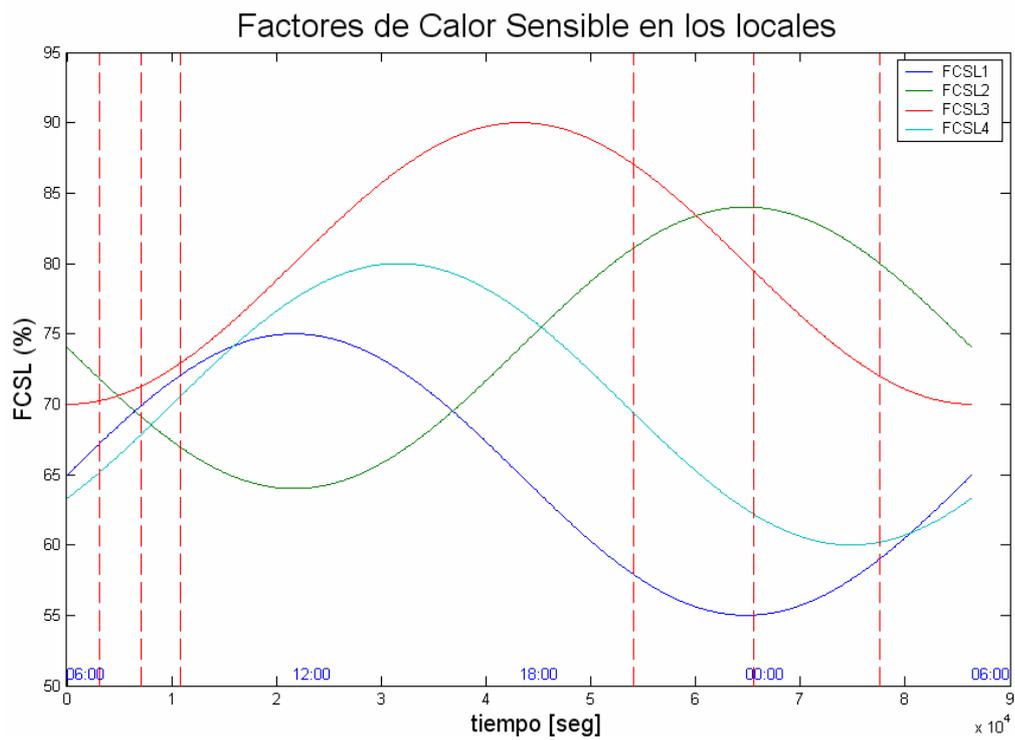
$$FCSL1=[0.65+0.1*\sin(\pi*t/43200)]$$

$$\text{FCSL2}=[0.74+0.1*\sin(\pi*(t-43200)/43200)]$$

$$\text{FCSL3}=[0.80+0.1*\sin(\pi*(t-21600)/43200)]$$

$$\text{FCSL4}=[0.70+0.1*\sin(\pi*(t-10000)/43200)]$$

Las Funciones de las ganancias de calor sensible de los locales son las mismas del literal 6.1.1.



**Figura 6.8:** Factores de Calor Sensible de los Locales vs tiempo.

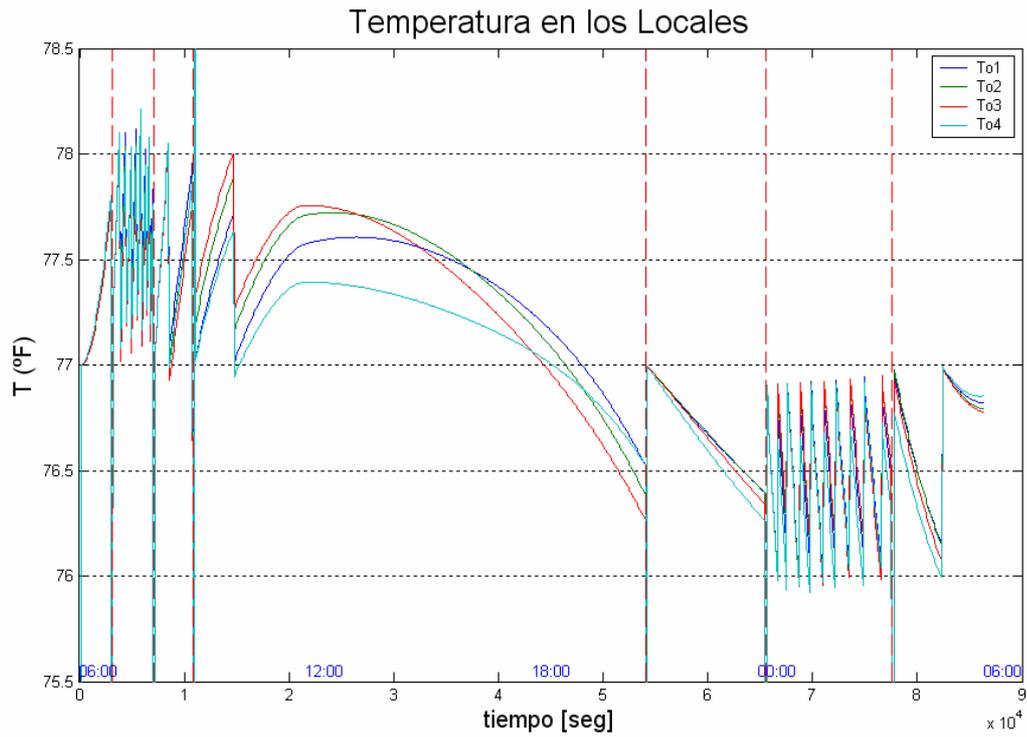


Figura 6.9: Temperatura de los Locales vs tiempo.

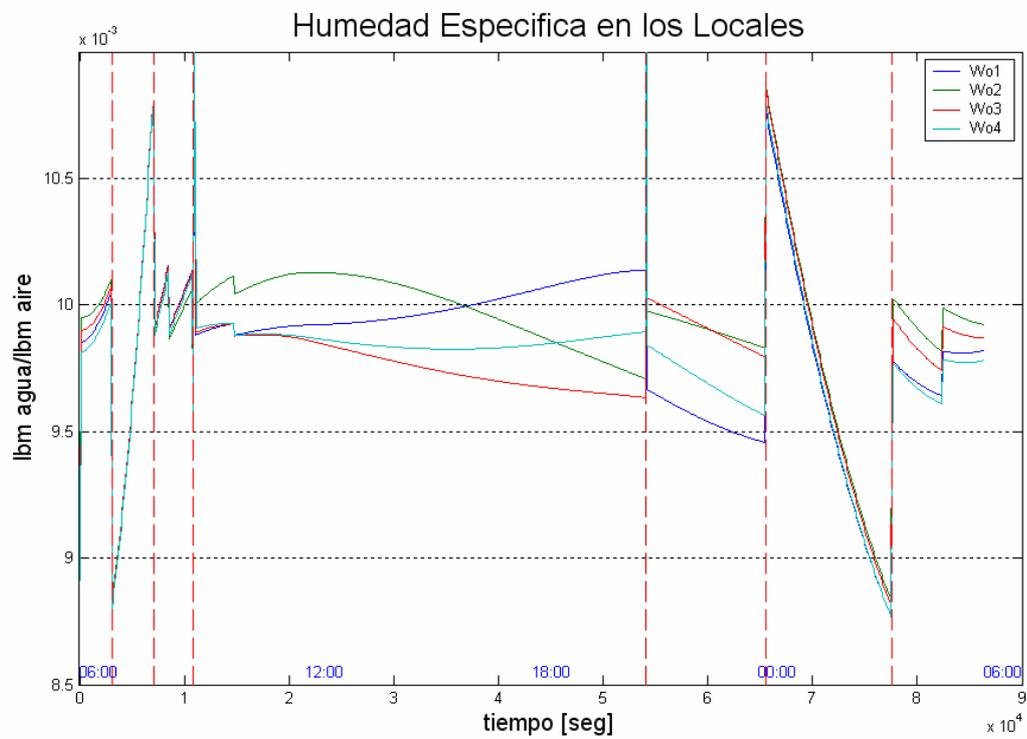


Figura 6.10: Humedad Especifica de los Locales vs tiempo.

### 6.1.3 LOCALES CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE SIMILARES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES

Las Funciones que indican las señales de entrada son las siguientes:

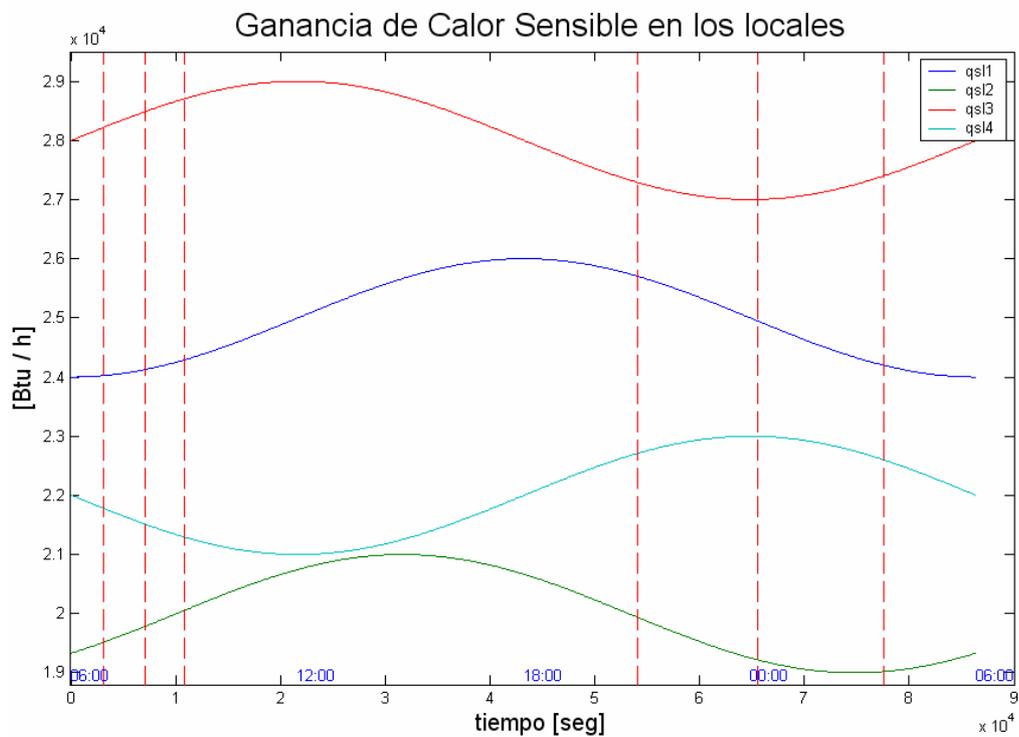
$$qsl1=[25000+1000*\sin(\pi*(t-21600)/43200)]$$

$$qsl2=[20000+1000*\sin(\pi*(t-10000)/43200)]$$

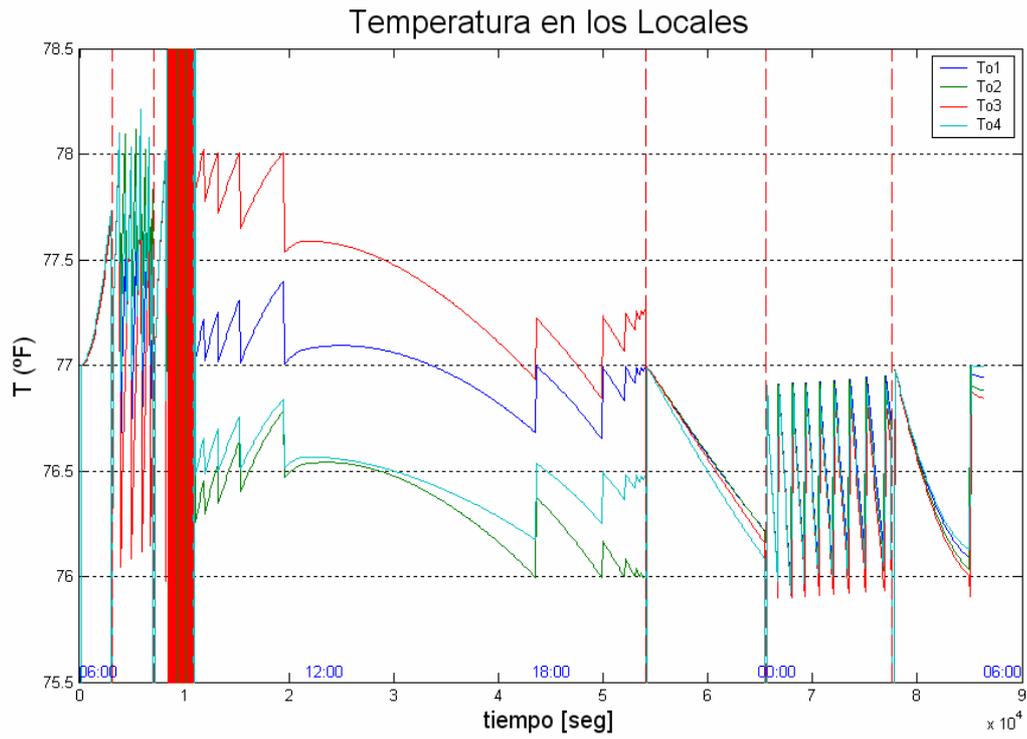
$$qsl3=[28000+1000*\sin(\pi*t/43200)]$$

$$qsl4=[22000+1000*\sin(\pi*(t-43200)/43200)]$$

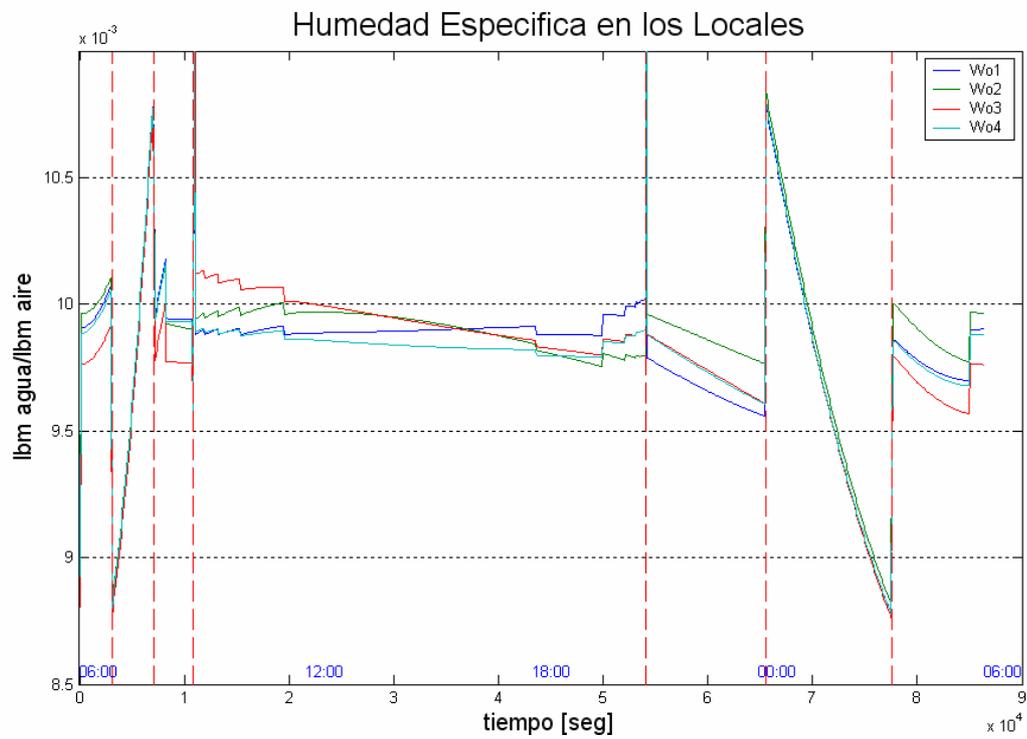
Las Funciones de los Factores de calor sensible de los locales son las mismas del literal 6.1.1.



**Figura 6.11:** Ganancias de Calor Sensible en los locales vs tiempo.



**Figura 6.12:** Temperatura en los Locales vs tiempo.



**Figura 6.13:** Humedad Especifica en los Locales vs tiempo.

En el Capítulo 7 se hace el análisis de resultados de la respuesta del sistema en el tiempo. En el Anexo G se muestran los gráficos restantes obtenidos como respuesta del sistema de control N° 1 en el tiempo.

## 6.2 RESPUESTA EN EL TIEMPO DEL SISTEMA N° 2

Las señales de entrada para el sistema N° 2 son las mismas que las indicadas para el sistema N° 1. Literal 6.1.

### 6.2.1 LOCALES CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES

Señales de entrada en el literal 6.1.1.

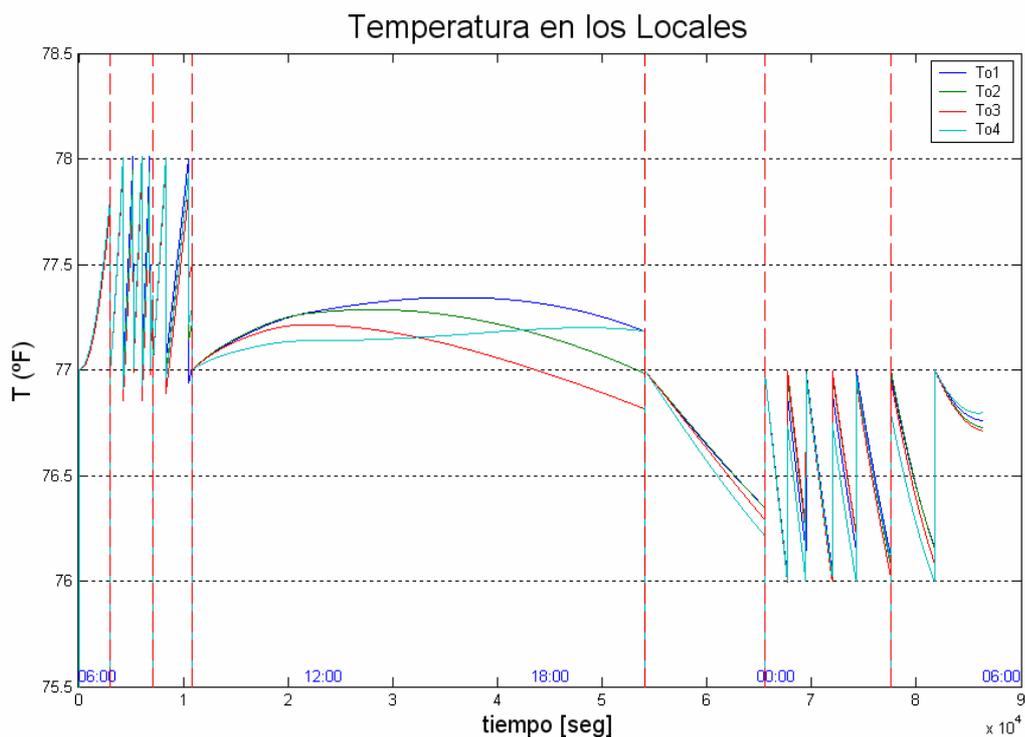


Figura 6.14: Temperatura de los Locales vs tiempo.

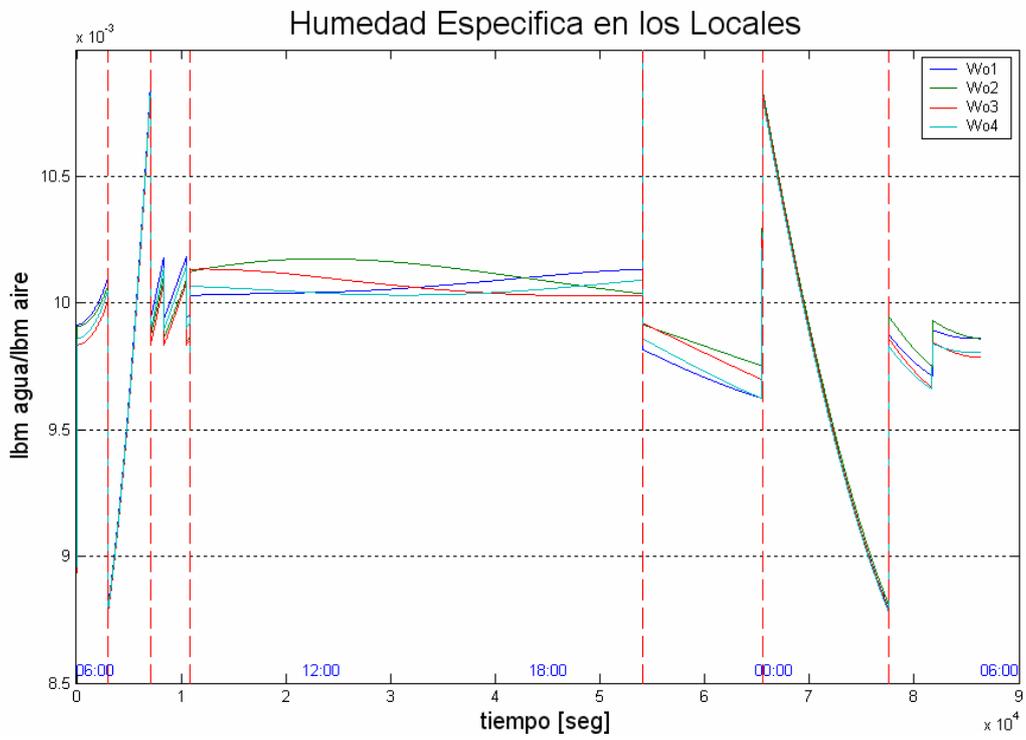


Figura 6.15: Humedad Especifica de los Locales vs tiempo.

### 6.2.2 LOCALES CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE SIMILARES

Señal de entrada en el Literal 6.1.2.

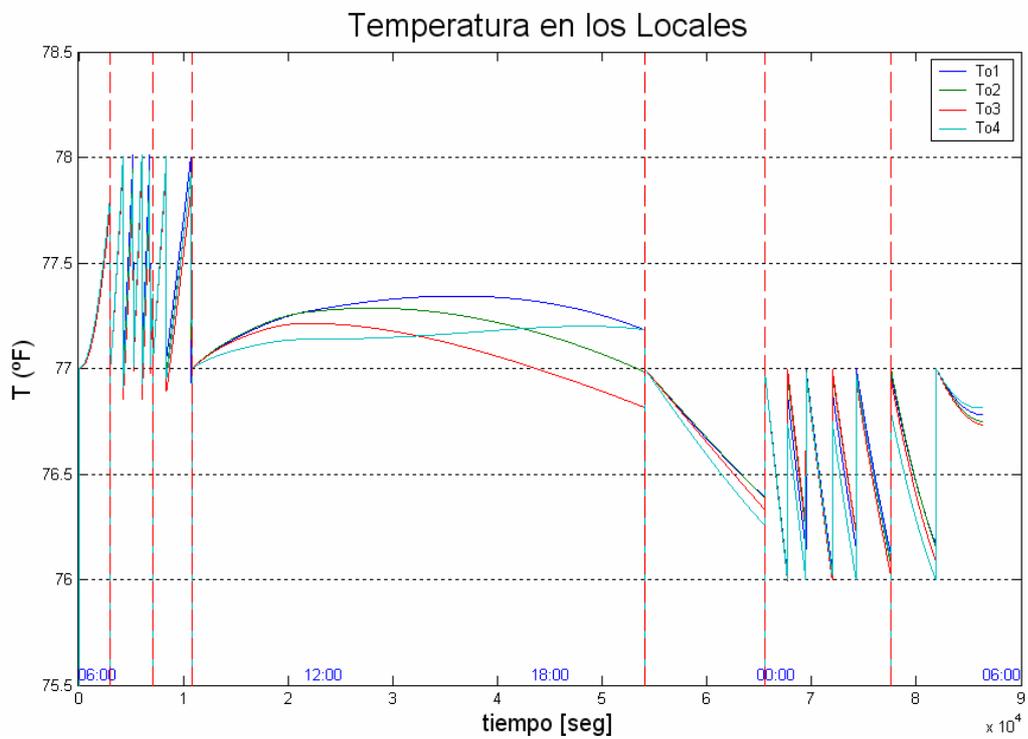


Figura 6.16: Temperatura de los Locales vs tiempo.

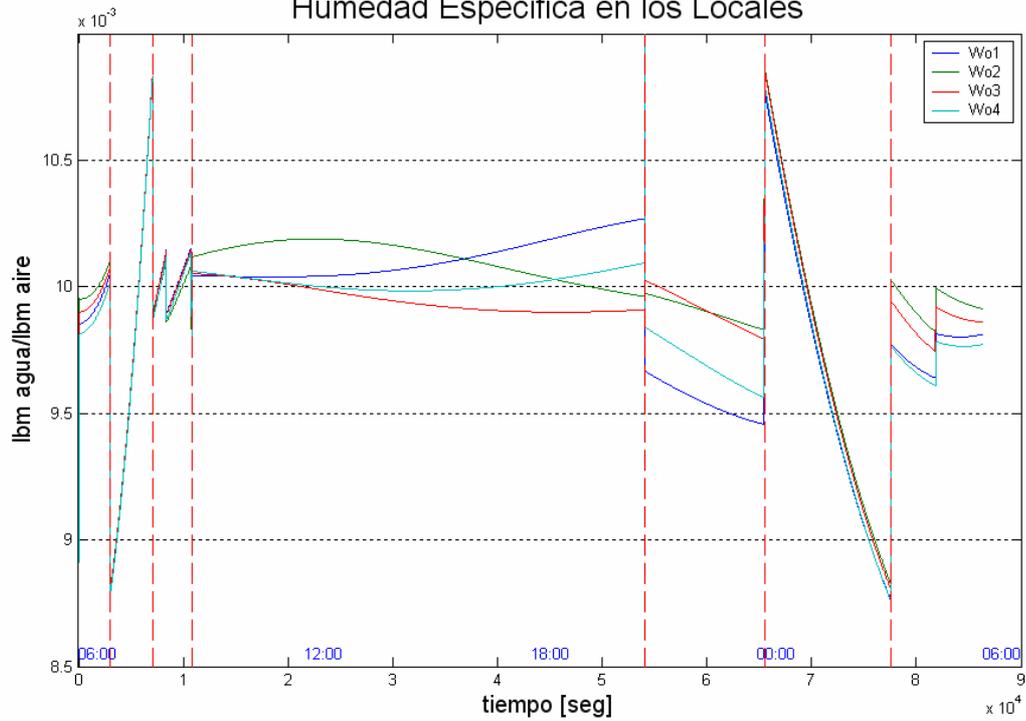


Figura 6.17: Humedad Especifica de los Locales vs tiempo.

### 6.2.3 LOCALES CON FACTORES DE CALOR SENSIBLE SIMILARES Y GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE DIFERENTES

Señal de entrada en el Literal 6.1.3

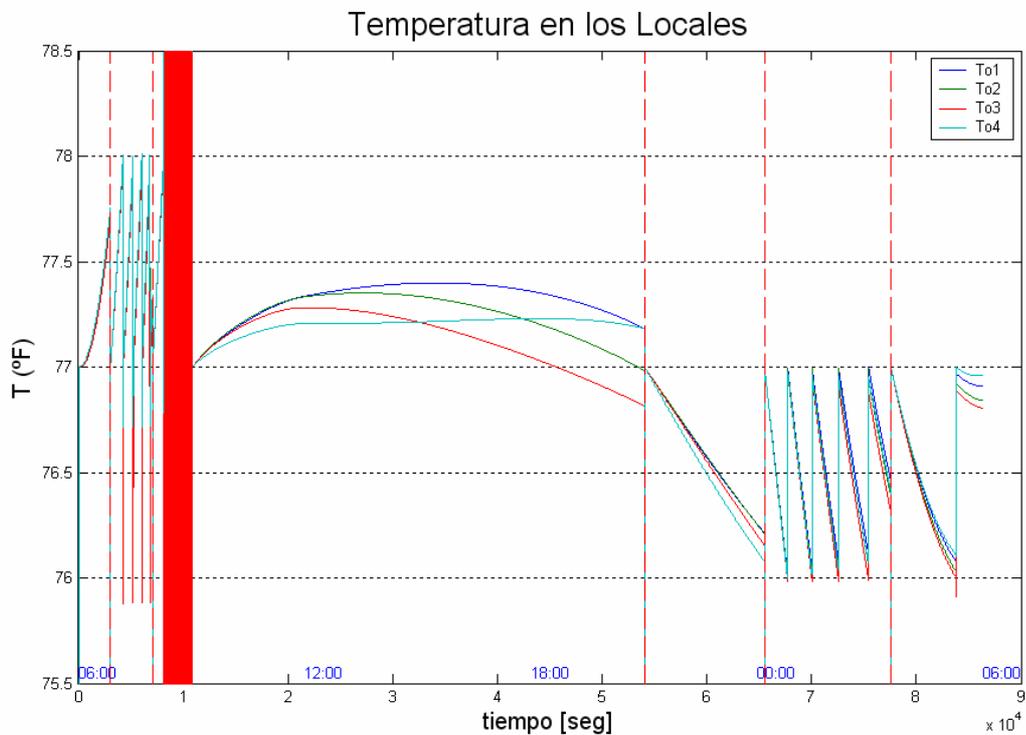
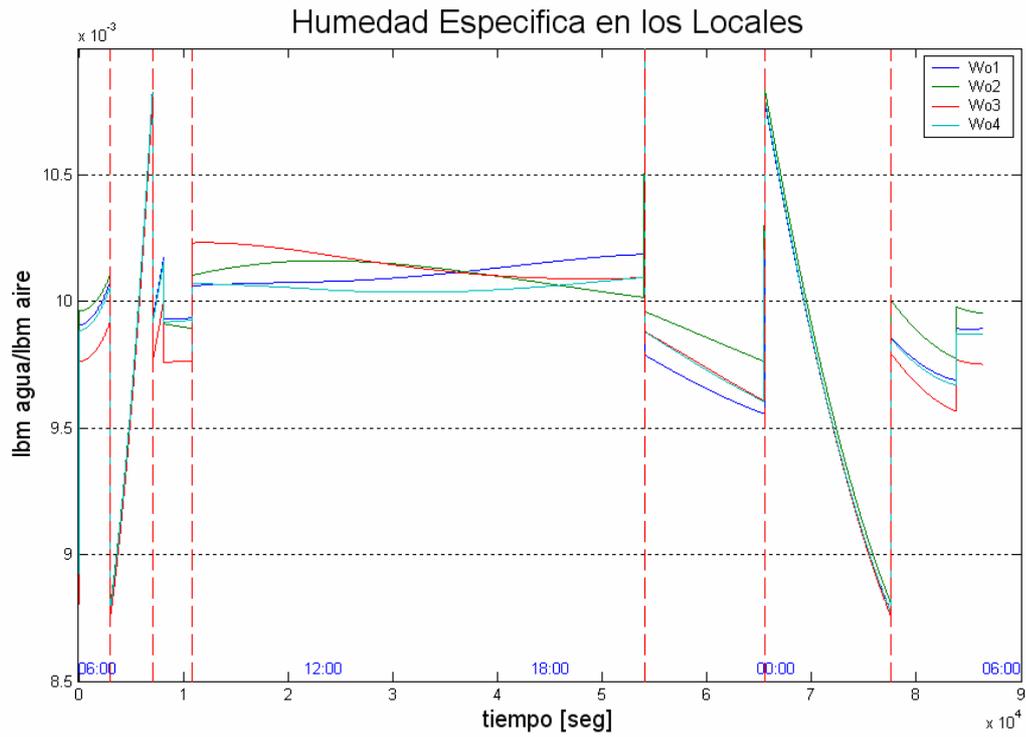


Figura 6.18: Temperatura en los Locales vs tiempo.



**Figura 6.19:** Humedad Específica en los Locales vs tiempo.

En el Capítulo 7 se hace el análisis de resultados de la respuesta del sistema en el tiempo. En el Anexo G se muestran los gráficos restantes obtenidos como respuesta del sistema de control N° 2 en el tiempo.

## CAPITULO 7

### ANALISIS DE RESULTADOS

El Análisis de Resultados del presente proyecto tiene como finalidad determinar la efectividad de los programas para PLC's desarrollados para controlar Sistemas de Aire Acondicionado.

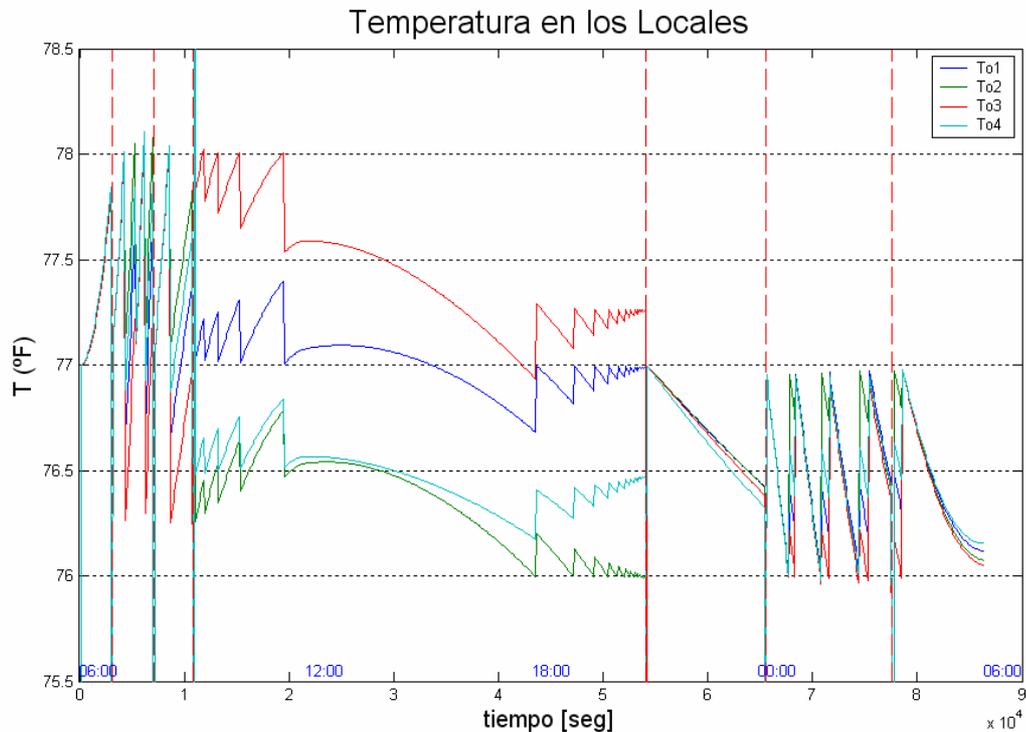
El lector debe tener en cuenta que la lógica de control utilizada en la programación del autómatas fue desarrollado para mantener la Temperatura y Humedad del aire en los locales dentro de una banda de tolerancia establecida para el confort humano por medio de la supervisión del funcionamiento de los equipos que conforman el sistema de Aire Acondicionado y no se trata del control de los equipos en si (Por lo general el control del equipo esta indicado en el manual del diseñador).

El análisis de los resultados encontrados, es el siguiente:

#### 7.1 Sistema N° 1:

- El Programa de control N° 1 cumple con el objetivo planteado ya que mantiene la temperatura del aire de los locales dentro de la banda de tolerancia establecida para el confort humano,  $76^{\circ} F \leq T_o \leq 78^{\circ} F$  (Figura 6.4). El control de la Humedad Especifica del aire de los locales también es satisfactorio, se mantiene dentro de la banda de tolerancia  $0.00896361 \leq W_o \leq 0.010990721$  (Figura 6.5) y únicamente en los intervalos en los que la humedad especifica exterior es muy cercana al valor de la humedad de confort, la humedad de los locales deja de ser controlada.
- A pesar de que los Factores de Calor Sensible de los locales sean diferentes y cambien con el transcurso del tiempo (Figura 6.6), el Sistema de Control N° 1 responde satisfactoriamente y mantiene los parámetros de control dentro del rango de tolerancia (Figuras 6.7 y 6.8).

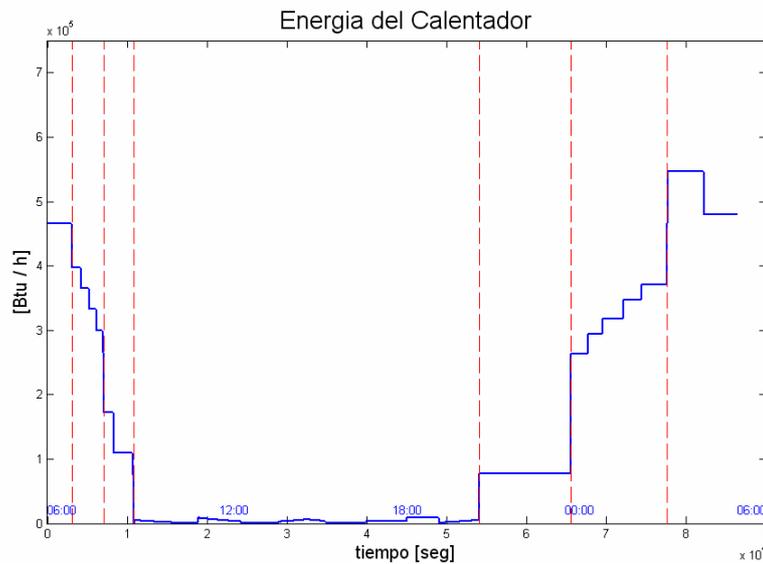
- En la Figura 6.10 se aprecia que el Sistema de Control presenta dificultades cuando las ganancias de calor sensible en los locales son muy diferentes (Figura 6.9), sin embargo, esta inestabilidad se supera si se aumenta el suministro de aire de 28000 a 38000 scfm.



**F**

**figura 7.1:** Temperatura en los Locales del Sistema N° 1 Rectificado vs tiempo.

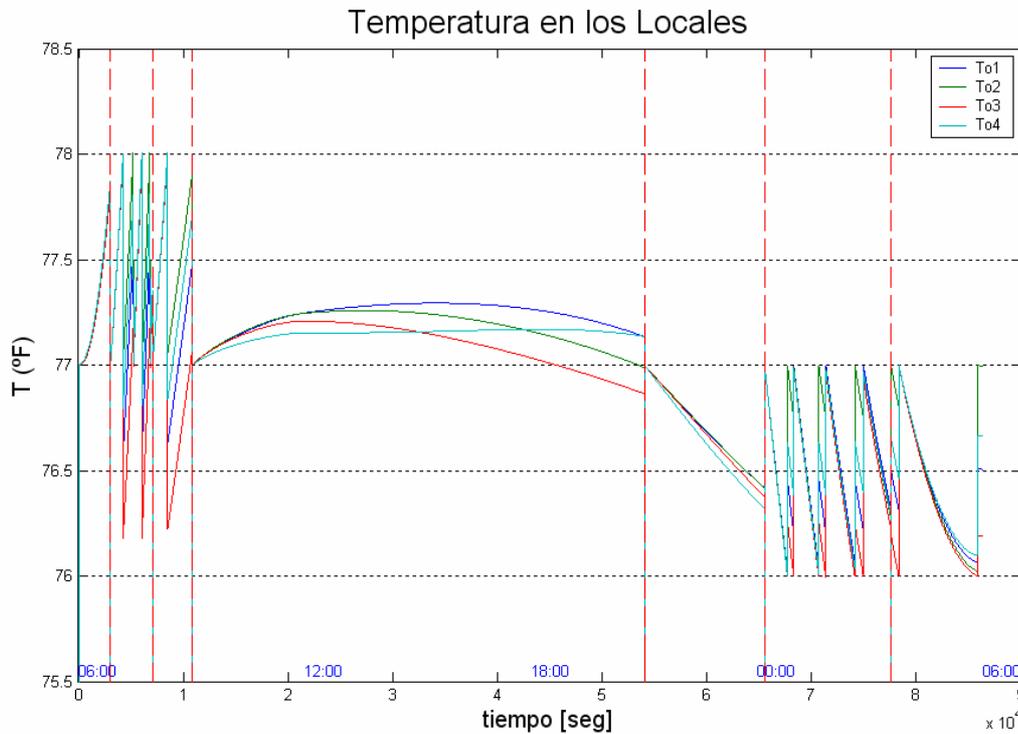
- Se observa en la Figura G.11 (Anexo G) que la energía utilizada por el calentador en el intervalo estimado como verano es considerable, lo cuál es algo ilógico. La razón de esta inconsistencia está en que el sistema de aire acondicionado no fue establecido para el tipo de datos de entrada que se establecieron para la simulación, el Sistema de Control responde satisfactoriamente aunque el Sistema de Aire Acondicionado no es el más adecuado. Para corregir este desperdicio de energía, se debe cambiar el Enfriador-Deshumidificador por otro con un Punto de Roció diferente. Por ejemplo si se utiliza un Enfriador-Deshumidificador con una Temperatura de punto de Roció de 50 °F.



**Figura 7.2:** Energía del Calentador del Sistema modificado vs tiempo.

## 7.2 Sistema N° 2:

- El Programa de control N° 2 cumple con el objetivo planteado ya que mantiene la temperatura del aire de los locales dentro de la banda de tolerancia establecida en el diseño,  $76^{\circ} \text{F} \leq T_o \leq 78^{\circ} \text{F}$  (Figura 6.12) y a pesar de que el sistema N° 2 no realiza control de la Humedad Especifica del aire de los locales en el Verano, en el caso de la Figura 6.13 la humedad alcanzada en los locales es satisfactoria.
- A pesar de que los Factores de Calor Sensible de los locales sean diferentes y cambien con el transcurso del tiempo (Figura 6.6), el Sistema de Control N° 2 responde satisfactoriamente y mantiene los parámetros de control dentro del rango de tolerancia (Figuras 6.14 y 6.15).
- En la Figura 6.16 se aprecia que el Sistema de Control presenta dificultades cuando las ganancias de calor sensible en los locales son muy diferentes (Figura 6.9), sin embargo, esta inestabilidad se supera si se aumenta el suministro de aire de 28000 a 38000 scfm.



**Figura 7.3:** Temperatura en los Locales del Sistema N° 2 modificado vs tiempo.

- En el Sistema de Control N° 2, el Sistema de Aire Acondicionado suministra aire a los locales en una cantidad fija, independientemente de las condiciones del medio ambiente exterior (flujo de diseño = 28000 scfm), pero cuando se considere que el estado del clima se encuentra en verano, el flujo de diseño se divide en dos flujos diferentes:
  1. El flujo de aire que se desvía del enfriador-deshumidificador (scfmD)
  2. El flujo que no se desvía y que si es enfriado (scfmM).

El flujo de aire scfmM esta formado por el flujo de aire exterior (scfmE) y el flujo de aire de recirculación (scfmR). En el Anexo G, la Figura G.50 muestra únicamente los flujos de aire que el sistema de control debe determinar en el Verano para llevar el aire en los locales a las condiciones de confort.

Los diferentes flujos de aire mostrados en la Figura G.50 aparecen invariantes en el transcurso del tiempo, lo cuál se debe a que la variación de las cargas sensibles de calor establecidas para los locales tienen valores bajos. Si se modifican algunos de los parámetros del sistema de Aire Acondicionado de la siguiente manera:

$$T_{PRA} = 64 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Flujo de diseño = 33000 scfm

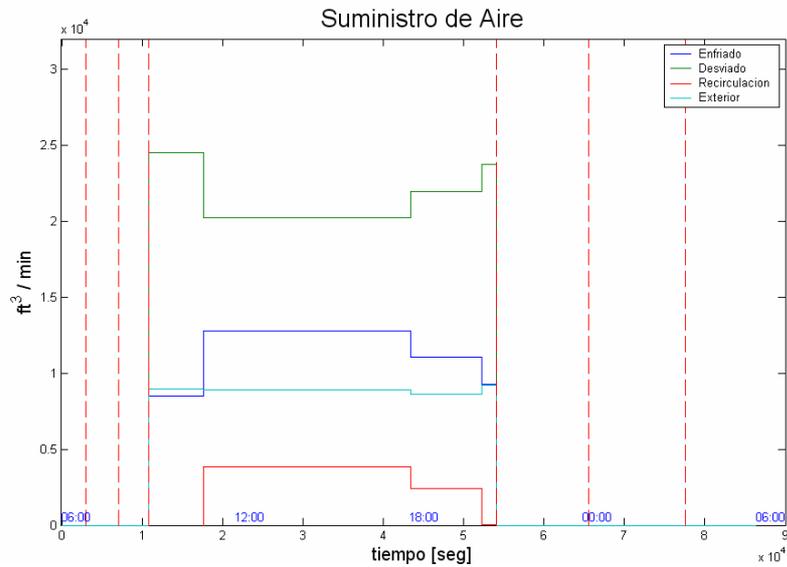
$$qsl1=[20000+6000*\sin(\pi*(t-21600)/43200)]$$

$$qsl2=[20000+6000*\sin(\pi*(t-10000)/43200)]$$

$$qsl3=[20000+6000*\sin(\pi*t/43200)]$$

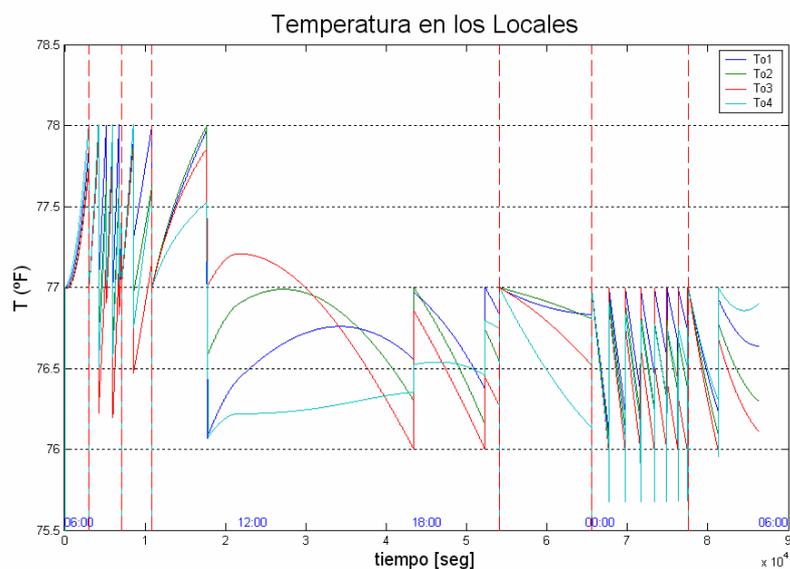
$$qsl4=[20000+6000*\sin(\pi*(t-43200)/43200)]$$

La respuesta del Sistema de Control es la siguiente:

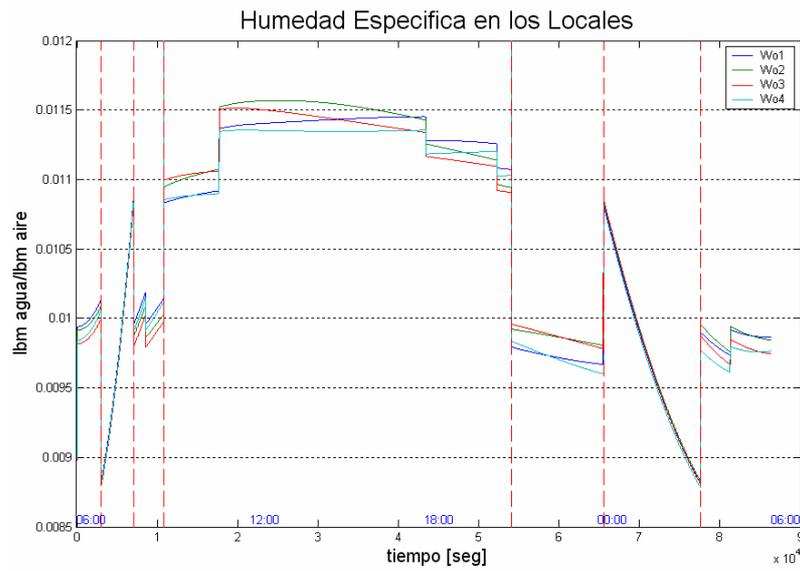


**Figura 7.4:** Flujos de Aire en el Verano con el sistema N° 2 Modificado vs tiempo.

La Temperatura y Humedad Específica de los locales con el sistema modificado se representan en las siguientes figuras:



**Figura 7.5:** Temperatura de los Locales con el sistema N° 2 Modificado vs tiempo.



**Figura 7.6:** Humedad Especifica de los Locales vs tiempo.

Con el sistema de Aire Acondicionado modificado, la respuesta del sistema de Control N° 2 es la esperada, mantiene la Temperatura de todos los locales en la banda de tolerancia establecida en el diseño, durante todas las condiciones del ambiente exterior y no realiza control de humedad en el verano ni cuando en el invierno la humedad especifica exterior es similar a la de diseño.

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusiones fundamentales del estudio realizado se anotan las siguientes:

- El Sistema Automático de Sistemas de Aire Acondicionado con PLC's se ha diseñado para mantener la Temperatura y Húmeda específica en las condiciones de confort térmico dentro de sitios públicos como hoteles, oficinas, centros comerciales etc. Debido a la gran diversidad de cargas térmicas existentes y a su variación aleatoria, el sistema de control se ha desarrollado para que mida la variación de las condiciones de Temperatura y Humedad relativa del aire del ambiente exterior, del ambiente en los locales y del aire a la salida de los equipos, datos que proporcionan toda la información necesaria para acondicionar el aire. Entonces todas las variaciones de las condiciones ambientales y las perdidas del sistema de Aire Acondicionado serán captados por la Temperatura y Humedad relativa del Aire.
- Las entradas y salidas que necesita el PLC para el programa de control N' 1 son, 2 entradas digitales (adicionalmente, 2 entradas digitales no indispensable, utilizadas para la simulación en PC Simu) y 12 entradas analógicas, en cambio las salidas necesarias son: 7 salidas digitales y 14 salidas analógicas de las cuales solo 7 son indispensables y las 7 restantes son utilizadas únicamente para simular las acciones de control en el programa PC Simu.
- Las entradas y salidas que necesita el PLC para el programa de control N' 2 son, 2 entradas digitales y 12 entradas analógicas, en cambio las salidas necesarias son: 7 salidas digitales y 16 salidas analógicas de las cuales solo 10 son indispensables y las 6 restantes son utilizadas únicamente para simular las acciones de control en el programa PC Simu.

- La lógica establecida para el Control Automático de Sistemas de Aire Acondicionado con PLC's funciona satisfactoriamente para las diferentes señales de entrada, aún en los casos en los que los equipos de acondicionamiento de aire no sean los más apropiados para dichas señales de entrada. Para obtener un Sistema total de Aire acondicionado de alta eficiencia es necesario que los equipos seleccionados sean lo más apropiados para compensar las cargas térmicas internas y externas al local que se desea acondicionar evitando que al realizar los cálculos, el autómatas programable obtenga resultados incoherentes como por ejemplo porcentajes de recirculación negativos. Además es necesario indicar que a pesar del buen funcionamiento del programa de control, para la implementación del sistema se debe considerar el tiempo de retardo del funcionamiento de los instrumentos utilizados para el control (sensores y actuadores).
- El programa de control desarrollado es aplicable para locales que tienen ganancias de calor sensible y factores de calor sensible muy similares y que su variación no sea considerable, que se encuentren ubicados en zonas a nivel del mar y no posee ninguna restricción durante la condición de invierno, pero en el verano, solo es recomendable para sitios a nivel del mar que poseen un medio ambiente exterior calido-húmedo y no es recomendable para sitios con ambiente exterior calido-seco. Si se desea desarrollar programas para PLC `s que controlen sistemas de aire acondicionado en lugares que se encuentran a una altura mayor que la del nivel del mar, es necesario realizar las correcciones respectivas en las ecuaciones establecidas.
- El sistema de control N° 1 cumple con el objetivo planteado ya que mantiene la temperatura del aire de los locales dentro de la banda de tolerancia establecida para el confort humano,  $76^{\circ} F \leq T_o \leq 78^{\circ} F$ . El control de la Humedad Especifica del aire de los locales también es satisfactorio, se mantiene dentro de la banda de tolerancia  $0.00896361 \leq W_o \leq 0.010990721$  y únicamente en los intervalos en los que la humedad especifica exterior es muy cercana al valor de la humedad de confort, la humedad de los locales deja de ser controlada.

- La respuesta del sistema de Control N' 2 es la esperada, mantiene la Temperatura de todos los locales en la banda de tolerancia establecida en el diseño,  $76^{\circ} F \leq T_o \leq 78^{\circ} F$ , durante todas las condiciones del ambiente exterior y controla la humedad específica del aire en los locales excepto en el verano y en el invierno con humedad específica exterior similar a la de diseño.
- Los autómatas programables de SIEMENS de la familia Simatic S7 200 o de tecnología superior y autómatas equivalentes en otras marcas, están en capacidad de controlar satisfactoriamente los sistemas de aire acondicionado.
- La automatización de sistemas industriales por medio de PLC's mejora en un gran porcentaje la eficiencia de un proceso a un costo bajo y con gran rapidez ya que son adaptables a cualquier tipo de proceso.
- El Autómata programable esta en capacidad de utilizar un mismo bloque funcional (Temporizador, Contador, etc) para realizar diferentes acciones de control, sin embargo, es recomendable utilizar tantos bloques funcionales como sean necesarios para realizar la programación ya que su empleo no acarrea un costo adicional y evita que el programa desarrollado sea de difícil comprensión. Además mientras menor sea el número de componentes que están interrelacionados entre sí en un proceso o sistema, mayor será la probabilidad de que produzcan errores o fallas.

## CAPITULO 9

### BIBLIOGRAFÍA

1. AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE, Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado, 3ª edición Cap. A28
2. CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica, Tomo II, 2ª edición Cap.XIII
3. SEMANATE N. Julio E. Simulación de Sistemas de Aire Acondicionado para edificios, Cap. III, Tesis. Quito. EPN.
4. ASHRAE Handbook 1997, Fundamentals, Chapter VI
5. PITA, Ewgard G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición , Cap VII
6. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap I
7. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2
8. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap IX
9. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 2
10. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 3
11. ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment, Chapter 4
12. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap X
13. CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica, Tomo II, 2ª edición Cap.X
14. PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición , Cap XIII
15. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. "Manual de Aire Acondicionado, 5ª Edición , Cap I
16. PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición Cap VIII
17. ASHRAE, Handbook 1997, Fundamentals, Chapter 45.
18. NILS R. GRIMN/ ROBERT C. ROSALES, Manual de diseño de Calefacción, Ventilación y aire acondicionado, Cap. LII

19. PITA, Edward G. "Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 2ª Edición Cap XIV
20. FELIPE MATEOS/VICTOR M. GONZALEZ, Sistemas Automatizados-Autómatas Programables (PLC's), Cap.I
21. DR. AGUINAGA, Álvaro, Automatización de Procesos Industriales con PLC's
22. JOSEP BALCELLS/JOSÉ LUIS ROMERAL, Autómatas Programables, Cap.10.
23. Warnock I. G., Programmable Controllers Operation and Application, Prentice-Hall, 1988
24. Rohner P., Automotion with Programmable Logic Controllers, Macmillan, 1996
25. Warnock I. G., Programmable Controllers Operation and Application, Prentice-Hall, 1988.
26. Bolton W., Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Alfaomega, 2da. Edición, México, 2001.
27. Rohner P., Automotion with Programmable Logic Controllers, Macmillan, 1996.
28. Siemens Simatic, Manual del Sistema de Automatización S7-200, Siemens AG, 1998.
29. Siemens Simatic, Microsystem Simatic S7-200, Siemens AG, 1999.
30. Aguinaga A, Automatización Industrial, Maestría de Diseño Materiales y Producción, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2005.