

**ANALISIS DE DIFERENTES ESQUEMAS DE PRODUCCION DE HIELO EN
BLOQUE**

**FRANCISCO STELLA LÓPEZ.
YINNA TATIANA MOGOLLÓN GARCÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2010

**ANALISIS DE DIFERENTES ESQUEMAS DE PRODUCCION DE HIELO EN
BLOQUE**

**FRANCISCO STELLA LÓPEZ.
YINNA TATIANA MOGOLLÓN GARCÍA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR A. GÉLVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2010

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza para poder lograr tan importante objetivo.

A mis padres, Henry Stella y María Teresa, por haberme brindado siempre su apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

A mi gordita linda Carolina Quiroz el amor de mi vida quien siempre ha creído en mí.

A mis hermanos por su ayuda y comprensión.

A mis amigos y compañeros de carrera por todo el apoyo que me han dado para culminar esta aspiración que hoy llega a una etapa muy importante, en especial a Blas Tapias, T., O.A.

*A mi compañera de grado por su gran amistad, su dedicación,
su perseverancia y su empeño en hacer que las cosas salieran de
la mejor manera.*

*A las demás personas porque de alguna u otra forma aportaron
sus conocimientos y experiencias para lograr mis objetivos, en
especial a Polo.*

FRANCISCO STELLA LOPEZ

DEDICATORIA

A mis padres Henry y Flor quienes siempre me expresaron su amor y apoyo incondicional es esta etapa de mi vida.

A Heidy, Sandra, David, Jessica, mis hermanos porque este logro también es de ellos.

A mi sobrina Danna que es una alegría en mi vida.

A mis tíos por su apoyo en los momentos que fueron necesarios.

A Todo y Todos los que hicieron posible que pudiera estar aquí celebrando este logro

YINNA TATIANA MOGOLLÓN GARCIA

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero y docente OMAR GELVEZ AROCHA. Por su aporte, conocimiento y colaboración para la realización de este trabajo de grado.

La UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER y al grupo de docentes que hacen parte de la Escuela de Ingeniería Mecánica por sus aportes y enseñanzas.

Finalmente, a nuestras FAMILIAS, porque fueron el soporte moral y económico durante todo el proceso de realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	23
1. REFRIGERACIÓN	25
1.1 APLICACIONES	25
1.1.1 Hielo en bloque	27
1.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	29
1.3 CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION.....	33
1.3.1 Variación de la capacidad de un sistema de refrigeración	34
1.4 ESQUEMAS DE CONTROL EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN. ...	40
1.4.1 Esquema de control ONN-OFF	40
1.4.2 Estrategia de control continuo.....	44
1.5 CONSUMO ENERGETICO.....	52
1.5.1 Medidores de energía eléctrica.....	53
1.6 PARALELO ENTRE EL CONTROL CONTINUO Y ON-OFF.....	55
2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE HIELO EN BLOQUE DEL LABORATORIO DE REFRIGERACION.	58
2.1 TINA DE CONGELACIÓN	59
2.2 COMPONENTES PRINCIPALES	59
2.2.1 Compresor	59
2.2.2 Condensador	62
2.2.3 Tubo capilar	63
2.2.3 Evaporador	63
2.3 COMPONENTES ANEXOS DEL SISTEMA.	64
2.3.1 Filtro	64

2.3.2 Visor de líquido	65
2.3.3 Botella de aspiración.....	66
2.3.4 Agitado.....	66
2.3.5 Termoposo.....	67
2.3.5 Cubetas de congelación.....	68
2.3.6 Anticongelante	69
2.4 COMPONENTES DE CONTROL	70
2.4.1 Presostato.....	71
2.4.2 Manómetros	71
2.4.3 Variador de velocidad.	72
2.4.4 Puerto serial RS 232.....	73
2.4.5 PC	73
2.5 COMPONENTES DE MONITOREO	74
2.5.1 Termocupla	75
2.5.2 Sistema de adquisición de datos.	76
3. IMPLEMENTACION DE LOS ESQUEMAS DE PRODUCCION DE HIELO EN BLOQUE DE LA MINI PLANTA PILOTO DEL LABORATORIO DE REFRIGERACION	83
3.1 IMPLEMENTACION DEL ESQUEMA A PLENA CAPACIDAD	83
3.2 IMPLEMENTACION DEL ESQUEMA DE CONTROL CONTINUO	84
3.2.1 Control continuo PID.....	85
4. PROGRAMACIÓN	91
4.1 PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL	91
4.1.1 Panel frontal de la pestaña presentación:	92
4.1.2 Menú	93
4.1.3 Diagrama de bloques del menú.	97
4.1.4 Temperaturas.....	109
4.1.5 Control	115
4.1.6 Consumo.....	121
5. PRUEBAS.....	124

5.1.1 Temperatura de referencia.....	125
5.1.2 Cantidad de hielo a producir	125
5.2 TOMA DE DATOS.	125
5.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.	128
5.3.1 Escenario 1.....	128
5.3.2 Escenario 1	130
5.3.3 Escenario 2.....	132
5.3.4 Escenario 3.....	134
5.3.5 Escenario 3.....	139
5.3.6 Escenario 3. A plena carga (4500 rpm).....	140
6. COMPARACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL IMPLEMENTADAS.....	145
CONCLUSIONES	152
RECOMENDACIONES	155
BILIOGRAFIA	156
ANEXOS	158

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Máquina de hacer hielo en bloque	28
Figura 2. Elementos del ciclo de refrigeración	29
Figura 3. Ciclo termodinámico P-H de un sistema de refrigeración por compresión de vapor simple	30
Figura 4. Modos de variar la capacidad de un sistema de refrigeración	34
Figura 5. Balance de presión en la válvula termostática de expansión	36
Figura 6. Aumento de la capacidad con la temperatura de evaporación	37
Figura 7. Comportamiento de la capacidad del sistema variando las RPM del compresor	38
Figura 8. Control ON-OFF	41
Figura 9. Interruptor de temperatura	42
Figura 10: Presostato	43
Figura 11: Modelo general del sistema de control continuo	44
Figura 12: cuadro sinóptico del modelo general de la estrategia de control continuo	46
Figura 13. Diagrama de bloque de un control PID	49
Figura 14. Estrategia de control basado en PC	50
Figura 15 Cuadro sinóptico de los componentes de la planta piloto	58
Figura 16. Tina de congelación	59
Figura 17. Compresor	60
Figura 18. Nomenclatura del compresor VCC de Embraco	61
Figura 19. Condensador	62
Figura 20. Tubo capilar	63
Figura 21. Evaporador.	64

Figura 22. Filtro	64
Figura 23. Visor de líquido	65
Figura 24. Botella de aspiración	66
Figura 25. Sistema de agitación	67
Figura 26. Termoposo.	68
Figura 27. Cubetas de congelación	69
Figura 29. Cuadro sinóptico de los elementos de control	70
Figura 28. Variador de velocidad	73
Figura 29. Entrada de datos RS 232	73
Figura 30. Cuadro sinóptico de los elementos de monitoreo	74
Figura 31: Fuente reguladora planta piloto	77
Figura 32. Modulo FP - 1000	78
Figura 33. Modulo FP – TC – 120	79
Figura 34. Esquema a plena capacidad de la mini planta	84
Figura 35. Implementación del control continuo en la mini planta piloto	85
Figura 36. Acciones independientes y combinadas que intervienen en un controlador PID	86
Figura 37. Curva de respuesta en forma de S	87
Figura 38. Curva y parámetros de sintonización del cuarto frío	89
Figura 39. Panel frontal de la pestaña presentación	92
Figura 40 Diagrama de bloque de la pestaña presentación	93
Figura 41. Pestaña del menú: estado de funcionamiento.	95
Figura 42. Pestaña del menú: ajustar la velocidad de transmisión.	96
Figura 43. Pestaña de menú: Leer ajuste de velocidad.	97
Figura 44. Generación de parámetros de comunicación	99
Figura 45. Opción leer estado de funcionamiento.	100
Figura 46. Ajustar velocidad de transmisión. Parte 1	101
Figura 47. Ajustar velocidad de transmisión. Parte 2	102
Figura 48. Leer ajuste de velocidad.	103
Figura 49. Generación del byte Checksum.	104

Figura 50. Envío del dato por el puerto serie.	104
Figura 51. Tiempo de espera después de enviar el dato.	105
Figura 52. Lectura del registro de datos.	106
Figura 53. Tiempo de espera después de leer el dato	107
Figura 54. Diagrama de bloques que muestra estado de funcionamiento	108
Figura 55. Leer velocidad del compresor.	109
Figura 56. Pestaña de temperaturas.	110
Figura 57. Diagrama de bloques de adquisición de temperaturas	111
Figura 58. Estado de espera para guardar.	112
Figura 59. Generación de los títulos de cada variable guardada.	113
Figura 60. Diagrama de bloques para guardar datos.	114
Figura 61. Pestaña de control	116
Figura 62. Diagrama de bloques de control manual	117
Figura 63. Diagrama de bloques de control PID	118
Figura 64. Diagrama de bloques del ajuste de velocidad en control PID.	119
Figura 65. Diagrama de bloques con el control PID apagado.	120
Figura 66. Diagrama de bloques de control a plena carga.	121
Figura 67. Pestaña de consumo de energía	122
Figura 68. Diagrama de bloques del consumo de energía	123
Figura 69. Escenarios de estudio para la determinación del consumo energético de la planta piloto	124
Figura 70. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 1).	128
Figura 71. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 2).	129
Figura 72. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (Prueba 3).	129
Figura 73. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 4).	130

Figura 74. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 5).	131
Figura 75. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 6).	131
Figura 76. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 7).	132
Figura 77. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 8).	133
Figura 78. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -18 °C (prueba 9).	133
Figura 79. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 10).	135
Figura 80. Potencia Vs Tiempo, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 10).	135
Figura 81. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 11).	136
Figura 82. Potencia Vs Tiempo, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 11).	137
Figura 83. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 12).	138
Figura 84. Potencia Vs Tiempo, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 12).	138
Figura 85. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 13).	140
Figura 86. Temperatura etilenglicol Vs temperatura evaporación a plena carga y 5,1 kg	141
Figura 87. Potencia promedio: prueba 14	142
Figura 90. Comparación del consumo para producir 6.7 kg a plena carga y controlada a -10°C.	147

Figura 91. Comparación del consumo para producir 6.7 kg a plena carga y controlada a -13°C	148
Figura 92. Comparación del consumo para producir 6.7 kg y 5.1kg a plena.	149
Figura 93. Comparación del consumo de energía para los controles del sistema.	151

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Tipos de termocuplas	47
Tabla 2: Mecanismos de adquisición	51
Tabla 3: Paralelo entre la estrategia ON-OFF y la estrategia de control continuo en un sistema de refrigeración	56
Tabla 4. Especificaciones técnicas del filtro	64
Tabla 5. Composición acero inoxidable 416	68
Tabla 6. Punto de congelación de soluciones acuosas	70
Tabla 7. Presostato	71
Tabla 8. Manómetro	72
Tabla 9. Características termocupla planta piloto.	75
Tabla 10. Especificaciones contador digital HOME	80
Tabla 11. Diagrama de conexión contador HOME	81
Tabla 12. Conexión del contador digital con la USB 6009	82
Tabla13. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta	87
Tabla 14. Valores finales de las constantes del control PID del cuarto frío	89
Tabla 15. Escenarios de investigación para la determinación del consumo energético	126
Tabla16. Datos de la prueba realizada en el escenario 3 con temperatura evaporación de -15 para una producción de 6.7 kg de hielo.	127
Tabla 17. Potencia promedio con control PID para las pruebas 10, 11 y 12	139
Tabla 18. Potencia promedio a plena carga para las pruebas 14 y 15	144
Tabla 19. Porcentajes de ahorro de energía para una producción de 6,7 Kg.	146
Tabla 20. Porcentajes de ahorro de energía para una producción de 5,1 Kg.	146
Tabla 21. Consumo de energía para un kilogramo de hielo producido.	149

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: DATOS TECNICOS DEL COMPRESOR VEGT 7H	159
ANEXO B: PLANOS CUBETAS	160
ANEXO C: PRINCIPIOS DE PROGRAMACION DEL VARIADOR DE DEVELOCIDAD	163
ANEXO D: CARACTERISTICAS GENERALES DEL VARIADOR	168
ANEXO E: MODULO DE CONEXIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE	188
ANEXO F: CERTIFICADO Y CARACTERISTICAS DEL CONTROL DIGITAL HOME	190
ANEXO H: CARACTERISTICAS USB 6009	197
ANEXO F: GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE MONITOREO Y CONTROL	202

RESUMEN

TÍTULO: ANALISIS DE DIFERENTES ESQUEMAS DE PRODUCCION DE HIELO EN BLOQUE*

AUTORES: Francisco Stella López
Yinna Tatiana Mogollón García**

PALABRAS CLAVES: Variador de velocidad, Adquisición de datos, Ahorro de energía, Hielo en bloque.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto de grado es evaluar el efecto en el consumo de energía de una planta piloto productora de hielo en bloque, existente en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado, de acuerdo a la variación de:

1. Relación entre la carga (cantidad de hielo a producir) y la capacidad del sistema de refrigeración.
2. Esquema de control del proceso.
 - a) Producción de hielo por tiempo manteniendo el compresor a plena capacidad durante todo el proceso.
 - b) Control de producción de hielo manteniendo constante la temperatura de la piscina de salmuera (etilenglicol) en un rango de -10°C y -15°C .

Para cumplir con estos objetivos se realizó el montaje de un nuevo compresor con capacidad de regulación continua de velocidad (VCC), implementando un sistema de monitoreo y control de temperatura de la salmuera utilizando un sistema de adquisición de datos basado en Lab-view.

Este proyecto se realizó teniendo en cuenta que las industrias de refrigeración, como grandes consumidoras de energía, deben establecer estrategias de control que las conduzcan a un marco de competitividad y producción eficiente. La industria de producción de hielo en bloque es una de ellas, sin embargo, en estas plantas normalmente no se establece un control del proceso diferente a un temporizador de ciclo fijo que determina el final del periodo de producción.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gelvez Arocha

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF DIFFERENT SCHEMES OF ICE PRODUCTION IN BLOCK *

AUTHORS: Francisco Stella Lopez

Yinna Tatiana Mogollón Garcia**

KEY WORDS: Speed variator, Data acquisition, Saving of energy, Ice in block.

DESCRIPTION:

The target of this project is to evaluate the effect in the power consumption of an ice production in block pilot plant, existing in the laboratory of refrigeration and air conditioning, according to the variation of:

1. Relation between the load (amount of ice to produce) and the capacity of the cooling system.
2. Control process scheme.
 - a) Ice production per time maintaining the compressor total capacity throughout the process.
 - b) Control of the ice production maintaining constant the temperature of the brine pool (etilenglicol) in a rank of - 10°C and -15°C.

To accomplish this objective was made a new compressor assembly with capacity of continuous regulation of speed (VCC), implementing a system of monitoring and control of temperature of the brine using a system of data acquisition based on Lab-view

This project was realized because the industries of refrigeration like great consumers of energy must establish control strategies that lead them to a frame of competitiveness and efficient production. The ice production in block is one of them, however in these plants normally does not establish a control of the process different from a timer of fixed cycle that determines the end of the period of production.

* Thesis of degree

** Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Omar Gelvez Arocha.

INTRODUCCION

Las industrias de refrigeración como grandes consumidoras de energía, deben establecer estrategias de control que las conduzcan a un marco de competitividad y producción eficiente. La producción de hielo en bloque es una de ellas, sin embargo en estas plantas normalmente no se establece un control del proceso diferente a un temporizador de ciclo fijo que determina el final del periodo de producción.

La carga instantánea del proceso que sufren los sistemas de refrigeración para la producción de hielo en bloque son variables con el tiempo; Ya que a medida que los bloques de hielo se van formando la transferencia de calor desde el hielo hacia el fluido intermedio (salmuera, etilenglicol) se disminuye. Esta característica del proceso hace que la temperatura de dicha salmuera baje constantemente, y por lo tanto la temperatura de evaporación del refrigerante, disminuyendo el coeficiente de operación del ciclo de refrigeración (mas potencia consumida por unidad de calor extraído). La optimización de estos rendimientos en los sistemas de refrigeración se tiene cuando hacemos el control de la capacidad del sistema utilizando diferentes métodos, y en busca de esta optimización, se hace importante analizar los sistemas con diferentes formas de control para poder determinar cuál es más eficiente.

Con este proyecto se busca tener conocimiento del efecto en el consumo de energía de diferentes parámetros que pueden afectar la eficiencia del proceso tales como.

- a)** Relación de carga- Capacidad del sistema de refrigeración.
- b)** Esquema del control del proceso
- Control por temporizador de final de ciclo.

- Control continuo de la temperatura de etilenglicol.

Lo cual será de importancia para el desarrollo de plantas que son amigables con el ambiente.

1. REFRIGERACIÓN

La refrigeración es el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura (a un valor menor a la del medio ambiente) de un objeto o espacio. La reducción de temperatura se realiza extrayendo energía del cuerpo, generalmente reduciendo su energía térmica, lo que contribuye a reducir la temperatura de este cuerpo.

La refrigeración implica transferir la energía del cuerpo que pretendemos enfriar a otro, aprovechando sus propiedades termodinámicas. La temperatura es el reflejo de la cantidad o nivel de energía que posee el cuerpo, ya que el frío propiamente no existe, los cuerpos solo tienen más o menos energía térmica. De esta manera enfriar, corresponde a retirar energía (calor) y no debe pensarse en términos de "producir frío o agregar frío".

La salud y el bienestar de un país pueden depender de los sistemas de refrigeración. Por ejemplo; la alimentación (barcos para la industria pesquera, plantas refrigeradoras de carne y verduras), aplicación médica (almacenamiento de vacunas), distribución (transporte de productos congelados), industria (plantas productoras de hielo), comercial (acondicionamiento de aire).

1.1 APLICACIONES

En el transcurso de unas pocas décadas, la refrigeración ha tenido un crecimiento asombroso y actualmente se ha extendido con rapidez a la industria. Este crecimiento explosivo es el resultado de varios factores. Con el desarrollo de métodos de fabricación muy precisos, ha hecho posible la fabricación de equipos más pequeños y eficientes.

Las aplicaciones de la refrigeración se han agrupado en cinco categorías generales: Refrigeración domestica, refrigeración comercial, refrigeración industrial, refrigeración marina y de transportación y acondicionamiento de aire.

➤ **Refrigeración domestica:** El campo de la refrigeración domestica está limitado a refrigeradores y congeladores caseros. Sin embargo a que es muy grande el número de unidades en servicio, esta representa una parte muy significativa de la refrigeración. Las unidades domesticas generalmente son de tamaño pequeño teniéndose capacidades de potencia que están entre 1/120 y ½ hp y son del tipo hermético.

➤ **Refrigeración comercial:** Esta se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de unidades de refrigeración del tipo que se tienen en establecimientos comerciales, restaurante, hoteles e instituciones que se dedican al almacenamiento, exhibición, procesamiento y a la distribución de artículos de comercio perecedero.

➤ **Refrigeración industrial:** Las aplicaciones industriales se diferencia de las comerciales por que son más grandes en tamaño, y requieren tener un empleado para su servicio, que por lo general es un ingeniero. Algunas aplicaciones industriales típicas son, plantas de hielo, grandes plantas empacadoras de alimento, cervecerías, lecherías, y plantas industriales tales como refinerías de petróleo, plantas químicas etc.

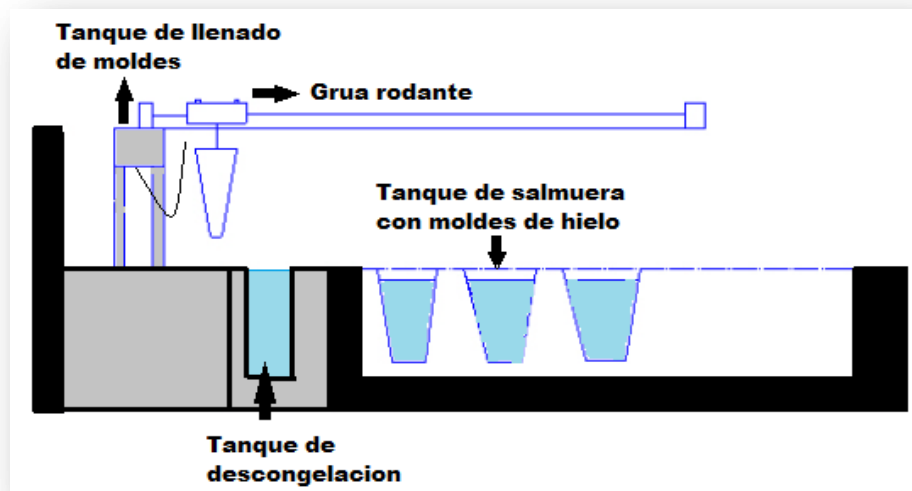
➤ **Refrigeración marina y de transportación:** La refrigeración marina hace referencia a la refrigeración que se tiene a bordo de barcos e incluye, por ejemplo, refrigeración de barcos pesqueros y barcos que transportan productos que se puedan descomponer. La refrigeración de en transportación se refiere al equipo de refrigeración utilizado en camiones, tanto para cuando se tenga que dar servicio a larga distancia, como para entrega local.

➤ **Acondicionamiento de aire:** Este concierne con la condición de aire de algún área o espacio designado. Por lo general, esto involucra no únicamente el control de la temperatura del espacio, sino también de la humedad del mismo y del movimiento del aire incluyéndose el filtrado y la limpieza del mismo.

1.1.1 Hielo en bloque. La máquina de hielo en bloque tradicional fabrica el hielo en moldes que se sumergen en un tanque con salmuera de cloruro sódico o cálcico en circulación. Las dimensiones de los moldes y la temperatura de la salmuera se seleccionan habitualmente de manera que el período de congelación dure entre 8 y 24 horas. La congelación demasiado rápida produce hielo quebradizo. El peso del bloque oscilar entre 12 y 150 kg, con arreglo a las necesidades; se considera que el bloque de 150 kg es el mayor que un hombre puede manipular adecuadamente. Cuanto más grueso sea el bloque de hielo tanto más largo será el tiempo de congelación. Los bloques de menos de 150mm de espesor se rompen con facilidad y es preferible un espesor de 150mm a 170mm para que se quiebren.

El tamaño que ha de tener el tanque guarda relación con la producción diaria. Una grúa rodante levanta una fila de moldes y los transporta a un tanque de descongelación situado en un extremo del tanque de congelación, donde los sumerge en agua para que el hielo se desprenda. Los moldes se voltean para que salgan los bloques, se llenan nuevamente de agua dulce y se vuelven a colocar en el tanque de salmuera para un nuevo ciclo (ver figura 1). Este tipo de planta suele exigir una atención continua, por lo que se trabaja con un sistema de turnos; una planta de 100 t/día necesita normalmente entre 10 y 15 trabajadores. Las fábricas de hielo en bloques requieren abundante espacio y mano de obra para manipular el hielo. Este último factor ha impulsado fuertemente el desarrollo de equipo automático moderno para la fabricación de hielo. El hielo en bloques aún se utiliza y puede ofrecer ventajas con respecto a otras formas de hielo en los países tropicales. El almacenamiento, manipulación y transporte se simplifican si el hielo está en forma de grandes bloques; y la simplificación suele ser imperativa en las pesquerías en pequeña escala y en los sitios relativamente remotos.

Figura 1. Máquina de hacer hielo en bloque

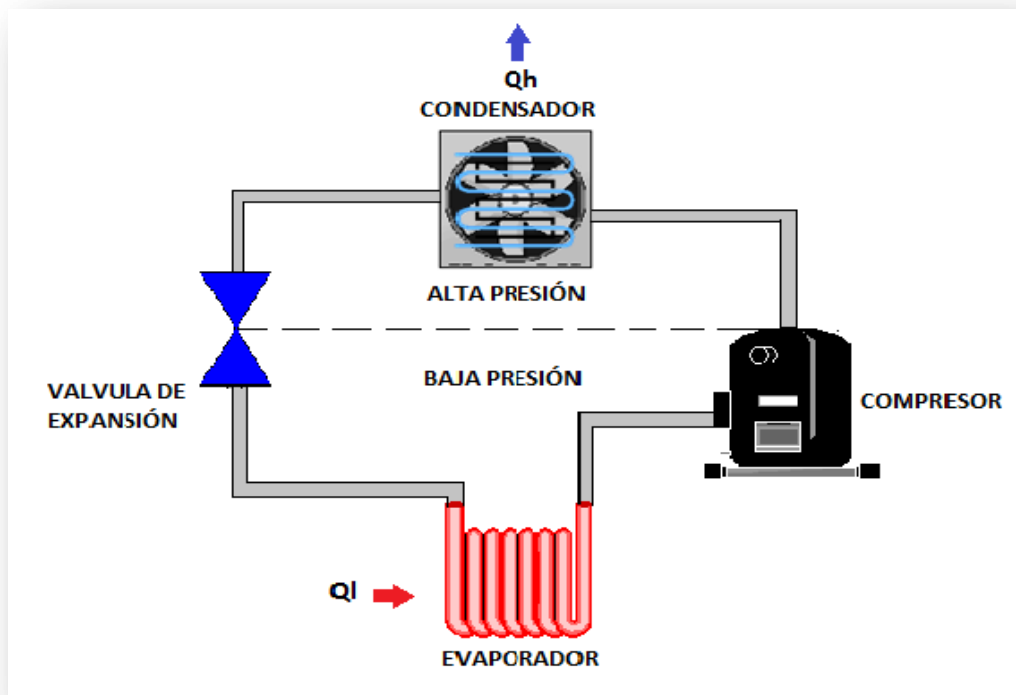


Fuente: Autores.

1.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Los sistemas de refrigeración consisten en ciclos termodinámicos, mediante los cuales es posible tomar un flujo de calor de una fuente de baja temperatura para transmitir calor a un sumidero de mayor temperatura. El ciclo termodinámico se realiza utilizando una sustancia de trabajo que se denomina refrigerante, la cual cambia de estado durante el ciclo, permitiendo la transferencia de calor. El ciclo básico de un sistema de refrigeración por compresión de vapor consta principalmente de 4 elementos: evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión, como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2. Elementos del ciclo de refrigeración



Fuente: Autores.

El ciclo termodinámico de un sistema de compresión de vapor es el siguiente el cual es seguido por las líneas verdes Ver figura 3:

estado del líquido refrigerante es líquido saturado a la temperatura y presión del condensante.

El proceso descrito por los puntos 4-1 sucede en el control del refrigerante cuando la presión del líquido es reducida desde la presión condensante hasta la presión de evaporación a medida que el líquido pasa a través del tubo capilar, se disminuye la temperatura del líquido desde la temperatura condensante hasta la temperatura de evaporación y de inmediato una parte del líquido pasa a ser vapor.

En el proceso 4-1 se toma el supuesto que el proceso ocurre sin ganancia ni pérdida de calor a través del tubo capilar y sin realización de trabajo, por tal razón se describe como un estrangulamiento tipo expansión adiabática, en la cual la entalpía del fluido no cambia durante el proceso.

Como la entalpía del refrigerante no cambia durante el proceso 4-1 la localización del punto 1 en el diagrama P-H se hace siguiendo la línea de entalpía constante partiendo desde el punto 4.

En el punto 1, el estado del refrigerante es una mezcla de líquido vapor como resultado de la vaporización parcial del refrigerante líquido durante el paso por el tubo capilar.

➤ **Vaporización (1-2):** El proceso de 1-2 es la vaporización del refrigerante en el evaporador, debido a que la vaporización se efectúa a temperatura y presión constante, el proceso 1-2 es tanto isotérmico como isobárico.

A medida que el refrigerante fluye a través del evaporador y absorbe calor del espacio refrigerado, se incrementa la entalpía del refrigerante. La cantidad de calor adsorbida por el refrigerante en el evaporador (efecto refrigerante) es la diferencia de valor entre la entalpía de refrigerante entre los puntos 1-2.

La distancia entre los puntos X y 2 en el diagrama P-H anteriormente presentado, representa el calor latente total de vaporización, además se observa que la distancia 1-2 es el efecto refrigerante útil, y la diferencia entre X-2 y 1-2, que es la distancia X-1 es la pérdida del efecto refrigerante.

➤ **Compresión (2-3')**: En el compresor, el refrigerante entra en forma de vapor saturado a baja presión y recibe un trabajo mecánico que eleva su presión, temperatura y entalpía hasta llevarlo a un estado de vapor sobrecalentado. En este ciclo saturado simple se supone que el proceso de compresión 2-3' es isoentrópico este sigue la línea de entropía constante señalada en el diagrama como la línea de color azul.

➤ **Condensación (3'-3)**: Los procesos 3'-3 y 3-4 se realizan en el condensador a medida que el gas caliente descargado del compresor es enfriado hasta la temperatura condensante y después condensado. El proceso 3'-3 toma lugar en la parte superior del condensador representando un enfriamiento del vapor desde la temperatura de descarga hasta la temperatura condensante, ya en el punto 3, el refrigerante es un vapor saturado a la temperatura y presión condensante.

En la figura 3 se observa que la cantidad de calor sensible (sobrecalentamiento) eliminado en el condensador al enfriarse el vapor desde la temperatura de descarga hasta la temperatura del condensante, es la diferencia de entalpías entre los puntos 3'-3 ($h_{3'}-h_3$).

El proceso 3-4 es la condensación del vapor en el condensador. Este proceso se realiza a presión y temperatura constante; El proceso 3-4 es la diferencia de entalpías entre los puntos 3 y 4 (h_3-h_4).

Al regresar al punto 4, el refrigerante ha completado un ciclo y se encontrara a las mismas condiciones que cuando lo dejo, el calor eliminado del refrigerante al

medio condensante en el condensador debe ser exactamente igual al calor absorbido por el refrigerante en todos los demás puntos del ciclo. En un ciclo saturado simple, la energía del refrigerante se incrementa solo en dos puntos del ciclo: En el evaporador (q_e) debido al calor absorbido a medida que se vaporiza el refrigerante y en el compresor debido al trabajo mecánico que este realiza (Q_w).

1.3 CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION

La capacidad de un sistema de refrigeración es la cantidad de calor que el refrigerante que circula por el evaporador es capaz de sacar del medio refrigerado y es igual al producto de la masa del refrigerante circulado por unidad de tiempo por la diferencia de entalpías del refrigerante entre la salida y entrada del evaporador.

$$\text{CAP} = \dot{m}_r \times (h_2 - h_1) \quad (1.1)$$

Donde:

h_2-h_1 : entalpías del refrigerante entre la salida y entrada del evaporador

La masa del refrigerante por unidad de tiempo (\dot{m}_r) está determinada por la masa que efectivamente desplaza el compresor y corresponde por lo tanto al producto de la densidad del vapor que succiona el compresor (ρ_v) multiplicada por el volumen real desplazado (V_r) por el mismo por unidad de tiempo.

$$\dot{m}_r = \rho_v \times V_r \quad (1.2)$$

El volumen real por unidad de tiempo es igual a la cilindrada del compresor por las revoluciones del mismo multiplicado por un factor debido a los efectos de re expansión del refrigerante.

$$V_r = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times \text{RPM} \times N \right) \epsilon_T \quad (1.3)$$

D: diámetro del cilindro.

L: carrera del cilindro.

RPM: revoluciones por minuto del compresor.

N: número de cilindros.

Donde ϵ_T es igual a:

$$\epsilon_T = 1 - f \times c \left(\left(\frac{P_c}{P_{ev}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (1.4)$$

ϵ_T : eficiencia total.

f: factor de incremento (1.1 a 1.2).

c: claro del pistón. (0.05 normalmente o menos).

P_c : presión de descarga del compresor.

$P_{eva.}$: presión de succión del compresor.

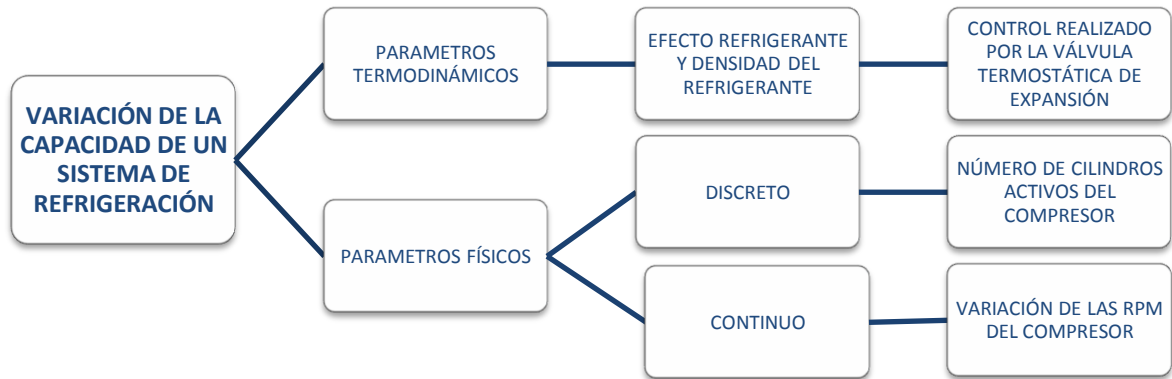
n: exponente politrópico de compresión.

Entonces podemos decir que la capacidad es:

$$CAP = \dot{m}_r \times ER = \rho_v \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times RPM \times N \right) \epsilon_T \times (h_2 - h_1) \quad (1.5)$$

1.3.1 Variación de la capacidad de un sistema de refrigeración. De acuerdo a la ecuación (1.5) la capacidad de un sistema de refrigeración es afectada por dos tipos de parámetros: los termodinámicos (densidad y efecto refrigerante) y los físicos (geometría de los pistones del compresor), es por eso que la capacidad varía al cambiar alguno de ellos afectando directamente la temperatura de vaporación que este manejando el sistema. Las formas en las que se puede variar la capacidad de un sistema de refrigeración se muestran en la figura 4 y se explicaran a continuación.

Figura 4. Modos de variar la capacidad de un sistema de refrigeración

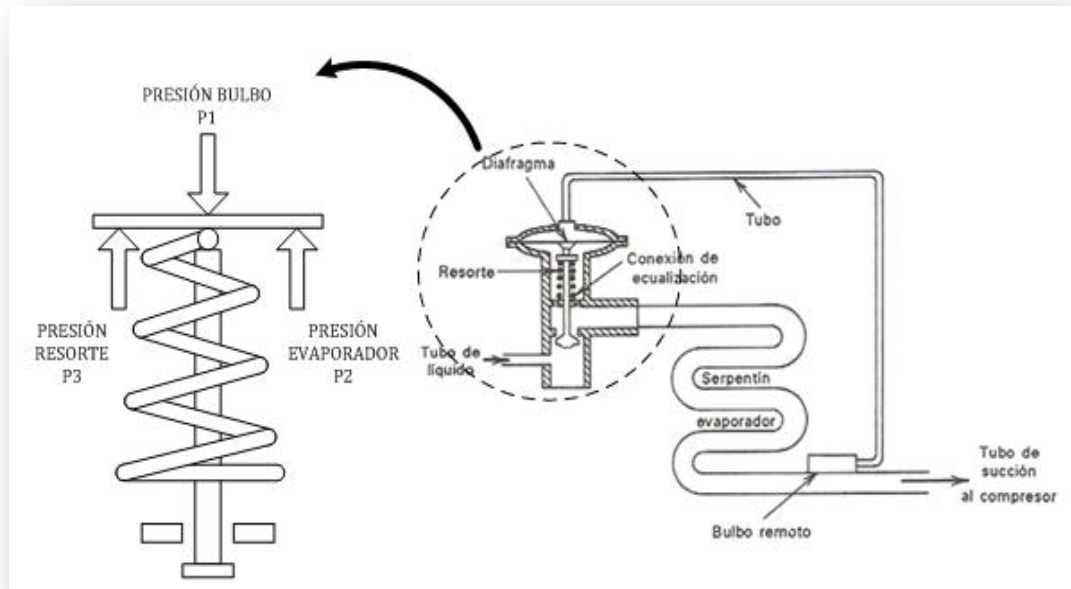


Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 6p.

1.3.1.1 Variación de la capacidad por medio de parámetros termodinámicos.

Cuando varían los parámetros termodinámicos la válvula de expansión es la que se encarga de variar la capacidad de acuerdo a las condiciones de carga. Esto lo hace mediante su bulbo remoto colocado a la salida del tubo de succión quien mide la temperatura del gas, este bulbo se encuentra conectado a la válvula por medio de un tubo de modo que la presión de fluido dentro del bulbo tienda a abrir más la válvula, contra la presión de cierre del resorte Ver figura 5.

Figura 5. Balance de presión en la válvula termostática de expansión

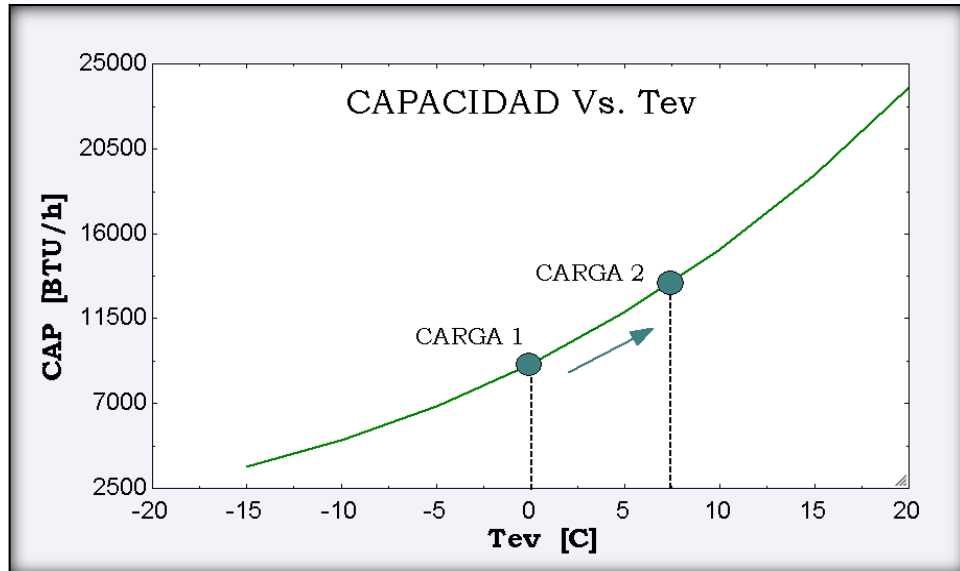


Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 7p.

Si aumenta la carga del sistema, el refrigerante en el evaporador gana más calor y la temperatura del gas en la succión aumenta. La presión del fluido en el bulbo aumenta a medida que aumenta su temperatura y abre más la válvula. Con ello se aumenta el flujo de refrigerante que se necesita para manejar una carga mayor.

Esta válvula no controla en un punto fijo la temperatura de vaporación, esto hace que el efecto refrigerante y la densidad del vapor cambien produciéndose al mismo tiempo un cambio en la capacidad para que el sistema se pueda adaptar y pasar de una carga 1 a una carga 2, ver figura 6.

Figura 6. Aumento de la capacidad con la temperatura de evaporación



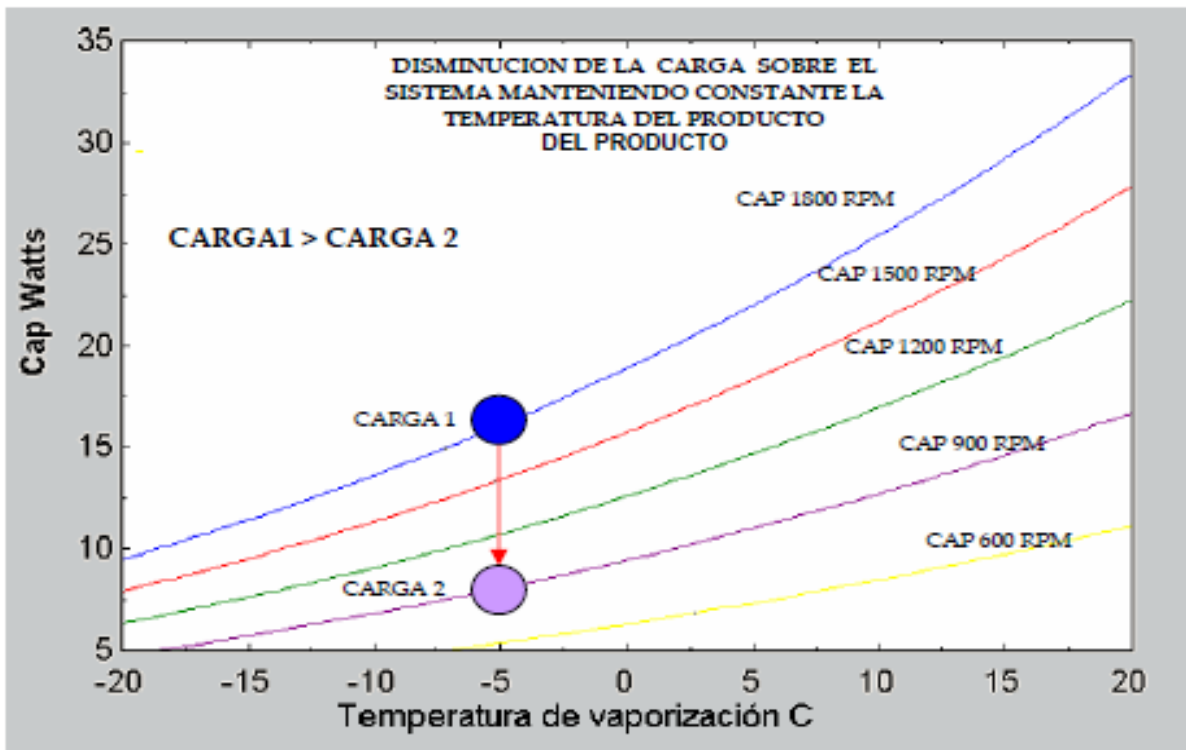
Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 8p.

1.3.1.2 Variación de la capacidad por medio de parámetros físicos del

compresor. Por medio de este método se puede adaptar la capacidad a la carga pero a diferencia del anterior método este si mantiene la temperatura de vaporación constante.

Al mantener la temperatura de vaporación en un valor fijo los parámetros termodinámicos de la ecuación (1.5) permanecen constantes, entonces se debe recurrir al cambio de los parámetros físicos del compresor, ya sea variando el número de cilindros activos en el caso de un compresor con varios cilindros o aumentando o disminuyendo las RPM de funcionamiento del mismo dependiendo de la carga que actué sobre el sistema Ver figura 7.

Figura 7. Comportamiento de la capacidad del sistema variando las RPM del compresor



Fuente: CORREDOR, Fernando. Utilizar una estrategia de control continuo con respecto a la utilización de una estrategia de control ON-OFF para un sistema de refrigeración. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2004. 10p.

➤ **Número de cilindros activos.** El control de la capacidad de un compresor de varios cilindros se logra descargando uno o más de ellos, haciéndolos inefectivos. Existen tres mecanismos principales mediante los cuales se pueden descargar estos cilindros.

El primer mecanismo desvía la descarga de uno o más de los cilindros, regresándola a la tubería de aspiración. Cuando la presión en la aspiración baja

hasta un valor determinado, una válvula solenoide instalada en la tubería de desviación (bypass), impulsada por un presostato, abre y permite la descarga de uno o más cilindros, comunicando la descarga con la aspiración. Cuando la presión en la aspiración aumenta hasta un valor fijado, se desactiva el solenoide y se cierra el tubo de desviación, de forma que el compresor retorna a su capacidad de completo funcionamiento.

El segundo mecanismo para descargar los cilindros del compresor es abriendo las válvulas de aspiración del cilindro o los cilindros, de manera que éstas permanezcan abiertas durante la carrera de compresión. El vapor es devuelto a la tubería de aspiración. Cuando baja la presión en la aspiración hasta la presión de conectar el control de la presión, éste comanda una electroválvula que deja volver vapor a la presión de descarga al pistón que se quiere descargar. Este vapor actúa abriendo la válvula de admisión.

El tercer mecanismo consiste en colocar varios compresores en paralelo y desactivando uno de ellos o más cuando la presión de succión baja y conectándolos cuando la presión se vuelve a elevar.

➤ **Variación de las RPM del compresor.** El cambio de las RPM del compresor se puede hacer por medio de:

✓ **Variación del número de polos:** cambiando el número de par de polos en la ecuación (1.6) se puede aumentar o disminuir las revoluciones del compresor y así ajustar la capacidad del sistema a la carga impuesta.

$$\text{RPM} = \frac{60 \times f}{N_{\text{polos}}} \quad (1.6)$$

Donde:

f: frecuencia (Hz).

N_{polos} : Número de par de polos activos.

- ✓ **Variación de la frecuencia:** Otra manera de variar las RPM del compresor es variando la frecuencia de las líneas de alimentación del motor del compresor por medio de un variador de velocidad, también llamado variador de frecuencia.

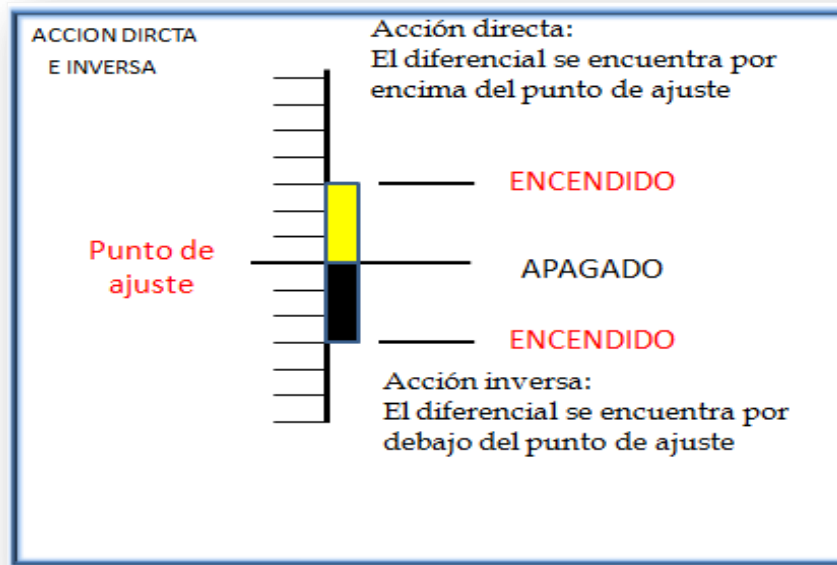
1.4 ESQUEMAS DE CONTROLE EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.

1.4.1 Esquema de control ONN-OFF. El control ON-OFF permite desconectar y conectar el sistema, de manera que haga la capacidad igual a cero apagando el compresor o igual a un valor de acuerdo con la temperatura de vaporación a la que se encuentre el sistema, generando ciclos de operación y descanso, de acuerdo con la temperatura deseada y el nivel de carga sobre el sistema. Esta estrategia se puede implementar de dos maneras:

- Controles de acción por temperatura (Termostato)
- Controles de acción por presión (Presostato)

En la figura 8 se puede observar el funcionamiento de un control de dos posiciones ON-OFF.

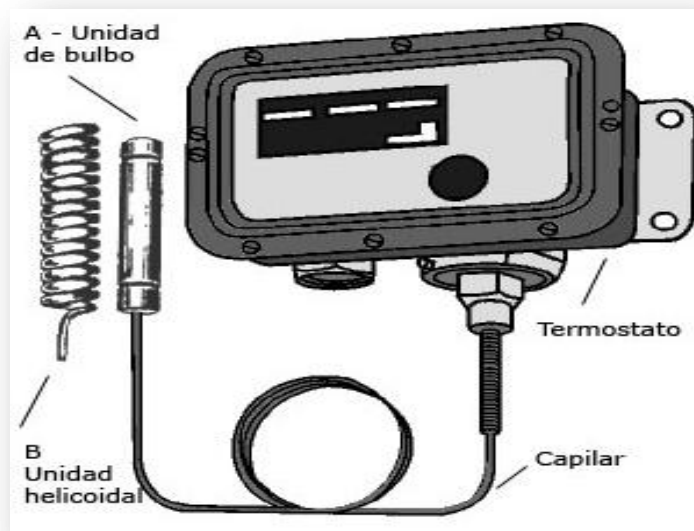
Figura 8. Control ON-OFF



Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 11p.

1.4.1.1 Interruptores de temperatura. Los interruptores de temperatura o termostatos están destinados a funcionar donde ocurren cambios de temperatura en un recinto, o en el aire que rodea el elemento de detección de temperatura. Se diseña el elemento de temperatura de manera que un cambio en la temperatura produce un cambio en la presión interna de un sistema térmico lleno (bulbo lleno de gas o aire, o hélice llena) que está conectado al dispositivo actuador por un pequeño tubo. Ver figura 9 la cual nos muestra un interruptor de temperatura y dos tipos de sensores de detección.

Figura 9. Interruptor de temperatura



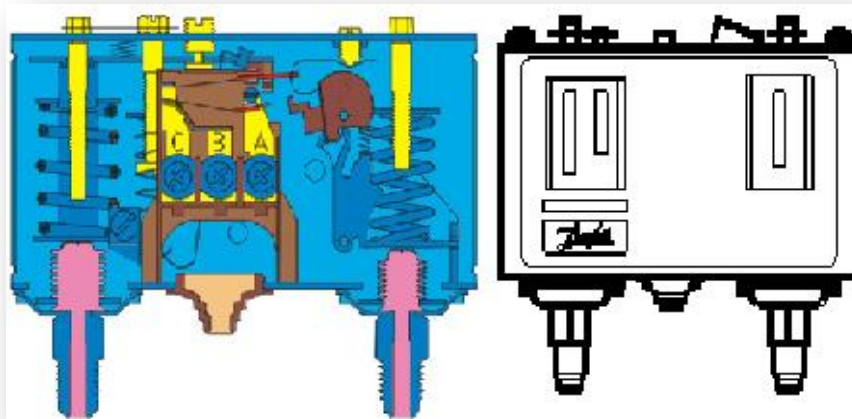
Fuente: Medición de control industrial. Interruptores de temperatura [online]. Disponible en internet: http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/images/termostato.jpg&imgrefurl=http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/sistemas_termicos_llenos.htm&usq=__FdMptFeNZdFfMB5snni1G6hnjzA=&h=315&w=312&sz=23&hl=es&start=96&um=1&itbs=1&tbnid=F3tn9ZEt_sgMM:&tbnh=117&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dtermostato%26start%3D80%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN%26ndsp%3D20%26tbs%3Disch:1

Un cambio de temperatura causa un cambio en el volumen de gas del sistema térmico lleno, que causa un movimiento del fuelle. El movimiento es transmitido por un embolo al brazo del interruptor. Un contacto móvil esta en el brazo. Un contacto fijo puede ser colocado de manera que el interruptor se abrirá o cerrará con una elevación de la temperatura. Esto permite que los contactos del interruptor sean fijados para cerrarse cuando la temperatura cae aun valor predeterminado y abrirse cuando las elevaciones de temperatura superan al valor

deseado. La acción inversa se puede obtener por un cambio en las posiciones del contacto.

1.4.1.1 Interruptores de presión o presostato. A menudo cuando una presión medida alcanza un valor mínimo, es deseable que una alarma haga sonar una advertencia, una luz para dar una señal, o que active un sistema de de control auxiliar para energizarse o des energizarse.

Figura 10: Presostato



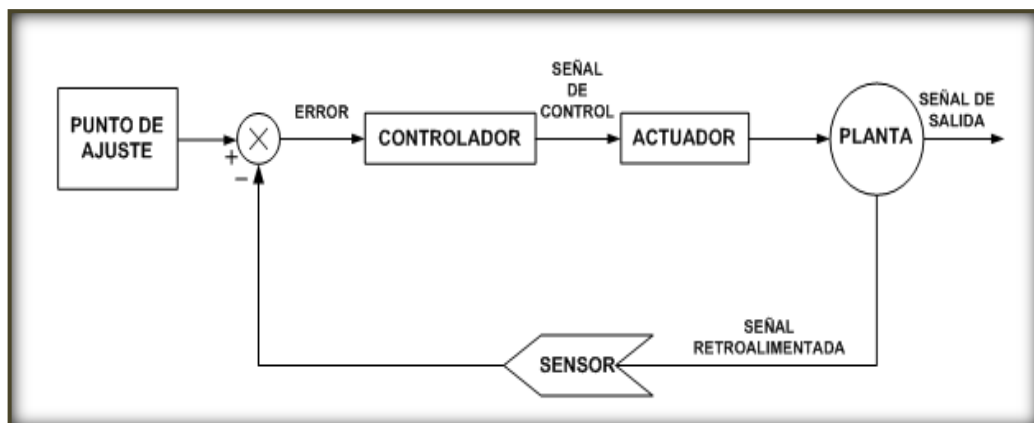
Fuente: Presostato, transmisores de calor, presostato diferenciales. Presostato doble. [Online]. [Citado 25 marzo 2008]. Disponible en internet: <http://o1234guadalajara.mforos.com/1452070/7493770-presostatos-transmisores-de-calor-presostatos-diferenciales/>

➤ **Operación:** Un fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan. Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado (ver figura 10).

1.4.2 Estrategia de control continuo. La estrategia de control continuo básicamente es un lazo cerrado que permite mantener la variable de control constante, retroalimentando el valor censado de la variable del proceso al controlador para que este tome una decisión, que en el caso de los sistemas de refrigeración será aumentar o disminuir las RPM para aumentar o disminuir a su vez la capacidad del sistema y mantener así constante la temperatura de evaporación.

Esta estrategia maneja ciertos términos que serán definidos a continuación los cuales se pueden ver gráficamente en el diagrama de bloque de la figura 11.

Figura 11: Modelo general del sistema de control continuo



Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 16p.

- **Variable de proceso:** Es el parámetro que se desea controlar, puede ser temperatura, presión, velocidad entre otros.

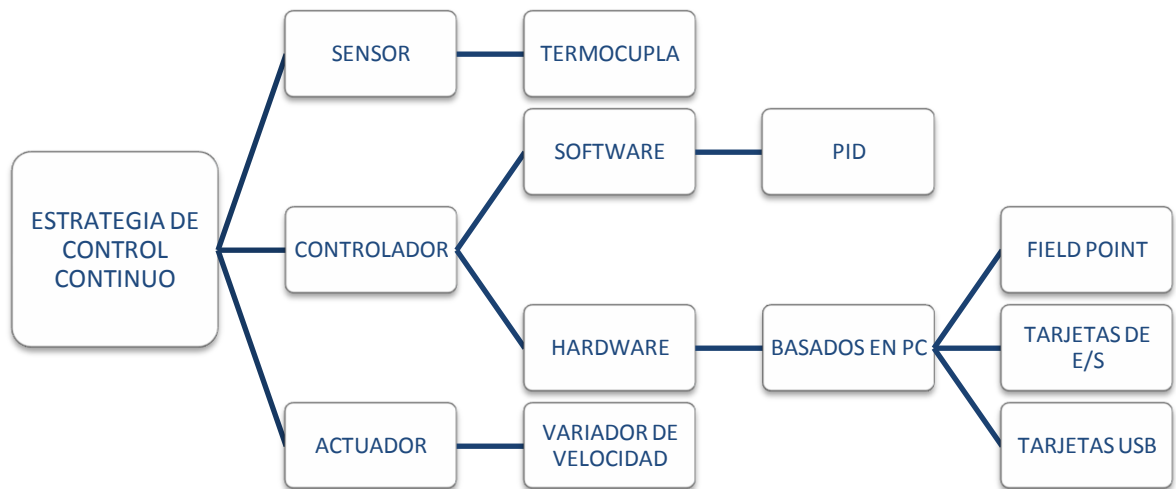
- **Punto de ajuste:** También llamado set point o parámetro de referencia, es el valor deseado del parámetro que se quiere controlar, por ejemplo una temperatura de vaporación de -13°C .
- **Controlador:** Determina la salida de un actuador en el sistema, compara el valor medido con el valor deseado, con base en esta comparación él decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
- **Actuador:** Es un dispositivo que sirve para regular la variable de control y tomar una acción en función de ciertos parámetros, un actuador muy común cuando se desea variar RPM es el variador de velocidad.
- **Planta:** Proceso dinámico en el cual la variable del proceso es afectada por la salida del controlador, o sea, compresor.
- **Sensor:** Es el elemento de medición de parámetros o variables del proceso.

El general del control continuo está compuesto por tres elementos principales: el sensor, el controlador y el actuador (Ver figura 12).

La importancia de estos elementos radica en que realizan tres tareas básicas en cualquier sistema de control:

- ✓ Medir (sensor) la variable de control.
- ✓ Decidir (controlador) con base en la medición que hacer para mantener la variable de control en el valor deseado.
- ✓ Actuar (actuador) como resultado de la decisión del controlador efectuando una acción en la planta o sistema.

Figura 12: cuadro sinóptico del modelo general de la estrategia de control continuo



Fuente: Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 18p.

1.4.2.1 Sensor. Las termocuplas son el sensor de temperaturas más usado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. Existen muchos tipos de termocuplas pero las más comunes se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Tipos de termocuplas

TERMOCUPLA	Cable aleación (+)	Cable aleación (-)	Rango Temperatura (°C)	Voltaje (mV)
J	Hierro	Cobre/Níquel	-180 a 750	42.2
K	Níquel/Cromo	Níquel/Aluminio	-180 a 1372	54.8
T	Cobre	Cobre/Níquel	0 a 1767	20.8

Fuente: Autores

1.4.2.2 Controlador. Este elemento es el cerebro del control, está compuesto por un software y hardware que permite analizar las señales de entrada, generalmente análogas, para posteriormente de acuerdo a la decisión del controlador, traducirla en unas señales análogas o digitales que el actuador transformara en una acción.

a) Software: Por medio de un software o programa se puede realizar la programación del controlador que se desee usar. Otros nombres utilizados para referirse al software de control son: software para adquisición de datos, software para control de procesos. Uno de los controladores más usados es el PID.

➤ **Control continuo con PID.** El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta (compresor) sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

El control PID reúne tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Matemáticamente es la combinación de los tres controles mencionados (P, I y D):

$$u(t) = K_p \times \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1.4)$$

Donde:

$u(t)$: Salida del controlador.

K_p : Ganancia proporcional.

T_i : Tiempo integral.

T_d : Tiempo derivativo.

$e(t)$: Señal de error.

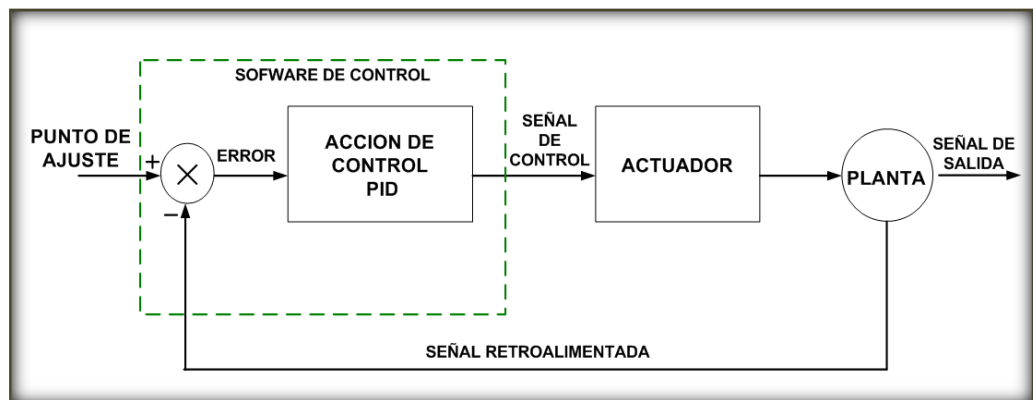
La contribución de cada una de las acciones en el control es:

- Acción proporcional: Estabiliza la oscilación natural de la variable controlada. Elimina además el grado de inestabilidad introducido por las acciones integral y derivativa.
- Acción integral: Proporciona una corrección o reajuste para compensar las variaciones de la carga y mantener la variable controlada sobre el punto de consigna. Indica la velocidad con la que se repite la acción derivativa.

- Acción derivativa: Anticipa el efecto de la proporcional con el fin de estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier cambio en el proceso.

En la figura 13 se puede observar el diagrama de bloque de un controlador PID donde se tiene un punto de ajuste que es comparado con una señal retroalimentada para generar un error que se trata de disminuir mediante el uso del control PID y este envía una señal que se transmite del actuador a la planta donde se produce una nueva señal de retroalimentación hasta que el error sea cero.

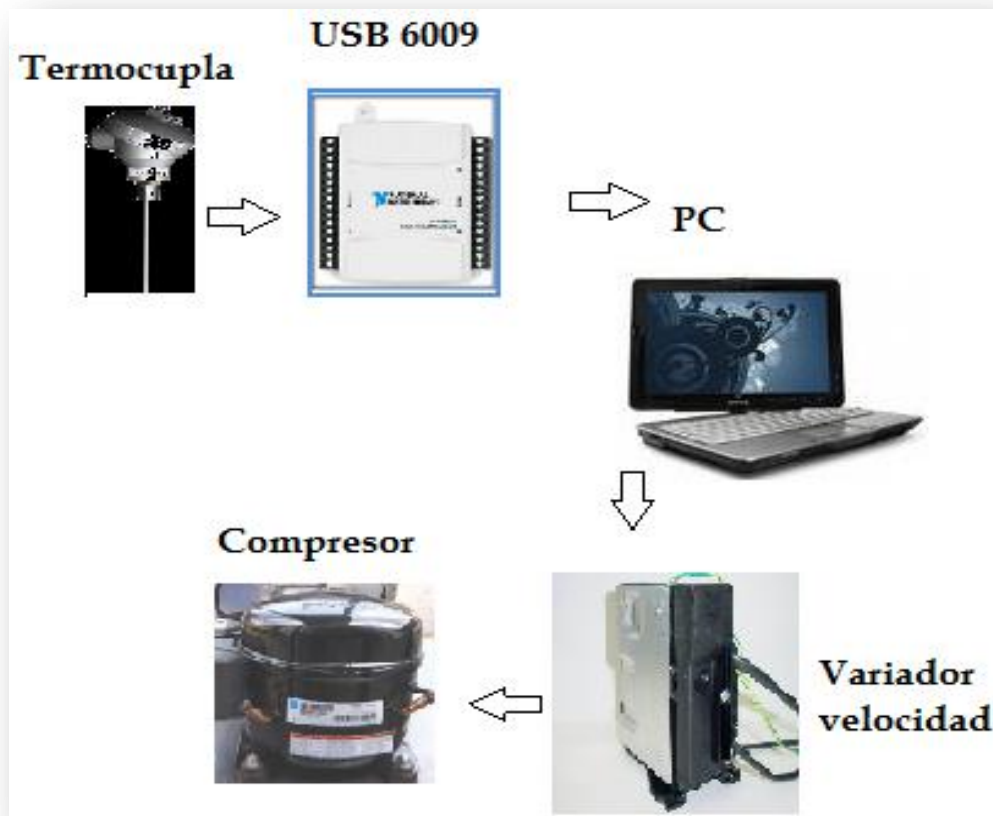
Figura 13. Diagrama de bloque de un control PID



Fuente: Autores

b) Hardware: Una implementación de un control basado en PC (Ver figura 14) necesita unos dispositivos de entrada y salida que permitan adquirir y transferir señales entre el computador y el sistema que se esté controlando.

Figura 14. Estrategia de control basado en PC



Fuente: Autores

Ni la computadora ni el software permiten la conexión de elementos de campo en forma directa. Para ello se utilizan dispositivos de E/S, denominación genérica de los equipos digitales que toman la señal del instrumento de campo, la digitalizan, multiplican y la transmiten a la PC generalmente por medio del cable de conexión RS-232. Para intercambiar los datos entre el proceso y el computador se usan mecanismos como los descritos en la tabla 2.

Tabla 2: Mecanismos de adquisición

FOTO	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">FIELD POINT</p> 	<p>Hardware modular de entradas y salidas analógicas y digitales conectadas al PC por medio del cable RS-232.</p>
<p style="text-align: center;">TARJETAS DE E/S PARA ADQUISICIÓN DE DATOS</p> 	<p>Estas tarjetas son usadas en sistemas de bajo costo. No tienen ningún tipo de inteligencia para el control. Cumplen la misma función que el Field point pero dejan de ser un sistema distribuido modular y se convierten en tarjetas especiales para cada tipo de señal en particular.</p>
<p style="text-align: center;">TARJETA USB</p> 	<p>Este dispositivo tiene las mismas funciones que el Field Point normal lo que cambia es el sistema de conexión entre este y el PC ya que usa un puerto USB.</p>

Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 24p.

1.4.2.3 Actuator. Los actuadores más usados en la estrategia de control continuo son los variadores de velocidad, también llamados convertidores de frecuencia variable. Un variador de velocidad es un dispositivo electrónico que se utiliza para controlar la velocidad de un motor. El número de polos del motor y la frecuencia que se le aplica, determina su velocidad base.

Es posible ajustar fácilmente la velocidad del motor modificando la frecuencia aplicada. También es posible cambiar la velocidad del motor ajustando el número de polos, pero esto conlleva a la transformación física del motor. Sería necesario efectuar un rebobinado y el resultado alteraría drásticamente la velocidad base. Por lo tanto, por razones de comodidad, rentabilidad y precisión, se cambia la frecuencia (y la tensión) por medio de este dispositivo

1.5 CONSUMO ENERGETICO

En un circuito eléctrico para su funcionamiento se puede encontrar tres tipos de potencia: la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente. Dentro de estas tres potencias la más importante es la potencia activa, pues esta multiplicada por el tiempo de funcionamiento del sistema nos da la energía consumida por el mismo y por lo tanto el costo que implica el consumo de esta energía. Los aparatos eléctricos cuando están funcionando generan un consumo de energía eléctrica en función de la potencia que tengan y del tiempo que estén en funcionamiento.

Como lo que nos interesa es el consumo de energía eléctrica demandada por el compresor, esta se contabiliza mediante un contador estático el cual nos da el consumo en Kilovatio-Hora (Kw-h), siendo esta la unidad de la energía en la que se factura normalmente el consumo doméstico o industrial.

1.5.1 Medidores de energía eléctrica. Los medidores de energía son aparatos usados para el consumo de energía. Existen varios tipos de medidores dependiendo de su construcción, tipo de energía que mide, clase de precisión y conexión a la red eléctrica.

1.5.1.1 De acuerdo con su construcción. De acuerdo con su construcción tenemos de dos tipos, medidores de inducción y medidores estáticos (electrónicos).

➤ **Medidores de inducción.** Es un medidor en el cual las corrientes en las bobinas fijas reaccionan con las inducidas en un elemento móvil, generalmente un disco, haciéndolo mover. El principio de funcionamiento es muy similar al de los motores de inducción y se basa en la teoría de la relación de la corriente eléctrica con los campos magnéticos

➤ **Medidores estáticos (electrónicos).** Medidores en los cuales la corriente y la tensión actúa sobre elementos de estado sólido (electrónicos) para producir pulsos de salida y cuya frecuencia es proporcional a los vatios-hora. Están contruidos con dispositivos electrónicos, generalmente son de mayor precisión que los electromagnéticos y por ello se utilizan para medir en centros de energía, donde se justifica su mayor costo.

1.1.5.2 De acuerdo con la energía que miden. De acuerdo con la energía que miden tenemos medidores de energía activa y medidores de energía reactiva.

➤ **Medidores de energía activa.** Mide el consumo de energía activa en Kilovatio-hora.

➤ **Medidores de energía reactiva.** Mide el consumo de energía reactiva en Kilovares-hora. La energía reactiva se mide con medidores electrónicos que miden tanto la energía activa como la energía reactiva.

1.1.5.3 De acuerdo con la exactitud. Según la norma NTC 2288 y 2148, los medidores se dividen en tres clases: 0.5, 1 y 2.

➤ **Medidores clase 0.5.** Se utiliza para medir la energía activa suministrada en bloque en punto de frontera con otras empresas electrificadoras o grandes consumidores alimentados a 115Kw.

➤ **Medidores de clase 1.** Incluye los medidores trifásicos para medir energía activa y reactiva de grandes consumidores, para clientes mayores de 55Kw. Cuando el cliente es no regulado la tarifa es horaria, por lo tanto el medidor electrónico debe tener puerto de comunicación o modem para enviar la información a través de la línea telefónica.

➤ **Medidores de clase 2.** Es la clasificación básica e incluye los medidores monofásicos y trifásicos para medir energía activa en casas, oficinas, locales comerciales y pequeñas industrias con cargas menores de 55Kw.

El índice de clase 0.5, 1 y 2 significa los límites de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la I máxima con un factor de potencia igual a uno.

Los medidores electrónicos de energía activa, deben cumplir con la norma NTC 2147 “Medidores Estáticos de Energía Activa. Especificaciones Metrologías para clase 0.2S y 0.5S” y NTC 4052 “Medidores Estáticos de Energía Activa para corriente alterna clase 1 y 2”.

El índice de clase es el número que expresa el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre 0,1 veces la corriente básica y la corriente máxima ó entre 0.05 veces la corriente nominal y la corriente máxima con un $\text{Cos } \varphi = 1$.

1.1.5.4 De acuerdo con la conexión en la red. Los medidores se dividen en cinco clases.

- **Medidor monofásico bifilar.** Se utiliza en una cometida que tenga un solo conductor activo o fase y un conductor no activo o neutro.

- **Medidor monofásico trifilar.** Se utiliza para el registro de consumo de una cometida monofásica de fase partida (120/240V) donde se tienen dos conductores activos y uno no activo o neutro.

- **Medidor bifásico trifilar.** Se utiliza para el registro de consumo de energía de una cometida en B.T de dos fases y tres hilos, alimentadas de la red de B.T de distribución trifásica.

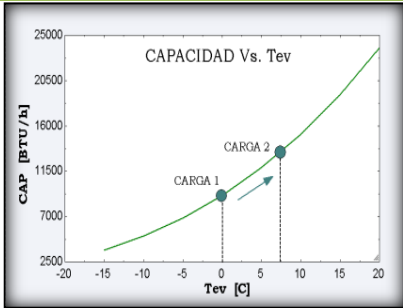
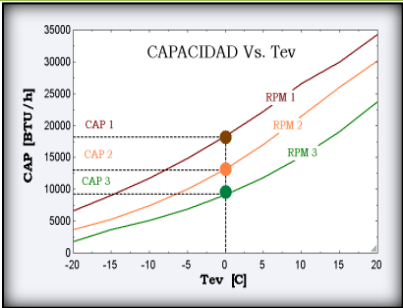
- **Medidor trifásico tetrafilar.** se utiliza para el registro de consumo de energía de una cometida trifásica en B.T de tres fases y cuatro hilos.

- **Medidor trifásico trifilar.** Se utiliza para el consumo de energía de una cometida de tres fases sin neutro.

1.6 PARALELO ENTRE EL CONTROL CONTINUO Y ON-OFF

En la tabla 3 se hace un paralelo entre las dos estrategias de control manejadas.

Tabla 3: Paralelo entre la estrategia ON-OFF y la estrategia de control continuo en un sistema de refrigeración

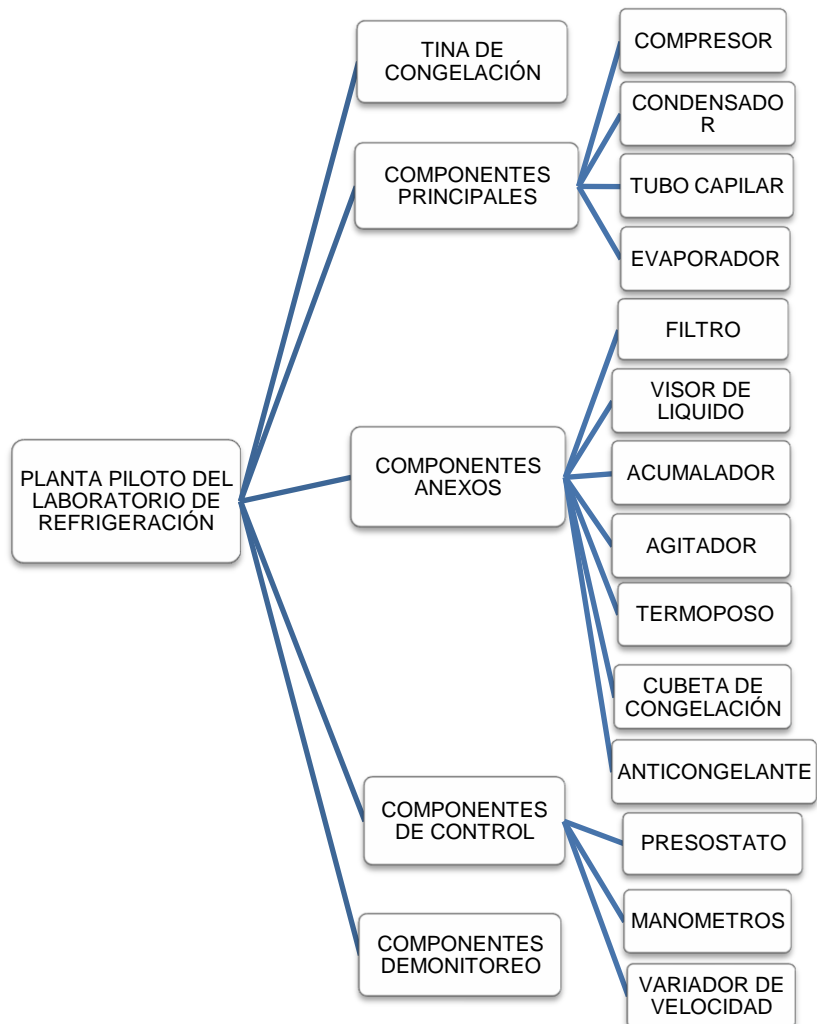
PARAMETRO	TIPO DE CONTROL	
	ON-OFF	CONTINUO
Graficas		
Costos	Debido a los componentes que presenta su costo no es elevado.	Por la tecnología que manejan sus componentes sus costos son elevados
RPM	Constante o cero.	Aumentan o disminuyen dependiendo de la carga térmica.
Temperatura	Mantiene la temperatura de control dentro de un rango.	La temperatura de control permanece constante o muy cercana a la de referencia.
Capacidad	La regula por medio de la conexión y desconexión de equipos.	Regula la capacidad cambiando las rpm por medio de un variador de velocidad.
Vida útil del compresor	Se da un desgaste del compresor por los arranques y paradas, más aún cuando el rango de variación de temperaturas es pequeño.	Hay menos desgaste del compresor pues no hay arranques ni paradas.
Energía	Se maneja la misma potencia independiente de la carga, lo que aumenta el consumo de energía.	El variador permite que la potencia demanda vaya de la mano con la carga, produciendo un ahorro de energía.

Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 29p.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE HIELO EN BLOQUE DEL LABORATORIO DE REFRIGERACION.

En la figura 15 se muestra un resumen de los diferentes componentes que tiene la planta piloto y de los cuales se hará una breve descripción en este capítulo.

Figura 15 Cuadro sinóptico de los componentes de la planta piloto

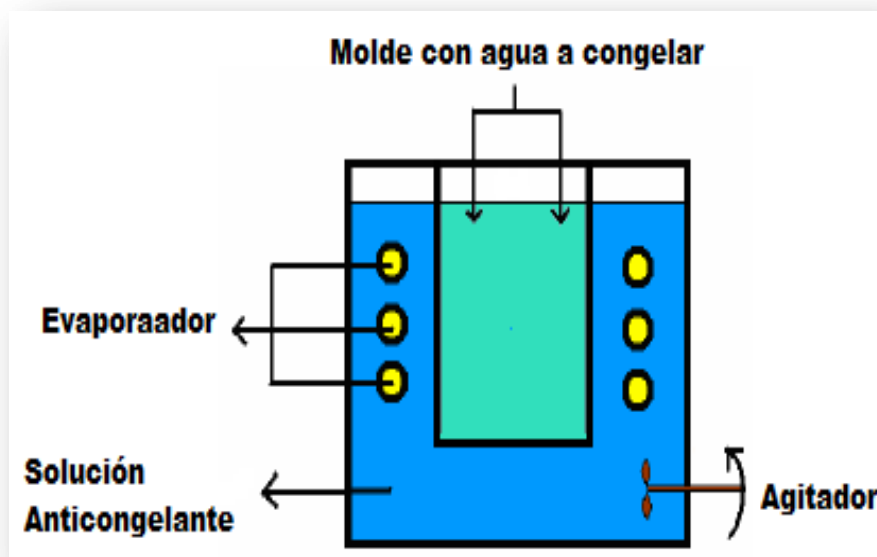


Fuente: Autores

2.1 TINA DE CONGELACIÓN

La tina es un recipiente metálico aislado que contiene una solución anticongelante la cual es enfriada por el evaporador, y en la que se introduce las cubetas con el agua para el proceso de congelación la cual se muestra en la figura.

Figura 16. Tina de congelación



Fuente: Autores

2.2 COMPONENTES PRINCIPALES

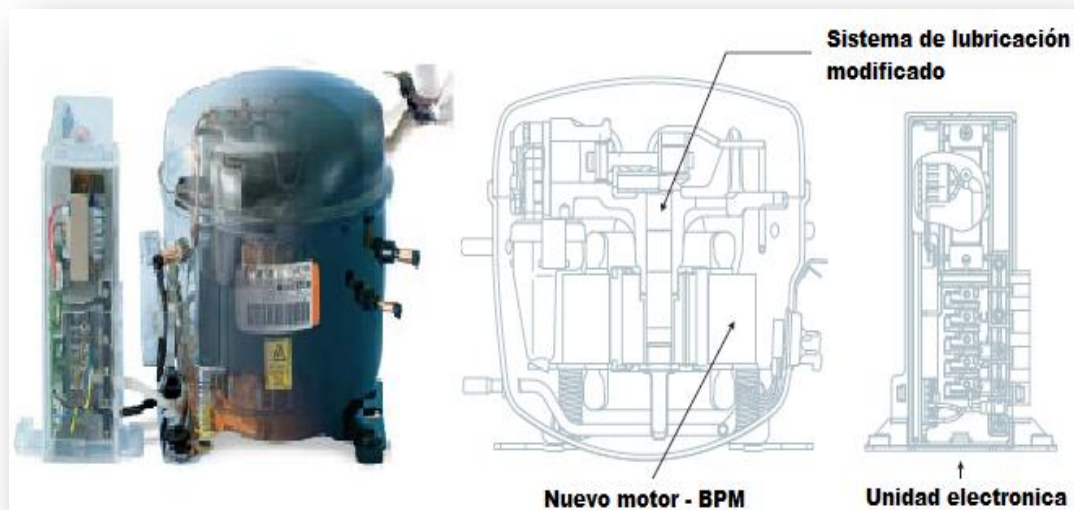
La planta piloto está compuesto básicamente por cuatro elementos: Evaporador, compresor, condensador y tubo capilar. A continuación se describirá estos elementos de la planta piloto del laboratorio de refrigeración

2.2.1 Compresor. La tarea principal del compresor en el circuito de refrigeración es succionar vapor del lado de baja presión y comprimirlo para descargarlo hacia el lado de alta presión.

El nuevo compresor acoplado es un Compresores de Capacidad Variable de Embraco (VCC) tipo hermético, de ajuste fino de la temperatura, menor consumo de energía y bajos niveles de ruido. Este opera a través de la variación continua de la capacidad de enfriamiento en una escala de 3:1, utilizando motores con control electrónico de última generación en conjunto con el mecanismo recíproco.

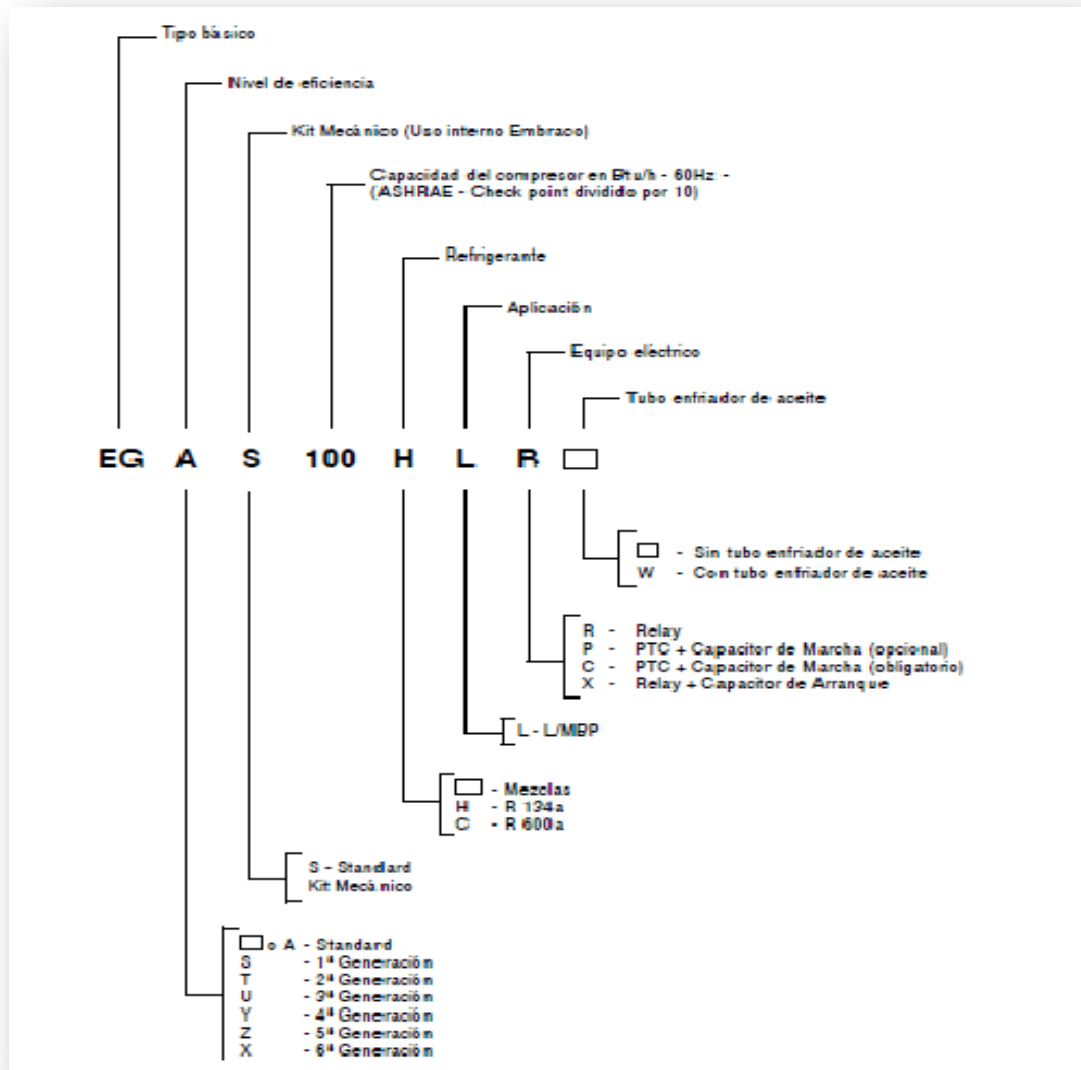
Al funcionar continuamente y ajustar la capacidad, el equipo proporciona optimas presiones en el intercambiador de calor y en el compresor eliminando o minimizando la necesidad de parada y arranque; En la figura 17 se muestra el compresor con sus nuevas modificaciones.

Figura 17. Compresor



Fuente: Embraco: VCC Aplicación domestica (2ª Generación) para R134a e R600a. Compresor [online]. Disponible en internet: http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/informativos_pdf/01021.pdf
La serie del compresor VEGT 7H el cual se instalo en la planta piloto se explica detalladamente en la figura 17. Los demás datos del compresor se encuentran en el anexo A.

Figura 18. Nomenclatura del compresor VCC de Embraco

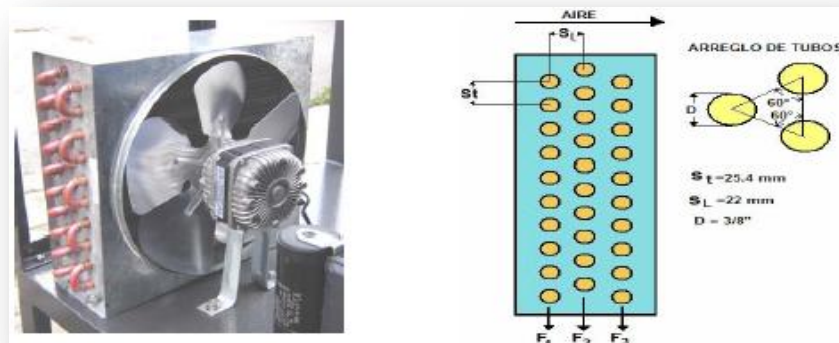


Fuente. Embraco: Tabla de aplicación de compresores R 134a y mezclas (Blends) 50Hz y 60Hz. [online]. Disponible en internet: http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/informativos_pdf/00006.pdf

2.2.2 Condensador. El condensador recibe vapor caliente a alta presión del compresor, lo enfría y lo regresa en estado líquido. Este enfriamiento lo realiza por medio de aire forzado debido a un ventilador. El condensador posee un intercambiador de calor, por los tubos del mismo circula el vapor caliente que descarga el compresor y por fuera de los tubos el aire atmosférico, los tubos son del tipo aleteado. La cantidad de calor a evacuar por el condensador es superior a la producida por el evaporador.

El condensador se encuentra fabricado con tubo de cobre, los cabezales o soportes en lámina galvanizada, aletas fabricadas en aluminio. Probado con nitrógeno seco a 500 psi, con el fin de garantizarlas ausencias de fugas. El ventilador se encuentra montado con su aspa y motor de 10W, 115V y 0.62A. En la figura 19 se muestra el arreglo del tubo condensador, vemos que el arrollamiento forma un patrón escalonado, se muestra el paso longitudinal (SL), el paso transversal (ST), número de filas (F) y diámetro exterior del tubo (D).

Figura 19. Condensador



Fuente: ARIZA, Ramón Enrique y FLOREZ, Nelson Fabián. Diseño y montaje de una maquina productora de hielo en bloque para demostración del ciclo de refrigeración aplicado en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de

Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica. 2008. 64p.

2.2.3 Tubo capilar. El tubo capilar se encarga de recibir liquido más o menos subenfriado procedente del condensador a la presión del condensación y convertir cierta parte de este liquido en vapor debido a la caída de presión hasta la de evaporación, por lo tanto a la salida del tubo capilar tendremos una mezcla de liquido-vapor justo en la entrada del evaporador y debido al aporte de calor exterior ya sea de la tina de congelación o del exterior, el liquido residente se evapora. Básicamente el tubo capilar se encarga de la alimentación constante y máxima del evaporador en todo momento del ciclo funcional.

El sistema cuenta con un tubo capilar (figura 20) que funcionan con refrigerante R-134^a este es de 102 pulgadas (2.6m) y diámetro interno 0.04 pulgadas.

Figura 20. Tubo capilar



Fuente: Autores

2.2.3 Evaporador. La tarea principal del evaporador es hacer que el calor retirado de la cubeta de hielo pase al refrigerante, absorbiendo este flujo a temperatura constante por liberación de su calor latente de evaporación.

El evaporador en este sistema de refrigeración consta de un tubo liso de cobre de 5/16” de 10 metros de longitud el cual se observa en la figura 20.

Figura 21. Evaporador.



Fuente: Autores

2.3 COMPONENTES ANEXOS DEL SISTEMA.

2.3.1 Filtro. El filtro tiene como fin proteger el sistema reteniendo las partículas sólidas y reduciendo la humedad al mínimo ver figura 22.

Figura 22. Filtro



Fuente: Auto

A continuación se muestra en la tabla 4 las especificaciones del filtro

Tabla 4. Especificaciones técnicas del filtro

Especificaciones técnicas	
Marca	Danfoss
Tipo	DML 032S
Tipo de relleno	Núcleo sólido de molecular sieves al

	100%
Diámetro de conexión	1/4"

Fuente: ARIZA, Ramón Enrique y FLOREZ, Nelson Fabián. Diseño y montaje de una maquina productora de hielo en bloque para demostración del ciclo de refrigeración aplicado en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica. 2008. 65p.

2.3.2 Visor de líquido. Se encuentra instalado en la línea de líquido y su principal función es indicar el estado físico del refrigerante que circula por la instalación como se observa en la figura 23, o para indicar el nivel del líquido en el recipiente. Este dispositivo contiene una sal química higroscópica cuyo valor cambia en función de la humedad del refrigerante y que es reflejado en un color

El indicador pasa de verde a amarillo cuando el contenido de humedad del refrigerante rebasa el valor crítico. La indicación de color es reversible, es decir, que el color vuelve a amarillo cuando la instalación ha sido secada. El visor de liquido utilizado en la planta piloto productora de hielo en bloque se muestra en la figura 23.

Figura 21. Visor de líquido



Fuente: Autores

2.3.3 Botella de aspiración. Se encuentra instalada en la tubería de aspiración y tiene como fin impedir la admisión de líquido en el compresor en los momentos en que la carga impuesta por el sistema es mínima y se evapora menos cantidad de refrigerante. La botella de aspiración (figura 24) de la planta piloto tiene una capacidad de retención de un litro de refrigerante en estado líquido.

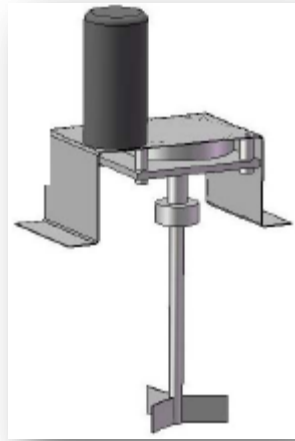
Figura 22. Botella de aspiración



Fuente: Autores

2.3.4 Agitador. El sistema de agitación está compuesto por un motor de 12W, 13V DC con su respectivo transformador y un eje al cual le fueron soldadas tres aspas como se ve en la figura 25; Y su función es la de mantener uniforme la temperatura de la salmuera.

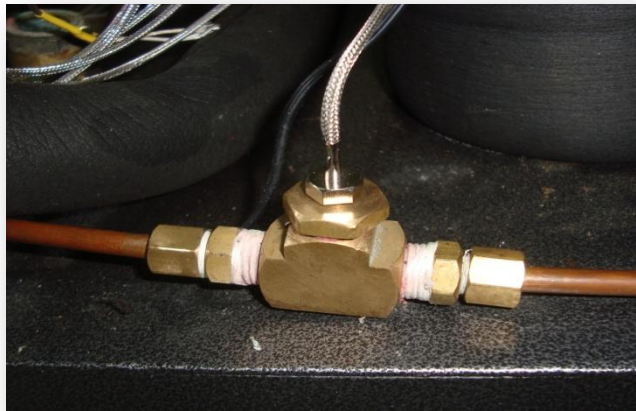
Figura 25. Sistema de agitación



Fuente: ARIZA, Ramón Enrique y FLOREZ, Nelson Fabián. Diseño y montaje de una maquina productora de hielo en bloque para demostración del ciclo de refrigeración aplicado en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica. 2008. 135p.

2.3.5 Termoposo. Cumple la función de alojar en la línea de conducción de refrigerante una termocupla de manera que se pueda censar la temperatura y cambiar esta cuando sea necesario sin necesidad de hacer un nuevo montaje, dando la seguridad de que no hayan escapes en la línea de conducción como se observa en la figura.

Figura 26. Termoposo.



Fuente: Autores.

2.3.5 Cubetas de congelación. Las dimensiones de las dos cubetas (10.5*27*11.7cm y 10.5*13.5*11.7cm; Alto, largo y ancho) fueron especificados desde un comienzo en los objetivos del proyecto, estos se hicieron para el congelamiento de un volumen equivalente a 3.32 Kg y 1.66 Kg de agua; Para su fabricación se utilizo:

- Lamina de acero inoxidable 416 calibre 18
- Soldadura de argón

Tabla 5. Composición acero inoxidable 416

COMPOSICIÓN									
AISI	UNS	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%P	%S	OTROS
ACERO INOXIDABEL MARTENSITICO									
416	S41600	0,15	1,25	1	13	---	0,04	0,03	0,6 Mo

Fuente: Autores

Los planos de las cubetas que se muestran en la figura 27 se encuentran en el anexo B.

Figura 27. Cubetas de congelación



Fuente: Autores

2.3.6 Anticongelante. Con el fin de disminuir el punto de congelación del agua, se debe añadir al agua un tipo de soluto llamado anticongelante.

Para este proyecto se utilizara como anticongelante el etilenglicol el cual es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso. A temperatura ambiente es poco volátil, pero puede existir en el aire en forma de vapor. Se fabrica a partir de la fabricación del oxido de etileno.

En base a la temperatura de congelación que se desee obtener se tendrá determinada concentración de porcentaje en volumen para la solución agua etilenglicol. Para nuestro caso en particular la concentración es de 40% en V/V. Con esta concentración podremos descender la temperatura del etilenglicol hasta una temperatura de -25°C , lo cual satisface nuestros requerimientos, que deben estar en un rango ente los -10°C y -15°C ; como se puede ver en la tabla.

Tabla 6. Punto de congelación de soluciones acuosas

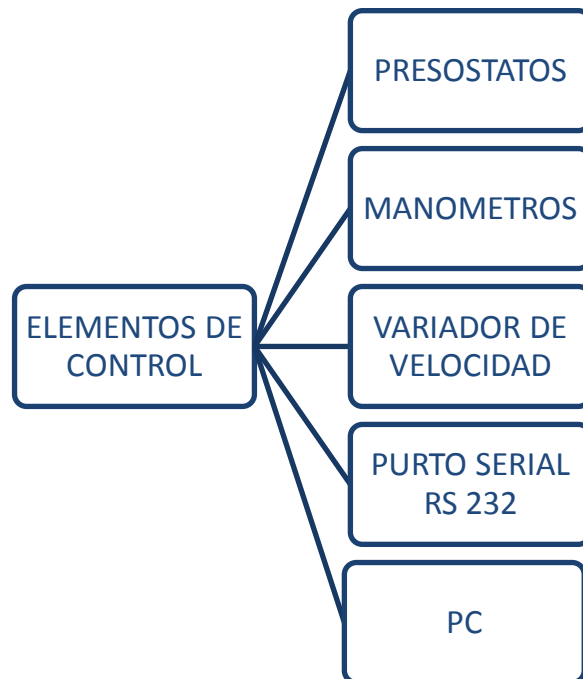
%ETILENGLICOL POR VOLUMEN	5	10	15	20	25	30	35	40	45
PUNTO DE CONGELACION °C	-1.1	-2.2	-3.9	-6.7	-8.9	-12.8	-16.1	-20.6	-26.7

Fuente: Wikipedia: Etilenglicol. Tabla, punto de congelación de soluciones acuosas [online]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Etilenglicol>

2.4 COMPONENTES DE CONTROL

Estos dispositivos permiten dar funcionamiento, brindar seguridad y monitorear las diferentes variables eléctricas y térmicas que interfieren en el sistema de enfriamiento.

Figura 29. Cuadro sinóptico de los elementos de control



Fuente: Autores

2.4.1 Presostato. La planta piloto cuenta con un presostato de baja y alta presión (ver tabla 7) que es un aparato de protección. Este detiene el compresor en caso de una disminución de la presión de aspiración o de un aumento de la presión de descarga y se pone en marcha cuando las condiciones se restablecen.

. Tabla 7. Presostato

APARATOS DE PROTECCIÓN		
NOMBRE	SIMBOLO ELECTRICO	FOTO
PRESOSTATO		

Fuente: Autores

2.4.2 Manómetros. Este elemento nos permite monitorear visualmente la presión que se esté manejando tanto por el lado de alta como por el lado de baja. Ver tabla 8.

El manómetro de baja identificado por el color azul maneja un rango de presión (0 -140 psig) el manómetro de alta color rojo tiene un rango (0 – 400 psig).

Tabla 8. Manómetro

APARATOS DE CONTROL		
NOMBRE	REPRESENTACIÓN	FOTO
MANÓMETRO		

Fuente: Autores

2.4.3 Variador de velocidad. El variador de velocidad (Ver figura 28) también llamado convertidor de frecuencia de baja tensión se utiliza para el control de velocidad del motor del compresor. Básicamente es el encargado de variar la frecuencia de acuerdo a las órdenes que le da el tipo de control que se esté usando (plena carga, PID), para regular la capacidad de desplazamiento y posteriormente el consumo de potencia del compresor, manteniendo a la vez la temperatura de evaporación. Los principios de programación del variador de velocidad se encuentran en el Anexo C y las características generales del variador en el Anexo D.

Figura 28. Variador de velocidad



Fuente. Autores

2.4.4 Puerto serial RS 232. Es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos.

Figura 29. Entrada de datos RS 232



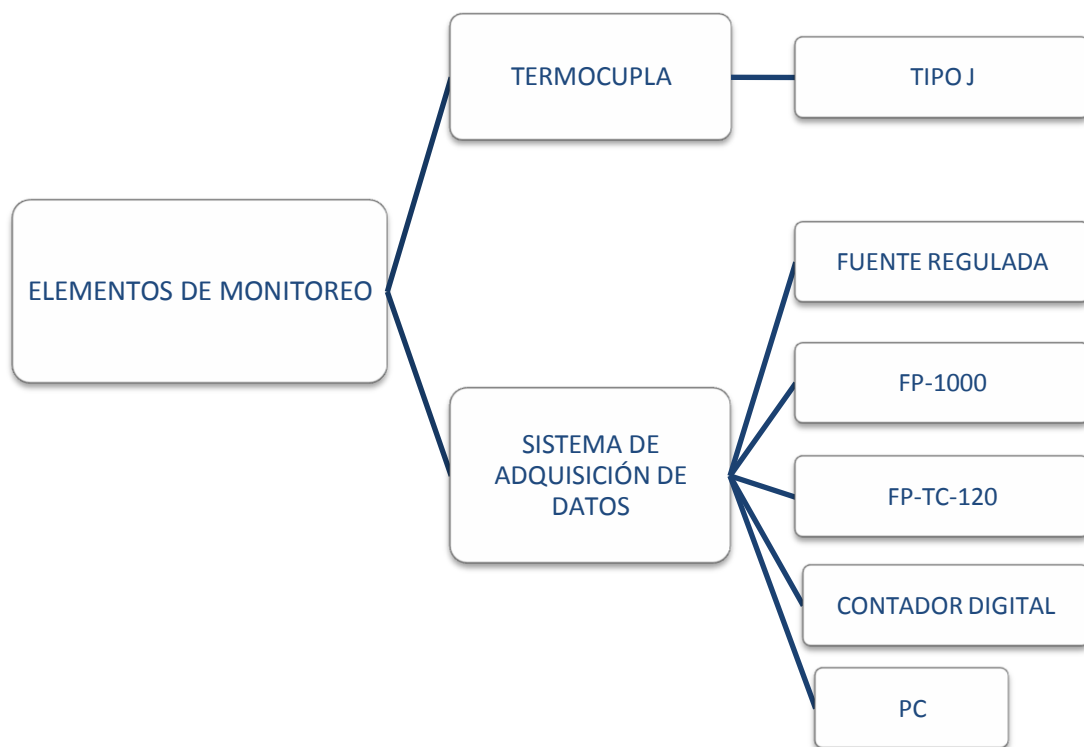
Fuente: Autores

2.4.5 PC. Me permite la comunicación con los elementos a controlar y con los sistemas de adquisición de datos.

2.5 COMPONENTES DE MONITOREO

Permiten el monitoreo de las diferentes variables de la planta piloto como son la temperatura, energía eléctrica, y a la vez dan el encendido, apagado o el cambio de RPM del compresor mediante señales digitales o análogas respectivamente, estos elementos se encuentran en la figura 38.

Figura 30. Cuadro sinóptico de los elementos de monitoreo



Fuente: Autores

2.5.1 Termocupla. Una termocupla es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia

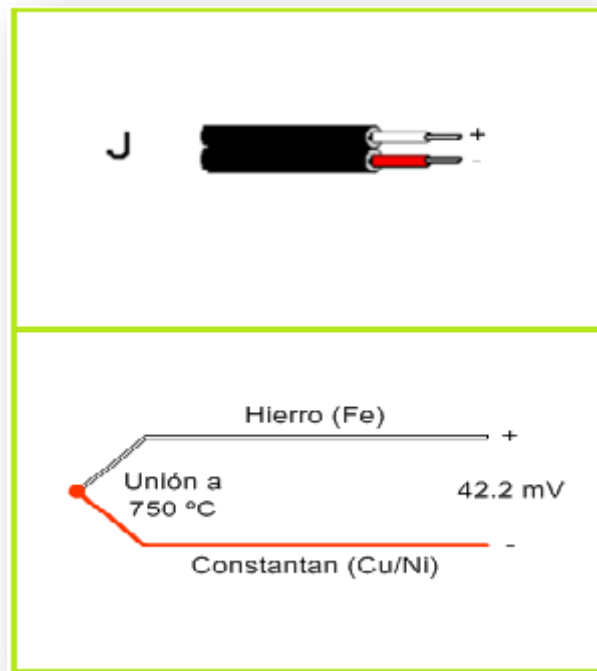
La planta piloto cuenta con 4 termocuplas que monitorean las temperaturas de interés. En la tabla 9 se pueden ver las características de cada una de ellas y en la figura 30 se puede observar un esquema y color con los que se identifican la termocupla tipo J.

Tabla 9. Características termocupla planta piloto.

TEMPERATURA	CANAL	TIPO	MATERIALES		RANGO °C
			POS (+)	NEG (-)	
Etilenglicol	0	J	Hierro	Constantán	-180,750
Salida del evaporador	1	J	Hierro	Constantán	-180,750
Línea de liquido	2	J	Hierro	Constantán	-180,750
Ambiente	7	J	Hierro	Constantán	-180,750

Fuente: Autores

Figura 30. Termocupla tipo J

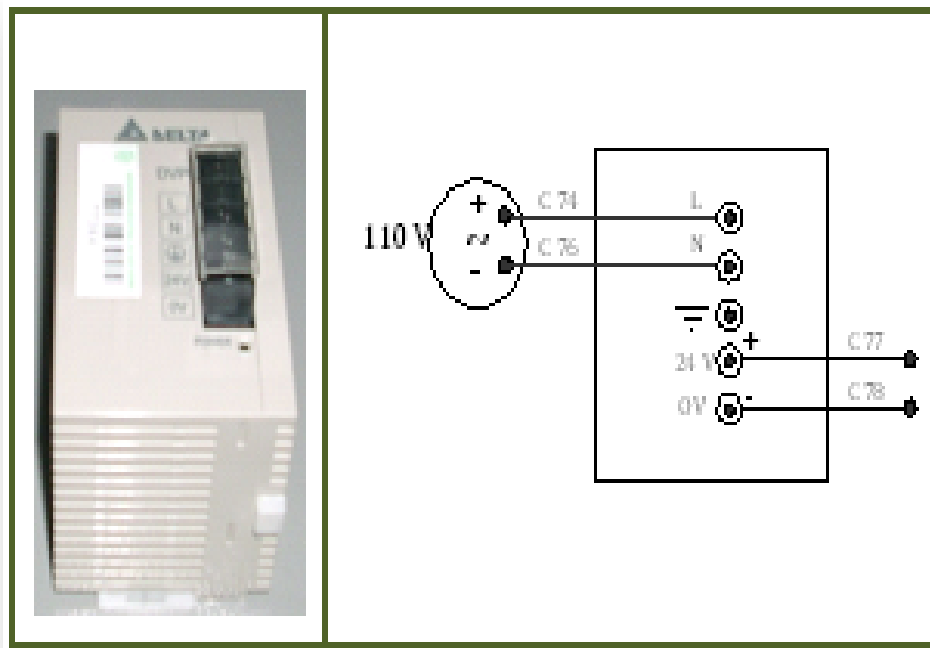


Fuente: Autores

2.5.2 Sistema de adquisición de datos.

2.5.2.1 Fuente regulada. Este dispositivo (Ver figura 31) es el encargado de mantener una alimentación constante de 24 voltios a los módulos Field Point, lo que evita que la alimentación de los mismos este oscilando y se produzcan mediciones erróneas debido a la perturbación del voltaje.

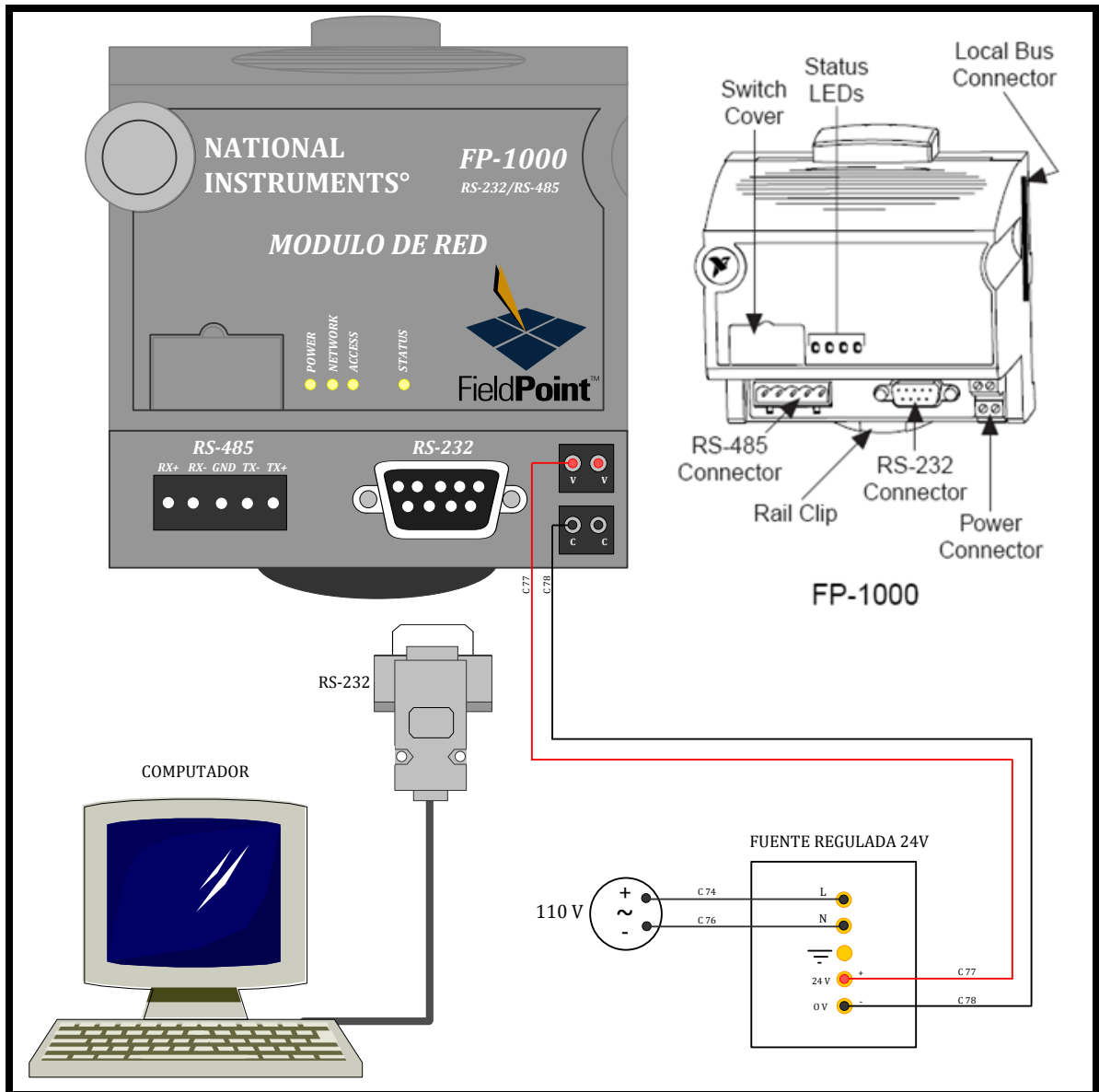
Figura 31: Fuente reguladora planta piloto



Fuente: Autores

2.5.2.2 Modulo FP – 1000. El modulo FP-1000 (Ver figura 32) es el encargado de alimentar los demás módulos y de transmitir los datos de las mediciones que realizan los sensores al PC por medio del puerto RS-232.

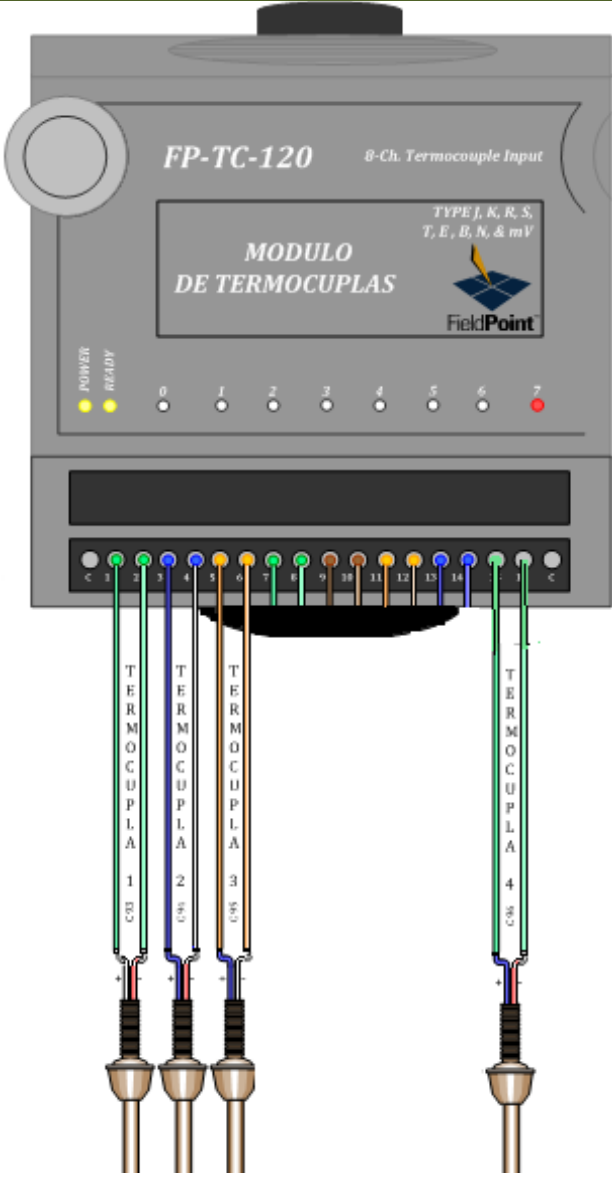
Figura 32. Modulo FP - 1000



Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 62p.

2.5.2.3 Modulo FP – TC – 120. El modulo FP-TC-120 (Ver figura 33) permite medir las temperaturas por medio de termocuplas, contiene 7 canales que nos permiten medir 8 temperaturas. Las conexiones se presentan en el anexo E.

Figura 33. Modulo FP – TC – 120



Canal	Número de terminal		
	IN (+)	IN (-)	T
0	1	2	T1
1	3	4	T2
2	5	6	T3
7	15	16	T4

T1: Etilenglicol.

T2: Salida del evaporador.

T3: Línea de líquido.

T4: Ambiente.

Fuente: Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado

Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 63p.

Algunas de sus características son:

- ✓ Maneja 8 tipos de termocuplas: J, K, R, S, T, N, E y B.
- ✓ Maneja 4 rangos de voltajes: ± 25 , ± 50 , $100 \pm$ y -20 a 80 mV.
- ✓ Cuando alguna termocupla no está funcionando el LED del canal se coloca de color rojo.

2.5.2.4 Contador digital HOME. Este elemento se utiliza para medir el consumo de energía activa en donde 1600 pulsos equivalen a 1Kw-h, a una frecuencia de 60Hz o 50 Hz en circuitos de corriente trifásica de cada tipo de control: ONN-OFF y control continuo; Es un medidor electrónico monofásico completamente electrónico, alta confiabilidad y sensibilidad, bajo consumo de potencia, volumen pequeño y fácil montaje; las condiciones del sitio de montaje: para temperatura ambiente es de -25 °C a $+55$ °C la humedad relativa no mayor al 95%, En la tabla10 se muestran las especificaciones del medidor HOME.

Tabla 10. Especificaciones contador digital HOME


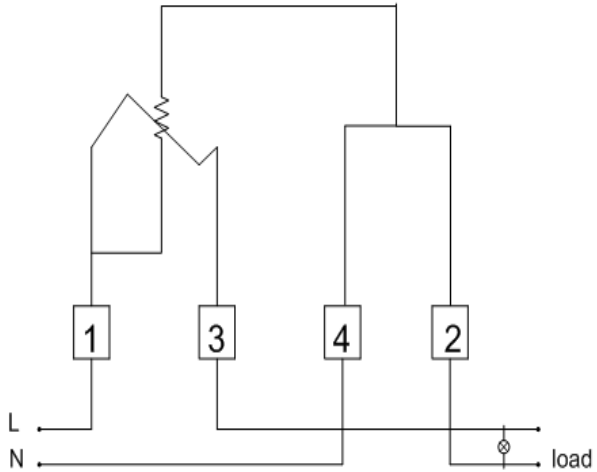
Nombre	Modelo	Clase de precisión	Tensión	Corriente
Medidor electrónico monofásico (1fase 2 hilos)	Home 1.1211.21.11	1	120 V	10(60) A

Fuente: Autores

En la columna de la corriente, el primer valor antes del paréntesis corresponde a la corriente básica (Ib) y el valor dentro del paréntesis corresponde al valor de

corriente máxima (Imax). En la tabla 11 se muestra el diagrama de conexión; Las demás características de este elemento se encuentran en el anexo F.

Tabla 11. Diagrama de conexión contador HOME

Contador digital HOME	Diagrama de conexión
	

Fuente. Autores

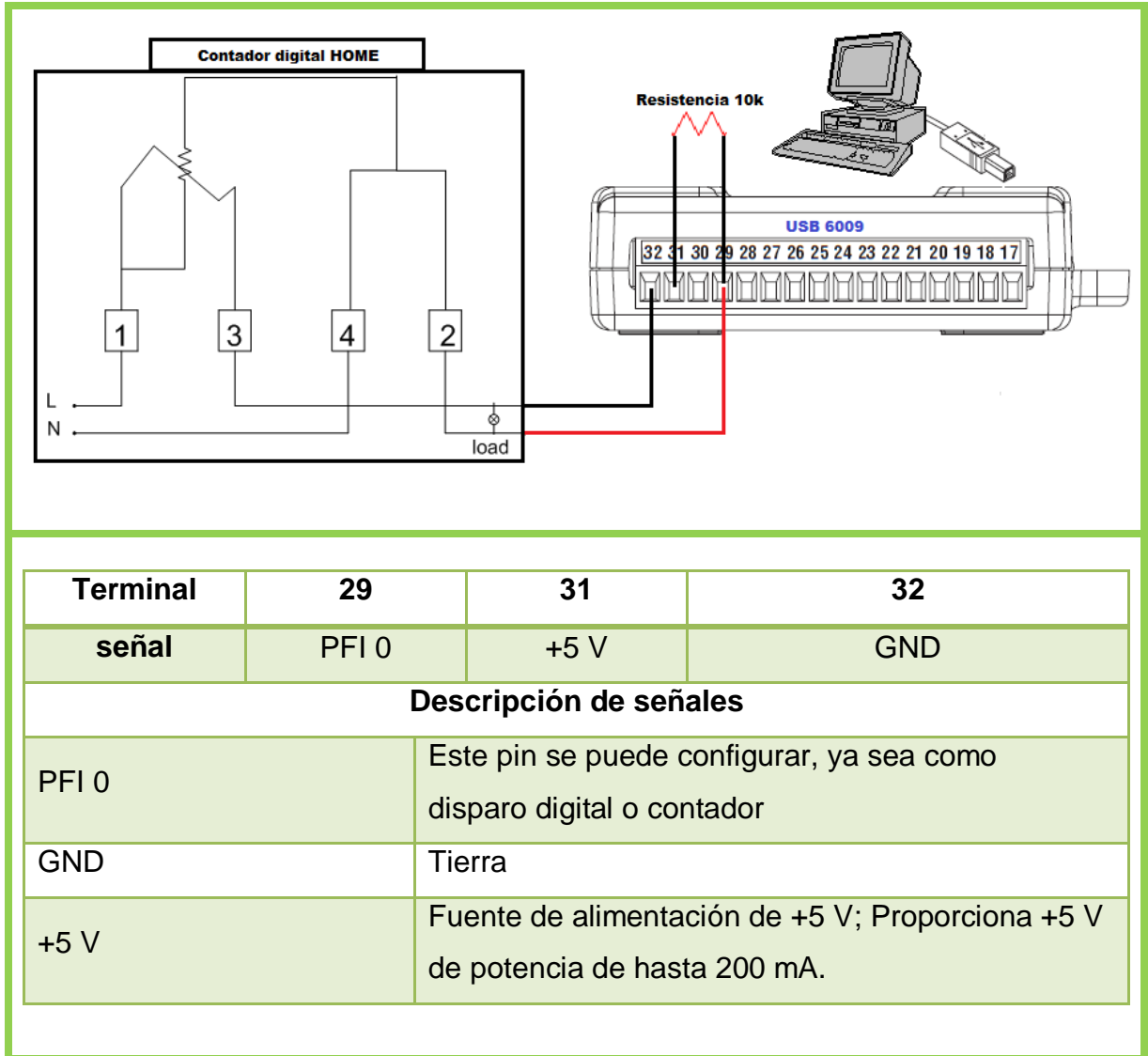
2.5.2.6 USB 6009. Este es un dispositivo de adquisición de datos de salidas digitales, usado para recibir señales del contador digital HOME y poder monitorear el consumo de energía desde el software de control labview.

Algunas características son:

- ✓ Máxima velocidad de muestreo en un canal entrada: 48 Ks/s
- ✓ Entradas analógicas: 8 de 14bits
- ✓ Salidas analógicas: 2 de 12 bits
- ✓ Tipos de medidas: voltaje

Las demás características de este elemento se encuentran en el anexo G

Tabla 12. Conexión del contador digital con la USB 6009



Fuente: Autores.

3. IMPLEMENTACION DE LOS ESQUEMAS DE PRODUCCION DE HIELO EN BLOQUE DE LA MINI PLANTA PILOTO DEL LABORATORIO DE REFRIGERACION

Para la realización de este proyecto se implementaron dos esquemas: esquema a plena capacidad y un esquema de control continuo, para esta última se implemento control continuo PID, cada uno de ellos con dos escenarios:

- Producir 1,6 Kg de hielo.
- Producir 3,2 Kg de hielo.

3.1 IMPLEMENTACION DEL ESQUEMA A PLENA CAPACIDAD

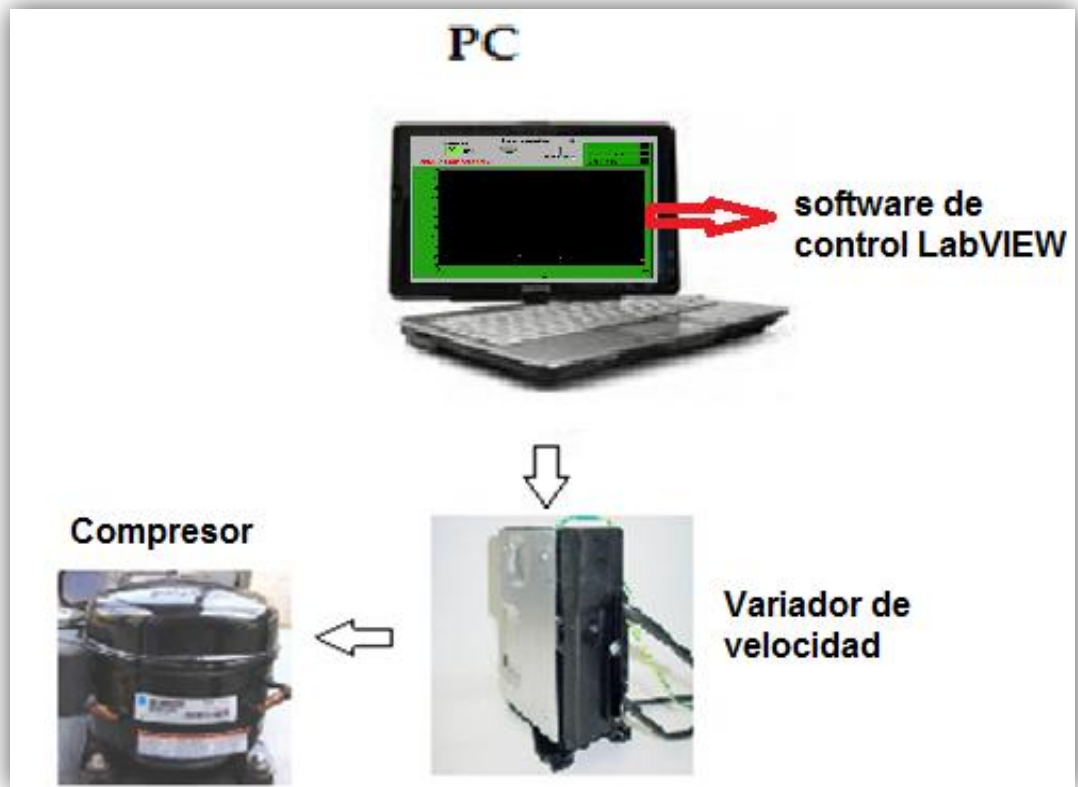
Este es un esquema de producción de hielo por tiempo, manteniendo el compresor a plena capacidad durante todo el proceso y se apagara cuando el hielo se halla formado por completo; Este apagado y encendido se realiza mediante el hardware basado en el PC, el variador de velocidad y el software de control LabVIEW, en este esquema no se tiene en cuenta ninguna temperatura de referencia.

En la figura 34 se pueden ver los elementos usados para implementar este esquema de producción de hielo.

En resumen:

- ✓ Hardware de control: PC, Sistema de adquisición de datos y control de National Instruments.
- ✓ Software de control: LabVIEW
- ✓ Contador digital de energía HOME

Figura 34. Esquema a plena capacidad de la mini planta

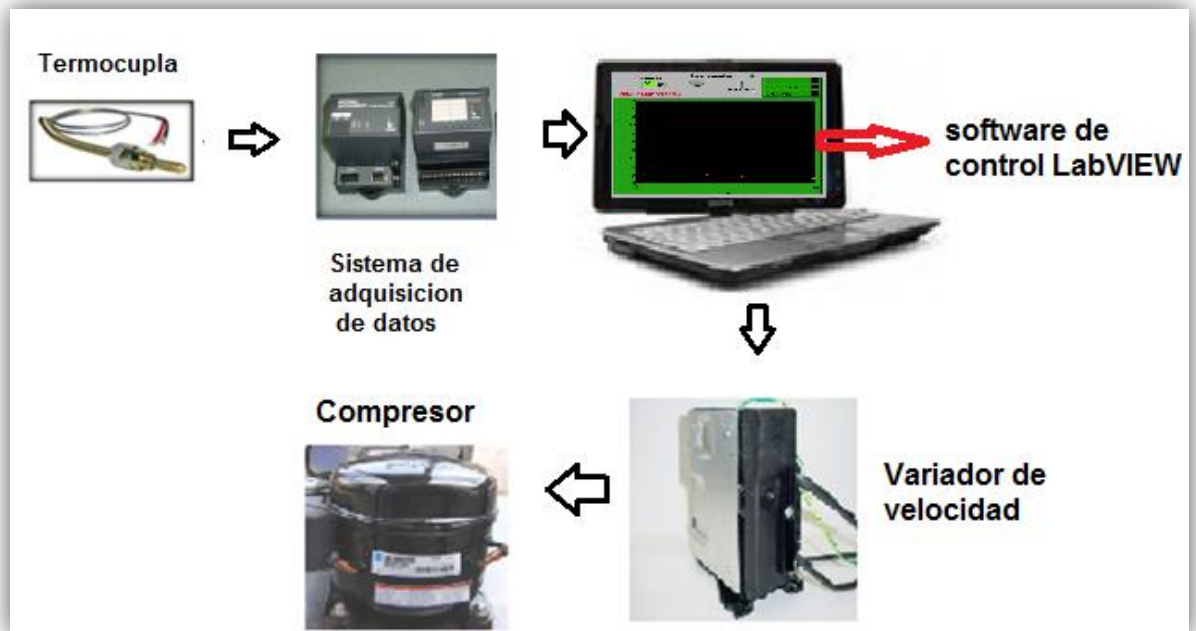


Fuente: Autores

3.2 IMPLEMENTACION DEL ESQUEMA DE CONTROL CONTINUO

La estrategia de control continuo se hará por medio de un control PID. En la figura35 se puede observar los elementos con los que cuenta para implementar la estrategia de control continuo.

Figura 35. Implementación del control continuo en la mini planta piloto

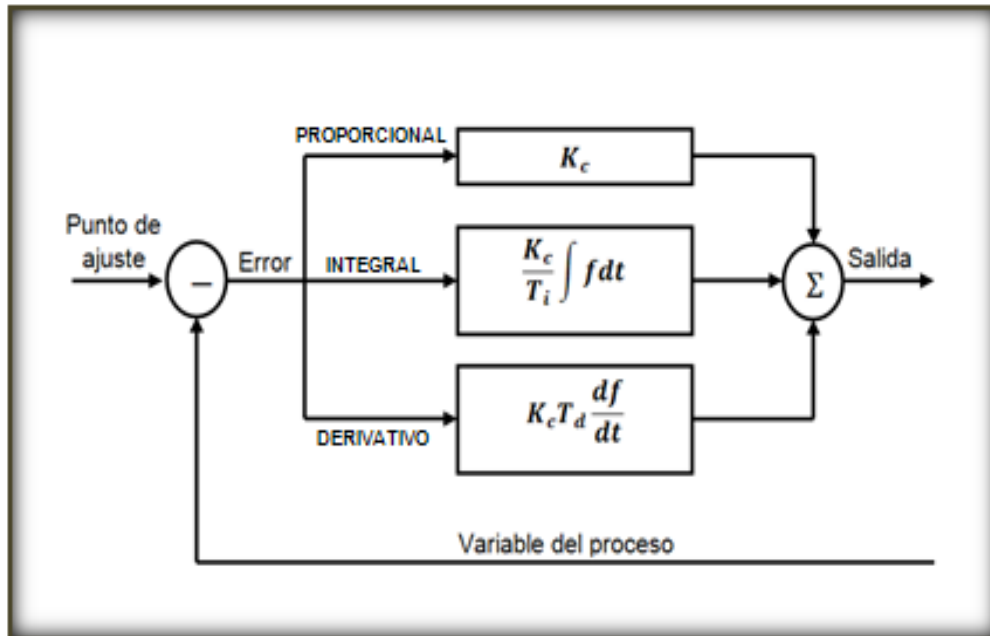


Fuente: Autores

3.2.1 Control continuo PID. El control PID es uno de los más usados en la industria, es un controlador completo y complejo, tiene una respuesta más rápida y estable siempre que este bien sintonizado. Este tipo de control involucra tres acciones las cuales se pueden ver en la figura36, cada uno de las cuales cumple con una función específica:

- El control proporcional (P): actúa sobre el tamaño del error.
- El control integral (I): rige el tiempo para corregir el error.
- El control derivativo (D): le brinda la rapidez de actuación.

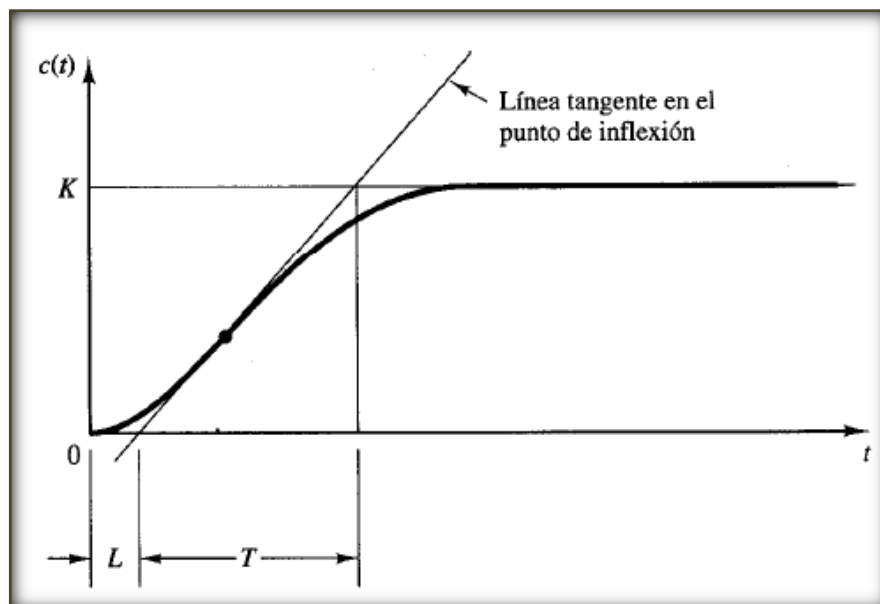
Figura 36. Acciones independientes y combinadas que intervienen en un controlador PID



Fuente: Autores

3.2.1.1 Sintonización del PID de control. La sintonización del PID requiere establecer los valores de K_p, T_i, T_d , para esto se recurrió a enfoques experimentales y reglas de Ziegler- Nichols debido a que la planta piloto en estudio es muy compleja para obtener un modelo matemático. El método que se uso fue el de respuesta escalón de la mini planta, el cual da una curva en forma de s (Ver figura 37), y los valores de L (tiempo de retardo) y T (constante de tiempo), que posteriormente se usaran en las reglas de sintonización mostradas en la tabla13.

Figura 37. Curva de respuesta en forma de S



Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 88p.

Tabla13. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

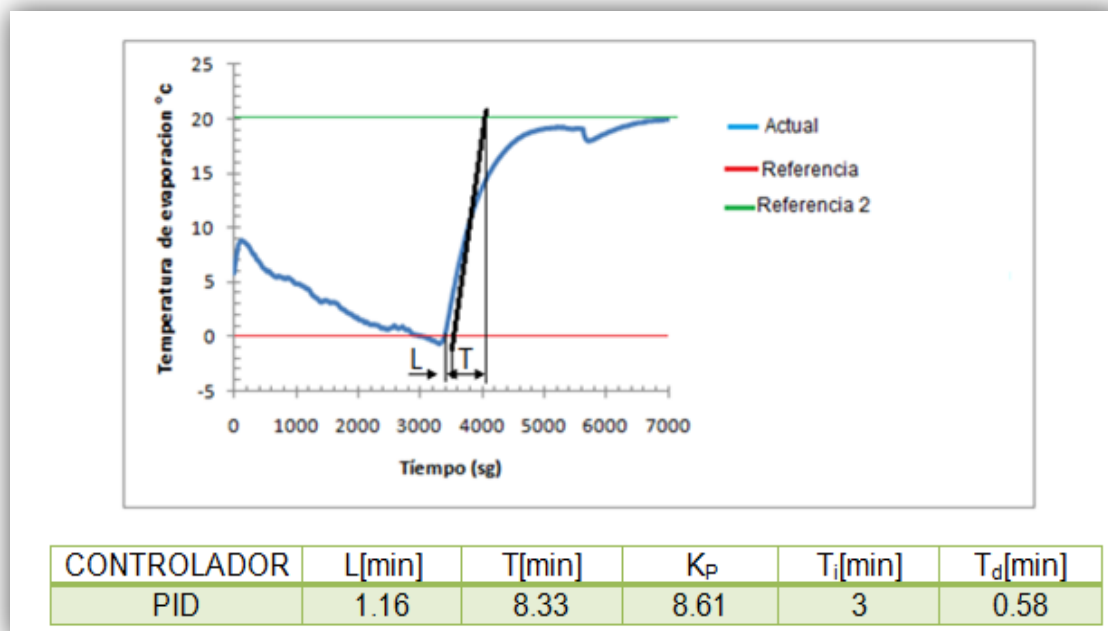
Fuente: BARAJAS, Daniel Eduardo y GÓMEZ, Martha Liliana. Determinación del consumo energético de un sistema de refrigeración en carga parcial bajo esquemas de control continuo y control ON-OFF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Mecanica. Escuela Ingeniería Mecánica, 2009. 88p.

A continuación se explica como se aplicó este método ala mini planta piloto:

1. Se prendió el compresor a 4500 RPM.
2. Se dejo que el sistema llegará a una temperatura de vaporización de 0°C.
3. Luego se apago el sistema y se dejo que llegara a una temperatura de vaporización estable, para que se produjera la curva de el escalón unitario, conocida comúnmente como curva s.
4. Posteriormente a la curva que describió el sistema en forma de S al ir desde 0°C hasta la temperatura de estabilización se le trazo la tangente en el punto de inflexión para así determinar los valores de L y T.
5. Finalmente los resultados obtenidos tanto grafica como numéricamente fueron (Ver figura38).

Colocando los anteriores valores de K_p, T_i, T_d en el programa realizado en LabVIEW para el control PID se obtuvo un control aceptable el cual se fue ajustando variando los valores de las constantes hasta finalmente encontrar los datos presentados en la tabla 14 para proporcionar un buen control.

Figura 38. Curva y parámetros de sintonización del cuarto frío



Fuente: Autores

Tabla 14. Valores finales de las constantes del control PID del cuarto frío

CONTROLADOR	K_p	T_i [min]	T_d [min]
PID	9	3	0

Fuente: autores

Para el ajuste de la sintonización se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Un aumento exagerado en la ganancia proporcional aumenta demasiado el error en estado estable.
- Una disminución exagerada del tiempo integrativo puede dejar el sistema inestable o en una condición de oscilación.
- Los sistemas térmicos no necesitan de tiempo derivativo.

En resumen:

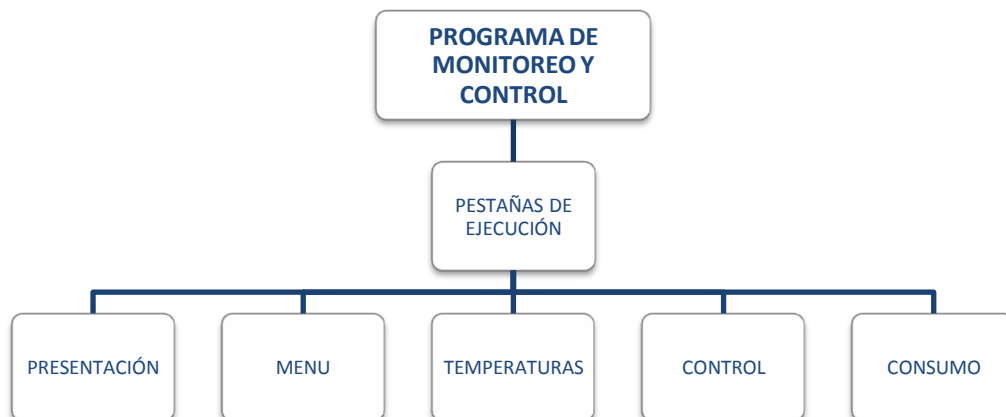
- ✓ Hardware de control: PC, sistema de adquisición de datos y control de National Instruments.
- ✓ Software de control: LabVIEW
- ✓ Hardware de medición de energía y potencia: Contador digital HOME.
- ✓ Algoritmo de control: PID.
- ✓ Variable de control: Temperatura de evaporación.
- ✓ Set Point: Temperatura de evaporación de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ✓ Constantes del PID:
 - a. Constante Proporcional: 9.
 - b. Constante Integral: 3 min.
 - c. Constante Derivativa: 0 min.

4. PROGRAMACIÓN

4.1 PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL

Este programa realizado en LabVIEW, permite visualizar el comportamiento del sistema durante su operación, el cual cuenta con un panel frontal conformado por cinco pestañas (ver figura 38) en donde se puede ajustar la velocidad del compresor, visualizar las diferentes temperaturas del proceso, velocidad del compresor, realizar el control PID y el manejo a plena carga, observar el consumo de energía, potencia promedio y guardar los datos de las variables del proceso. Este programa cuenta con dos ventanas una llamada panel frontal que es la interfaz de usuario y otra llamada diagrama de bloque donde se encuentra la programación en forma gráfica. En el anexo H se explica la forma en la que se debe configurar el hardware y software implementados en este estudio, para poder ejecutar este programa de monitoreo y control. A continuación se describe detalladamente cada una de las pestañas tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques de programación.

Figura 38. Pestañas del programa de monitoreo y control



Fuente: Autores

4.4.1 Panel frontal de la pestaña presentación. La pestaña de presentación es la que se activa automáticamente cuando el programa inicia y está conformada por los siguientes elementos ver figura 39:

1. Título del proyecto
2. Autores del proyecto
3. Director del proyecto
4. Nombre de la universidad, facultad, escuela, ciudad y fecha

Figura 39. Panel frontal de la pestaña presentación



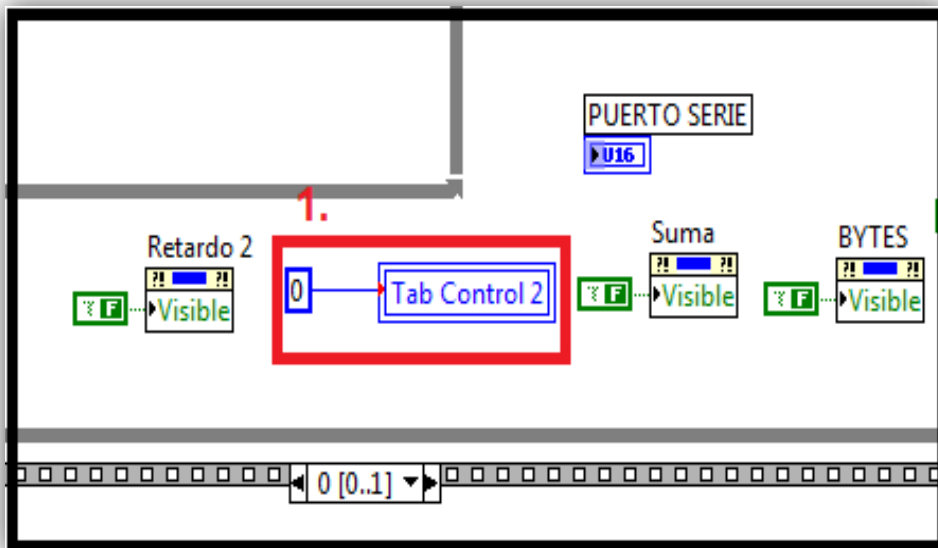
Fuente: Autores

4.1.1.1 Diagrama de Bloque de la pestaña presentación.

Esta pantalla (ver figura 40) muestra la programación general del programa:

1. Selecciona la posición inicial del panel frontal, en este caso es la presentación al iniciar el programa.

Figura 40 Diagrama de bloque de la pestaña presentación



Fuentes: Autores

4.1.2 Menú. La pestaña de menú está relacionada directamente con la comunicación serial entre el variador de velocidad y el software, en el menú se configura el puerto serie con el cual se realiza la comunicación, también se puede manipular la velocidad del compresor, leer su velocidad en cualquier instante de tiempo y ver su estado de funcionamiento.

A continuación se describen cada una de las opciones que aparecen en el menú.

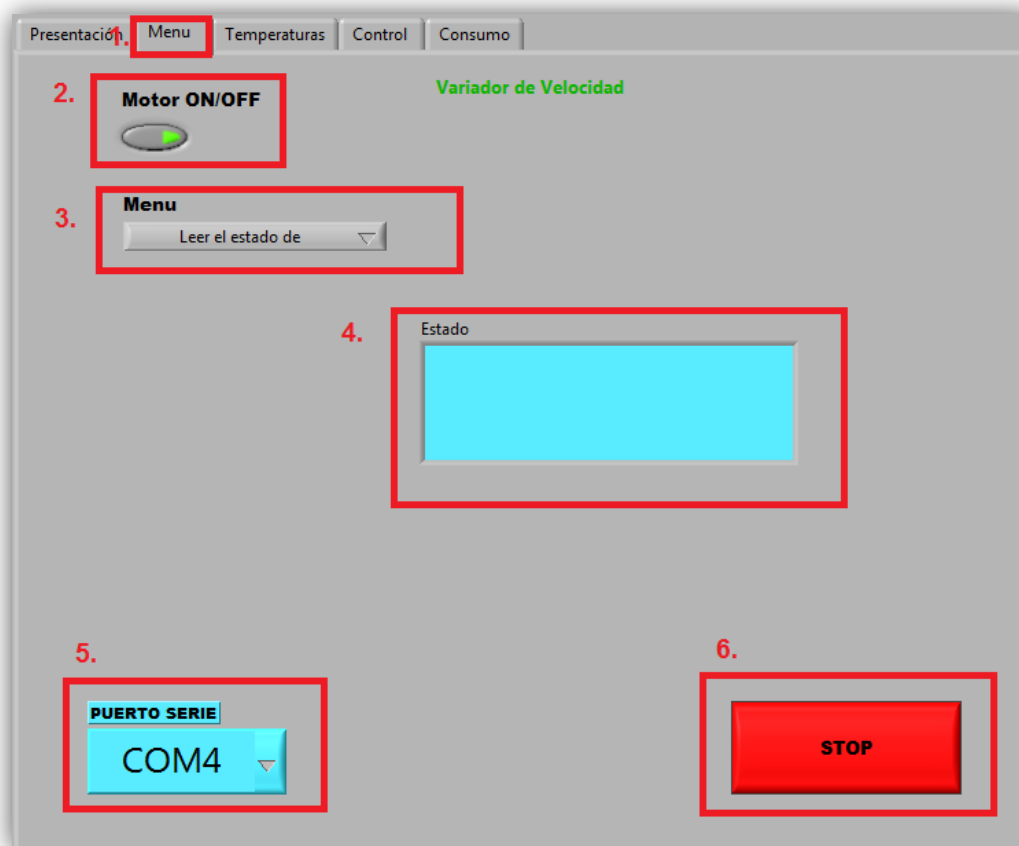
Opciones del menú:

- ✓ Leer estado de funcionamiento
- ✓ Ajustar velocidad de transmisión
- ✓ Leer ajuste de velocidad

4.1.2.2 Leer el estado de funcionamiento. Visualiza el estado de funcionamiento del compresor (ver figura41).

1. Título de la pestaña.
2. Botón para apagar el compresor.
3. Selector de opciones del menú: Leer estado de funcionamiento.
4. Panel que permite ver el estado de funcionamiento.
5. Selector del puerto serie.
6. Botón STOP para detener todo el programa.

Figura 41. Pestaña del menú: estado de funcionamiento.

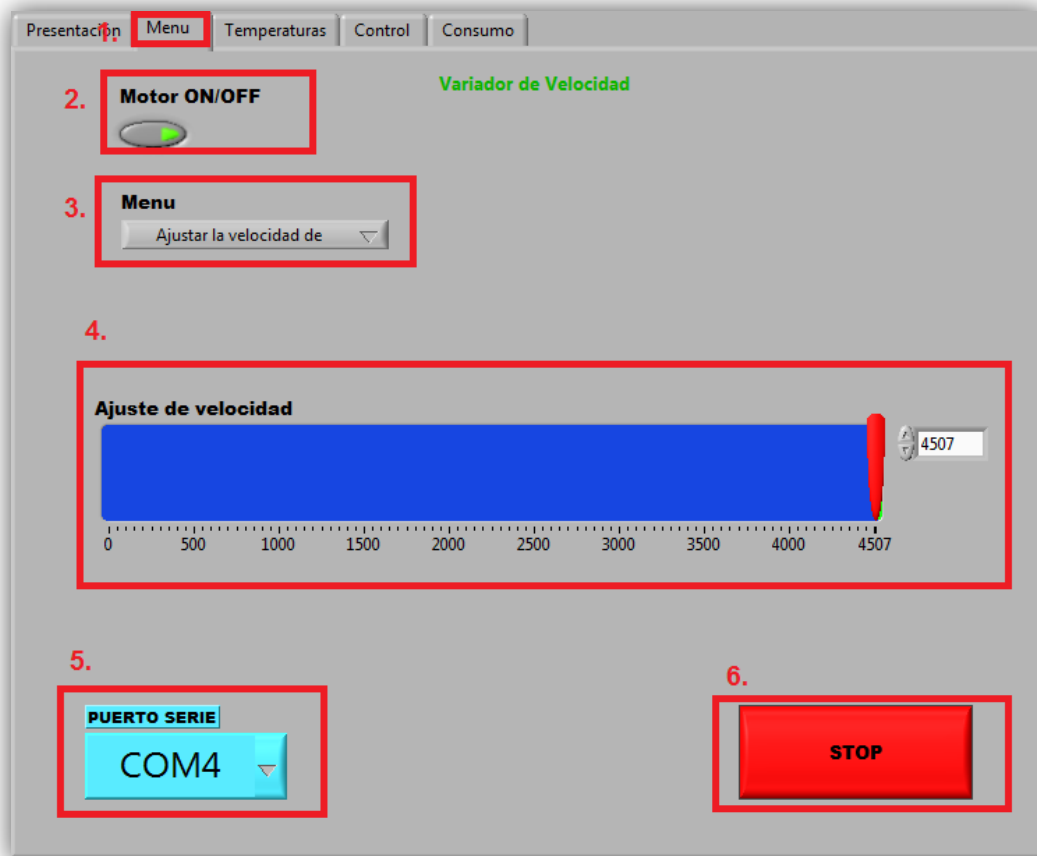


Fuente: Autores

4.1.2.3 Ajustar la velocidad de transmisión. Permite variar la velocidad del compresor (RPM) manualmente (ver figura 42).

1. Título de la pestaña.
2. Botón para apagar el compresor.
3. Selector de opciones del menú: Ajustar velocidad de transmisión.
4. Variador de velocidad.
5. Selector del puerto serie.
6. Botón STOP para detener todo el programa.

Figura 42. Pestaña del menú: ajustar la velocidad de transmisión.

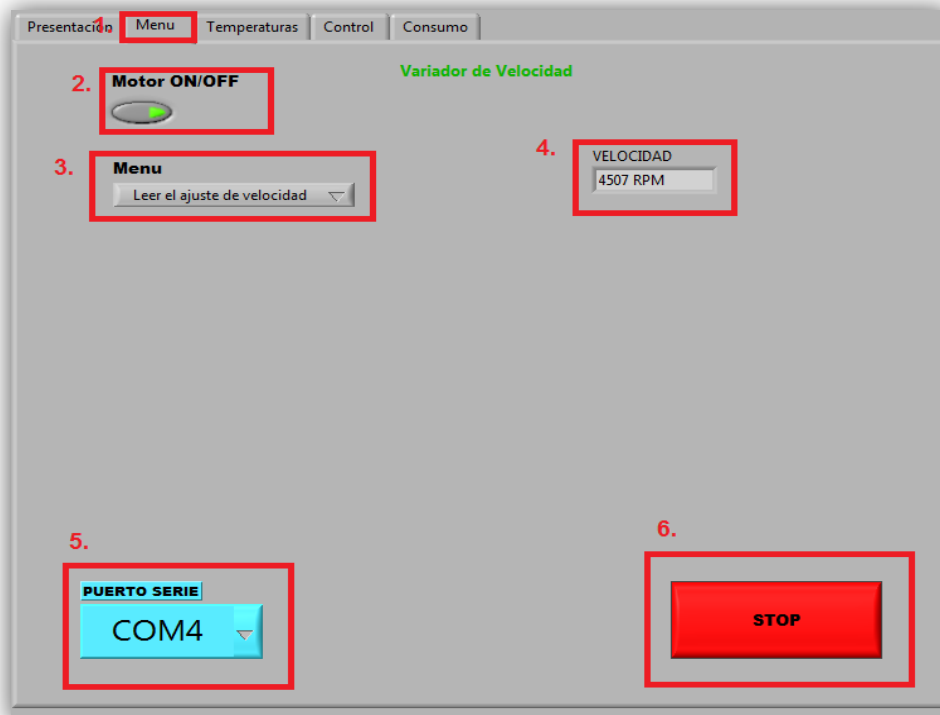


Fuente: Autores.

4.1.2.4 Leer ajuste de velocidad.

1. Título de la pestaña.
2. Botón para apagar el compresor.
3. Selector de opciones del menú: Leer ajuste de velocidad.
4. Indicador de velocidad.
5. Selector del puerto serie.
6. Botón STOP para detener todo el programa.

Figura 43. Pestaña de menú: Leer ajuste de velocidad.



Fuente: Autores

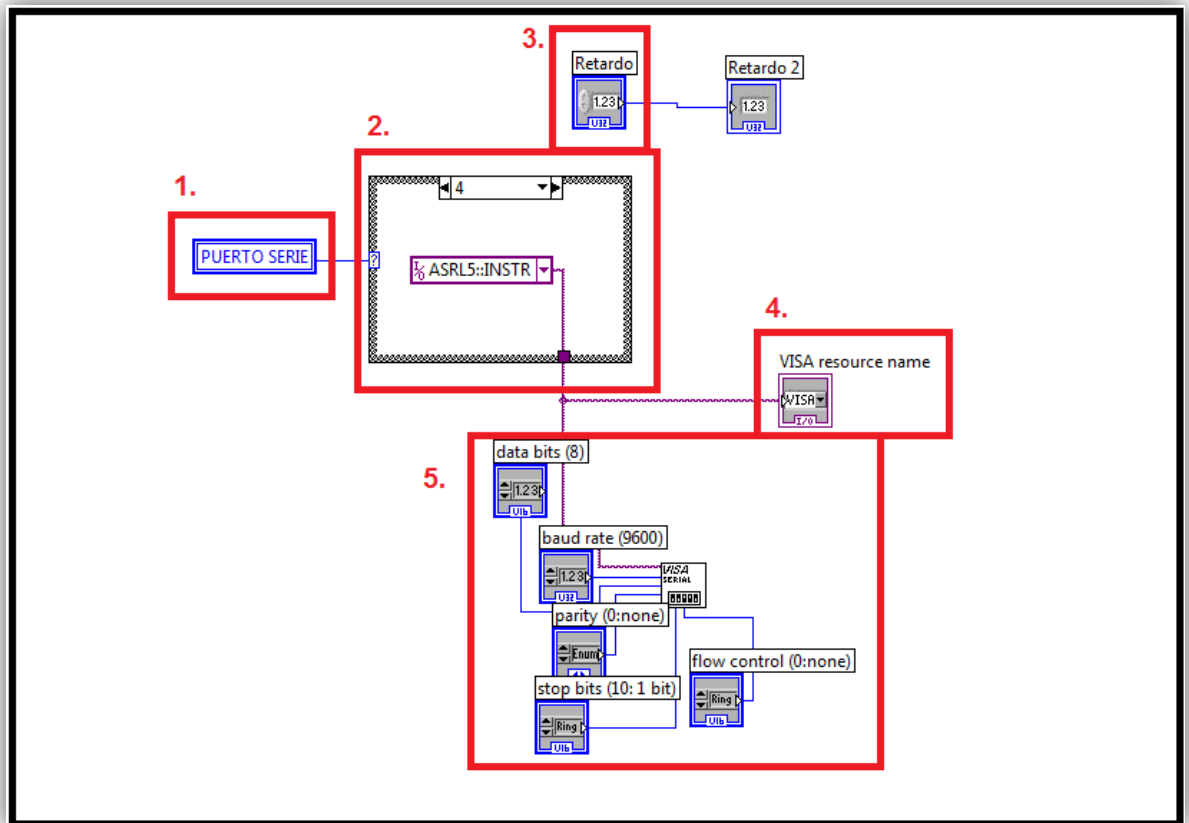
4.1.3 Diagrama de bloques del menú. Este diagrama de bloques es el encargado de establecer la comunicación serial entre el software y el variador de velocidad para poder realizar los cambios de velocidad del compresor. El proceso se divide en dos partes, la primera es establecer los parámetros para el protocolo de comunicación y la segunda es realizar el envío de datos hacia el variador de velocidad según las acciones realizadas por el operario.

4.1.3.1 Parámetros de comunicación. En estos parámetros se ajusta el puerto por el cual se desea realizar la comunicación serial y al mismo tiempo se define el número de bits de datos, la tasa de baudios, el bit de parada, el control de flujo y la paridad. Estos datos se dejan fijos después de haber sido configurados por primera vez, es por esta razón que en el panel principal del programa se encuentran ocultos excepto el selector del puerto de comunicación serial debido a que este si puede variar según el criterio del usuario.

A continuación se muestra el diagrama de bloques de esta configuración.

1. Selector de puerto serie
2. Opciones de puerto serie.
3. Retardo necesario para el protocolo de comunicación.
4. Indicador del puerto utilizado.
5. Parámetros del protocolo de comunicación: Data bits, Baud rate, Parity, Stop bit, Flow control.

Figura 44. Generación de parámetros de comunicación



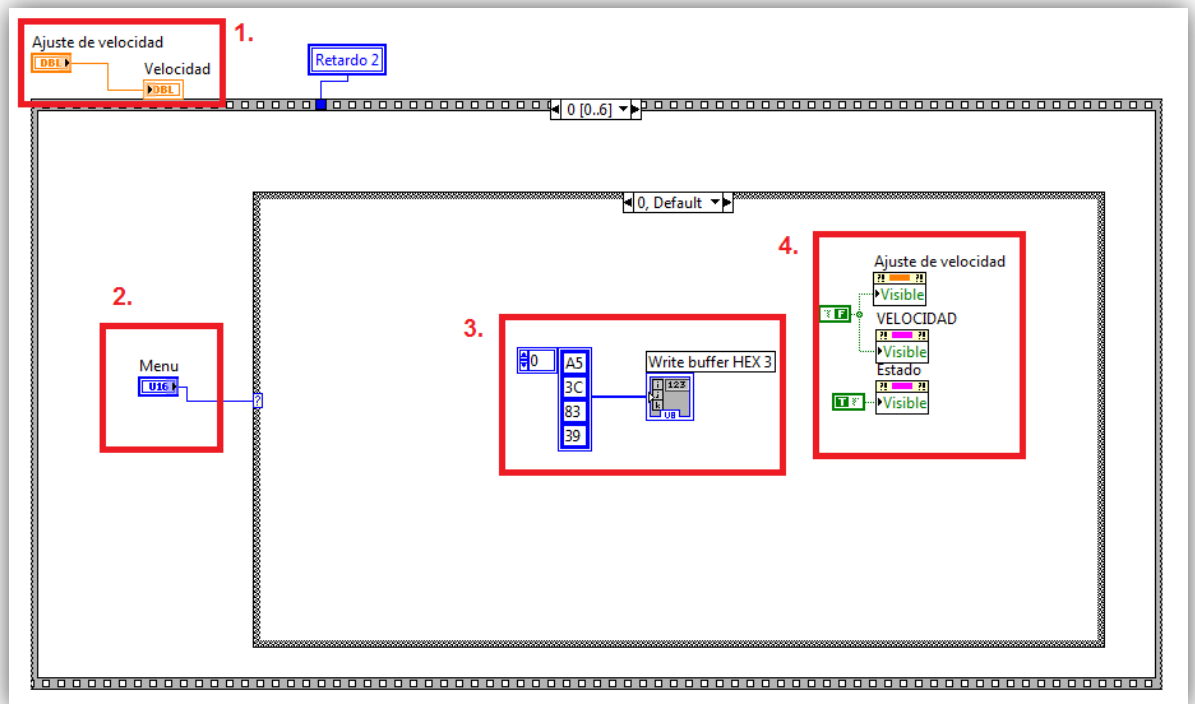
Fuente: Autores

4.1.3.2 Envío de datos por medio del puerto serial. El primer paso realizado después de haber sido configurados los parámetros es leer el comando seleccionado en la opción menú que se explicó anteriormente. Las tres posibles opciones se describen a continuación.

- Leer estado de funcionamiento.
1. Lectura del valor de velocidad del compresor en cada instante.
 2. Selector de opciones del menú.

3. Este comando es necesario, para leer el estado de funcionamiento del compresor: Los datos se envían en forma hexadecimal.
4. Se hace visible la ventana que permite leer el estado de funcionamiento y se oculta el indicador y el ajuste de velocidad.

Figura 45. Opción leer estado de funcionamiento.



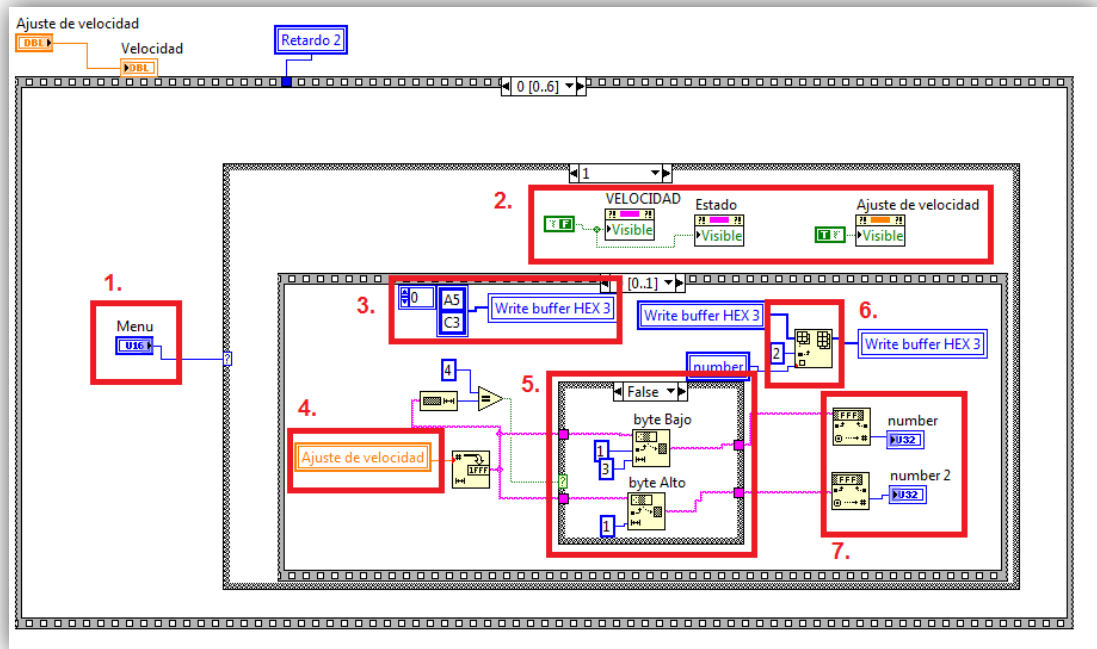
Fuente: Autores

➤ **Ajustar la velocidad de transmisión.**

1. Selector de opciones del menú.
2. Se hace visible el selector de velocidad y se oculta el indicador de velocidad junto con la ventana que permite visualizar el estado de funcionamiento.

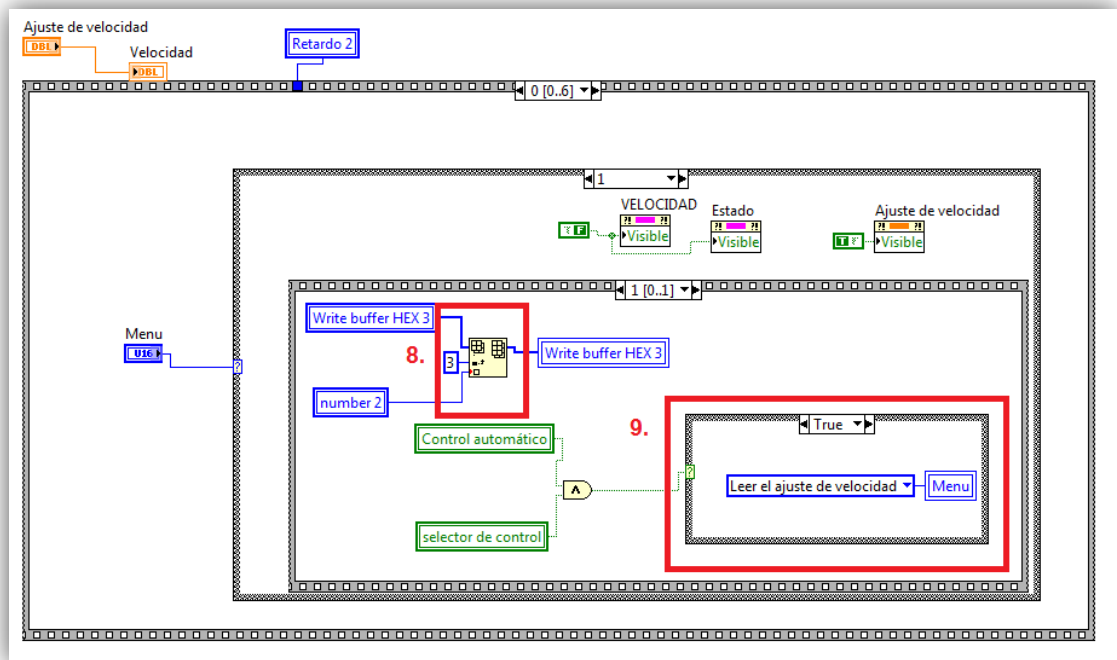
3. Comando necesario para variar la velocidad del compresor.
4. Lee el ajuste de velocidad definido por el usuario o por el control PID según sea el caso.
5. Convierte el valor de la velocidad a hexadecimal y lo divide en dos partes para poderlo enviar al registro de datos de comunicación.
6. Ubica la primera parte del dato de velocidad en el registro.
7. Leer los dos valores de velocidad después de haber sido divididos.
8. Ubica la segunda parte del dato de velocidad en el registro.
9. Si se encuentra realizando control PID, la lectura del ajuste de velocidad se realiza automáticamente.

Figura 46. Ajustar velocidad de transmisión. Parte 1



Fuente: Autores

Figura 47. Ajustar velocidad de transmisión. Parte 2

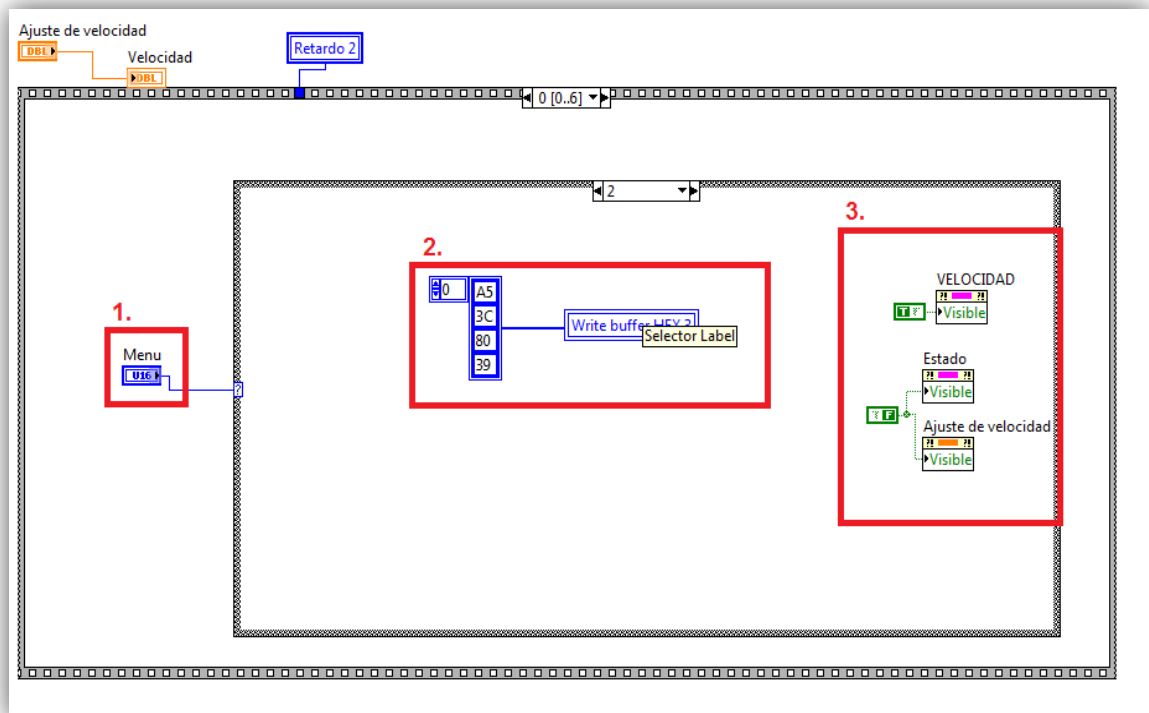


Fuente: Autores

➤ Leer ajuste de velocidad.

1. Selector de opciones de menú.
2. Comando necesario para leer la velocidad de transmisión.
3. Se hace visible el indicador de velocidad y se oculta el selector de velocidad y la ventana de visualización del estado de funcionamiento.

Figura 48. Leer ajuste de velocidad.



Fuente: Autores

El siguiente paso es completar el último byte de comunicación llamado *Checksum* tal como se muestra a continuación.

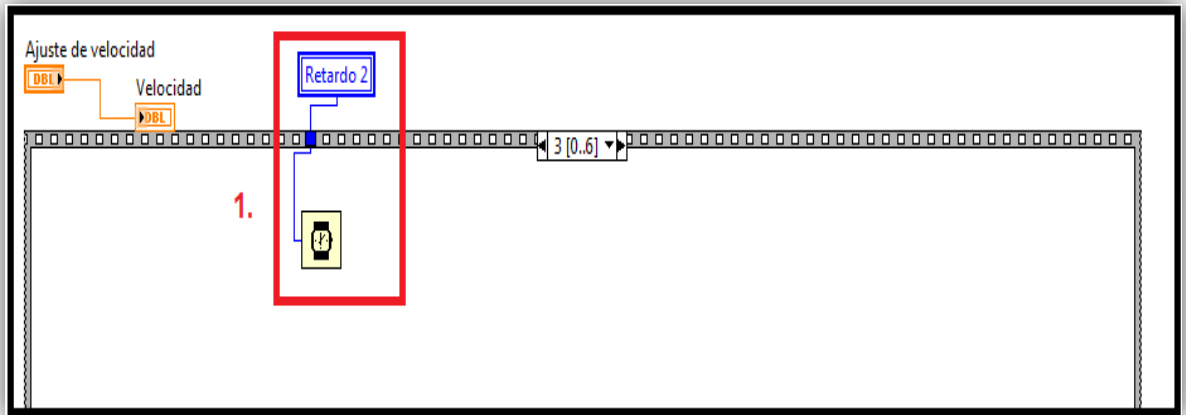
1. Realiza la suma de los bytes anteriores y ubica su resultado en la última posición del registro.

Una vez se tiene el registro de comunicación completo, se puede enviar el dato a través del puerto serial hacia el variador de velocidad, tal como se puede apreciar en la figura 50.

Al escribir el dato en el puerto serial se debe esperar un tiempo mínimo que se define de acuerdo al protocolo de comunicación serial, para este caso se definió en 100 ms.

1. Retardo de 100 ms.

Figura 51. Tiempo de espera después de enviar el dato.

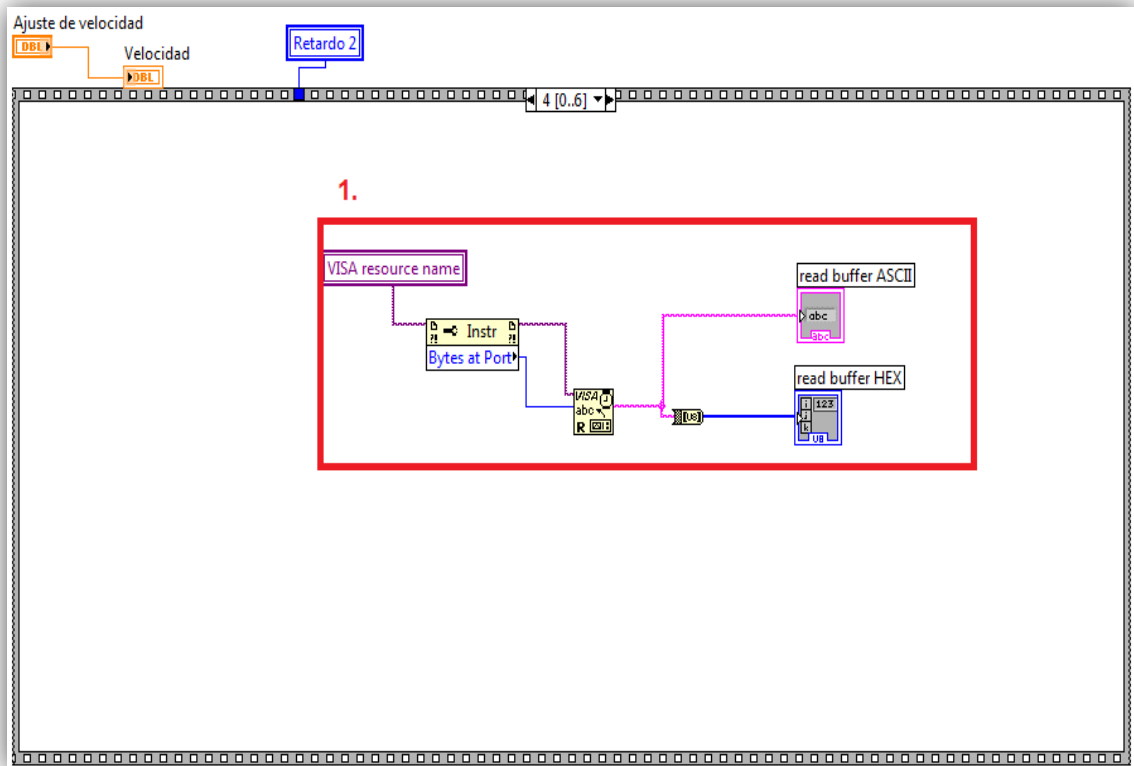


Fuente: Autores.

Cuando el dato ha sido enviado es necesario conocer el estado de funcionamiento y la velocidad del compresor, es por esta razón que se realiza la lectura del registro del variador de velocidad (ver figura 52).

1. Lectura del registro del variador de velocidad.

Figura 52. Lectura del registro de datos.

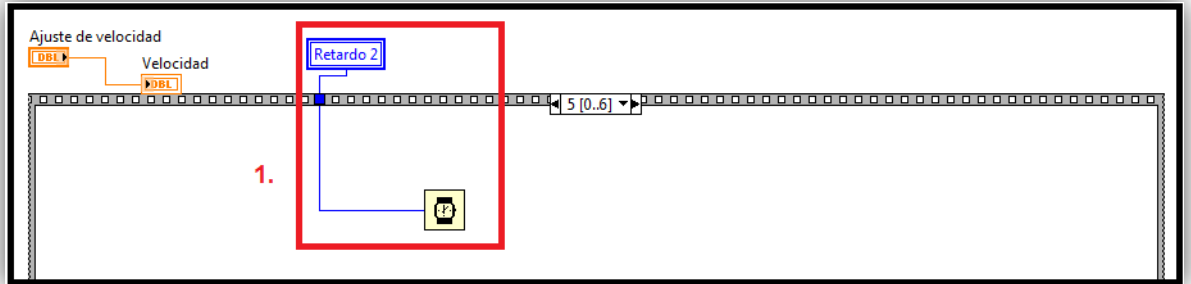


Fuente: Autores

Al igual que al enviar los datos, se debe esperar un tiempo mínimo sugerido según el protocolo de comunicación serial, en este caso se utiliza el mismo tiempo que se usó en el envío de datos.

1. Retardo de 100 ms.

Figura 53. Tiempo de espera después de leer el dato



Fuente: Autores.

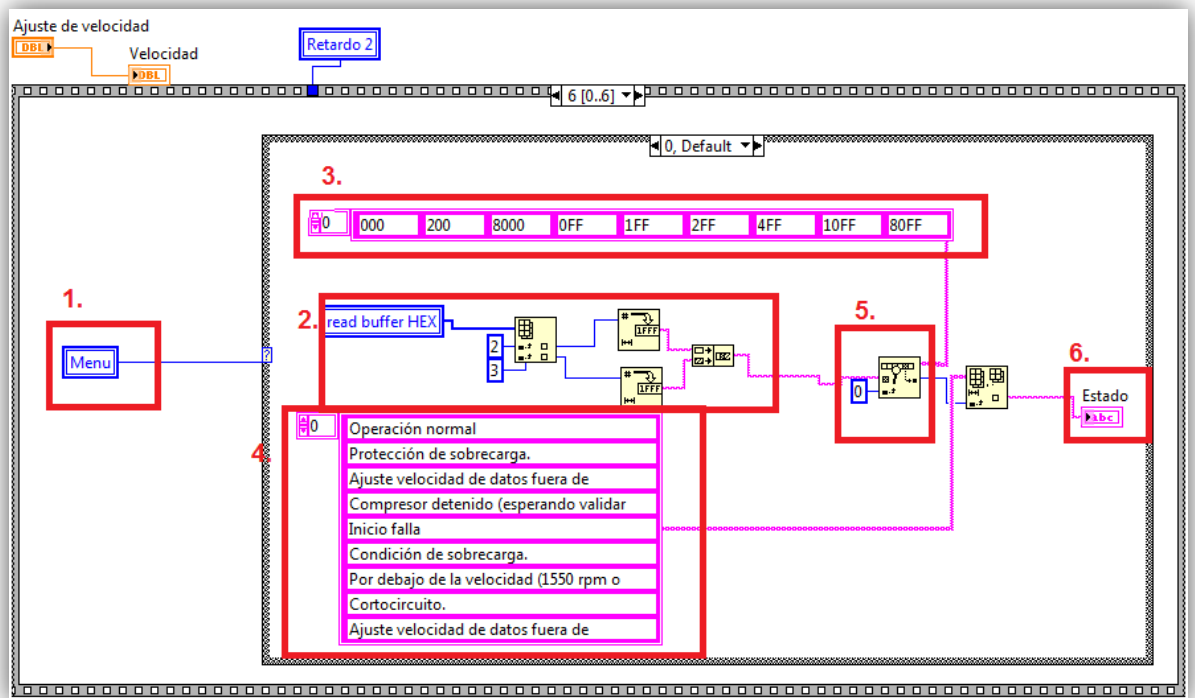
Cuando se ha leído el registro de datos es posible ver el estado de funcionamiento y leer la velocidad del compresor.

A continuación se describen las dos opciones mencionadas anteriormente.

➤ Leer estado de funcionamiento:

1. Selector de opciones de menú: Leer estado de funcionamiento.
2. Leer registro de datos y convertirlo a un dato tipo string.
3. Valores con los cuales se compara el dato del registro de lectura para saber el estado de funcionamiento.
4. Diferentes mensajes que aparecen en el panel frontal al seleccionar la opción leer estado de funcionamiento.
5. Compara el registro de datos con los posibles valores del estado de funcionamiento.
6. Muestra en pantalla el estado real de funcionamiento.

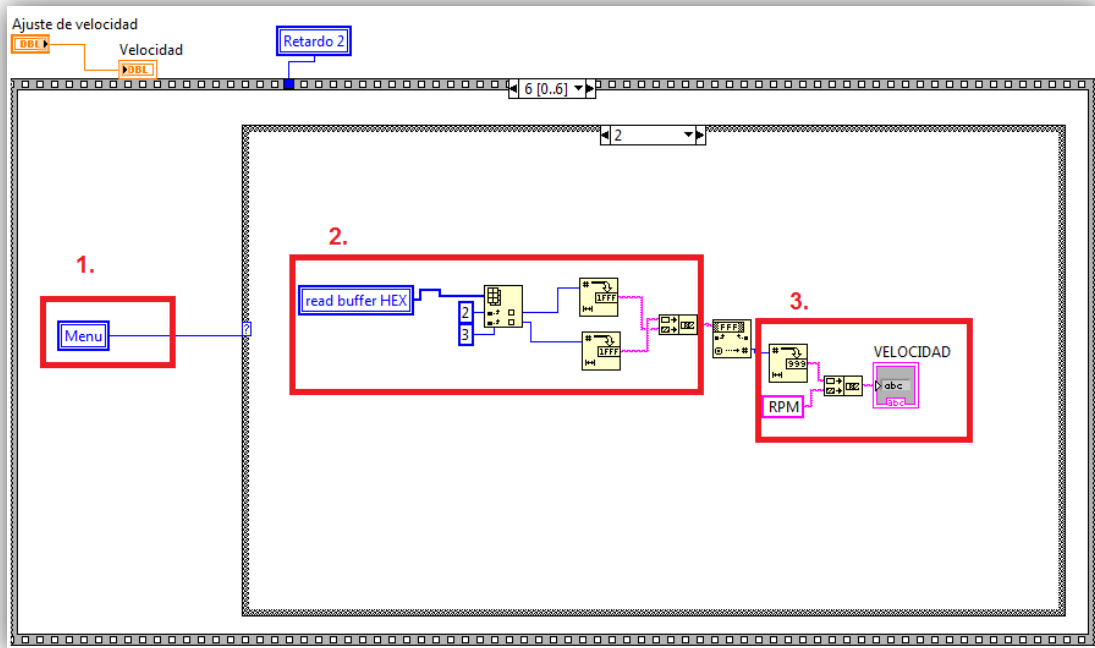
Figura 54. Diagrama de bloques que muestra estado de funcionamiento



Fuente: Autores.

- Leer ajuste de velocidad.
1. Selector de opciones del menú.
 2. Lectura del registro de datos.
 3. Mostrar velocidad en pantalla.

Figura 55. Leer velocidad del compresor.



Fuente: Autores.

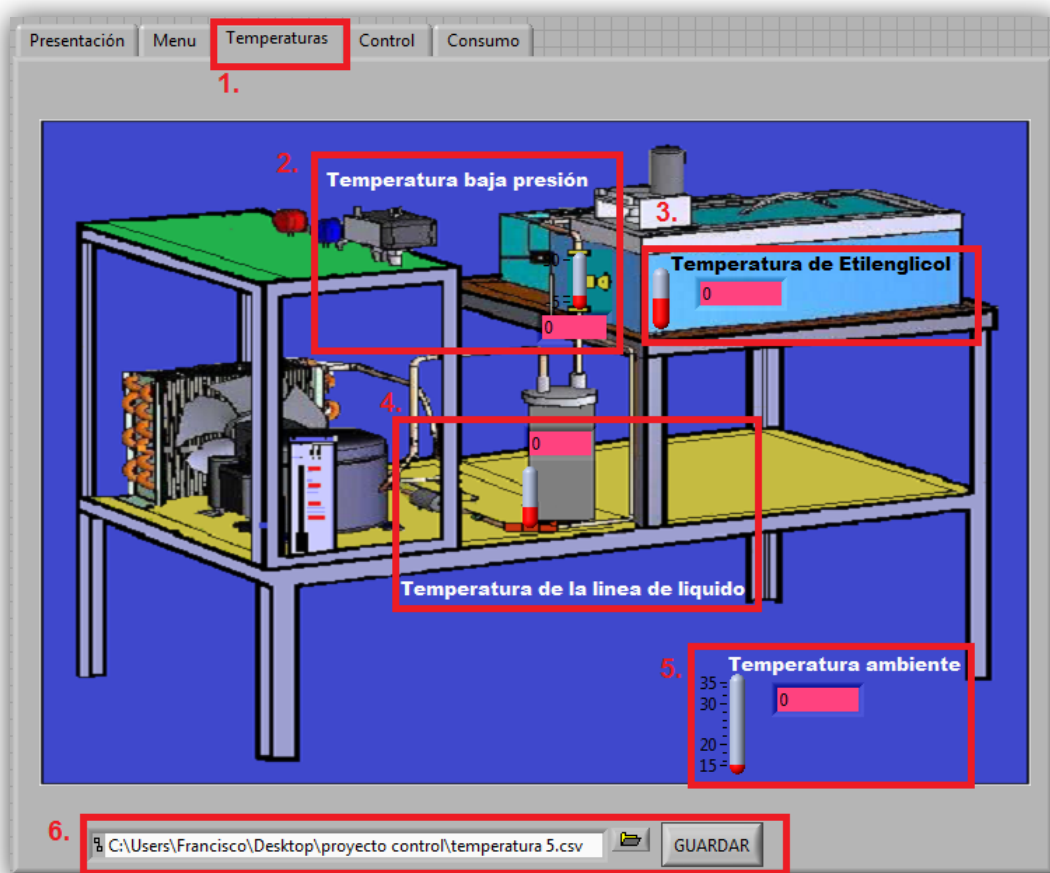
4.1.4 Temperaturas. Esta pestaña permite visualizar todas las temperaturas del proceso en cualquier instante de tiempo, mostrando la ubicación de cada una de ellas en la planta.

1. Título de la pestaña.
2. Temperatura de baja presión.
3. Temperatura del etilenglicol.
4. Temperatura de la línea de líquido.
5. Temperatura ambiente.
6. Botón *GUARDAR*: esta opción permita guardar las cuatro temperaturas mencionadas anteriormente y también guarda el valor de consumo de energía, potencia promedio, costo de consumo y el tiempo en segundos transcurridos a partir del momento en el que se da click en *GUARDAR*.

Para guardar dichos datos es necesario crear un archivo en Excel con formato .csv antes de iniciar el programa y una vez creado este archivo se debe copiar su dirección en el espacio en blanco que se encuentra junto al botón GUARDAR o se puede buscar directamente haciendo click en el ícono con forma de carpeta para abrir el archivo desde allí.

Todo esto se debe hacer antes de iniciar el programa, pero el archivo de Excel solo se debe crear una sola vez, ya después de haber sido creado simplemente es buscarlo en la ubicación donde se encuentre cada vez que se desee correr el programa.

Figura 56. Pestaña de temperaturas.

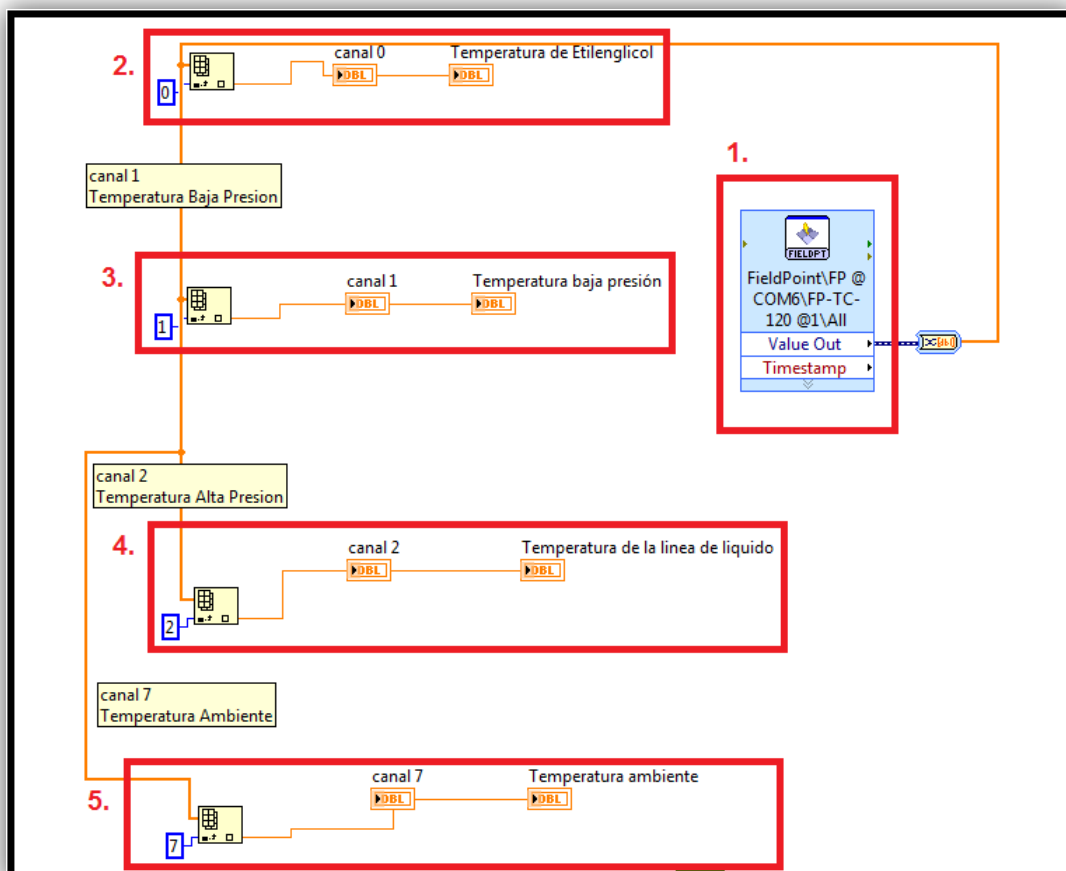


Fuente: Autores.

4.1.4.1 Diagrama de bloques de temperaturas. La adquisición de las temperaturas se realiza utilizando un Field Point que toma las señales de cada termocupla.

1. Bloque de adquisición de señales del Field Point.
2. Adquisición de la temperatura del etilenglicol.
3. Adquisición de la temperatura de baja presión.
4. Adquisición de la temperatura de la línea de líquido.
5. Adquisición de la temperatura ambiente.

Figura 57. Diagrama de bloques de adquisición de temperaturas

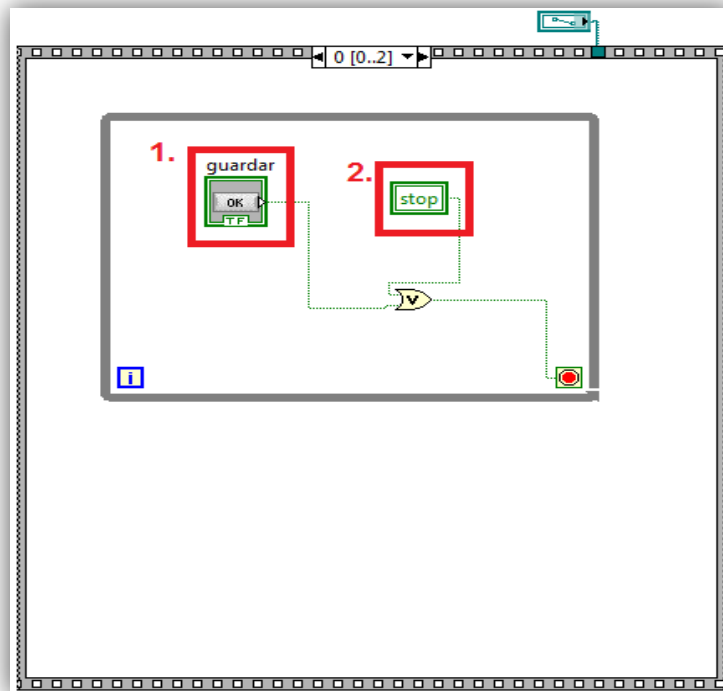


Fuente: Autores.

4.1.4.2 Diagrama de bloques del botón GUARDAR. Para guardar los datos se realizan tres pasos, el primero es el estado de espera, en el cual el programa debe esperar hasta que se presione el botón GUARDAR tal como se muestra en la figura 58.

1. Botón GUARDAR.
2. Botón STOP: al presionar STOP también se sale del estado de espera para detener el programa.

Figura 58. Estado de espera para guardar.



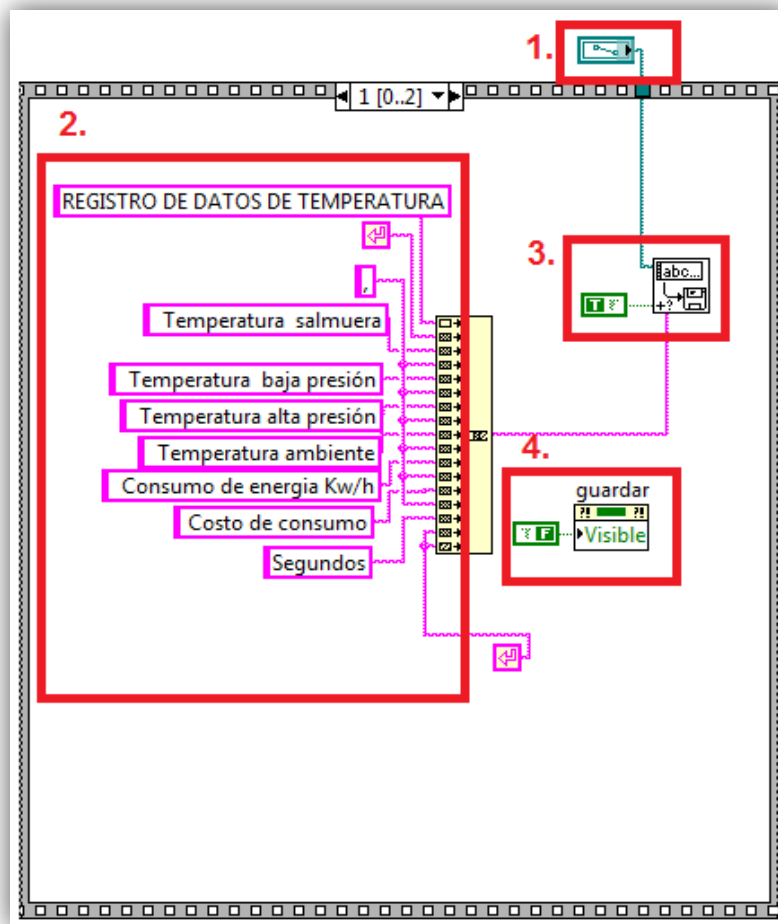
Fuente: Autores.

El siguiente paso es generar los títulos de cada uno de los datos después de haber presionado el botón GUARDAR, tal como se ve en la figura 59.

1. Ubicación donde se encuentra el archivo de Excel.

2. Títulos de cada uno de los datos guardados separados por comas.
3. SubVI. Encargado de guardar los datos en la ubicación especificada. El selector verde que se encuentra en la posición T (true) indica que la información se guarda a continuación de la información guardada en pruebas realizadas anteriormente sin necesidad de generar un nuevo archivo de Excel cada vez que se guarden datos.
4. Este comando oculta el botón GUARDAR después de haber sido pulsado.

Figura 59. Generación de los títulos de cada variable guardada.

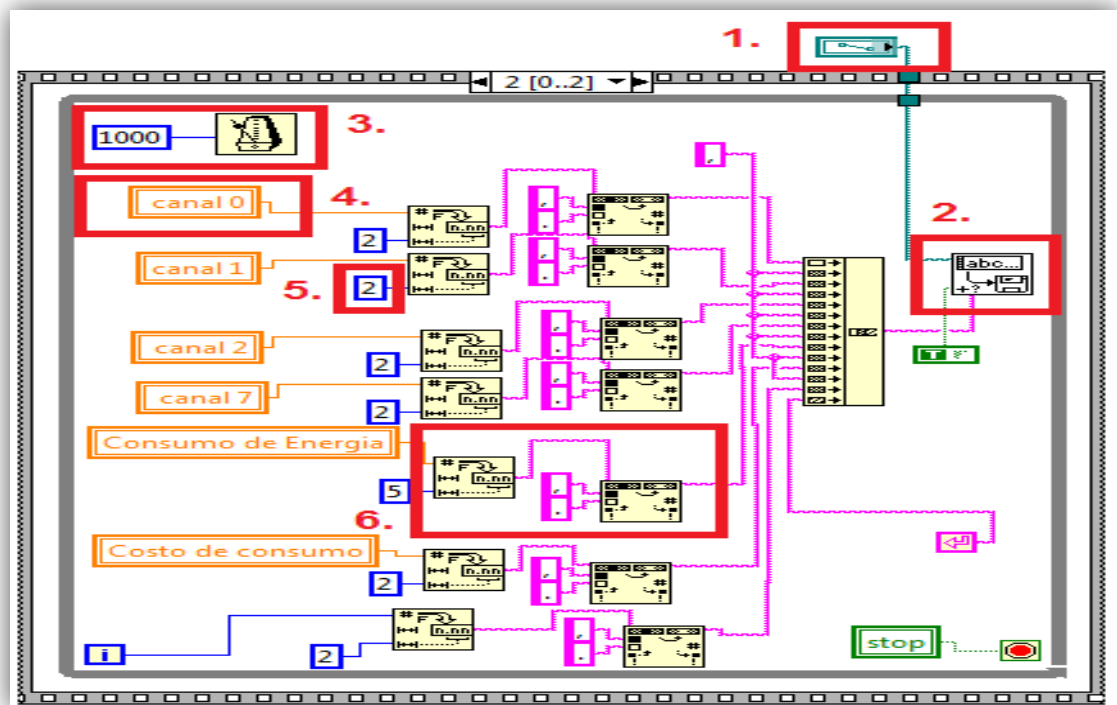


Fuente: Autores.

Finalmente se tiene un último paso encargado de guardar las variables seleccionadas en la dirección de archivo especificada. (Ver figura 60).

1. Ubicación donde se encuentra el archivo de Excel.
2. SubVI. Encargado de guardar los datos en la ubicación especificada.
3. Retardo para guardar datos cada segundo.
4. Lectura del dato que va a guardar.
5. Indica el número de dígitos de precisión con la que se guarda cada dato.
6. Modificación del formato de los datos: Convierte los datos numéricos en datos tipo string y reemplaza las comas por punto.

Figura 60. Diagrama de bloques para guardar datos.



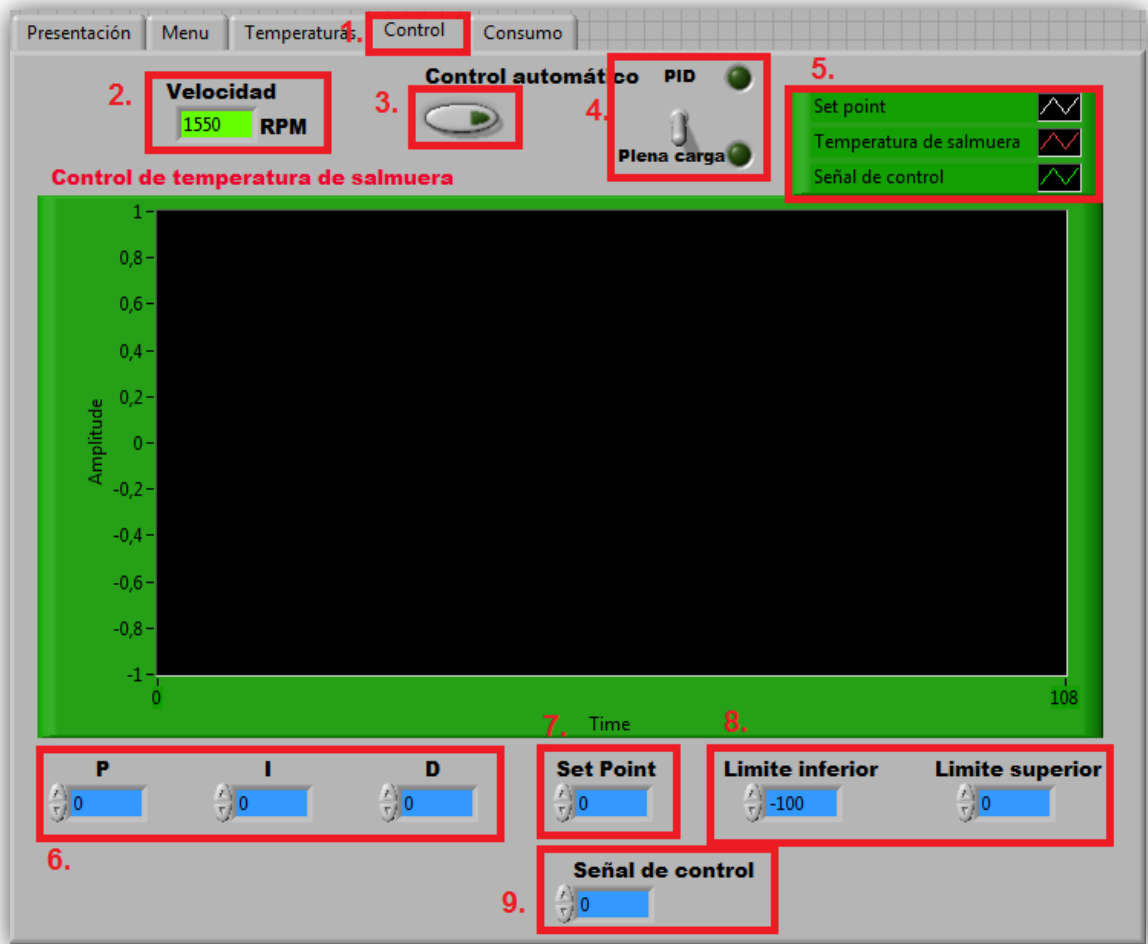
Fuente: Autores

4.1.5 Control. En esta pestaña de control se puede observar el comportamiento de la temperatura de salmuera y al mismo tiempo se realiza el control automático de la misma utilizando un control PID o manejando el compresor a plena carga.

El panel de control se muestra en la figura 61.

1. Título de la pestaña
2. Velocidad del compresor en RPM.
3. Selector de control: selecciona si es control automático o manual.
4. Selector del tipo de control: PID o plena carga.
5. Títulos de cada curva generada en la gráfica.
6. Ajuste de constantes P, I, D.
7. Ajuste del set point
8. Ajuste de límites para dar mayor precisión a la señal de control
9. Señal de control.

Figura 61. Pestaña de control



Fuente: Autores

4.1.5.1 Diagrama de bloques del proceso de control. Al realizar el control se tienen diferentes opciones de funcionamiento, las cuales se describen a continuación.

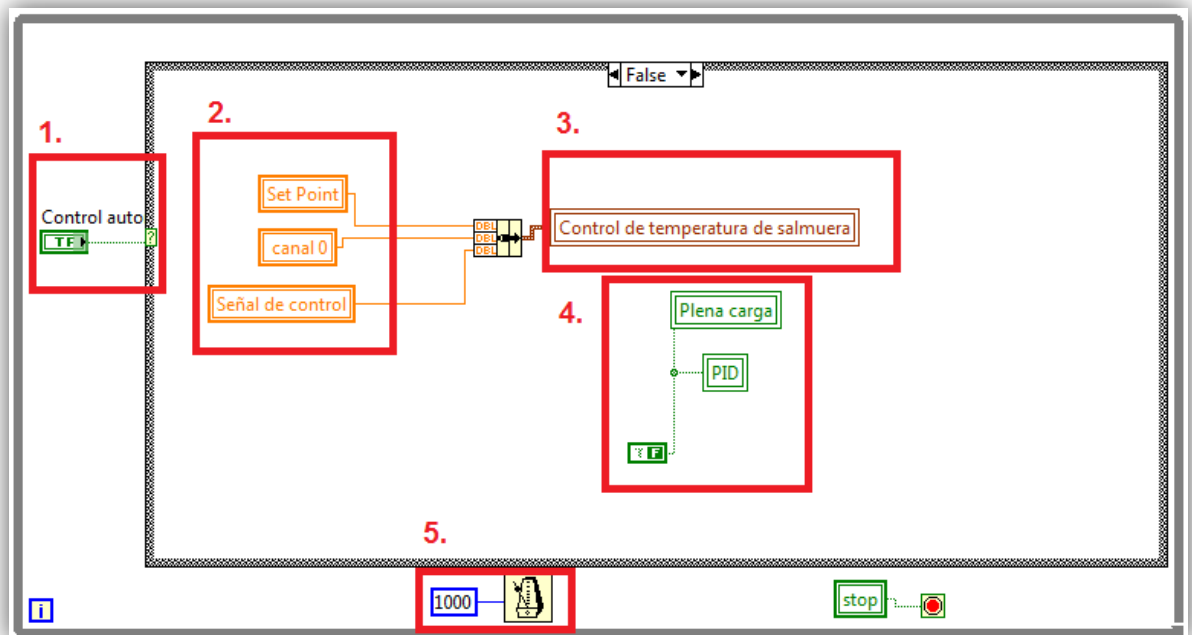
- **Control manual.** Cuando el control se encuentra en modo manual el botón Control automático se encuentra apagado y el operario debe realizar el ajuste de velocidad manualmente en la pestaña de menú en la opción ajustar velocidad de

transmisión. El comportamiento de la temperatura de salmuera se puede observar en la pestaña de Control al mismo tiempo que la velocidad del compresor.

El diagrama de bloques de este modo de operación se muestra en la figura 62.

1. Selector de control automático o manual.
2. Variables que se muestran en la gráfica.
3. Generador de gráfica.
4. Indicadores del tipo de control apagados.
5. Tiempo de espera para graficar los datos cada segundo.

Figura 62. Diagrama de bloques de control manual

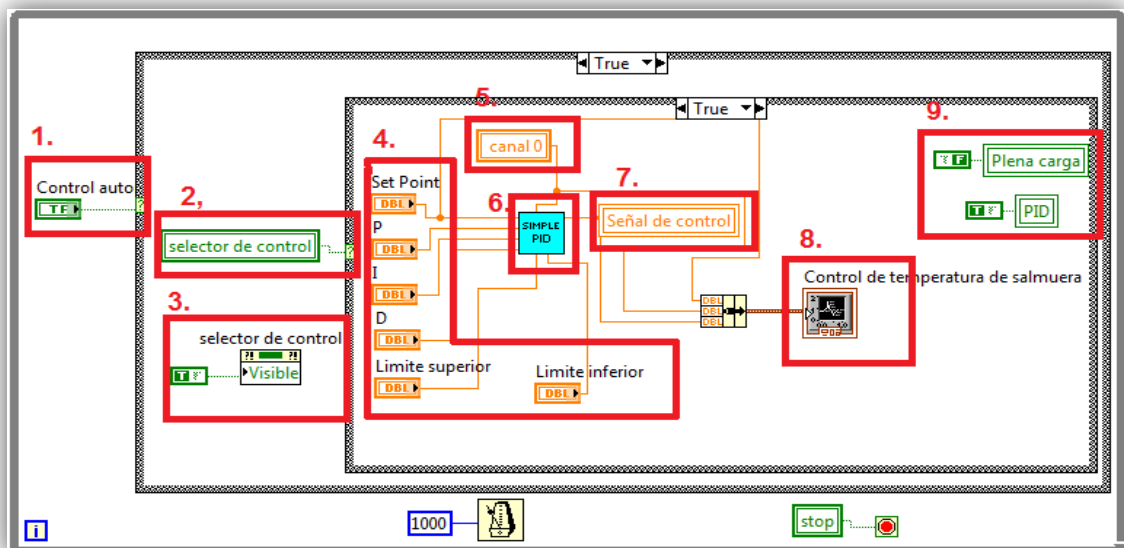


Fuente: Autores.

➤ **Control automático PID.** Cuando el proceso se encuentra operando en este modo de control, la velocidad del compresor se ajusta según la señal de control generada.

1. Selector de control automático o manual.
2. Selector de control PID o manejo a plena carga.
3. Botón *selector de control* visible.
4. Parámetros de control.
5. Variable controlada.
6. Controlador PID.
7. Señal de control.
8. Generador de gráfica
9. Indicador de control PID encendido, Indicador de plena carga apagado.

Figura 63. Diagrama de bloques de control PID

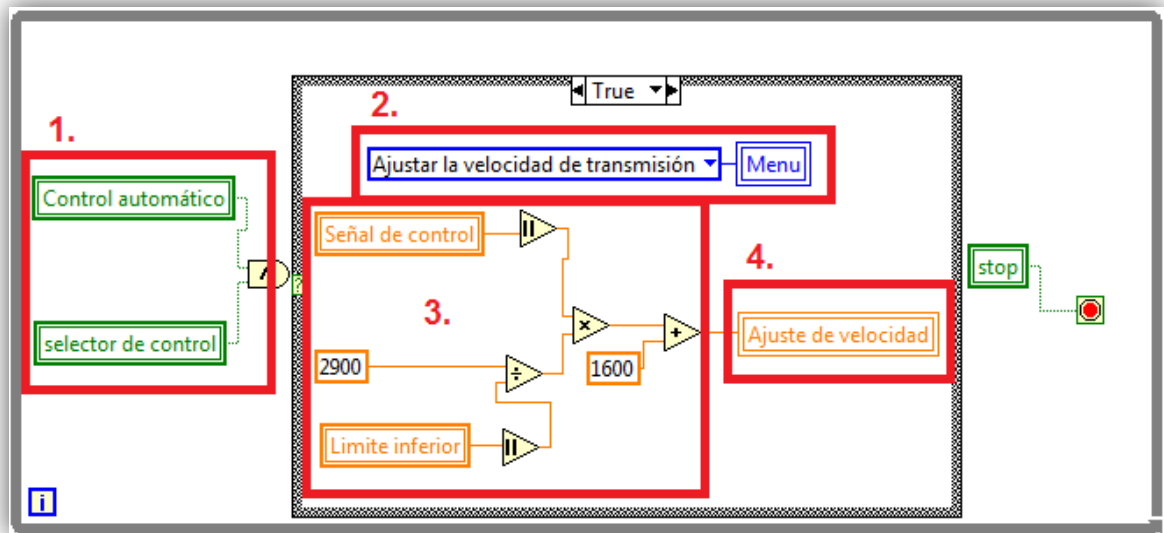


Fuente: Autores

La forma como se realiza el control de la velocidad según la señal de control generada por el PID se muestra en la figura 64.

1. El control automático debe estar encendido y el selector de control debe estar en modo PID.
2. El sistema de comunicación con el variador de velocidad se cambia a modo *ajustar velocidad de transmisión*.
3. Operación que realiza el ajuste de velocidad según la señal de control
4. Velocidad ajustada después de la acción de control.

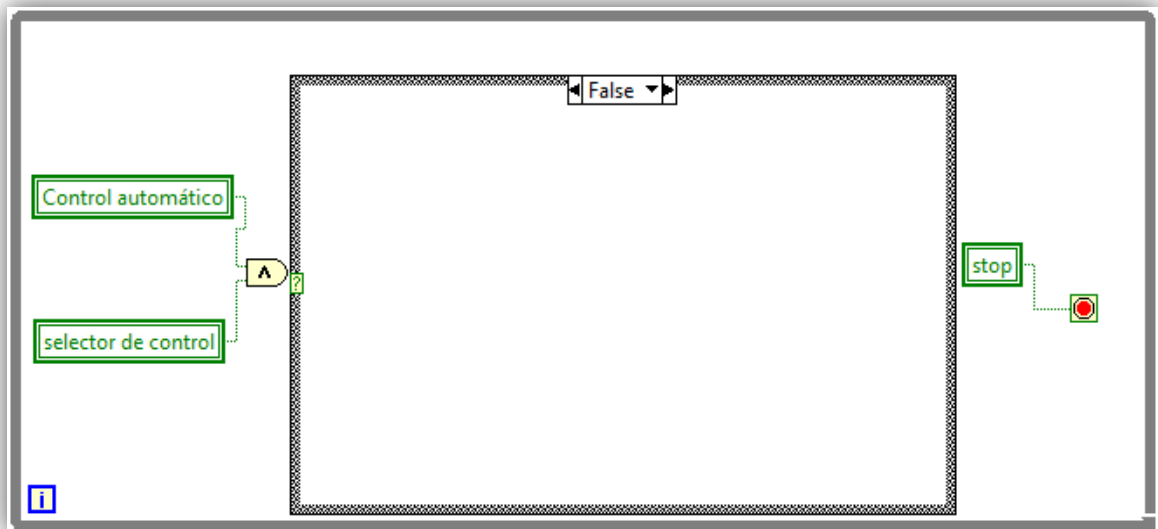
Figura 64. Diagrama de bloques del ajuste de velocidad en control PID.



Fuente: Autores

Si el control no se encuentra en el modo PID, entonces no se realiza ningún ajuste automático a la velocidad del compresor tal como se muestra en la figura 65.

Figura 65. Diagrama de bloques con el control PID apagado.

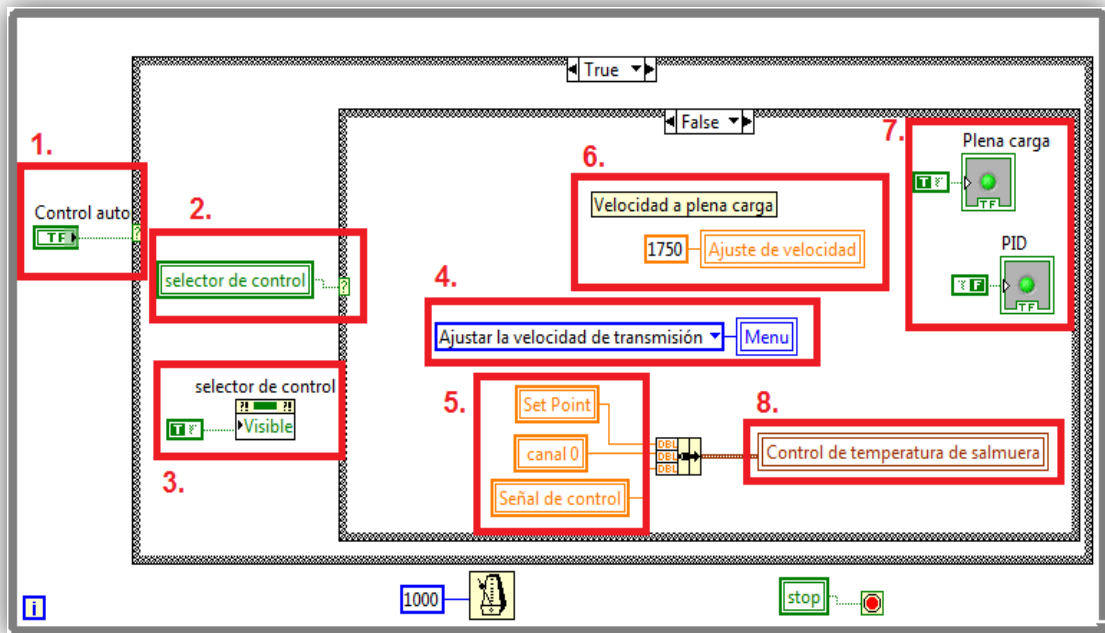


Fuente: Autores

➤ **Control automático con manejo a plena carga.** Cuando el proceso se encuentra operando en este modo de control, la velocidad del compresor se encuentra todo el tiempo a una velocidad fija establecida previamente.

1. Selector de control automático o manual.
2. Selector de control PID o manejo a plena carga.
3. Botón selector de control visible.
4. El sistema de comunicación con el variador de velocidad se cambia a modo ajustar velocidad de transmisión.
5. Variables que se muestran en la gráfica.
6. Velocidad definida.
7. Indicador de plena carga encendido, indicador de PID apagado.
8. Generador de la gráfica.

Figura 66. Diagrama de bloques de control a plena carga.



4.1.6 Consumo. La pestaña de consumo permite visualizar el valor del consumo de energía durante la operación del compresor, el consumo de potencia y el costo de operación; además se puede observar la curva de comportamiento de dicho consumo de energía.

El panel de consumo se puede ver en la figura 67.

1. Título de la pestaña.
2. Indicador del Consumo de energía en Kwh.
3. Indicador Número de pulsos generados por el contador de energía.
4. Indicador Costo del consumo de energía.
5. Indicador Potencia promedio en W.
6. Nombres de las curvas que se muestran en la gráfica.
7. Indicador Precio kwh.

8. Gráfica de consumo en Kwh.
9. Gráfica de la potencia promedio.

Figura 67. Pestaña de consumo de energía

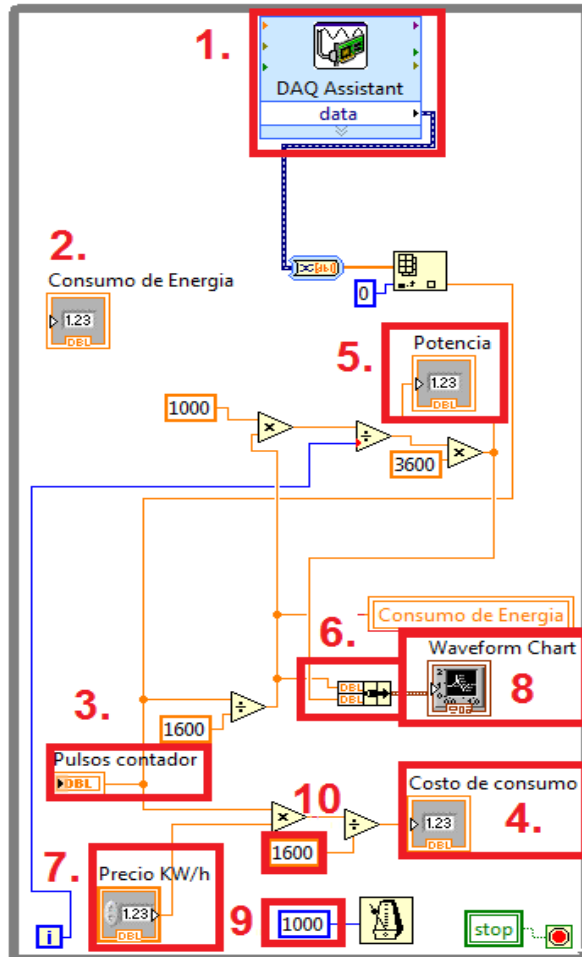


Diagrama de bloques del consumo de energía.

1. Bloque de lectura de la tarjeta de adquisición de datos.
2. Indicador del Consumo de energía en Kwh.
3. Indicador Número de pulsos generados por el contador de energía.
4. Indicador Costo del consumo de energía.
5. Indicador Potencia promedio en W.
6. Nombres de las curvas que se muestran en la gráfica.
7. Indicador Precio kwh.

8. Gráfica de consumo en Kwh y potencia promedio.
9. Retardo para tomar datos cada segundo.
10. Número de pulsos generados por cada KW/h

Figura 68. Diagrama de bloques del consumo de energía

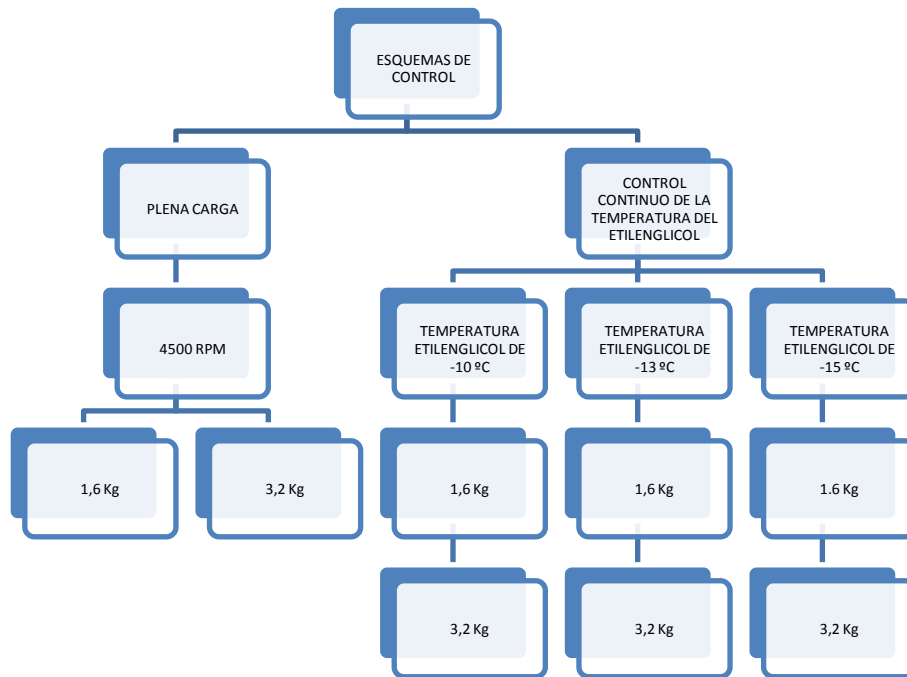


Fuente : Autores

5. PRUEBAS

Las pruebas para el estudio energético realizado a la planta piloto del laboratorio de refrigeración involucro dos esquemas de control, los cuales se encuentran en la figura 69. Para la cuales se realizo la toma de datos seguido el análisis de resultados para continuar con el estudio hasta obtener los resultados esperados

Figura 69. Escenarios de estudio para la determinación del consumo energético de la planta piloto



Fuente: Autores

5.1.1 Temperatura de referencia. Para el estudio tomamos como temperatura de referencia, la temperatura del etilenglicol, para la cual se tienen tres valores de temperatura -10°C , -13°C y -15°C , estas temperaturas se escogieron ya que corresponden a temperaturas generalmente utilizadas por fabricas de hielo en bloque en Bucaramanga; Como la fábrica de hielo Monte Blanco.

5.1.2 Cantidad de hielo a producir. Se utilizaron moldes con dimensiones de proporción dos a uno para comparar el comportamiento del consumo de energía

- a) Consumo de energía (Kwh) equivalente a la producción de 1.66 Kg por cochada.
- b) Consumo de energía (Kwh) equivalente a la producción de 3.32 Kg por cochada.

5.2 TOMA DE DATOS.

En este estudio se realizaron 15 pruebas con los escenarios nombrados en la tabla 15. Para cada una de las pruebas se realizó en siguiente procedimiento:

1. Conectar el variador de velocidad al compresor y comunicarlo con el computador por medio de un puerto de comunicación RS232.
2. Conectar termocuplas al sistema de adquisición de datos field point.
3. Conectar el contador digital HOME a la línea de alimentación eléctrica del variador de velocidad.
4. Conectar tarjeta de adquisición de datos USB 6009 al contador digital HOME y comunicarlo al computador por puerto USB.
5. Puesta en marcha del sistema (prendido del compresor, ventilador del condensador y alimentación del field point).

6. Se espera que la temperatura del etilenglicol llegue a -5 grados centígrados y se procede a introducir la cubeta de agua para empezar la toma de datos. Todas las medidas se tomaron segundo a segundo.

- Contador digital HOME: consumo de energía y potencia promedio.
- Termocuplas: temperatura ambiente, temperatura a la salida del condensador, temperatura del etilenglicol y temperatura de evaporación.


7. Los datos se tomaron hasta que el hielo se formo por completo.

Tabla 15. Escenarios de investigación para la determinación del consumo energético

	SISTEMA CON TAPA				SISTEMA SIN TAPA															
	AGITADOR ENCENDIDO				AGITADOR APAGADO															
ESCENARIOS	1		2		3															
PRODUCCION	3.2 KG		1.6 KG		3.2 KG		1.6 KG		6.7 KG	5.1 KG										
TEMPERATURA DE CONTROL	TETILENGLICOL				TEVAPORACION				TEVAPORACION											
	-10	-13	-15	Pc	-10	-13	-15	Pc	-10	-13	-15	Pc	-10	-13	-15	Pc	-10	-13	-15	Pc
PID	X	X	X		X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X			X
TEMPERATURA EN GRADOS CENTIGRADOS. PLENA CARGA (Pc)																				

En las tablas 16 se muestran el formato que se uso para la toma de datos de las variables térmicas y eléctricas respectivamente Datos simplificados hora a hora.

Tabla16. Datos de la prueba realizada en el escenario 3 con temperatura evaporación de -15 para una producción de 6.7 kg de hielo.

		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				FECHA: 05-08-10	
						ESCENARIO 3	
		ANALISIS DE LOS ESQUEMAS PARA LA PRODUCCION DE HIELO EN BLOQUE				6.7 KG	
		REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO				TEMPERATURA DE REFERENCIA-15	
Temperatura salmuera	Temperatura baja presión	Temperatura alta presión	Temperatura ambiente	Consumo de Energía (Kwh)	Potencia	Segundos	
-3,95	1,38	21,42	24,44	0	0	0	
1,13	-10,36	27,9	25,72	0,14063	116,84	3600	
-7,4	-10,39	25,32	24,6	0,28813	130,72	7200	
-8,71	-11,95	25,56	25,07	0,43312	135,22	10800	
-8,27	-12,01	24,75	24,63	0,57375	136,51	14400	
-9,39	-14,59	23,32	24,16	0,7125	136,91	18000	
-10,45	-14,53	21,98	23,98	0,8275	133,38	21600	
-11,7	-14,93	21,74	23,95	0,90625	125,8	25200	
-11,88	-14,93	21,58	23,88	0,93125	121,91	26764	
Temperaturas en grados centígrados, potencia promedio en wattios							

5.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.

Se realizaron 15 pruebas de las cuales se obtuvieron resultados que se mostraran a continuación se presentaran en forma grafica.

5.3.1 Escenario 1: producción 1,6 kg de hielo, control temperatura del etilenglicol. En las figura 70, 71 y 72 se puede observar que la temperatura del etilenglicol durante el desarrollo de la prueba no es controlada, mientras que la temperatura de evaporación tiende a estabilizarse, razón por la cual se cambian las condiciones y escenario para las pruebas.

Figura 70. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 1).

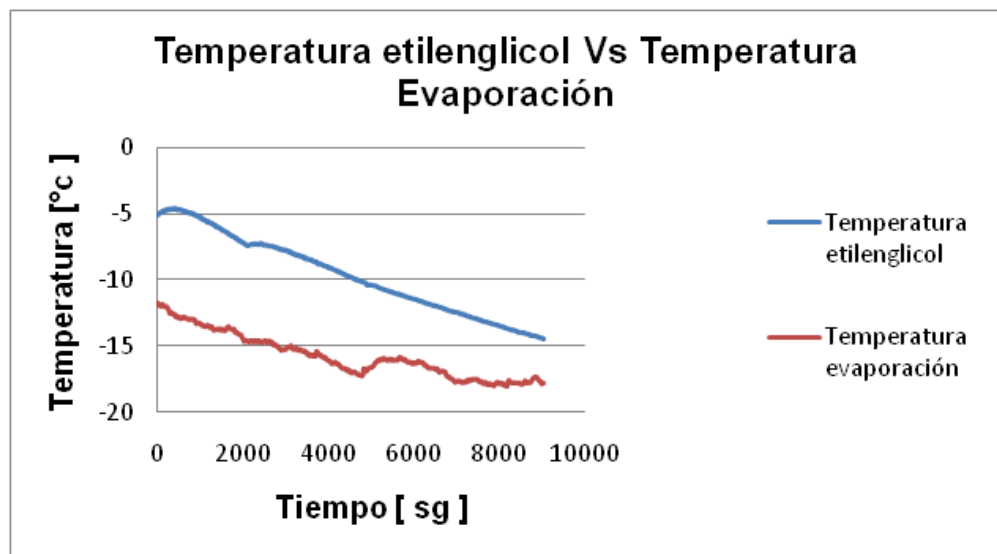


Figura 71. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 2).

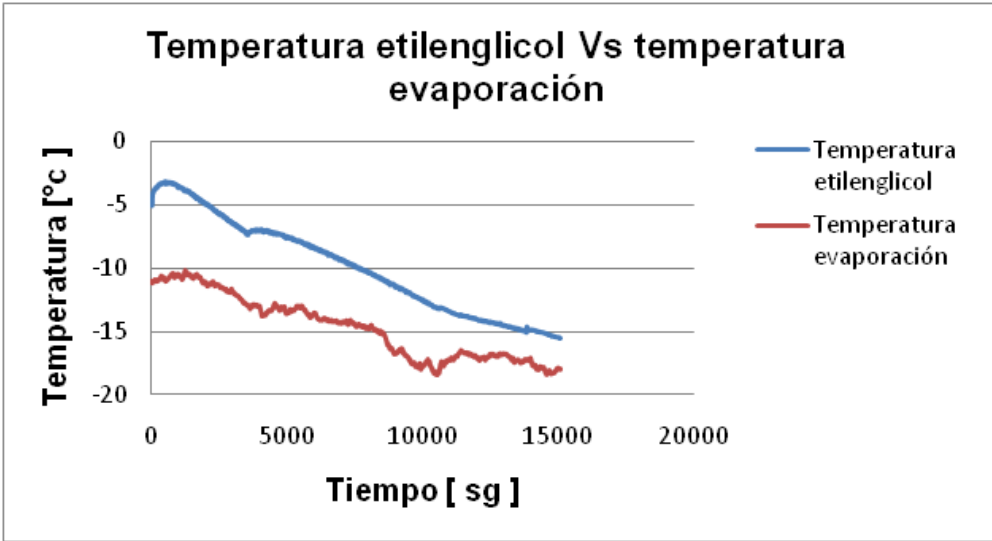
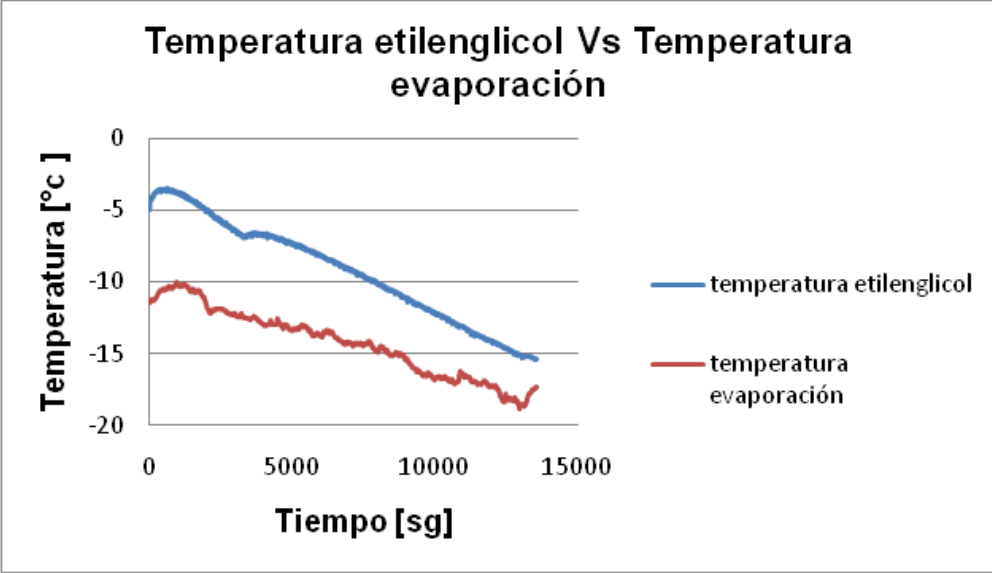


Figura 72. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (Prueba 3).



5.3.2 Escenario 1, producción 3.2 kg de hielo, control de la temperatura etilenglicol. En las figura 73, 74 y 75 se puede observar que la temperatura del etilenglicol durante el desarrollo de la prueba no es controlada, mientras que la temperatura de evaporación tiende a una estabilización más marcada que la obtenida con las pruebas de producción de 1.6 kg.

Figura 73. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 4).

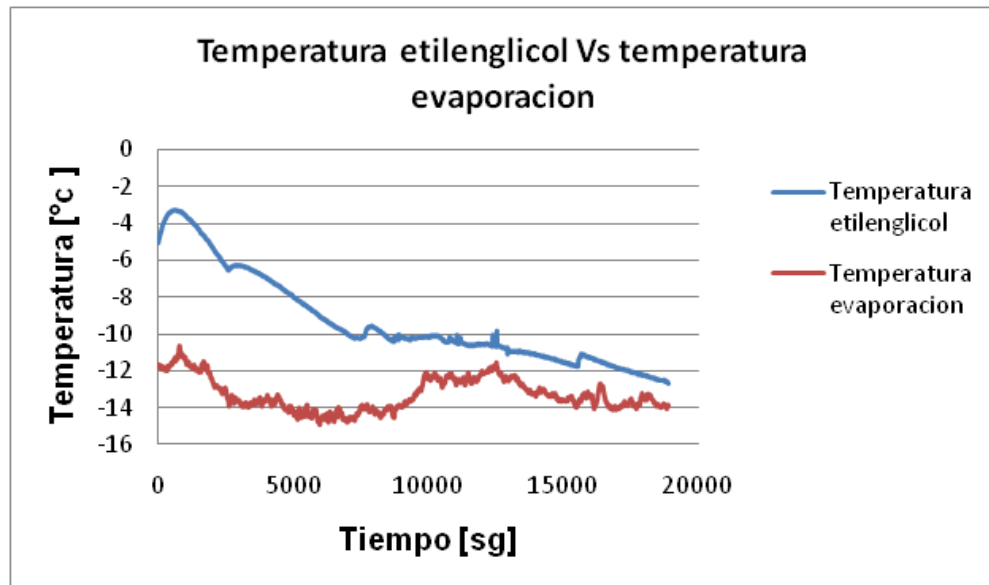


Figura 74. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 5).

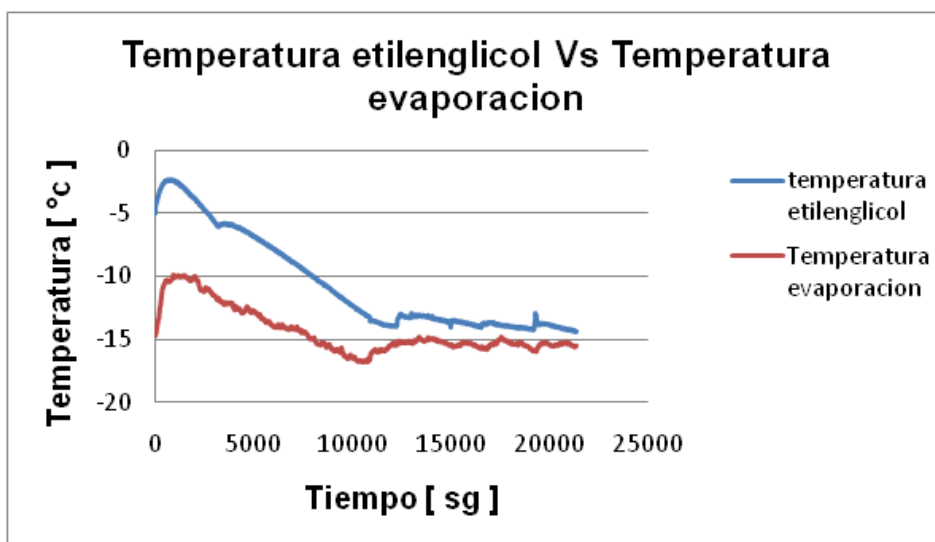
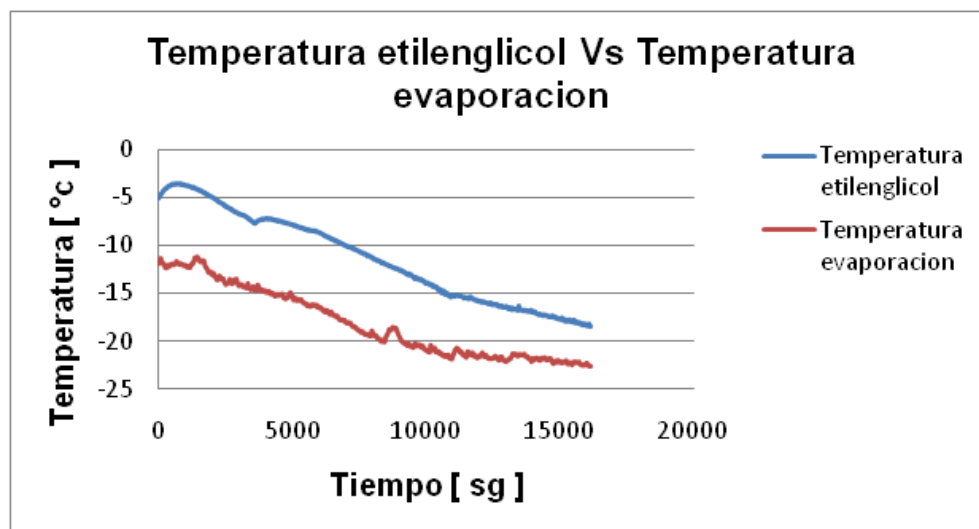


Figura 75. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 6).



5.3.3 Escenario 2: producción 3.6 kg de hielo, control temperatura de evaporación. Los parámetros de control para las siguientes pruebas se toman como resultado de los datos obtenidos en las pruebas 4, 5 y 6. Tomamos como temperatura de control la temperatura de evaporación, la cual tiende a estabilizarse en la prueba 4 en $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la prueba 5 en -15°C y en la prueba 6 en -18°C . Tomando estas temperaturas como las nuevas temperaturas de referencia.

Figura 76. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (prueba 7).

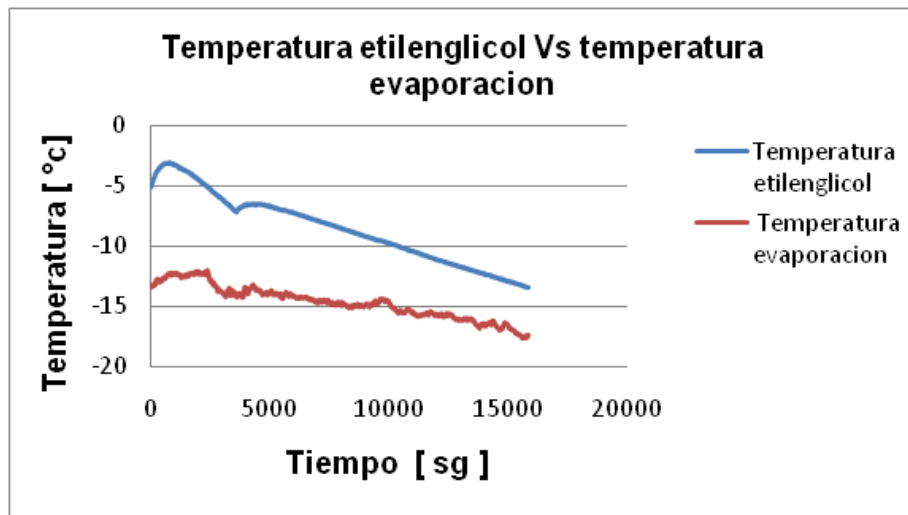


Figura 77. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 8).

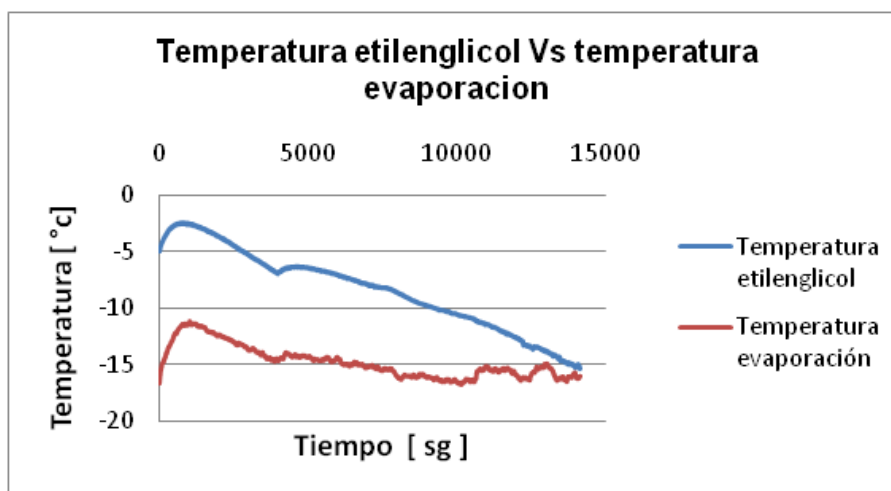
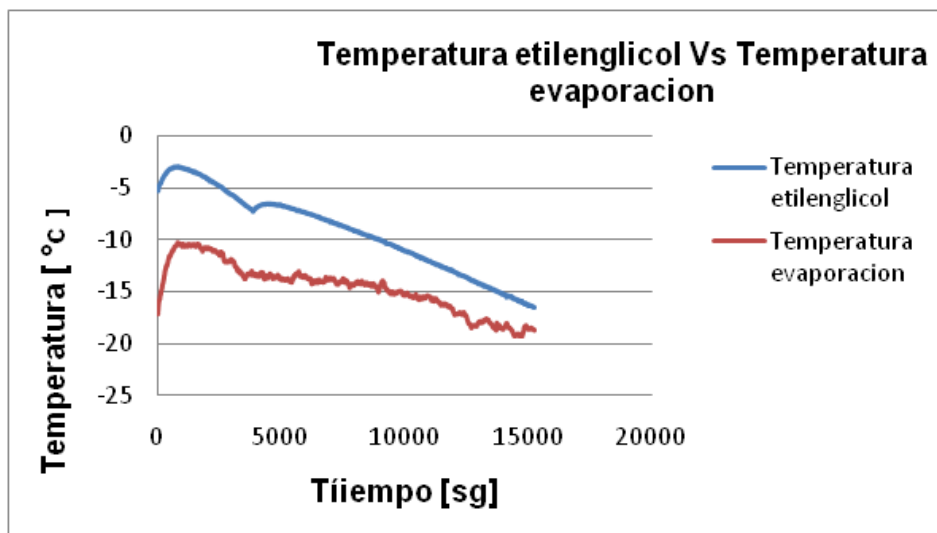


Figura 78. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -18 °C (prueba 9).



El comportamiento de la temperatura de evaporación no está siendo controlado debido a que el rango de velocidades del compresor (1600rpm a 4500rpm) es muy alto para este sistema. Por esta razón no se hacen pruebas para la cubeta que me produce 1.6 Kg de hielo ni para el de plena carga.

5.3.4 Escenario 3. Producción 6,7kg de hielo, control temperatura de evaporación. Buscando poder tener control en el sistema se aumento la carga en 3.5 Kg., se le quito la tapa a la tina de congelación ya que esta situación corresponde a la realidad, de las empresas que producen hielo en bloque y el agitador buscando tener más espacio para la ubicación de mas carga en el sistema.

5.3.4.1 Temperatura de referencia (-10): prueba 10. En la figura 79 se puede ver como la temperatura de evaporación debido al control PID permanece muy cercana a la temperatura de referencia dada que en este caso es de 10°C , y con un duración de 31708 segundos para la formación total del hielo.

En la figura 80 se ve que el consumo de potencia no es constante, a los 5000 segundos se observa la mayor potencia ya que el compresor está funcionando a su máxima velocidad para alcanzar el punto de referencia (-10°C), después de este tiempo debido al cambio de frecuencia que da el variador de velocidad producto del control PID la potencia promedio empieza a disminuir y tiende a permanecer constante en 104.3 W.

Figura 79. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 10).

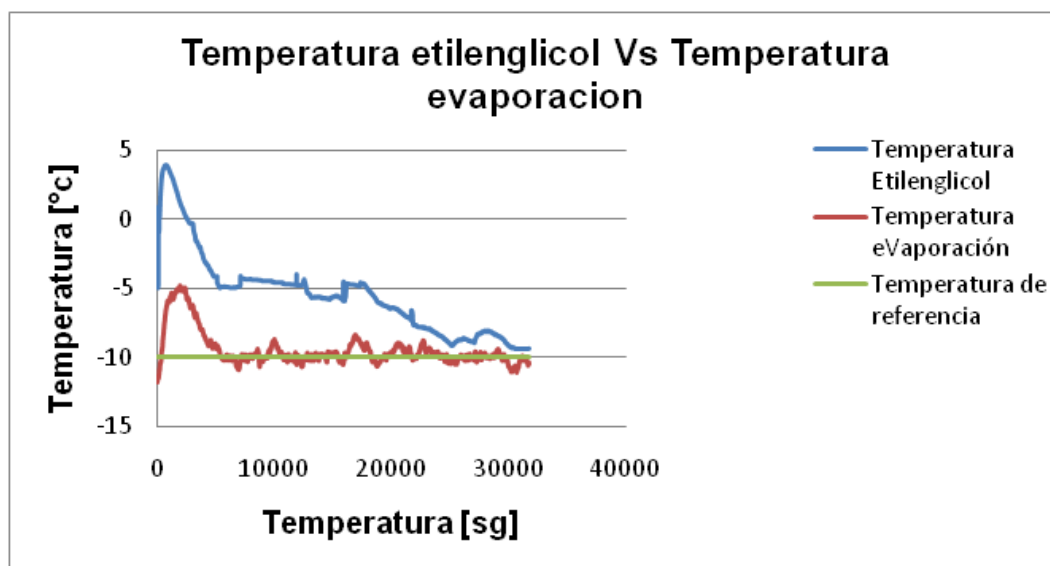
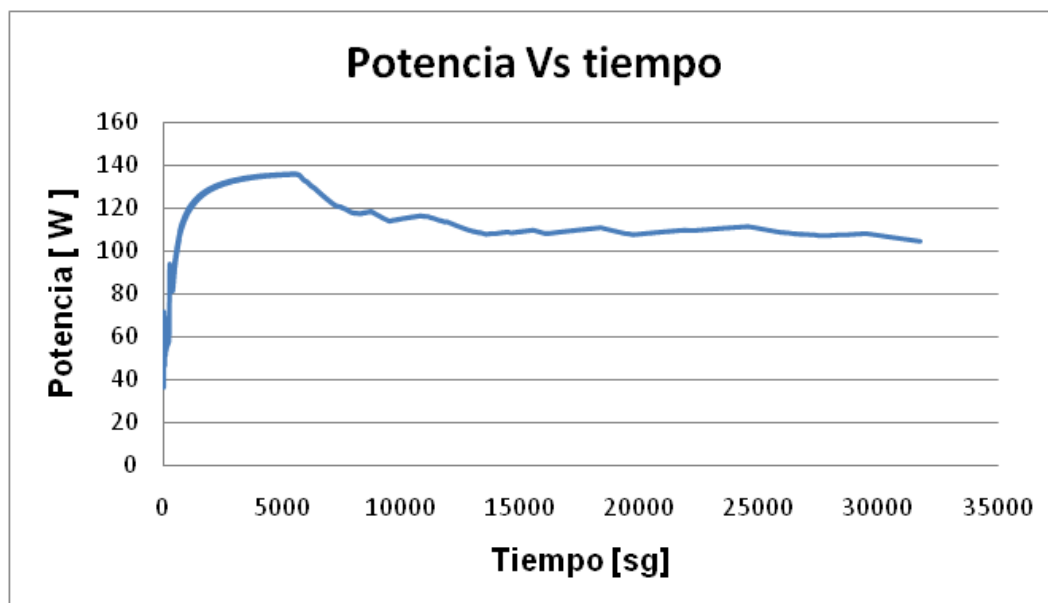
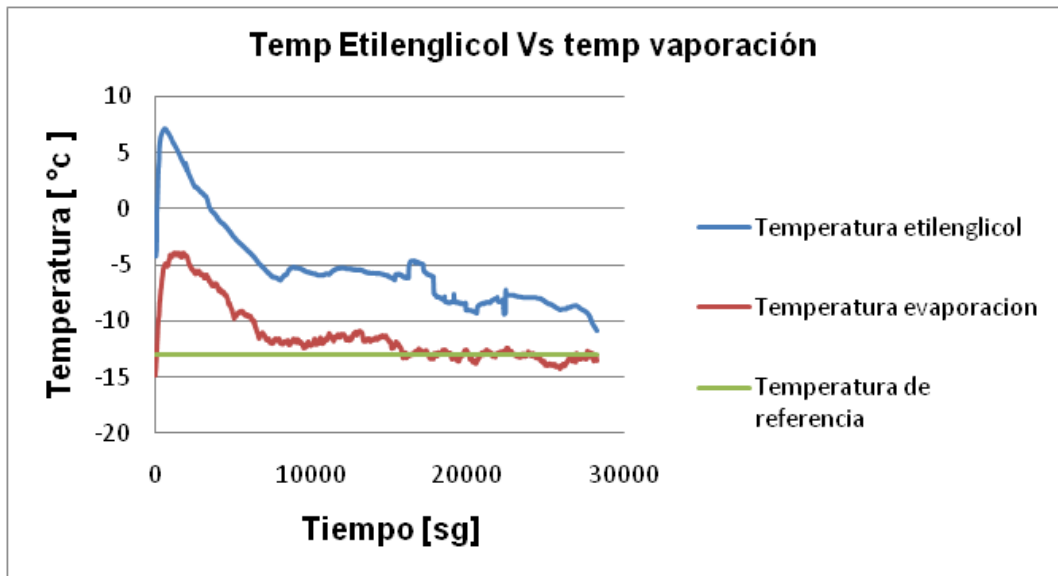


Figura 80. Potencia Vs Tiempo, con Temperatura referencia -10 °C (prueba 10).



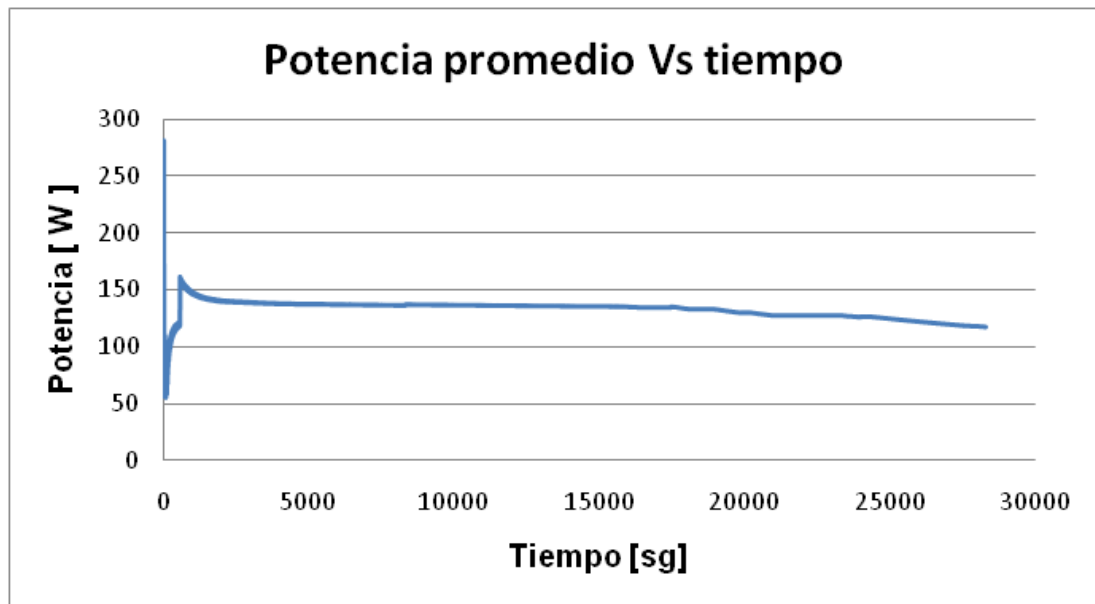
5.3.4.2 Temperatura de referencia (-13): prueba 11. En la figura 81 se puede ver como la temperatura de evaporación debido al control PID permanece muy cercana a la temperatura de referencia dada que en este caso es de -13°C , y el tiempo para la formación del hielo fue de 28309 segundos.

Figura 81. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -13°C (prueba 11).



En la figura 82 se ve que el consumo de potencia no es constante, a los 17000 segundos se observa que la potencia decrece después de alcanzar el punto de referencia (-13°C), después de este tiempo debido al cambio de frecuencia que da el variador de velocidad producto del control PID la potencia promedio empieza a disminuir y tiende a permanecer constante en 121.91 W.

Figura 82. Potencia Vs Tiempo, con Temperatura referencia -13 °C (prueba 11).



5.3.4.3 Temperatura de referencia (-15): prueba 12. En la figura 83 se puede ver como la temperatura de evaporación debido al control PID permanece muy cercana a la temperatura de referencia dada que en este caso es de -13°C, y el tiempo para la formación del hielo fue de 28309 segundos.

Figura 83. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 12).

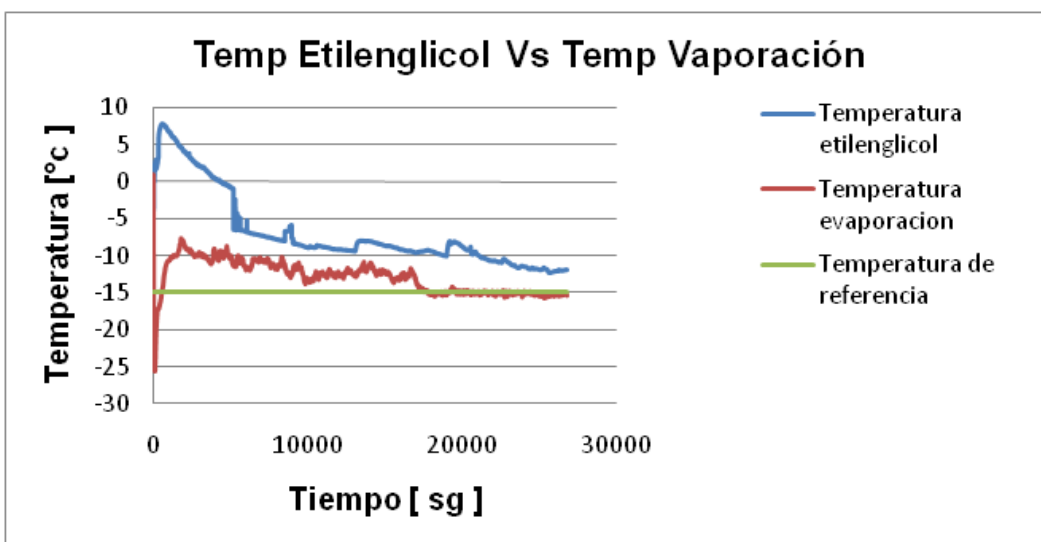
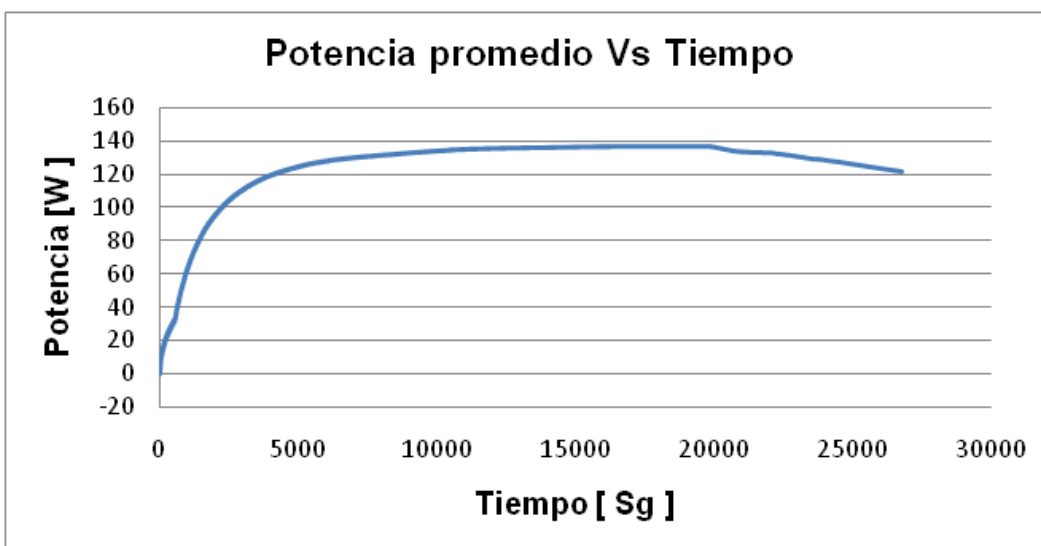


Figura 84. Potencia Vs Tiempo, con Temperatura referencia -15 °C (prueba 12).



En la figura 84 se ve que el consumo de potencia no es constante, a los 20000 segundos se observa la mayor potencia ya que el compresor está funcionando a su máxima velocidad para alcanzar el punto de referencia (-15°C), después de este tiempo debido al cambio de frecuencia que da el variador de velocidad producto del control PID la potencia promedio empieza a disminuir y tiende a permanecer constante en 118,91W.

En la tabla 16 se presentan las potencias promedio al final de cada prueba para la producción de hielo (6,7 Kg) con control PID manejados en este estudio. En conclusión de estas pruebas se puede decir que a menor temperatura de evaporación menor será la potencia promedio, pero a menor temperatura de evaporación mayor será el tiempo en el que el hielo se forme pero alcanzara más rápido el punto de referencia trabajando por ende el compresor a menor velocidad lo que hace que la potencia se reduzca con el tiempo.

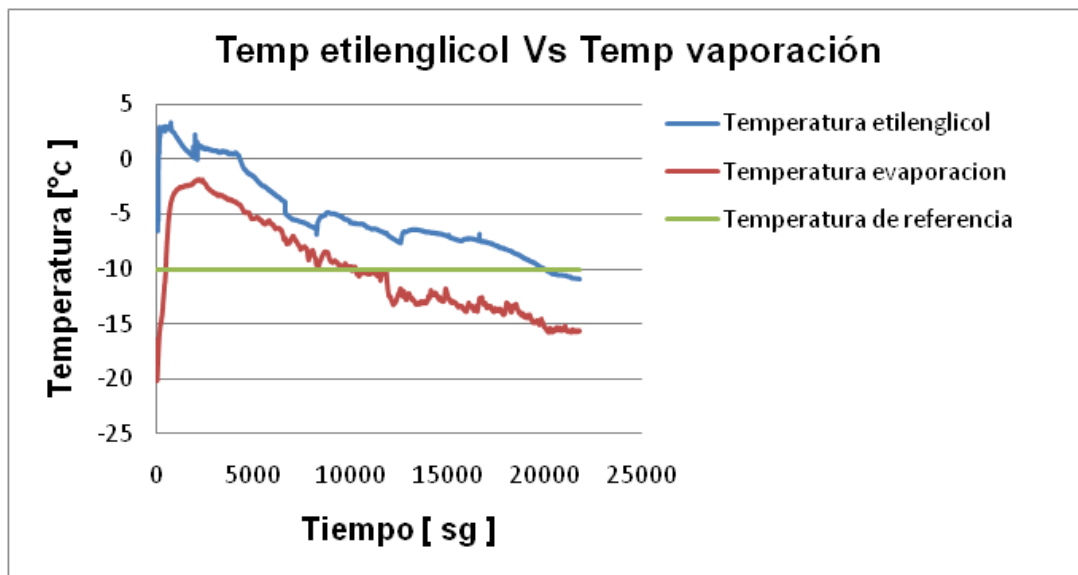
Tabla 17. Potencia promedio con control PID para las pruebas 10, 11 y 12

6,5 KG DE HIELO PRODUCIDO	POTENCIA PROMEDIO [W]	TIEMPO DE PRODUCCION [SG]	ESTABILIDAD [SG]	DISMINUCION DE POTENCIA [%]
-10°C	104,3	31708	5000	14,44
-13°C	117,54	28309	17000	3,58
-15°C	121,91	26764	20000	Punto de referencia

5.3.5 Escenario 3. Producción 5,1kg de hielo, controlando temperatura de evaporación.

5.3.5.1 Temperatura de referencia (-10): prueba 13. Para esta prueba se observa que no se pudo realizar control lo que nos llevo a no hacer las pruebas para las temperaturas de referencia de -13°C y -15°C . Lo que nos sigue mostrando que el sistema necesita más carga (kg de hielo a producir) para poder controlar

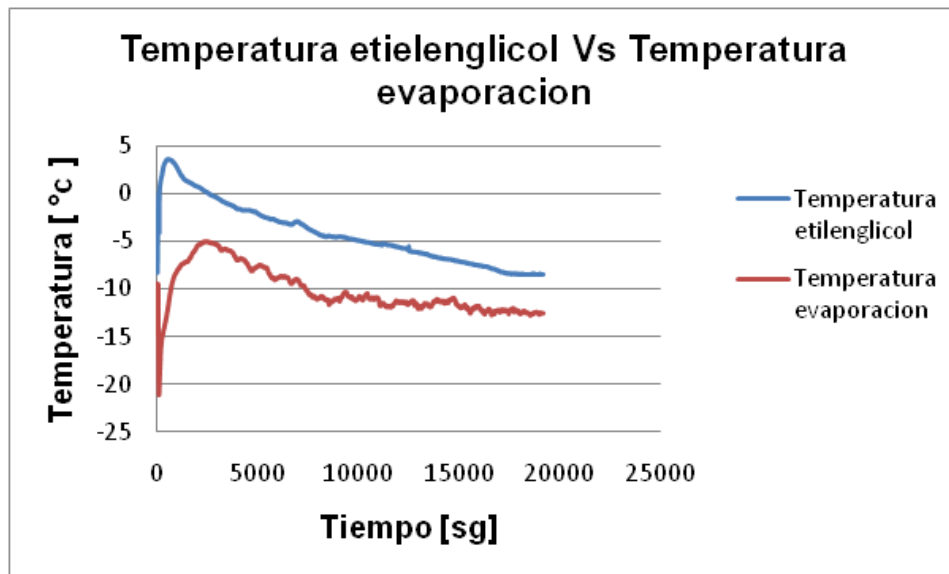
Figura 85. Comportamiento de la temperatura del etilenglicol y de evaporación, con Temperatura referencia -10°C (prueba 13).



5.3.6 Escenario 3. A plena carga (4500 rpm).

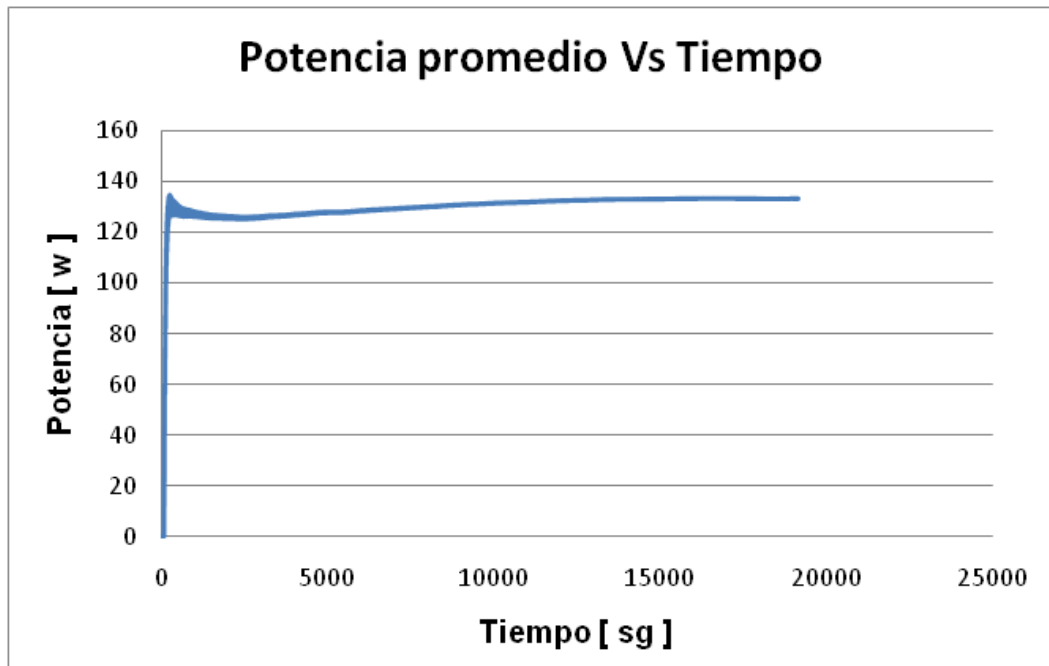
5.3.6.1 Producción de 5,1Kg hielo a plena carga y máxima velocidad (4500 rpm): prueba 14. En la figura 86 Se observa que la temperatura del etilenglicol y la temperatura de evaporación tienen pendientes parecidas; es la producción de más corta duración en el escenario tres.

Figura 86. Temperatura etilenglicol Vs temperatura evaporación a plena carga y 5,1 kg



La potencia permanece constante durante todo el proceso, teniendo una de las potencias promedios de más alto valor en relación con la carga a producir de hielo.

Figura 87. Potencia promedio: prueba 14



1.1.1.1 Producción de 6,7Kg hielo a plena carga y máxima velocidad (4500 rpm): prueba 15. En la figura 88 Se observa que la temperatura del etilenglicol y la temperatura de evaporación tienen pendientes parecidas.

En la figura 89 se observa que el compresor tiene un arranque suave, pero después presenta un pico, para después permanecer relativamente constante, manteniendo una potencia alta,

Figura 88. Temperatura etilenglicol Vs temperatura evaporación a plena carga y 5,1 kg

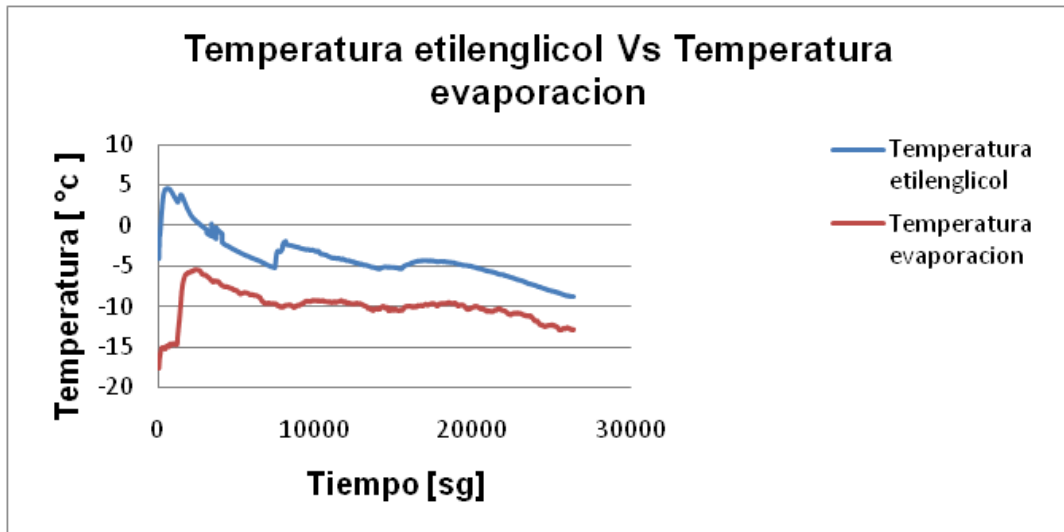
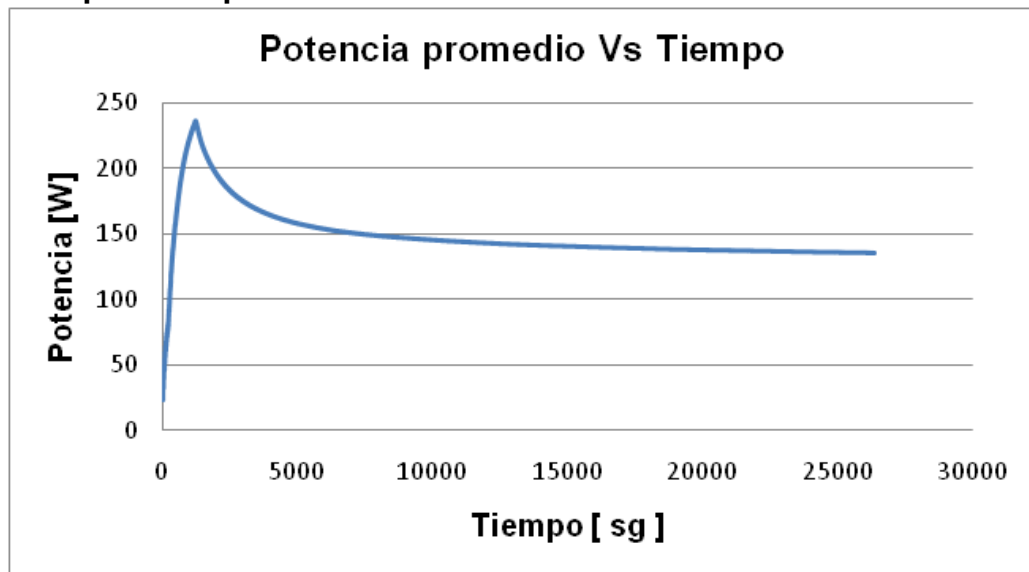


Figura 89. potencia promedio: Prueba 15



En la tabla 16 se presentan las potencias promedio al final de cada prueba para la producción de hielo 6,7 Kilogramos y 5,1 Kilogramos. Mostrándonos que ambas pruebas tienen aproximadamente iguales las potencias promedio.

Tabla 18. Potencia promedio a plena carga para las pruebas 14 y 15

KILOGRAMOS DE HIELO PRODUCIDO	POTENCIA PROMEDIO [W]	TIEMPO DE PRODUCCION [SG]
6,7	135,471	26374
5,1	133,35	19142

6. COMPARACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL IMPLEMENTADAS

La energía consumida por las dos estrategias, sistema controlado y a plena carga implementada a la planta piloto productora de hielo del laboratorio de refrigeración arrojó diferentes consumos de energía como se esperaba, consumiendo más energía el sistema a plena carga que el controlado.

Dentro de los resultados resumidos y presentados en la tabla 19 y 20 se puede concluir:

- A menor temperatura de evaporación el consumo de energía es mayor.
- Para una temperatura $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una producción de 6,7 Kg, el consumo de energía es mayor que si se trabaja a la misma temperatura pero con una producción de 5,1 Kg. Para el mismo caso los tiempos requeridos para la producción son mayores a mayor masa.
- Los tiempos de producción a plena carga son mucho más bajos que en los otros casos.
- Para el caso en donde la temperatura es de $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una masa de 5,1 Kg de producción no se obtienen datos para el control continuo ya que no se puede controlar el sistema.

Tabla 19. Porcentajes de ahorro de energía para una producción de 6,7 Kg.

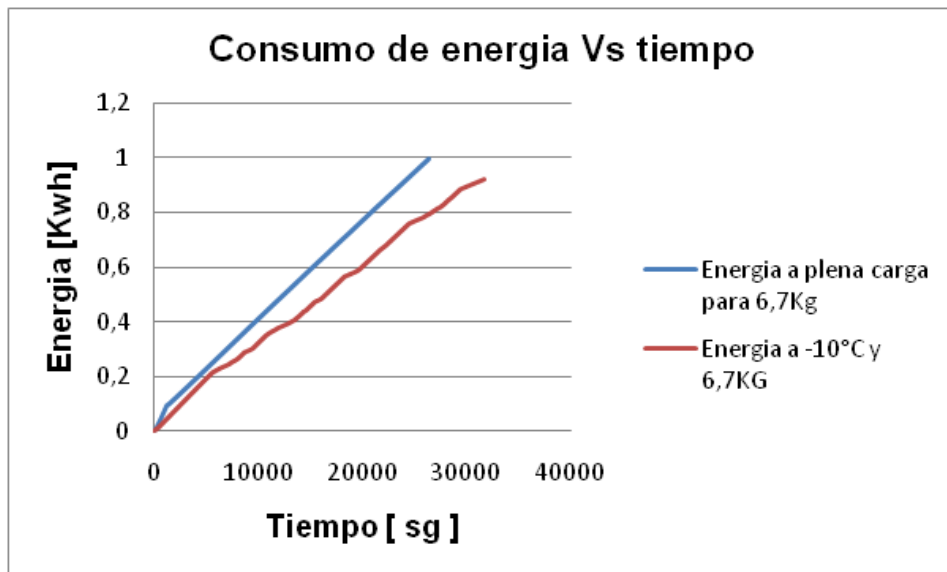
TEMPERATURA	ESTABILIDAD	TIEMPO DE PRODUCCION	CONSUMO DE ENERGIA		AHORROS
			PLENA CARGA	PID	%DE AHORRO PID Vs Pc
-10	5000	31708	-----	0,91937	8,005
-13	17000	28309	-----	0,92437	7,5056
-15	20000	26764	-----	0,93125	6,8172
Pc		26374	0,99938	-----	-----

Tabla 20. Porcentajes de ahorro de energía para una producción de 5,1 Kg.

TEMPERATURA	ESTABILIDAD	TIEMPO DE PRODUCCION	CONSUMO DE ENERGIA		AHORROS
			PLENA CARGA	PID	%DE AHORRO PID Vs Pc
-10	7000	21396	-----	0,595	16,1971
-13	-----	-----	-----	-----	-----
-15	-----	-----	-----	-----	-----
Pc		-----	0,71	-----	-----

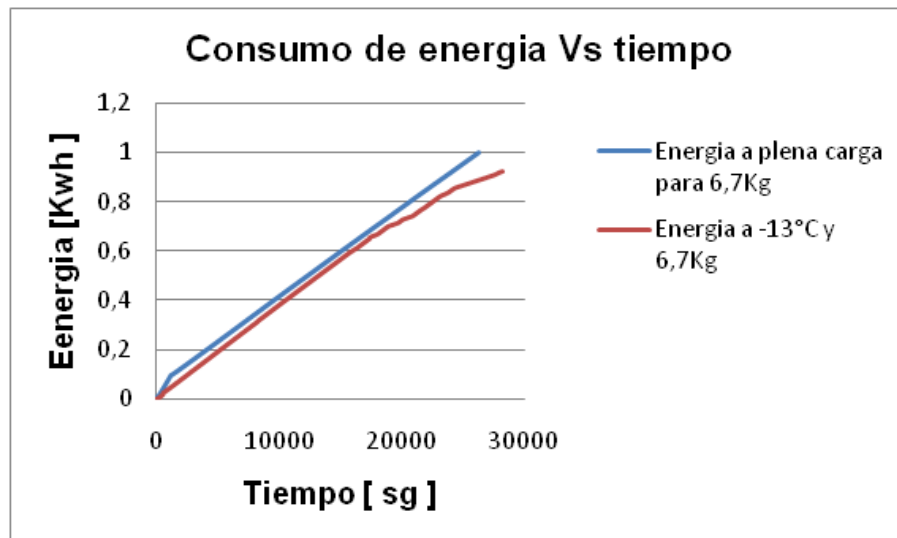
A continuación se presentan las graficas de los diferentes controles donde se puede ver el efecto que tiene el mismo en el consumo de energía.

Figura 90. Comparación del consumo para producir 6.7 kg a plena carga y controlada a -10°C.



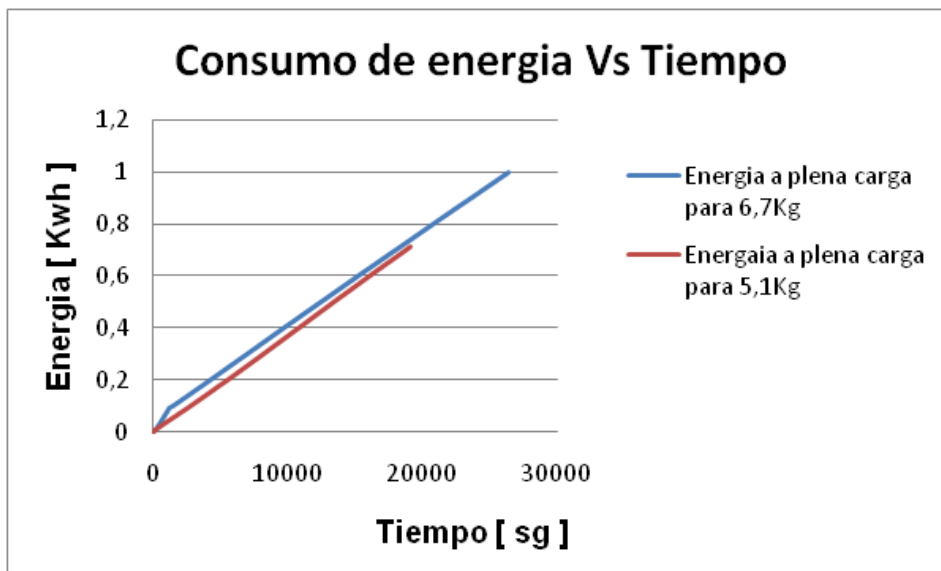
En la figura 90 se observa que las pendientes de consumo son iguales hasta alcanzar la temperatura de referencia en donde el sistema controlado cambia de comportamiento y se disminuye la pendiente debido a que la velocidad del compresor disminuye.

Figura 91. Comparación del consumo para producir 6.7 kg a plena carga y controlada a -13°C



En la figura 91 se observa que las dos pendientes permanecen constantes hasta los 20000 segundos que es el tiempo en que se demora el sistema en alcanzar la temperatura de referencia para luego empezar a controlar; en relación la figura 90 se observa que a mayor temperatura de referencia se requiere de más tiempo para alcanzarla.

Figura 92. Comparación del consumo para producir 6.7 kg y 5.1kg a plena.



En la figura 93 se observa que el comportamiento de las pendientes es similar ya que el compresor gira a su máxima velocidad (4500 RPM), pero el tiempo de producción es menor para el sistema de 5.1 kg.

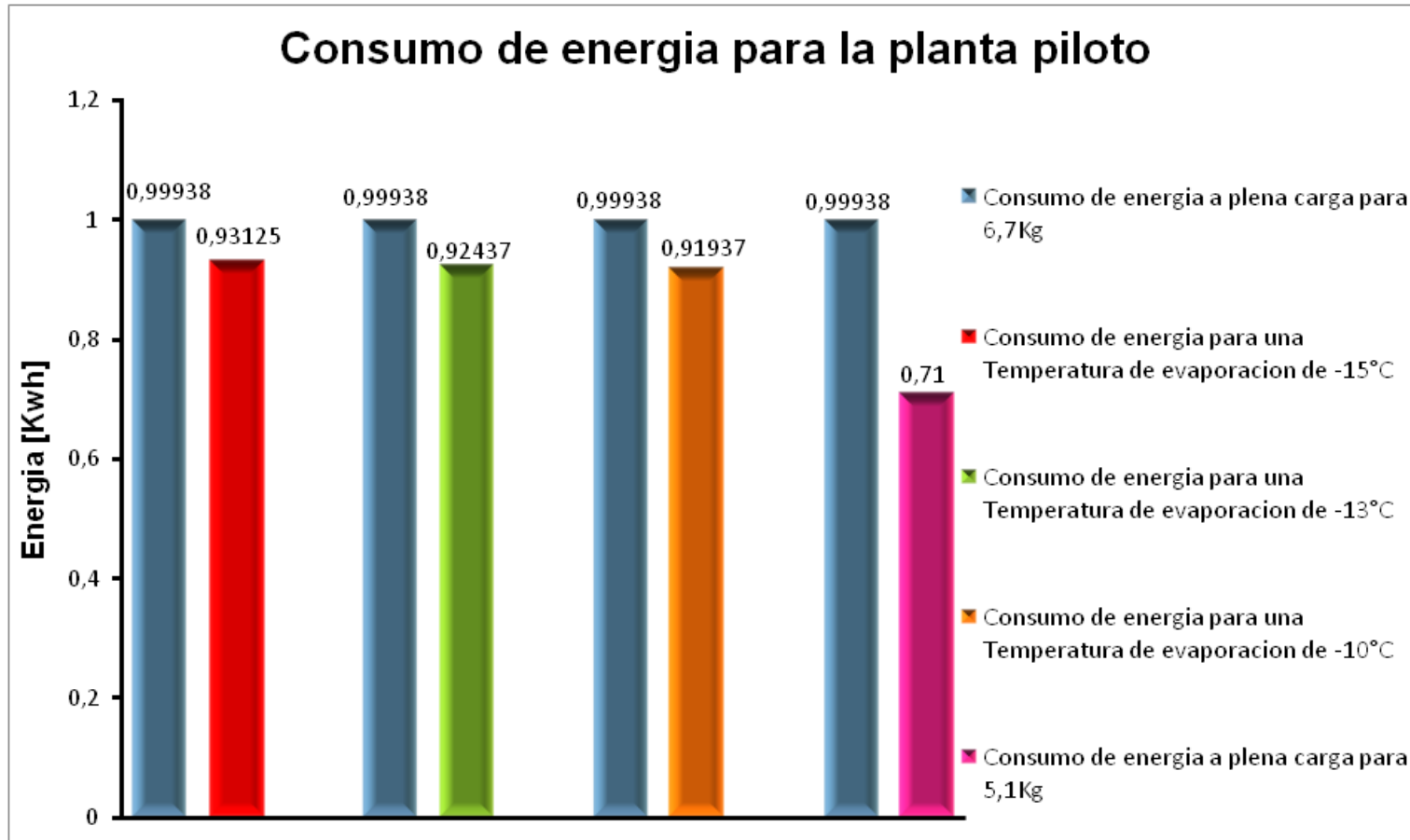
En la tabla 21 se observa el gasto de energía por kilogramo producido de hielo para el sistema a plena carga con 6.7 kg y 5.1 kg de producción.

Tabla 21. Consumo de energía para un kilogramo de hielo producido.

PRODUCCION (Kg)	CONSUMO DE ENERGIA TOTAL (Kwh)	ENERGIA PARA 1 Kg (Kwh)
5.1	0.7100	0.139
6.7	0.99938	0.149

En la figura 94 se observan los consumos de energía para los sistemas a plena carga y los sistemas controlados a temperaturas de evaporación de -10°C , -13°C y -15°C .

Figura 93. Comparación del consumo de energía para los controles del sistema.



CONCLUSIONES

- Como una condición previa para la realización del objetivo principal se adecuó planta piloto productora de hielo en bloque del laboratorio de refrigeración de la Escuela de Ingeniería Mecánica cambiando el compresor del mismo caballaje, haciendo carga de refrigerante, colocando termopozos, termocuplas, etilenglicol, variador de velocidad, contador digital HOME, cambio del motor del agitador y cubetas para cumplir con los requerimientos planeados.
- Para el monitoreo y control del sistema de refrigeración en estudio se implementó un programa mediante el software LabVIEW (Entorno gráfico de programación), hardware de control Field Point (sistema de adquisición de datos y control de National Instrument) y hardware de control USB 6009 (sistema de adquisición de datos y control de National Instrument).
- La comparación entre las estrategias de control implementadas (plena carga y PID) para la determinación del consumo energético de la planta piloto productora de hielo permitieron establecer que:
 - a. El control continuo logra un ahorro energético respecto a un sistema a plena carga, debido a que brinda al compresor la posibilidad de funcionar a diferentes velocidades (RPM) para adaptarse a la carga impuesta al sistema sin variar la temperatura de evaporación a la cual se esté realizando el control.
 - b. Reemplazando un sistema a plena carga por un sistema con control continuo PID se obtiene porcentajes de ahorro de energía que oscilan entre el 6,817% y el 8,005%.

➤ Respecto a los escenarios escogidos para la operación y realización de pruebas, se concluye que:

a. La controlabilidad del sistema es más efectiva cuando se usa como señal de control de la temperatura de evaporación del refrigerante que cuando se usa la temperatura de la piscina de congelación o sea la temperatura del etilenglicol. La razón es que la masa del etilenglicol es mayor y cualquier cambio de temperatura demorara mas en corregirse aunque la acción de corrección producida por el sistema de control sea prácticamente instantánea.

b. Se pudo observar que cuando la carga del hielo es inferior a la mínima capacidad de enfriamiento del sistema de refrigeración (la cual está determinada por la velocidad mínima del compresor que es de 1600 RPM) la controlabilidad del sistema se pierde ya que la temperatura de control continua disminuyendo. Desde el punto de vista práctico esto significa que se debe utilizar la capacidad de producción de hielo a su máximo valor.

c. Para el sistema con mayor producción (6.7 kg) los resultados del control son los esperados, lográndose observar en ellos el un ahorro de energía con respecto al sistema a plena carga.

d. Se observa que para unas mismas condiciones iniciales de producción (temperatura del etilenglicol de -4°C) a mayor temperatura de evaporación el sistema logra estabilizarse en tiempos menores.

e. El ahorro de energía es mayor para temperaturas mayores de evaporación esto corresponde a:

✓ Termodinámicamente el COP disminuye cuando la temperatura de evaporación baja.

f. Al tener sistemas funcionando a plena carga (velocidad del compresor constante durante toda la producción a 4500 RPM) el gasto de energía es más alto con relación a los sistemas controlados, pero los tiempos de producción son menores al compararlos con estos.

g. Se observó durante el desarrollo de las pruebas que el hielo empezaba a formarse cuando la temperatura del etilenglicol estaba alrededor de los $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y por lo tanto la temperatura de evaporación tiene que ser menor a esta para poder producir el hielo para este sistema.

➤ Con este estudio queda demostrado que si en todos los sistemas de refrigeración implementaran estrategias de control continuo se estaría contribuyendo al ahorro de energía y por ende a la disminución de los problemas ambientales que hay en el mundo, especialmente el calentamiento global que hoy en día nos aqueja.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una mejora en la sintonización de los controles continuos PID para próximos estudios.
- Se recomienda cambiar la tina de congelación para aumentar la capacidad de producción de hielo en concordancia con el literal b de las conclusiones.
- Se recomienda implementar control a los sistemas de refrigeración para la producción de hielo que estén sobredimensionados puesto que el ahorro de energía es considerable y se disminuirán los costos de producción.
- Se recomienda que las plantas de producción de hielo trabajen a la mayor temperatura de evaporación que el sistema permita.
- Se recomienda leer el anexo C de funcionamiento del variador de velocidad, antes de ejecutar el programa

BILIOGRAFIA

AREVALO R., Orlando Rafael, SAJONERO P., Luis Fernando. Manual Básico LabVIEW 5.0. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

CORREDOR NEIRA Fernando. Cuantificación del Ahorro Energético al Utilizar una Estrategia de Control Continuo con Respecto a la Utilización de una Estrategia de Control ON-OFF, para un Sistema de Refrigeración. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004.

DOSSAT Roy J. Principios de Refrigeración. Compañía Editorial Continental SA. de C.V. México, 1998.

LAZARO, Manuel Antonio. LabVIEW, Programación Gráfica para el Control de Instrumentación. International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A., 2001.

PÁEZ MARTÍNEZ José Pablo, OSORIO GARCÍA Alfredo Cristóbal. Diseño e Implementación de una Válvula de Expansión de Flujo de Refrigerante con Control Electrónico. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2008.

PITA G. Edward. Acondicionamiento de Aire, Principios Sistemas. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México, 1994.

RAPIN P.J., JACQUARD P. Instalaciones Frigoríficas. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Tomo 2. México, 2001.

RAPIN, Pierre, JACQUARD, Patrick. Formulario del Frío. Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C.V. México, 1999.

PAPERS:

Aprea C, Mastrullo R, Renno C. Fuzzy control of the compressor speed in a refrigeration plant. Tomado del ELSEVIER, 2004. P 639-648.

Pinzón M., Mauricio, Gauthier, Alain. Una Comparación del Control Difuso con Respecto a los Controladores Convencionales. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de los Andes. Bogotá.

Unezaki F, Anzai Y, Ikeda T, Matsuoka F. Energy saving refrigeration system for supermarket. Tomado de la IEEE, 2005. P 482-483.

Wicks Frank. 2nd Law analysis of ON/OFF vs frequency modulation control of a refrigerator. Tomado de la IEEE, 2000. P 340-344.

ANEXOS

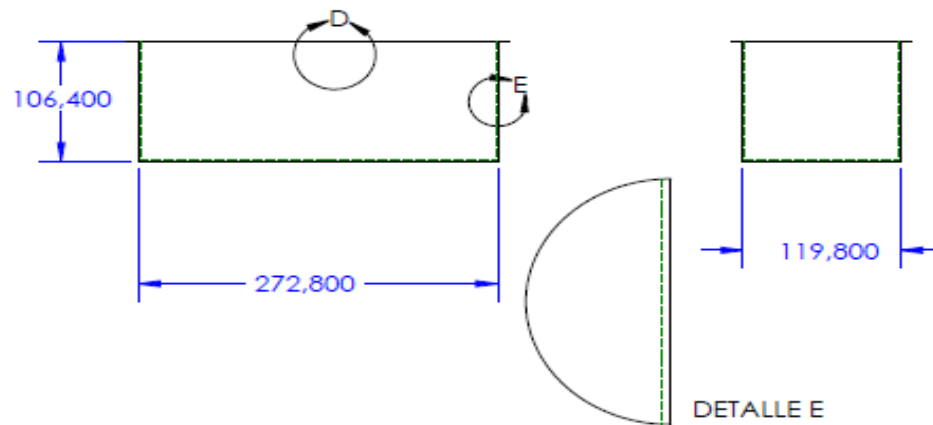
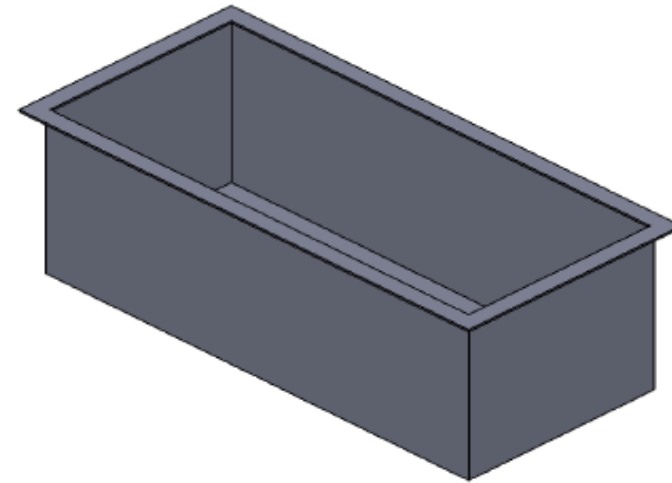
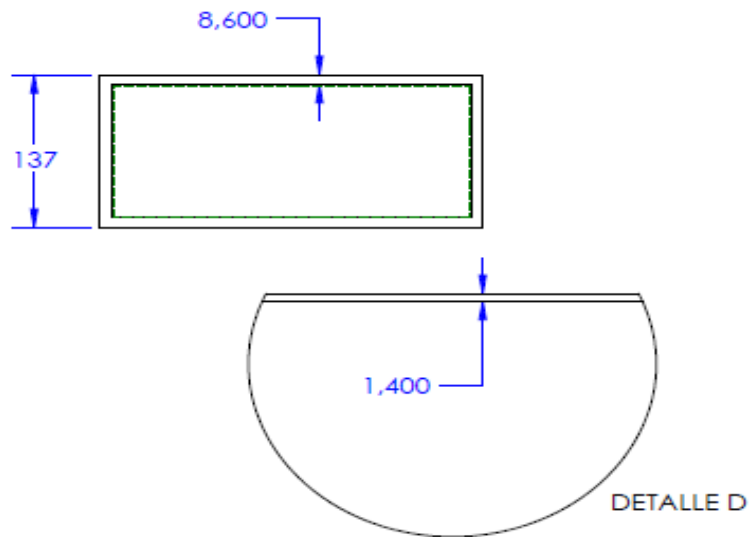
ANEXO A: DATOS TECNICOS DEL COMPRESOR VEGT 7H

1. DATOS DE CAPACIDAD DEL COMPRESOR VEGT 7H DE EMBRACO

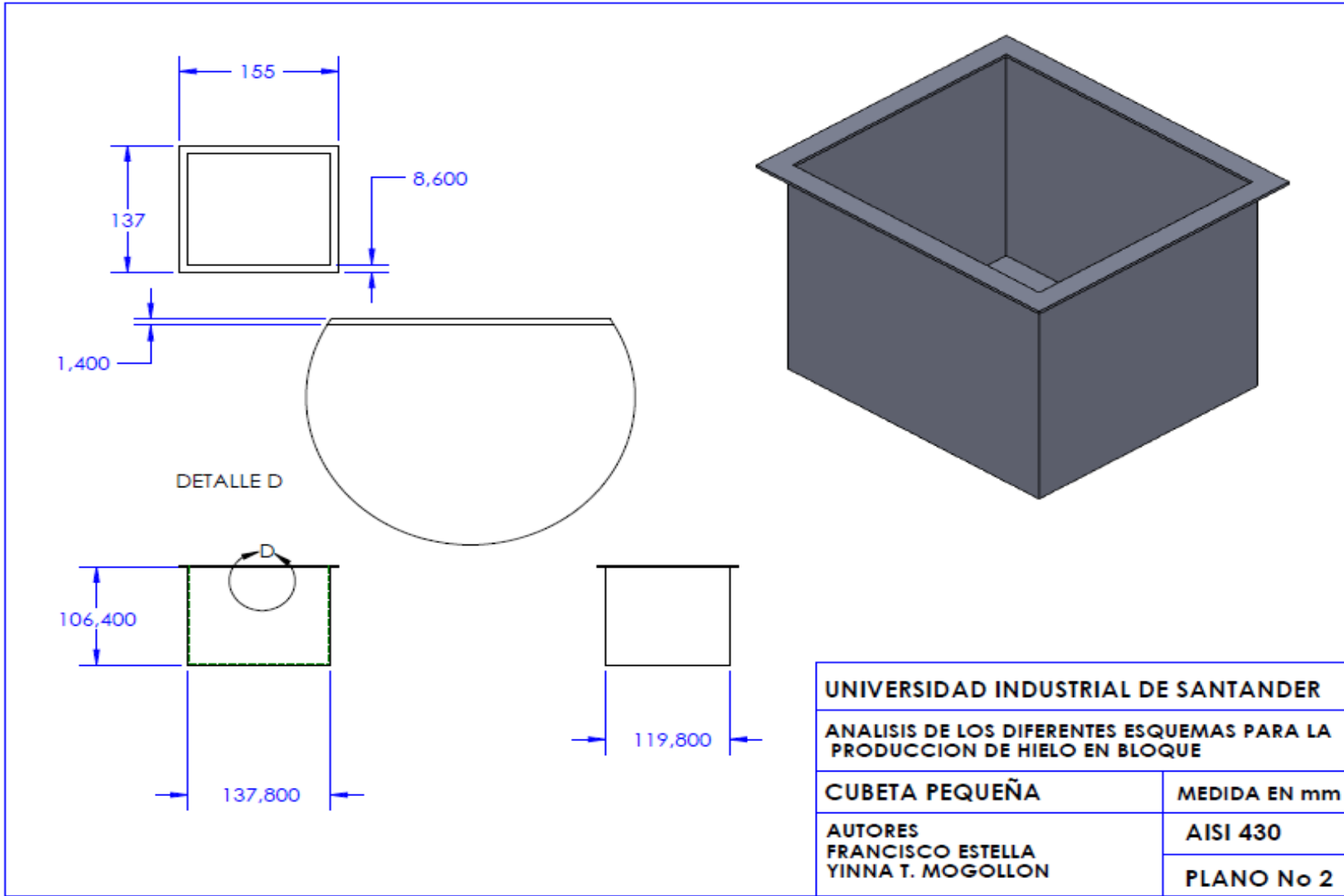
Modelos VCC[®]								
Modelo		Capacidades (Check Point) / Capacidades (Check Point)						Refrigerante
		ASHRAE			CECOMAF			
		(Btu/h)	(W)	(kcal/h)	(Btu/h)	(W)	(kcal/h)	
VEGT 7H*	115V 60Hz	345 - 990	101 - 290	87 - 249	242 - 711	71 - 208	61 - 180	R 134a
	220-240V 50-60Hz							
VEGT 7C**	220-240V 50-60Hz	204 - 533	60 - 156	51 - 134	149 - 397	44 - 116	38 - 100	R 600a
VEGT 8H*	115V 60Hz	412 - 1108	121 - 325	104 - 279	306 - 839	90 - 246	77 - 211	R 134a
	220-240V 50-60Hz							
VEGT 8C**	220-240V 50-60Hz	241 - 588	71 - 172	61 - 148	181 - 439	53 - 129	46 - 111	R 600a
VEGT 11H****	115V 60Hz	715 - 1430	210 - 420	180 - 360	529 - 1058	155 - 310	133 - 267	R 134a
	220-240V 50-60Hz							
VEGT 11C***	220-240V 50-60Hz	333 - 778	98 - 228	84 - 196	243 - 577	71 - 169	61 - 145	R 600a

Check Point LBP ASHRAE *velocidade 1600 - 4500 rpm - **velocidade 1600 - 4000 rpm - ***velocidade 1600 - 3600 rpm - ****velocidade 1900 - 4500 rpm - Dados Preliminares
 Check Point LBP ASHRAE *velocidad 1600 - 4500 rpm - **velocidad 1600 - 4000 rpm - ***velocidad 1600 - 3600 rpm - ****velocidad 1900 - 4500 rpm - Datos Preliminares

ANEXO B: PLANOS CUBETAS



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
ANALISIS DE LOS DIFERENTES ESQUEMAS PARA LA PRODUCCION DE HIELO EN BLOQUE	
CUBETA GRANDE	MEDIDAS EN mm
AUTORES FRANCISCO ESTELLA YINNA T. MOGOLLON	AISI 430
	PLANO No 1



2 ANEXO C: PRINCIPIOS DE PROGRAMACION DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

1 PARAMETROS DE COMUNICACIÓN EN MODO SERIAL

1. Basic Specifications

Communication Type	Asynchronous (start-stop)
Baud Rate	75 or 800 baud
Start Bits	1
Data Bits	8
Stop Bits	1
Parity	None
Flow Control	None
Unit Size	5 Bytes

Table 7 - Serial communication - basic specifications.

2. Communication Protocol

Unit Board	Host
Inverter Board	Sub
Start Bit	1 → 0 (logic level)
Data bits	Inverted logic (0 V → 1 and 5 V → 0)
Stop Bit	0 → 1 (logic level)

Table 8 - Serial communication - protocol.

4. Command Structure

Transmit command structure	1st byte Identification	2nd byte Command	3rd byte Data low	4th byte Data high	5th byte Checksum
A. Transmit set speed	A5h	C3h	1)	2)	3)
B. Read set speed	A5h	3Ch	80h	39h	3)
C. Read operation status	A5h	3Ch	83h	39h	3)

Table 9 - Serial communication - transmit command structure.

Receive command structure	1st byte Identification	2nd byte Command	3rd byte Data low	4th byte Data high	5th byte Checksum
Response to A	5Ah	83h	4)	5)	3)
Response to B	5Ah	80h	1)	2)	3)
Response to C	5Ah	83h	4)	5)	3)
Communication error	5Ah	6)	FFh	FFh	3)

Table 10 - Serial communication - receive command structure.

- 1) Set speed data low byte
- 2) Set speed data high byte
- 3) Checksum

Addition of hex value of 1-4 bytes = S14h

Checksum = 100h - (S14h AND 0FFh)

- 4) Status data low byte

Note 1 – Status data Table 11

- 5) Status data high byte

Note 1 – Status data Table 11

- 6) Code:

F0 - Error in the 4th byte for commands B and C

F2 - Checksum (5th byte) error

F4 - Command code (2nd byte) error

F8 - Error in the 3rd byte for commands B and C

Status data	Bit "H"	Description	Remarks
0 x 0000	-	Normal operation.	Typically this data is returned. 4)= 00, 5)= 00
0 x 0002	1	Overload protection (Note 1).	4)= 02, 5)= 00
0 x 0080	7	Set speed data out of spec (Note 2).	4)= 80, 5)= 00
0 x FF00	-	Compressor stopped (waiting for a valid start speed).	4)= 00, 5)= FF
0 x FF01	0	Start fail.	4)= 01, 5)= FF
0 x FF02	1	Overload condition (Note 3).	4)= 02, 5)= FF
0 x FF04	2	Under speed (1550 rpm or lower).	4)= 04, 5)= FF
0 x FF10	4	Short circuit.	4)= 10, 5)= FF
0 x FF80	7	Set speed data out of spec. (Note 4).	4)= 80, 5)= FF

Table 11 - Serial communication - status data.

Note 1 : This response occurs when compressor is running with a high load. If the Data High byte is 00h, compressor is still running.

Note 2 : Response to the out-of-spec set speed data received while the comp is running.

Note 3 : This response occurs when compressor is stopped due to high load.

Note 4 : Response to the out-of-spec set speed data received while the comp is stopped.

Note 5 : When one or more errors occur, the corresponding bits "H" are set to 1. Example: Overload and Under speed: 0xFF06

5. Remarks

The valid speed range is shown on the Table 12:

Speed Sent	Compressor Speed	Data Low (response)
0-1550RPM	0RPM	00h
1551-1600RPM	1600RPM	00h
1600-4507RPM	Same as sent	00h
>4508RPM	4507RPM	80h

Table 12 - Serial communication - valid speed range.

Any speed higher than 1551rpm turn the compressor on (if there is no fail).

Data High byte, as a status response, always indicates the compressor status:

Compressor Running: 00h

Compressor Stopped: FFh

The identification byte (1st byte), is used for command synchronization.

After inverter identifies a valid A5h, it starts to read the next 4 bytes. After reading, a response will be sent as indicated above. No response will be sent until the inverter recognizes a byte A5h.

There is a time out of 2 seconds to receive the entire command, after inverter identifies one A5h. After this time out, a new synchronization will start.

If compressor is stopped due to a fail (Table 11), it is possible to reset that fail sending a speed to turn inverter off (lower than 1,550rpm). After receive this command, compressor could be restarted sending a speed higher than 1,551rpm. However, if a speed command to turn compressor on is continuing been sent, a fail reset will occur after 8 minutes (compressor will try to restart).

ANEXO D: CARACTERISTICAS GENERALES DEL VARIADOR

1. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PRECAUTIONS

1.1. CONVENTIONS



Warning This situation could cause bodily injury, due to electrical hazard!



Caution In this situation, you might do something that could result in equipment damage.



Note Contain helpful suggestions or references to material not covered in this document.

Preliminary Information

1.2. GENERAL PRECAUTIONS



Warning Installation and start up must be done only by trained personnel, observing applicable accident prevention procedures!



Warning Before obtain access to connectors, disconnect the power supply.



Caution Read this material carefully before you begin the VCC3-CO installation and start up.



Caution The VCC3-CO Electronic Inverter is made for use only with the Embraco VCC compressors.



Note In many occasions, this material will refer to VCC compressors simply as *compressors*.

Preliminary Information

1.3. INFORMATION ON DISPOSAL (PRODUCT DISCARD)



Warning Do not try to open the VCC3-CO inverter box.



Warning Do not throw the VCC3-CO inverter in a fire! There are electrolytic capacitors inside the inverter that can explode under fire exposition. Contact your local authorities in case of you need to incinerate this product when discarding.



Caution The used VCC3-CO inverter should not be mixed with general household waste after finishing its lifetime or for any other purpose of discard.

If you wish to discard this product, please contact your local authorities or dealer and ask for the correct method of disposal for proper treatment, recovery and recycling. In some countries, you may be able to take this product to designated collection points, qualified environmental agencies or return to your local retailer.

Besides this is a RoHS compliant device, disposing of this product correctly will help to save valuable resources and prevent any potential negative effects on human health and the environment (e.g.: to avoid ground disperse) which could otherwise arise from inappropriate handling. Please contact your local authority for further details.



2. TECHNICAL SPECIFICATIONS

AC Input Voltage Range:	60V to 140V (115V/127V model) 140V to 264V (220V/240V model)
AC Input Frequency:	50Hz to 60Hz
Maximum AC Input Current:	4.7A (115V/127V model) 2.1A (220V/240V model)
Maximum AC Input Power:	320W
Maximum AC Output Voltage:	230V (RMS)
AC Output Frequency Range:	53.3Hz to 150Hz
Maximum AC Output Current:	3.53A @ start up (VEG compressor) 2.37A @ start up (VEM compressor)
Speed Range:	1,600 RPM to 4,500 RPM
Maximum Ambient Temperature:	+43°C
Minimum Ambient Temperature:	-20°C
Maximum Storage Temperature:	+85°C
Minimum Storage Temperature:	-30°C
Maximum Storage External Relative Humidity:	85%



3. VCC3-CO CONTROL MODES



Caution The Control Mode chosen by the customer is configured at the EECON production line.



Note The Drop In Mode allows the VCC3-CO to work in any refrigeration system without the need of a control signal coming from an electronic thermostat. Only an ON/OFF thermostat is necessary.



Note The Frequency and Drop In modes can have serial communication for monitoring and parallel controlling purposes.

3.1. FREQUENCY MODE

This option is used when the application uses an electronic thermostat, that controls the compressor speed through a frequency signal sent to the Inverter. It is possible to have an independent serial communication (see Figure 4).

The frequency signal is a digital square wave, with 0 to +5V voltage amplitude and defined range as described ahead. The duty cycle must be from 30% to 70%.

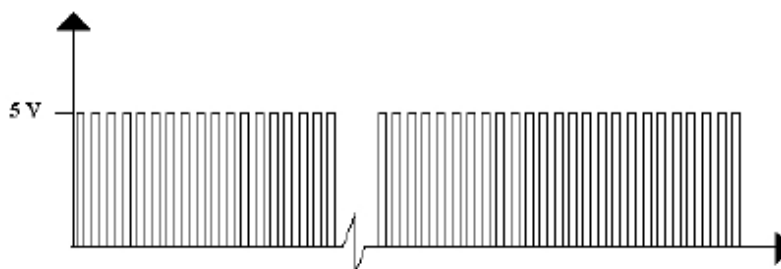


Figure 1 - Frequency signal.

Compressor speed will follow the frequency signal, according to the relation described below:

Compressor Speed (rpm) = Frequency Signal (Hz) x 30

0 V

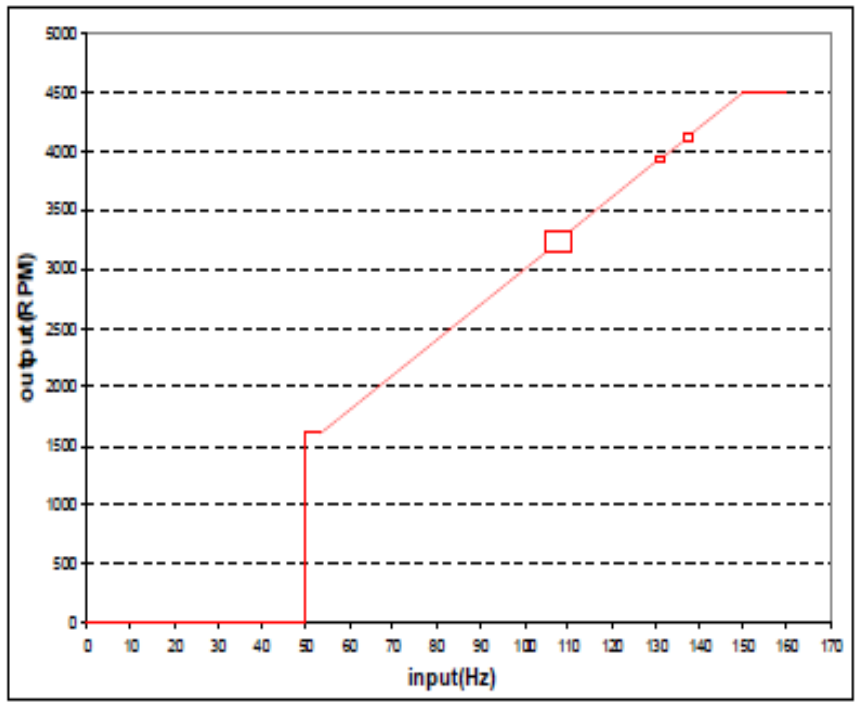


Figure 2 – Relation between Inverter frequency and compressor rotation.

Hz	rpm
0 to 50	0
50.1 to 53.3	1,600
53.4 to 150	30 x Hz
105 to 111	hysteresis
130 to 132	hysteresis
138.6 to 138.6	hysteresis
> 150	4,500

Table 1 - Relation between Inverter frequency and compressor rotation.



Note See Annex A for control signal electrical specifications.



Note See Annex A for control signal electrical specifications.

Connections

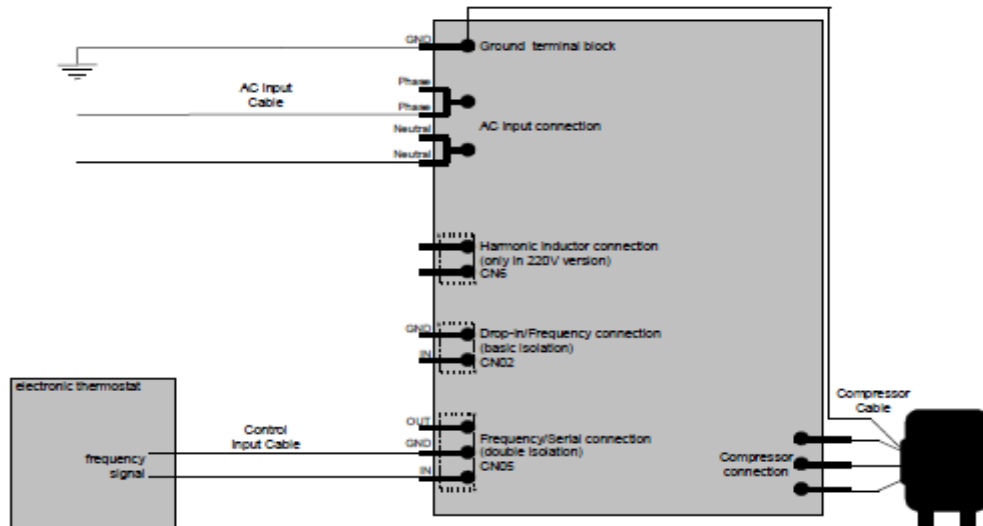


Figure 3 - Frequency Mode connections – frequency control only.

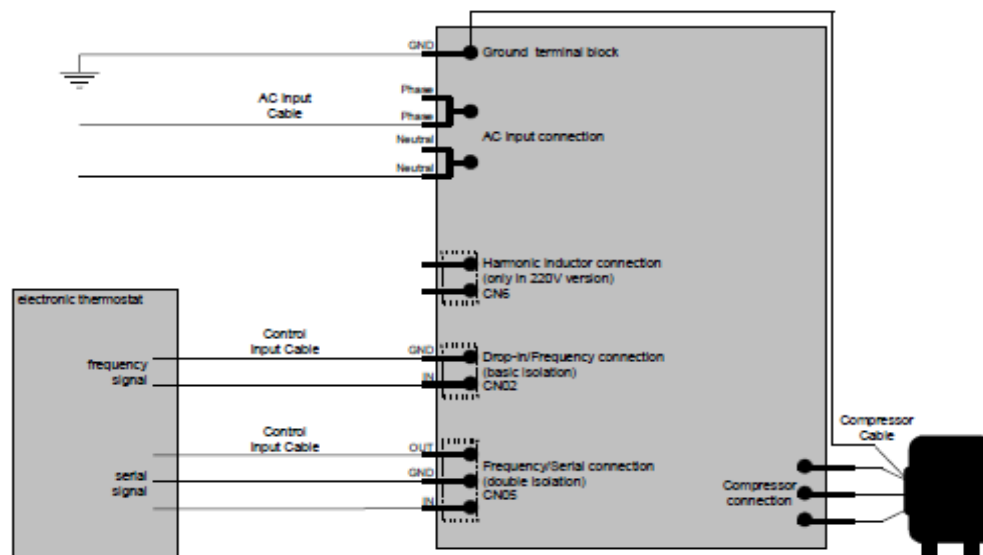


Figure 4 - Frequency Mode connections – frequency control and serial communication.

3.2. SERIAL MODE

This option is used when the electronic thermostat controls the VCC3-CO using a serial communication protocol.



Caution The serial communication protocol is based on RS-232 parameters, but the electrical specifications of interface are different from this standard. See Annex A and Annex B for further and technical specifications.

Connections

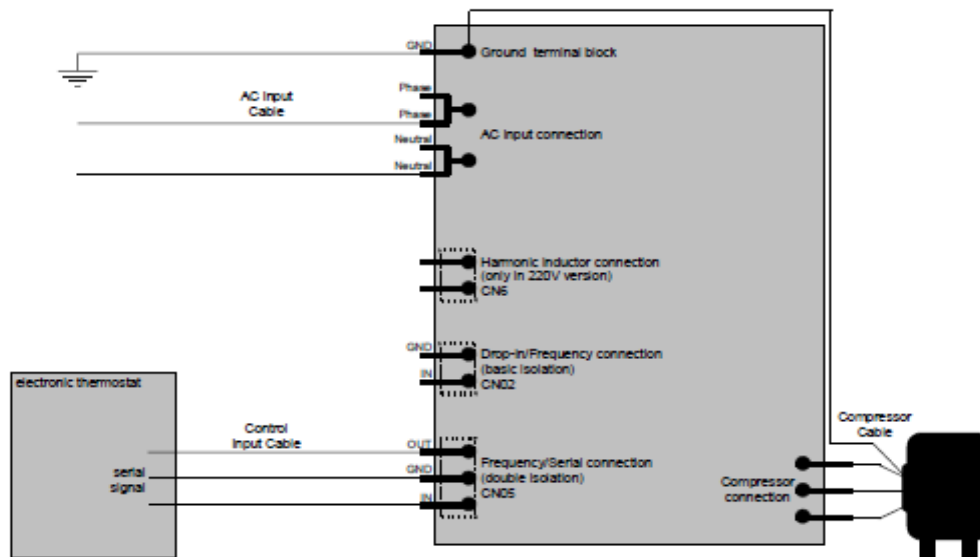


Figure 5 - Serial Mode connections.

3.3. DROP IN MODE

The **Drop In Mode** is a VCC3-CO control mode using the same ON/OFF thermostat of standard compressors. The Drop In allows the application to any refrigeration system without the need of a control signal coming from an electronic thermostat.

The compressor speed will be adjusted automatically by the Inverter, in accordance to the thermal load variation. As the thermal load changes inside the appliance, pressures will change and the Inverter will sense this variation, changing the compressor speed proportionally, without the need of a temperature sensor.

For the Drop In Mode, the first time that the VCC3-CO is energized, the system sets the Pull Down routine. The Drop In Mode steps are described on the Table 2.

STEP	ACTION
1 - Pull Down	Compressor remains at low speed (2,355rpm) for 7 minutes and then increases to maximum (~4,500rpm) till thermostat opens.
2 - Normal Cycles	Compressor speed increases and decreases proportional to thermal load variation during compressor running time. Minimum speed will be targeted to minimize energy consumption.
3 - Stability Sub Routine	If thermal load remains constant for a period longer than 20 minutes, the compressor speed is increased.

Table 2 - Drop In steps.

3.3.2. Dry Contact or Isolated Contact

This option must be used when the thermostat control signal passes through a "dry contact". It means the thermostat has just a switch, without any kind of energy supply, connected directly to the Control Input Connection. It is possible to have an independent serial communication (see Figure 7).

Connections

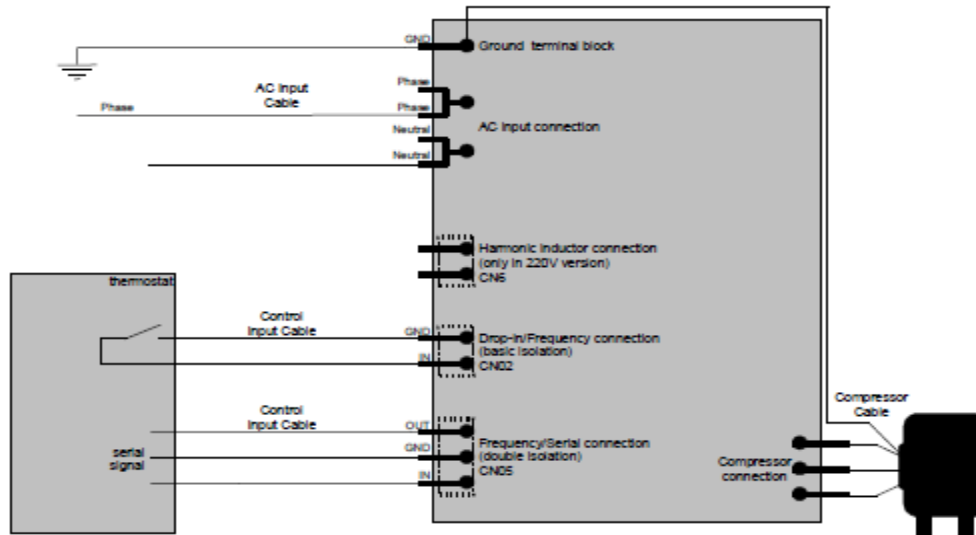


Figure 7 – Drop In Mode connections – isolated contact and serial communication.

3.3.1. Energized Contact

This option must be used when the thermostat control signal is energized directly from the AC phase. This signal is usually called *Thermostat Return Signal*. It is possible to have an independent serial communication (see Figure 6).

Connections

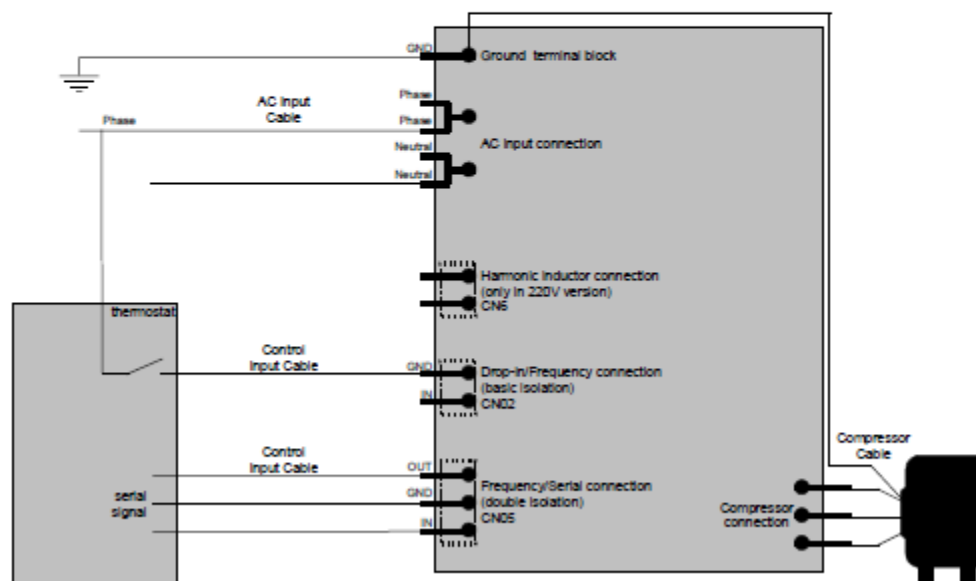


Figure 6 – Drop In Mode connections – energized contact and serial communication.

4. DIAGNOSTIC FUNCTION

This function helps service technicians to diagnose possible fault components by flashing a green LED inside the box. Basically it indicates if there is a problem with VCC compressor, VCC inverter or Thermostat.



Note It is not necessary to open the plastic cover to see the LED flashing. The cover is made of translucent material.

4.1. LED FLASH CODES

LED Status	LED Status Description
1 flash 15 seconds period	Normal operation.
2 flashes 5 seconds period	Control communication problem.
3 flashes 5 seconds period	VCC inverter problem.
4 flashes 5 seconds period	VCC compressor problem.
1 flash 0.5 seconds period	Temperature protection active.

Table 3 – LED flash codes.

5. INSTALLATION



Warning Before obtain access to connectors, disconnect the AC power supply.



Warning Avoid contact of the Control Input Cable (low voltage) with high voltage or power supply cables, due to electrical hazard and potential equipment damage!



Warning The Control Input Connection has reinforced isolation when using Frequency and Serial Control Modes. This isolation is not available when using the Drop In Mode!



Warning The Faston connectors of the standard AC Input Connection are directly connected to the Auxiliary AC Connection and will be energized, as long as the Inverter is powered.



Warning The Harmonic Inductor used for the 220V/240V model must be installed in a place to keep it out of reach of users!



Caution The Auxiliary AC Connection is not protected by fuse.



Caution The handling of Inverter box must be careful to avoid contact with the internal electronic board, in order to prevent possible electrostatic discharges!

Caution Permanent damage will occur if the Compressor is directly connected to the AC supply line!



Caution The wire positions of the Compressor Cable are critical. Wrong polarity may cause the compressor to run in the opposite direction causing permanent damage!



Caution Make sure all necessary connections are properly done before connecting the Inverter to AC supply line.



Caution The electronic Inverter is developed for indoor use only, and must be installed in the vertical position. The location where the Inverter will be installed must be protected against splashed water from all directions.



Caution The Control Connection CN05 has reinforced isolation.



Caution The Control Connection CN02 has basic isolation.



Note It is necessary to read the Embraco compressor documents that contain technical information about the VCC compressors, not covered in this material.

5.1. VCC3-CO ELECTRONIC INVERTER



Figure 8 – VCC3-CO electronic Inverter.



Figure 9 – VCC3-CO electronic Inverter.

5.2.INPUT CONNECTIONS

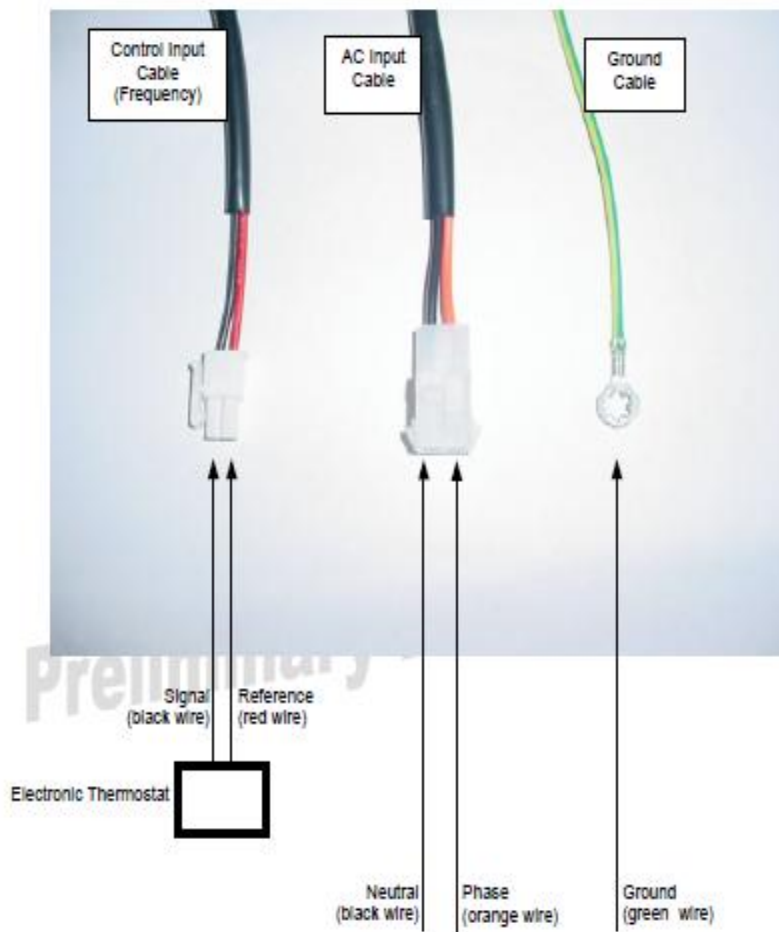


Figure 10 – VCC3-CO input connections – Frequency Mode.

1. Connect the Ground Cable to the Ground.
2. Connect the AC Input Cable to the AC Power Line.
3. Connect the Control Input Cable to the Electronic Thermostat.

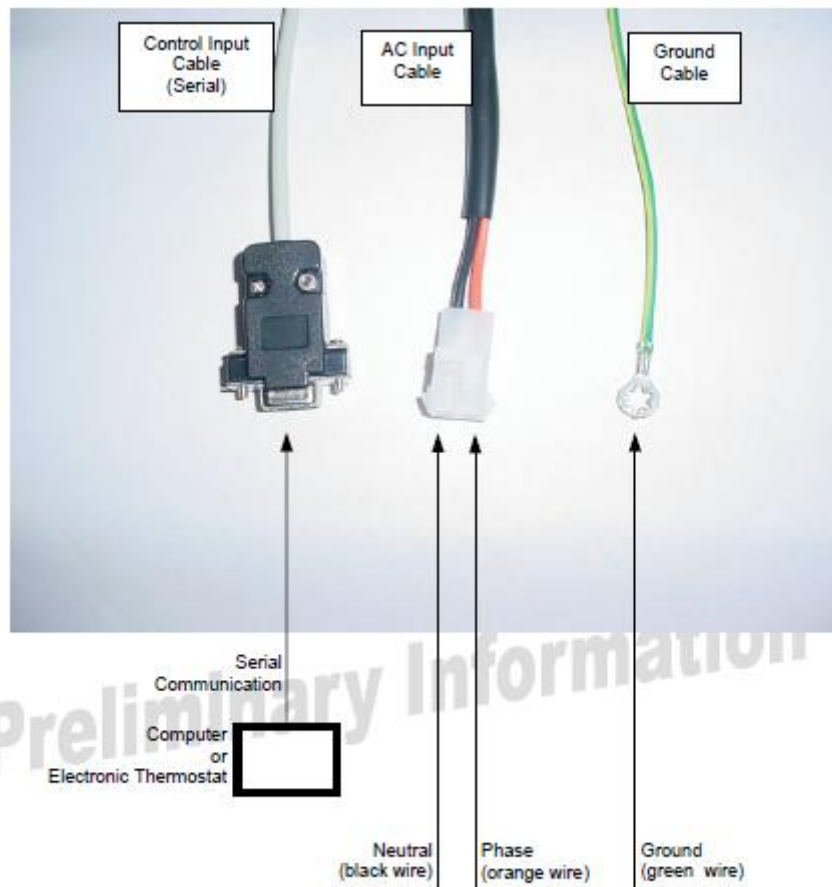


Figure 11 – VCC3-CO input connections – Serial Mode.

- 1.** Connect the Ground Cable to the Ground.
- 2.** Connect the AC Input Cable to the AC Power Line.
- 3.** Connect the Control Input Cable to the Computer or Electronic Thermostat.

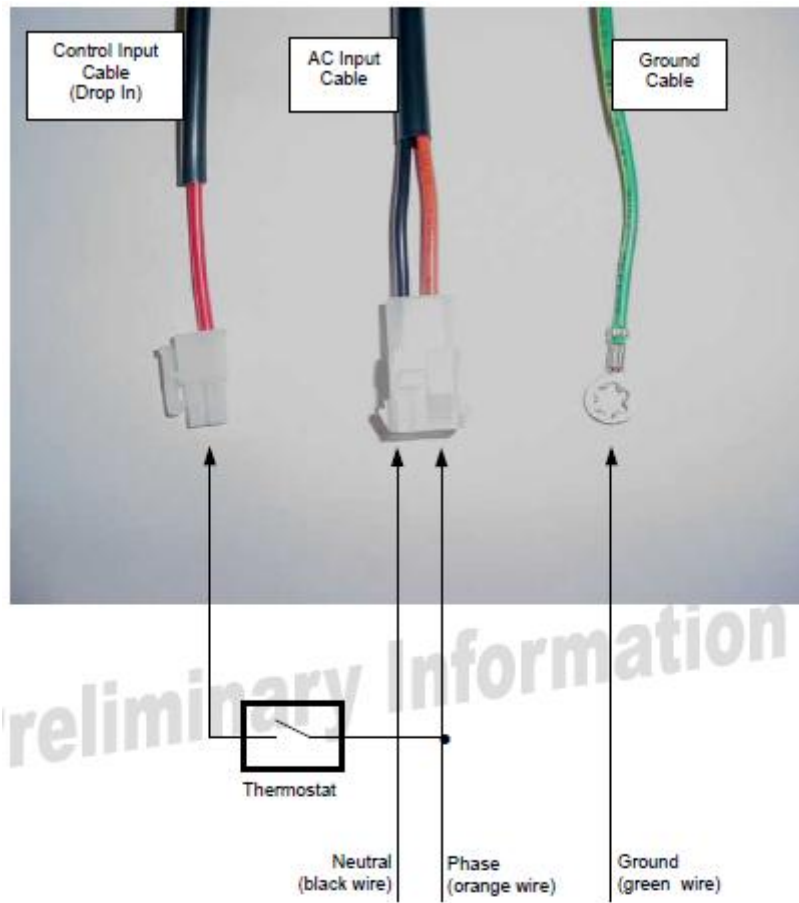


Figure 12 – VCC3-CO input connections – Drop In Mode – Energized Contact.

1. Connect the Ground Cable to the Ground.
2. Connect the AC Input Cable to the AC Power Line.
3. Connect the Control Input Cable to the Thermostat, and the Thermostat to the Phase from AC Power Line.

5.3. OUTPUT CONNECTION

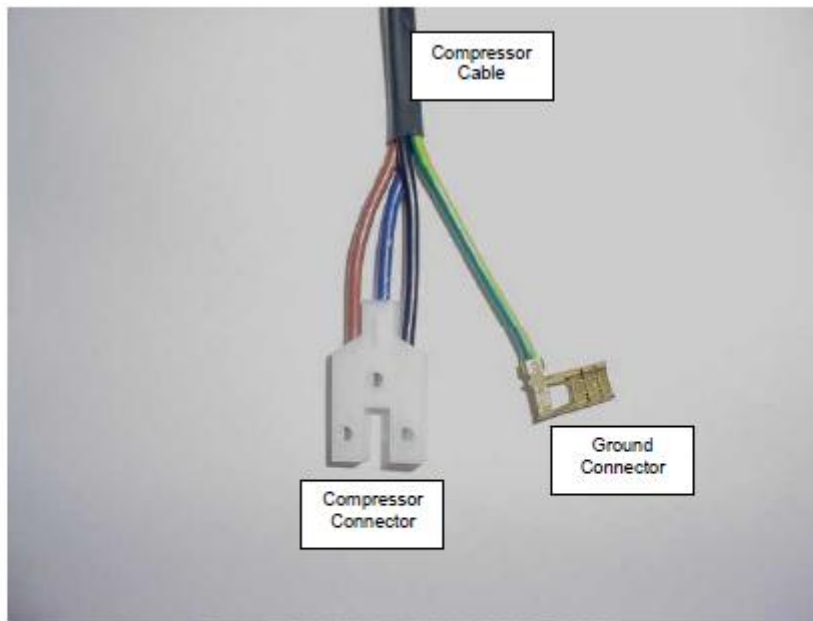


Figure 13 – VCC3-CO output connection.

1. Connect the Compressor connector on the compressor hermetic terminal.
2. Connect the Ground connector on the compressor ground terminal.

5.4. HARMONIC INDUCTOR CONNECTION (ONLY FOR 220V/240V MODEL)

The VCC inverter for 220V/240V have an external inductor connected on the electronic board (see Figure 14).



Warning The Harmonic Inductor used for the 220V/240V model must be installed in a place to keep it out of reach of users!



Caution The Harmonic Inductor must be connected to the CN6 connector (red connector). Wrong connection to the CN02 (white connector) could result in equipment damage. See Figure 14.



Figure 14 – Harmonic Inductor for 220V/240V – right connection.



Figure 15 – Harmonic Inductor for 220V/240V – WRONG connection.

5.5. MOUNTING POSITION

5.5.1. Attached Version

Inverter is already fixed on the compressor. There is no need to fix it on the appliance.

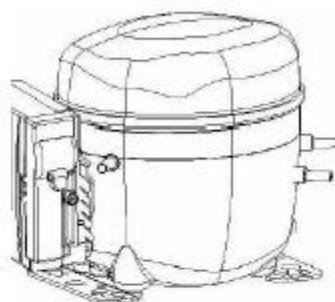


Figure 16 – Inverter attached on the compressor.

5.5.2. Stand Alone Version

Inverter is fixed on the appliance, separated from the compressor. Note the compressor cable connected on the hermetic terminal. The inverter is provided with fixing points.

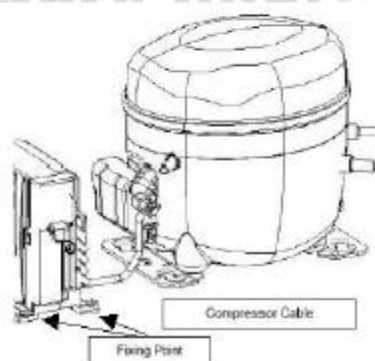


Figure 17 – Inverter separated from the compressor.

6. TROUBLESHOOTING

6.1. NO START

PROBLEM	ACTION
NO COMPRESSOR TRIAL	
Compressor disconnected from the Inverter.	Verify the Compressor Cable connection.
No AC power supply; or wrong voltage/wrong terminals connected to the Inverter.	Verify the AC Input Cable connection and measure the AC Input voltage.
No control signal input or bad connection.	Verify the Control Input Cable connection and measure the signal from the thermostat.
Blown fuse (due to previous major failure).	Return the unit to manufacturer, replacing it by a new one.
Open compressor motor winding.	Measure winding for open circuit between all pair of pins on the hermetic terminal. If one winding is open, return defective unit to manufacturer, replacing it by a new one.
Compressor with locked rotor (due to mechanical damage).	Replace compressor by a new one and test for confirmation; return defective unit to manufacturer.
Dropped, damaged, burnt inverter.	Replace by a new one and test for confirmation; return defective unit to manufacturer.
Inverter on Waiting Time after failed start.	Wait the necessary time or reset the Inverter disconnecting it from the AC power supply. The reset time is about 15s.
Demagnetized rotor (only if compressor was previously connected directly to the AC power supply).	Replace compressor by a new one and test for confirmation; return defective unit to manufacturer.
COMPRESSOR POSITIONS ROTOR, BUT FAILS TO START	
Unequaled pressures between discharge and suction pressures in the refrigerating system.	Allow the Inverter to equalize pressure between suction and discharge sides.
Open compressor motor winding.	Measure winding for open circuit between all pair of pins on the hermetic terminal. If one winding is open, return defective unit to manufacturer, replacing it by a new one.
Too low AC voltage supplied to the Inverter.	Measure AC voltage to confirm; correct the voltage or change the Inverter to the correct voltage range (115VAC model).
Demagnetized rotor (only if compressor was previously connected directly to the AC power supply).	Replace compressor by a new one and test for confirmation; return defective unit to manufacturer.

Table 4 - Troubleshooting - no start.

6.2. MALFUNCTION DURING OPERATION

PROBLEM	ACTION
Compressor does not run at the speed selected by the Inverter.	Too high compression load, with compressor being subjected to a stall condition (lower suction and/or discharge pressures for correction).
	Too low AC voltage. Check the AC voltage supplied to the Inverter and set it to the required level or change the Inverter to the correct voltage range (115VAC model).
	In Drop In mode, check if the defrost heater is in parallel with the thermostat. If it is, change to the correct connections.
	In Drop In mode, check if the thermostat is in series with the AC Power supply. If it is, change to the correct connections.
Unexpected stops during the run.	No or incorrect control signal (check if the correct control signal is arriving at the Control Input Connection).
	Protection circuits are actuating. Check the Protections on the Chapter 8.2.

Table 5 - Troubleshooting - malfunction.

7. APPENDIX

ANNEX A - ELECTRICAL SPECIFICATIONS FOR FREQUENCY AND SERIAL CONTROL SIGNALS

Parameter	Symbol	Value
Maximum negative voltage	V_{NEG_MAX}	-5V
Maximum positive voltage	V_{POS_MAX}	+15V
Maximum voltage to guarantee OFF state (optocoupler internal transistor cut-off)	V_{OFF_MAX}	+0.7V
Minimum voltage to guarantee ON state (optocoupler internal transistor saturation)	V_{ON_MIN}	+5V

The polarities were defined considering the VCC3-CO pinout: pin 1 = input, pin 2 = reference (0 V).

Table 6 - Control signal electrical specifications.

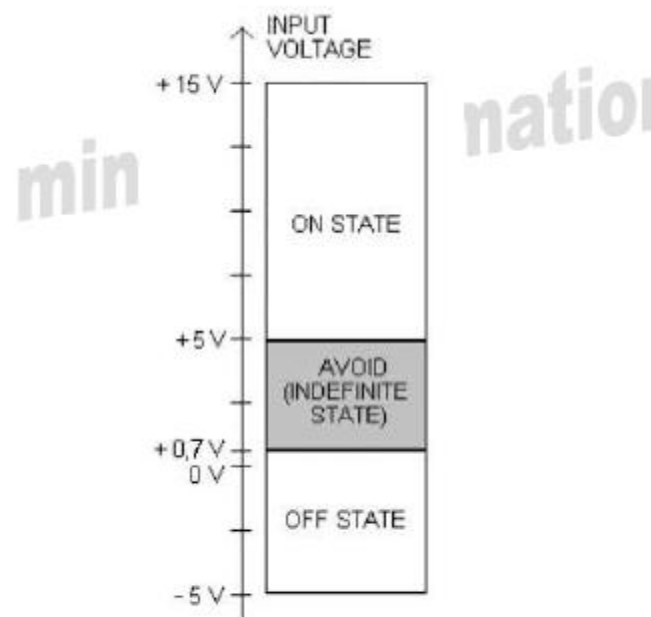
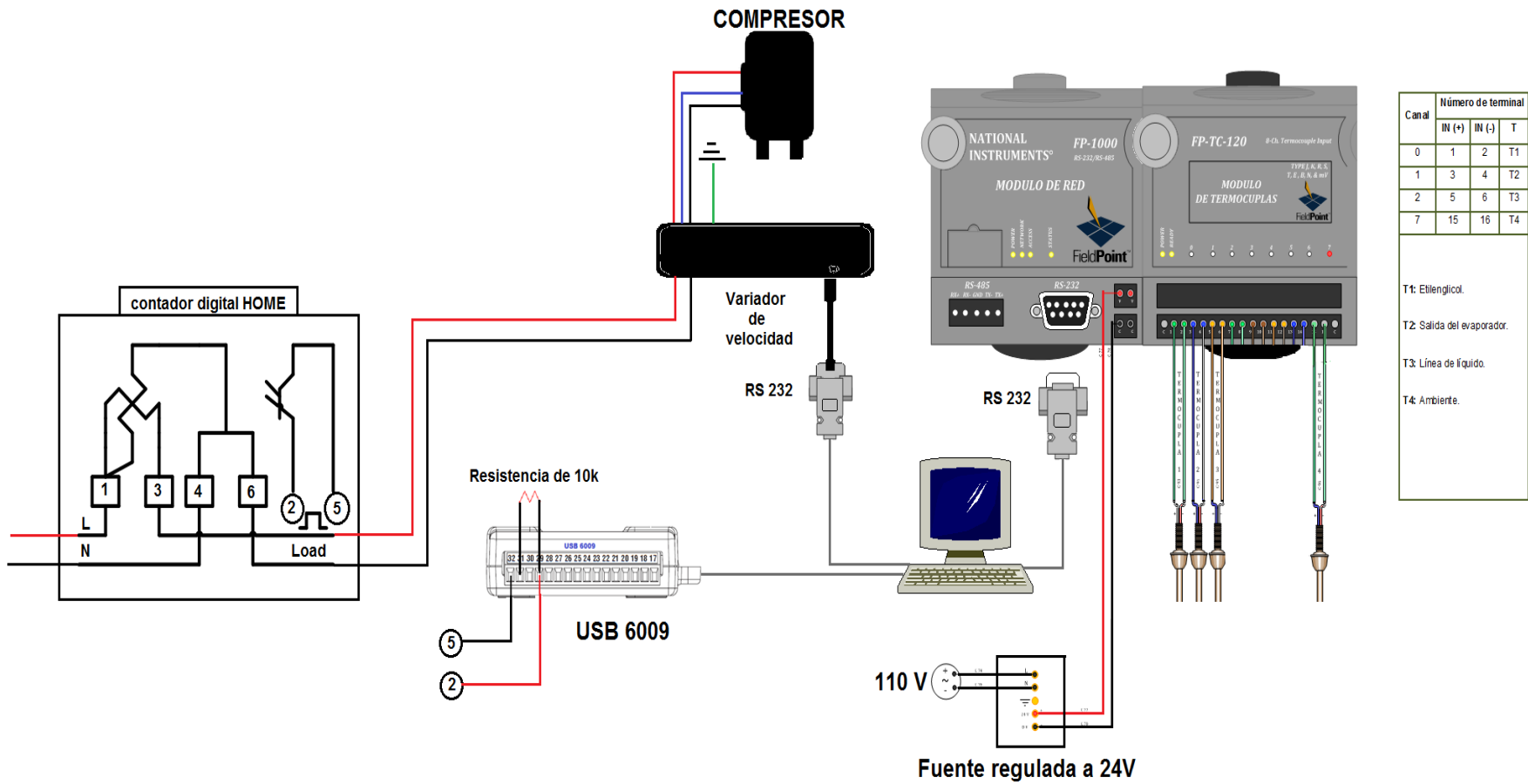


Figure 18 - Control signal electrical specifications.

**ANEXO E: MODULO DE CONEXIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE
DATOS**

MODULO DE CONEXION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS



**ANEXO F: CERTIFICADO Y CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DIGITAL
HOME**

1 CERTIFICADO



**ACCREDITATION CERTIFICATE
OF CHINA NATIONAL ACCREDITATION BOARD
FOR LABORATORIES
(No.L0105)**

This is to certify that

**Zhejiang Measurement and Test Institute for Quality
and Technique Supervision**

No.222, Tianmushan Road, HangZhou, Zhejiang, China

has been assessed and proved to be in compliance with CNAL/AC01:
2003 Accreditation Criteria for Testing and Calibration Laboratories
(*identical to ISO/IEC17025: 1999 General Requirements for the
Competence of Testing and Calibration Laboratories*).

Accreditation scope of the laboratory is listed in the attachment.

Date of Issue: 2005.08.05

Date of Expiry: 2010.08.04

魏昊

TEST REPORT

1. OBJECT TESTED

Sample title	Single-phase static watt-hour meter	Logo	@-meter
Type	Home – 1.1211.21.11 120V, 10(60)A, 60Hz, CL-1	Sample grade	Eligibility
Manufacture date	2006	Serial No	60010025, 60010034, 60010039, 60010043, 60010047, 60010891, 60010892.
Manufacturer and place	Medidores Técnica Equipos S.A. – C.I. Bogotá – Colombia		
Consignor	Medidores Técnica Equipos S.A. – C.I. (VERIFYLAB)	Sample number	Seven
Test Type	Type Test	Test date	2007-04-23
Test standard	IEC 62052-11:2003 Electricity metering equipment (AC) – General requirements - test and test conditions – Part 11: Metering equipment IEC 62053-21:2003 Electricity metering equipment (AC) – Particular requirements - test and test conditions – Part 22: static meters for active energy (classes 1 and 2)		
Test items	IEC 62052-11:2003. Items 5.9; 7.5.6; 7.5.8 IEC 62053-21:2003. Items 8.2.3		
Description of the sample	Integrity availability, can be used for testing		
Test conclusion	<p>Accordance to the IEC 62052-11: 2003 Electricity metering equipment (AC) – General requirements - test and test conditions – Part 11: Metering equipment and IEC 62053-21:2003 Electricity metering equipment (AC) – Particular requirements - test and test conditions – Part 22: static meters for active energy (classes 1 and 2); Testing the sample and the test item fully comply with the requirement of the standards.</p> <p style="text-align: right;">Date: 2007-04-23</p>		
Notes	The self-numbers 1,2,3,4,5,6,7 in the report are corresponding to sample meter number 60010025, 60010034, 60010039, 60010043, 60010047, 60010891, 60010892.		

Technical manager:



Assessor:



Organizer:



2. RESULTS

No.	Test item		Standard requirements	Self-number	Test result	Conclusion
1	Mechanical Requirements	Protection against penetration of dust and water	IEC 62052-11:2003 Item 5.9	1	Pass	Pass
				2	Pass	
				3	Pass	
				4	Pass	
				5	Pass	
				6	Pass	
				7	Pass	
	EMC	Surge Immune test	IEC 62052-11:2003 Item 7.5.6	1	Pass	Pass
				2	Pass	
				3	Pass	
				4	Pass	
				5	Pass	
				6	Pass	
				7	Pass	
	Radio interference suppression	IEC 62052-11:2003 Item 7.5.8	1	Pass	Pass	
			2	Pass		
			3	Pass		
			4	Pass		
			5	Pass		
			6	Pass		
			7	Pass		
2	Influence quantities	Test of the influence of d.c. and even harmonics	IEC 62053-21:2003 Item 8.2.3	1	Pass	Pass
2				Pass		
3				Pass		
4				Pass		
5				Pass		
6				Pass		
7				Pass		



2. CARACTERISTICAS



Medidor Monofásico Electrónico Tipo Home

El medidor monofásico tipo home esta basado en un núcleo de medida totalmente electrónico, que recibe y procesa la información de medida soportado en la más avanzada tecnología digital.

Este producto, ensamblado en Colombia, ha sido concebido especialmente con el objeto de remplazar y mejorar a sus antecesores electromecánicos.



Certificaciones de calidad

Nuestro sistema de gestión de calidad está certificado ISO 9001, así garantizamos alta calidad y la mejor atención.

Sello de calidad ICONTEC

Los medidores marca @meter cuentan con el sello de calidad ICONTEC para equipos de medición de energía eléctrica C.A. requisitos particulares, medidores estáticos de energía activa clase 1 y 2 fabricados bajo norma NTC- 4052 (3ª. Actualización).



CARACTERISTICAS TECNICAS

Constructivas	
Marca	e-meter
Modelo	.HOME y/O HPM
Principio de Funcionamiento	Procesamiento de Señales Digitales
tipo de Registrador	Ciclo métrico y/o LCD
Registro Mínimo	0.01 kw / hora
Señal de Calibración	Diodo Led/ Salidas Transistor "Open- Collector"
tipo de Conexión	Frontal Interior
Numero de Hilos	Bifilar
Tapa Principal	Polí carbonato
Base	Polí carbonato y/o Baquelita
Tapa del Bloqueo de Conexiones	Polí carbonato
Operacionales	
Núcleo de Fases	Monofásico
Clase de precisión	1.0.
Norma de fabricación	IEC-61036 (NTC-4052)
Energía	Activa
Tensión nominal	120 voltios
Corriente Nominal	10 Amperios
Corriente máxima	60 Amperios
Corriente de Arranque	5 Mill-Amperios
Frecuencia Nominal	60 Hz
Sistema de Ajuste	Red Resistiva
Numero de Tarifas	. Mono y/o Multi-tarifa
Sistema de Integración Electrónica	Salida de Pulsos y/o (RS-485+ IrDA+Salida de Pulsos)



CUADRO COMPARATIVO DEL MEDIDOR
E-METER CON MEDIDORES ELECTROMECAÑICOS

Tipo de Medidores	Medidores Electromecánicos (Valores Típicos)	Medidor Electrónico E-METER
Perdida Total (W)	1.11	Menor de 0.7.
Corriente de Arranque (ma)	60	5
Sistema de Calibración	Tomillo de Ajuste	Red resistiva
Integración con otros sistemas	Ninguna	Salida de Pulsos y/o RS-485

ANEXO H: CARACTERISTICAS USB 6009

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X¹
- Linux²
- Pocket PC
- Win CE

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (Included)

- NI-DAQmx
 - Ready-to-run data logger
- ¹Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max. Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	+1 to +20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	+1 to +20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹SE = single ended, DI = differential

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data-logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging—Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use—The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.)
- Embedded OEM applications.

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3893 (U.S. only) or visit ni.com/oem. Go to the Ordering Information section for part numbers.

Ordering Information

NI USB-6008 ¹	779051-01
NI USB-6009 ¹	779026-01
NI USB-6008 OEM	193132-02
NI USB-6009 OEM	193132-01
NI USB-6008 Student Kit ^{1,2}	779320-22
NI USB-6009 Student Kit ^{1,2}	779321-22

¹ Includes NI-DAQmx software, NI ready-to-run data logger software, and a USB cable.

² Includes LabVIEW Student Edition.

BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 265 9891 (U.S. only) or go to ni.com/usb.

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (f to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (f to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	52.4
±4	3.58	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential

Type of ADC..... Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±10 V
 Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2,
 ±1.25, ±1 V

Maximum working voltage..... ±10 V
 Overvoltage protection..... ±35 V
 FIFO buffer size..... 512 B
 Timing resolution..... 41.67 ns (24 MHz timebase)
 Timing accuracy..... 100 ppm of actual sample rate
 Input impedance..... 144 k
 Trigger source..... Software or external digital trigger
 System noise..... 0.3 LSB_{max} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load)..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum
 at full scale
 Number of channels..... 2
 Type of DAC..... Successive approximation
 DAC resolution..... 12 bits
 Maximum update rate..... 150 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V
 Output impedance..... 50 Ω
 Output current drive..... 5 mA
 Power-on state..... 0 V
 Slew rate..... 1 V/µs
 Short-circuit current..... 50 mA

Digital I/O

Number of channels..... 12 total
 8 (P0..dL7-)
 4 (P1..dL3-)
 Direction control..... Each channel individually
 programmable as input or output
 Output driver type
 USB-6008..... Open-drain
 USB-6009..... Each channel individually
 programmable as push-pull or
 open-drain
 Compatibility..... CMOS, TTL, LVTTL
 Internal pull-up resistor..... 4.7 kΩ to +5 V
 Power-on state..... Input (high impedance)
 Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	–	50	µA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	–	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I = 8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I = 8.5 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I = 8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	–	V

Counter

Number of counters..... 1
 Resolution..... 32 bits
 Counter measurements..... Edge counting (falling edge)
 Pull-up resistor..... 4.7 kΩ to 5 V
 Maximum input frequency..... 5 MHz
 Minimum high pulse width..... 100 ns
 Minimum low pulse width..... 100 ns
 Input high voltage..... 2.0 V
 Input low voltage..... 0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum)..... +5 V typical
 +4.85 V minimum
 +2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical
 +2.5 V output accuracy..... 0.25% max
 Voltage reference temperature drift..... 50 ppm/°C max

¹Input voltages may not exceed the working voltage range.

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors)	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors)	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors)	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors)	84 g (3 oz)
I/O connectors	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC)	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend	300 μ A typical 500 μ A maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree	2

Safety and Compliance

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

Note: For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

Note: For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/336/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Note: Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers: At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.htm.

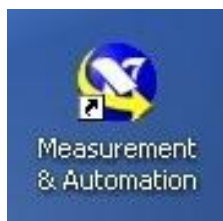
**ANEXO F: GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE
MONITOREO Y CONTROL**

GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE MONITOREO Y CONTROL

Lo primero que se debe hacer es conectar el variador de velocidad al compresor, luego conectar el contador digital home a la línea de alimentación del variador de velocidad, para después conectar la tarjeta 6009 al contador digital y luego conectar esta tarjeta al computador, posteriormente se alimenta el Field Point. Se procede a conectar el cable RS-232 al PC que permitirá la comunicación entre Field Point y el PC;

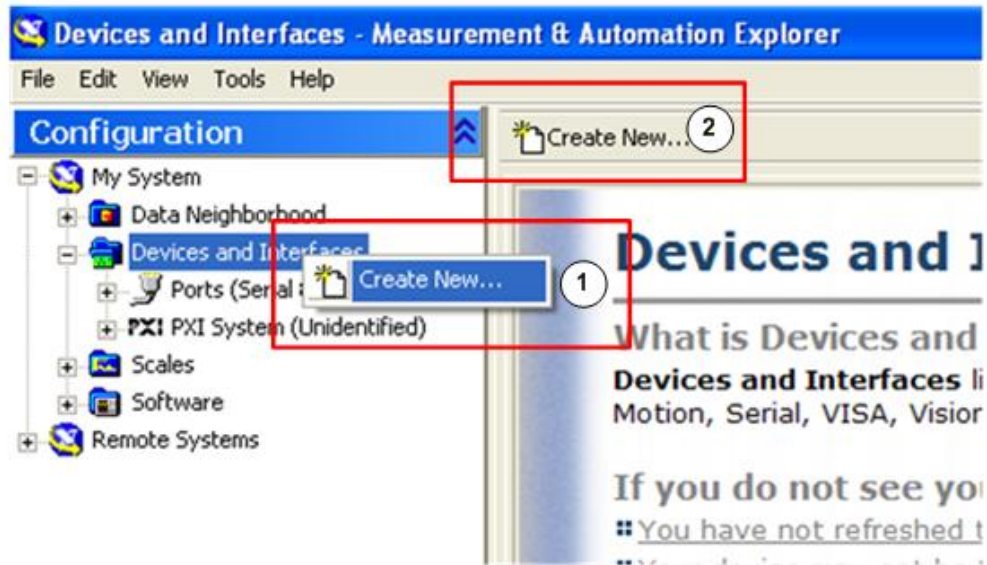
El programa de control y monitoreo implementado para la toma de datos de los diferentes controles fue realizado en Labview, para poder abrir y configurar los Field Points se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Abrir el Measurement & Automation, este es el software que permite configurar los diferentes canales de los diferentes Field points. Para acceder a este programa se puede desde inicio-programa-National Instruments-MAX o simplemente desde el escritorio donde se encuentra el siguiente icono:

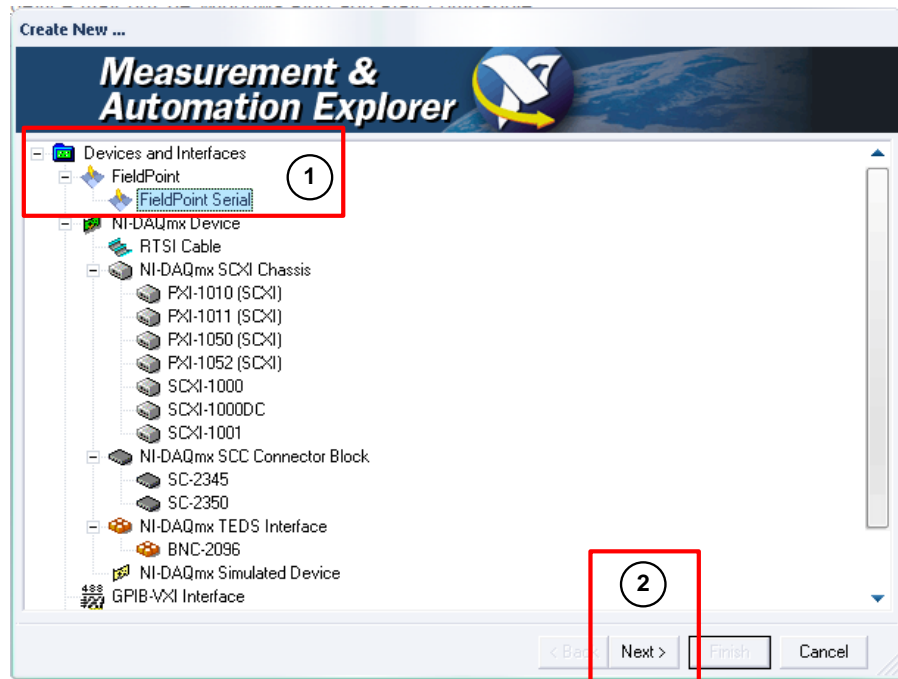


2. Posteriormente se abrirá una pantalla como la mostrada en la figura, que permitirá configurar el hardware Field Point, hay dos maneras de hacerlo: la primera es siguiendo la ruta Configuración/My System/Devices and Interfaces click derecho y seleccionar crear uno nuevo o simplemente seleccionar Device and

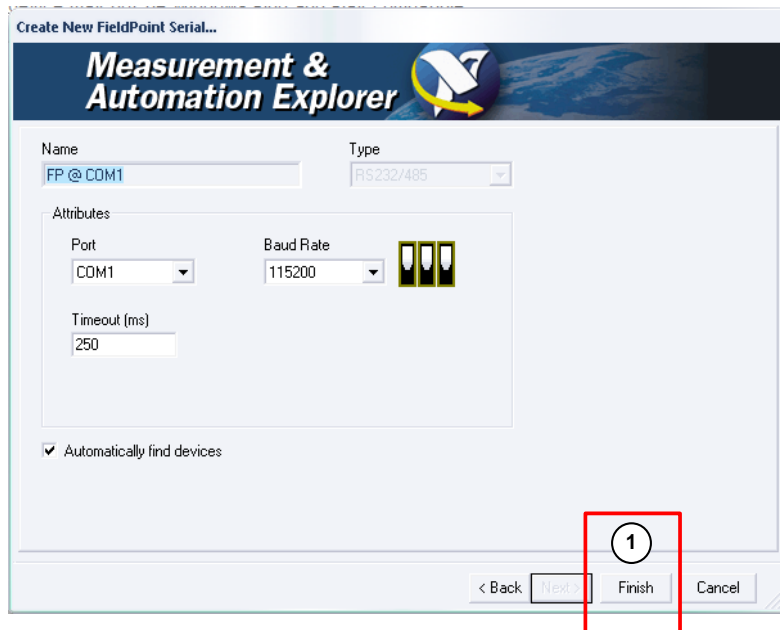
Interfaces del menú de configuración y dar click a Crear nuevo que aparece en la parte derecha.



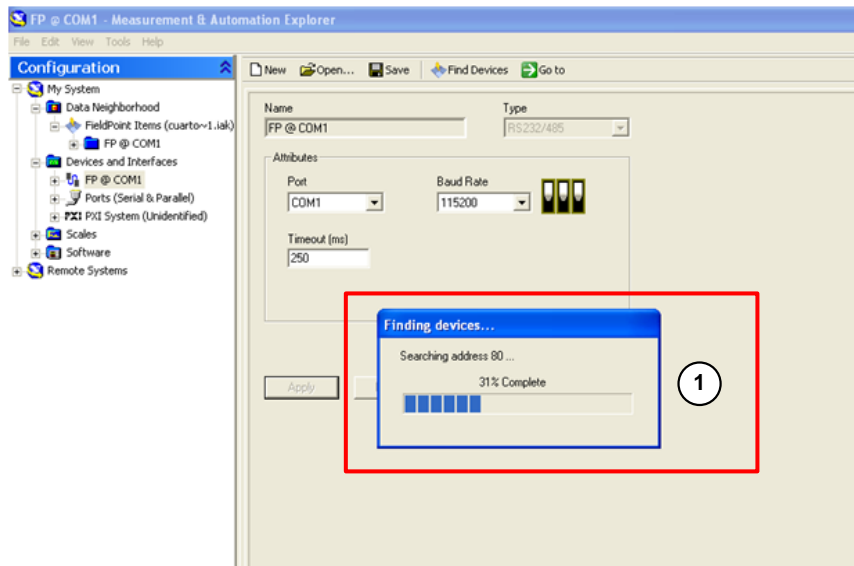
3. Al dar click en crear nuevo aparece la siguiente pantalla, se selecciona Devices and Interfaces/FieldPoint/FieldPoint Serial y se da click al botón next.



4. En la siguiente ventana donde sale el nombre del instrumento y el puerto donde lo va a leer se le da click en el botón finish.



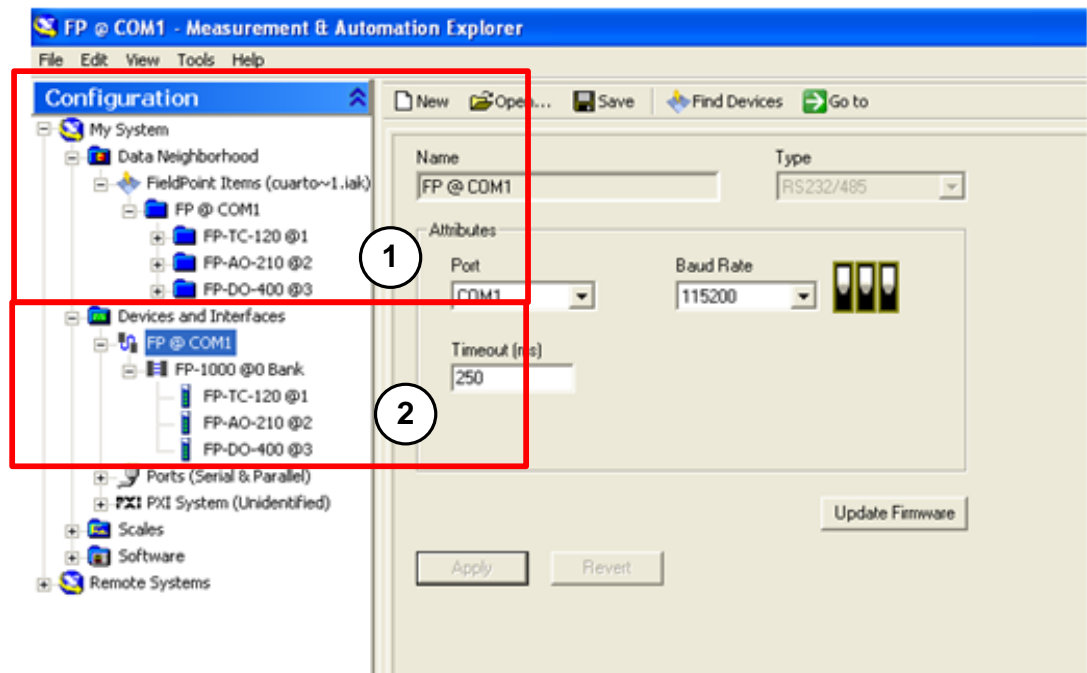
5. Automáticamente el software empieza a buscar y reconocer el modulo de FieldPoint mostrando en la pantalla el porcentaje completado de la busqueda. Configurando el puerto de entrada al que corresponda.



6. Cuando el porcentaje de búsqueda llega al 100% aparecen al lado derecho de la pantalla dos rutas:

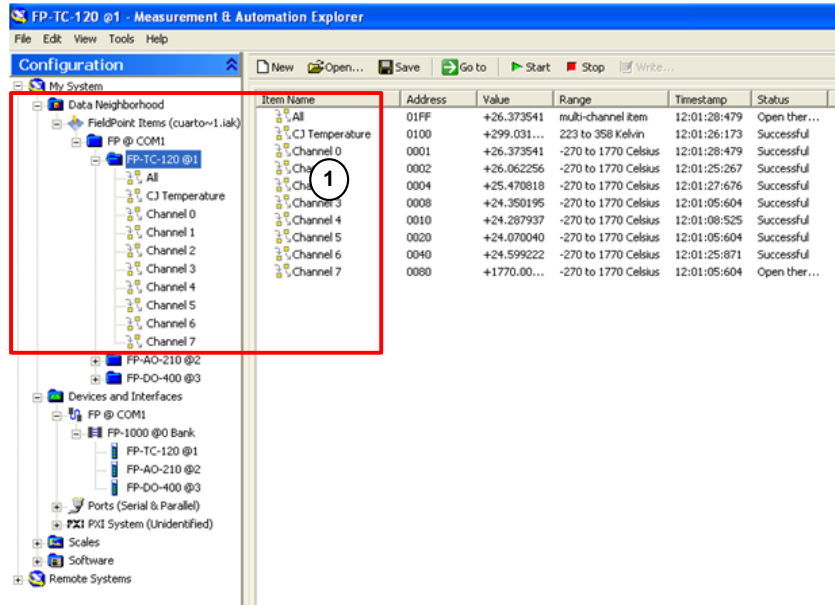
a. Configuration/ My System / Data Neighborhood /Fieldpoint Item / FP@COM1 donde aparecen todos los ítems de los módulos de FieldPoint conectados en ese momento por medio del cable RS-232 al PC.

b. Configuration/ My System / Devices and Interfaces/ FP@COM donde aparecen todos los módulos que conforman el FP@COM1.

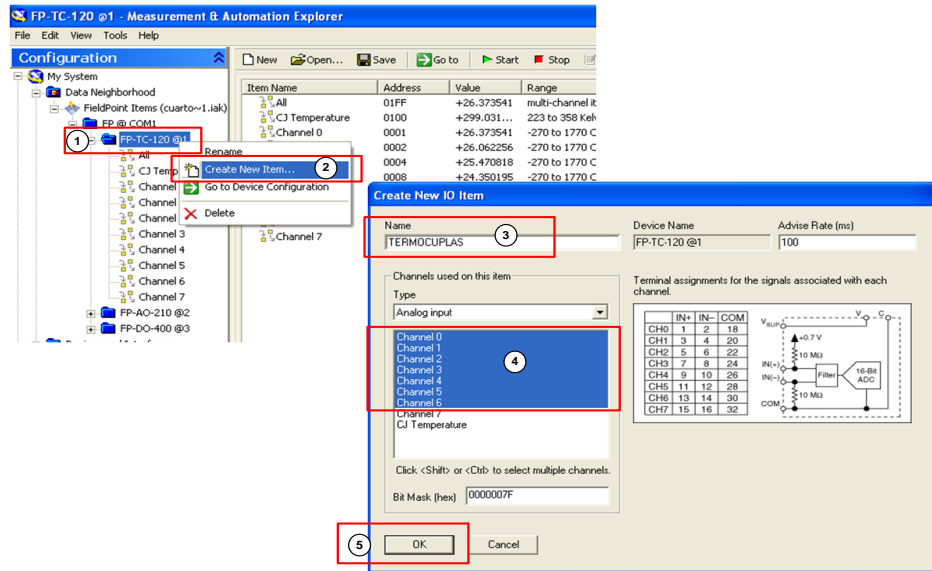


7. Por medio de la ruta (a) nombrada en el ítem anterior se puede reunir varios canales con un solo nombre para posteriormente cuando se requieran usar no se

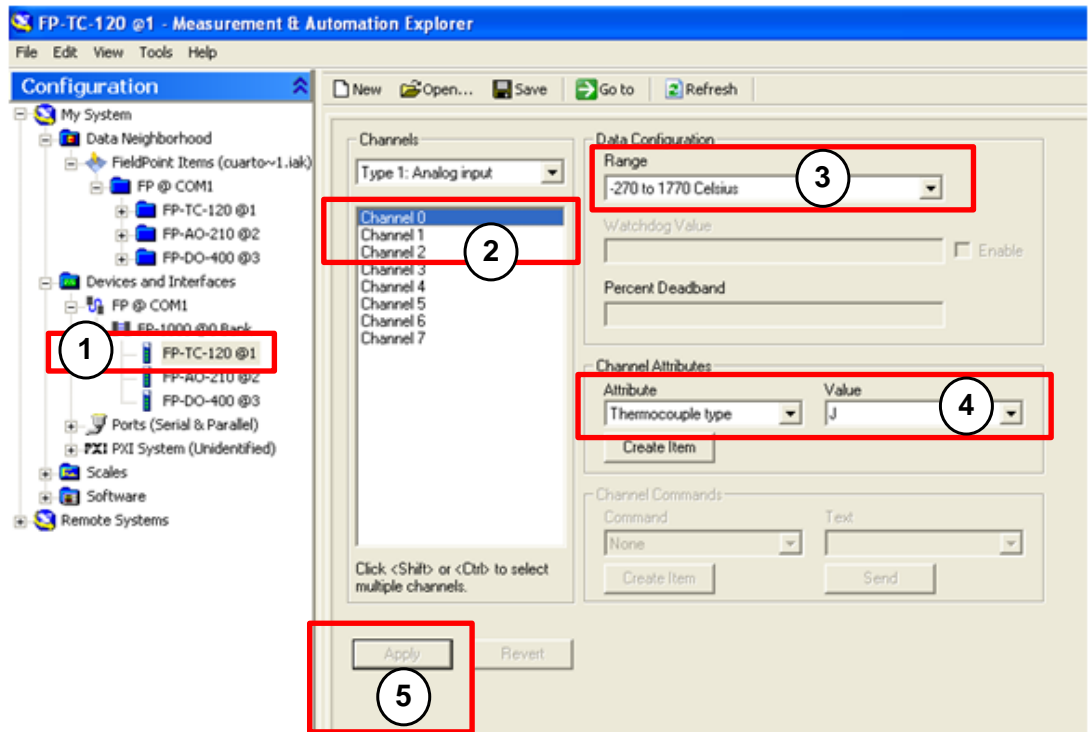
tenga que configurar uno por uno. Por ejemplo, al dar click en la carpeta FP-TC-120@1 se muestran todos los 8 canales que conforman ese modulo.



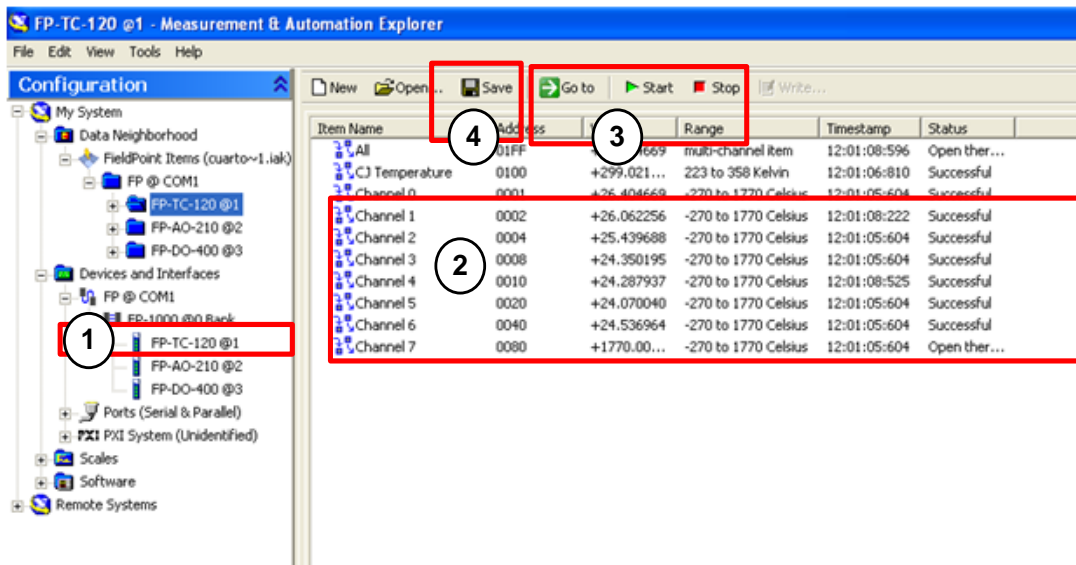
8. para crear un nuevo ítem se da click derecho en la carpeta FP-TC-120@1 y en el menú desplegable se escoge crear nuevo ítem dando origen a una nueva pantalla en la parte superior se coloca el nombre del nuevo ítem y posteriormente se seleccionan los canales que van a conformar ese nuevo ítem manteniendo a la vez presionado el botón ctrl y dando click sobre el canal que se desee incluir en el nuevo ítem.



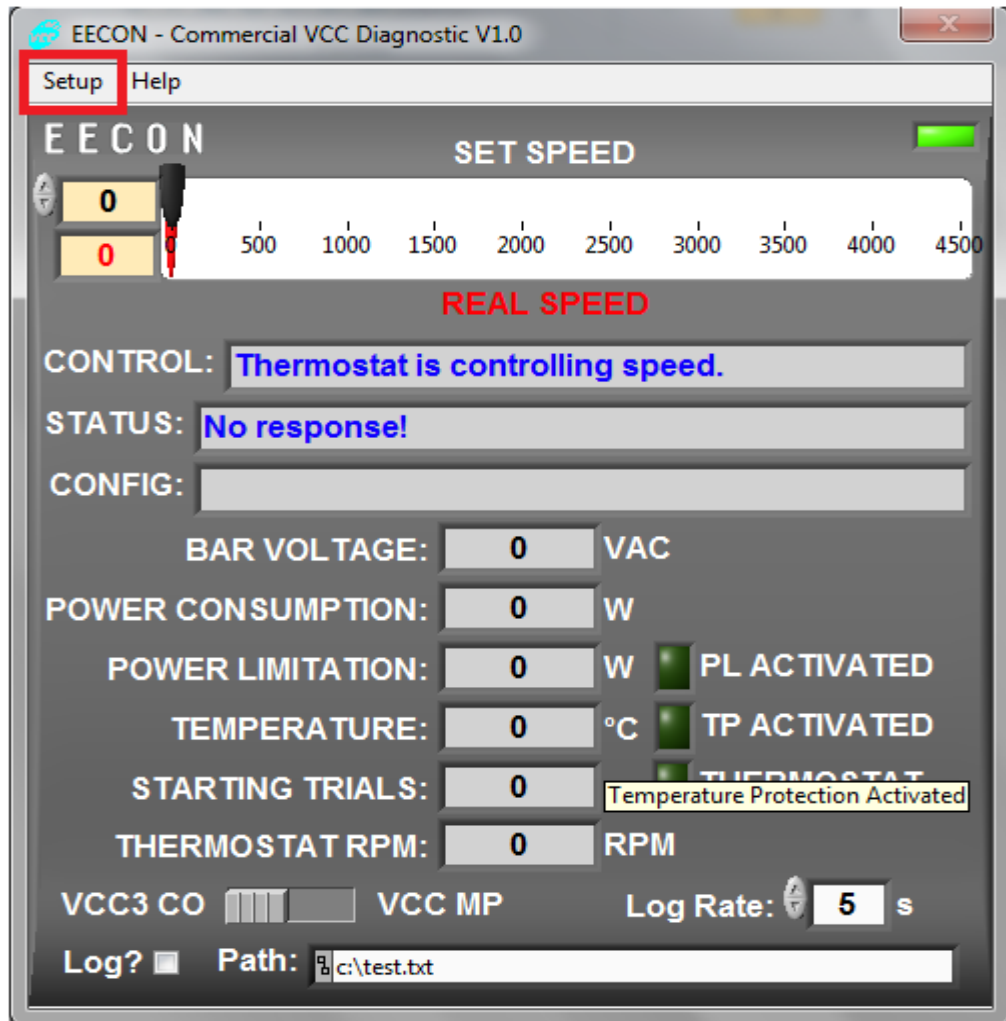
9. Para configurar los canales de los diferentes módulos se da click en el modulo y al lado derecho aparece una ventanita donde se listan los canales que conforman el modulo, se selecciona el canal y se le cuadra las unidades y el rango de operación, en el caso del modulo de termocuplas el tipo de termocupla usada. Se da click en aplicar y los cambios quedan automáticamente hechos.



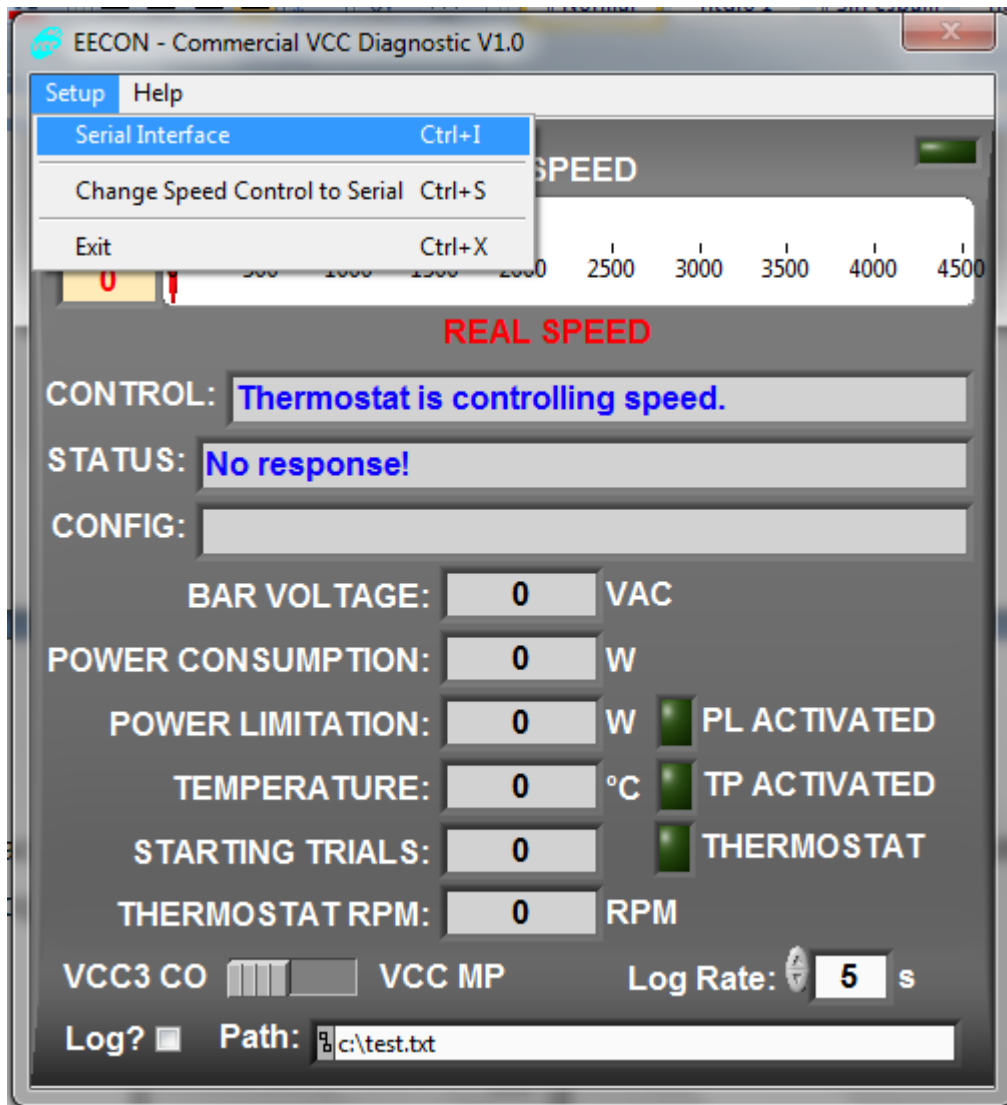
10. Para verificar que todos los canales de los módulos en uso estén sirviendo se le da click en el modulo que se quiere probar y en la pantalla derecha se le da click en el botón Go to donde sale una pantalla de todos los canales en servicio mostrando si están o no conectados, el rango de operación.



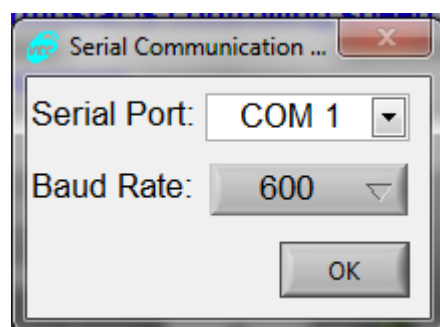
para encender el compresor se hace con el programa que proporciona el variador que es el que se muestra en la siguiente figura



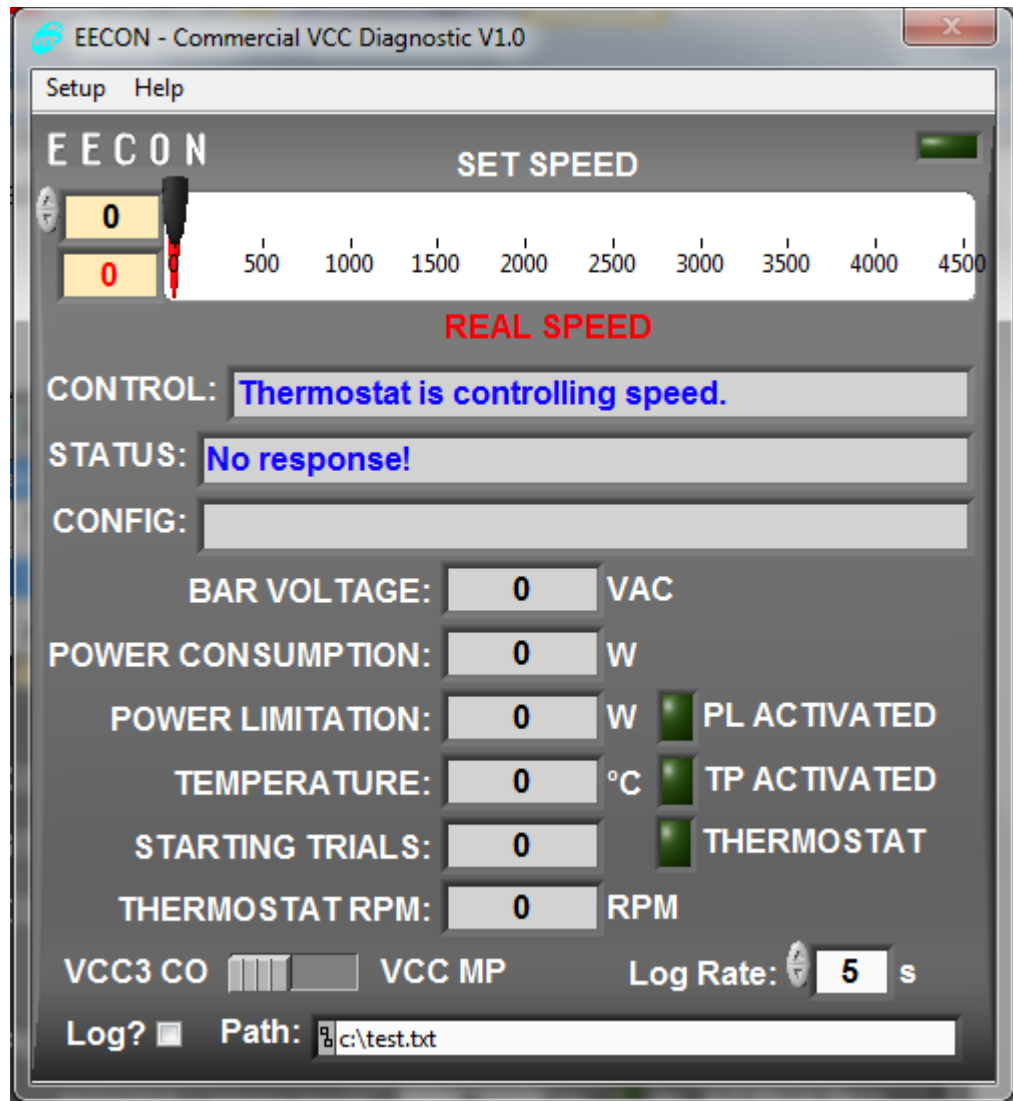
se activa el botón setup donde luego nos aparece el siguiente cuadro de dialogo.



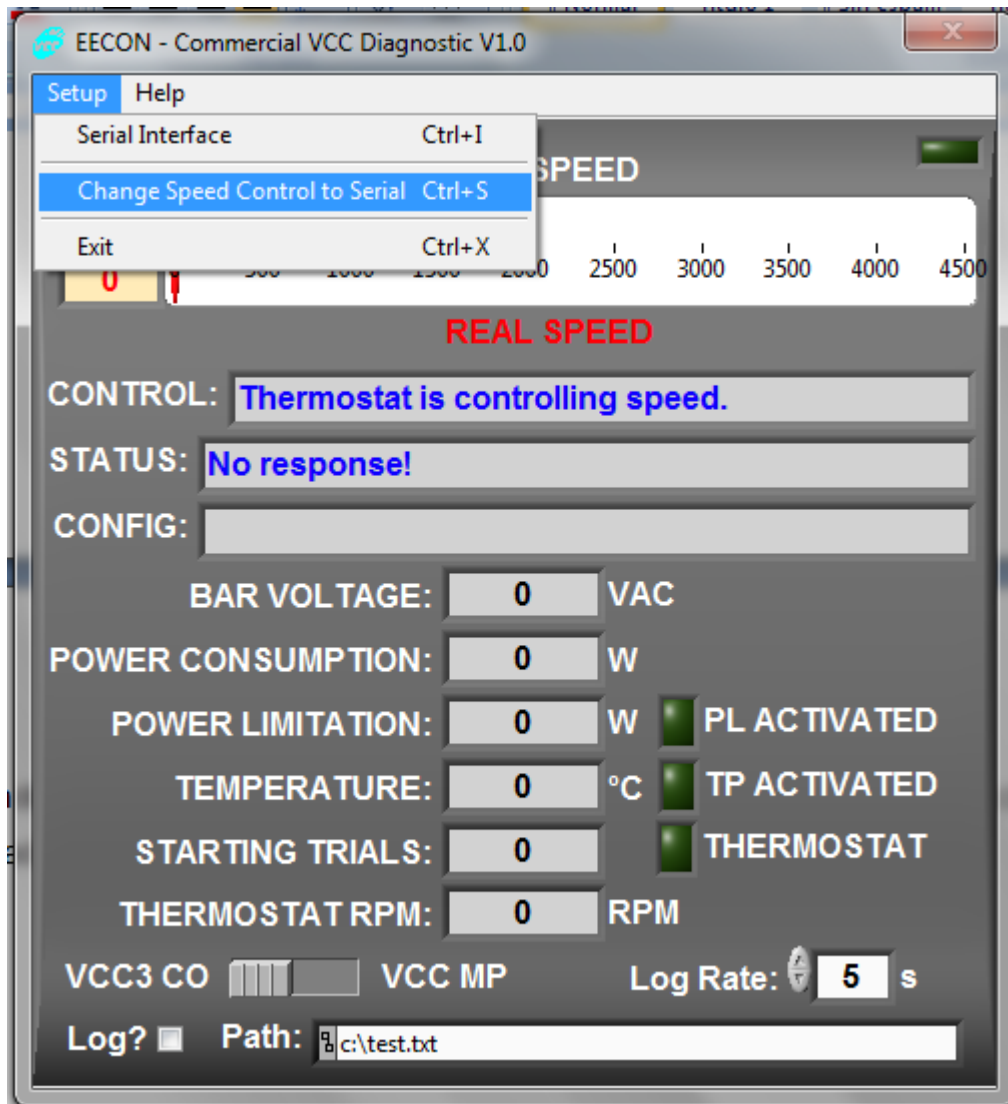
y se activa el cuadro serial interface, en donde aparecerá el siguiente cuadro de dialogo.



Donde se seleccionara el puerto serial y OK para poder comunicarse con el variador de velocidad; después se podrá ajustar la velocidad en set speed.



Pero para que se logre la velocidad que se marca en la regleta de velocidad se debe activar el cuadro de dialogo que aparece en la siguiente figura



Y luego exit donde el compresor quedara con la velocidad que se decida lo recomendado es bajar la velocidad a cero. Luego se abrirá labview

11. Se cierra el MAX y se realiza el mismo procedimiento descrito en el punto 1 pero ahora para abrir el LabVIEW. Abrir LabVIEW, este es el software de entorno grafico de programación que permite realizar la programación del monitoreo, almacenamiento de datos y control. Para acceder a este programa se puede desde inicio-programa-National Instruments-LabVIEW o simplemente desde el escritorio donde se encuentra el siguiente icono:



Se ejecuta el programa y aparece una ventana como la que se muestra donde se puede buscar un archivo existente o simplemente crear uno nuevo. El programa realizado para este estudio se encuentra en el escritorio del PC del laboratorio de Plantas Térmicas en una carpeta llamada programa de control y monitoreo de la mini planta piloto