



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
METEOROLÓGICOS EN TIEMPO REAL**

RICARDO GUZMÁN LUNA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente tesis, titulada: **SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS METEOROLÓGICOS EN TIEMPO REAL**, realizada por el alumno: **RICARDO GUZMÁN LUNA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

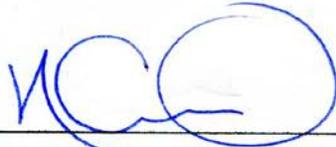
**MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS**

CONSEJO PARTICULAR

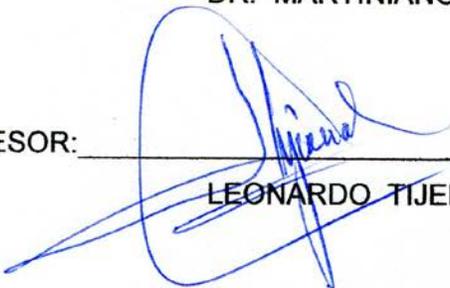
CONSEJERO: _____


DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR: _____


DR. MARTINIANO CASTRO POPOCA

ASESOR: _____


LEONARDO TIJERINA CHÁVEZ

Montecillo, Texcoco, México, 11 de Noviembre de 2013.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema de adquisición de datos meteorológicos en tiempo real utilizando un controlador lógico programable (PLC) como una alternativa dentro de las estaciones meteorológicas comerciales. Para sensor la: temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento, se usaron sensores comerciales, durante el periodo comprendido entre el 23 de Mayo al 3 de Junio de 2013, para probar la estación, en la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. El sistema se compone de un PLC (modelo CX1020, marca Beckhoff), una Laptop donde se instaló una aplicación de monitoreo en tiempo real que se desarrolló en Visual Basic 2010 Express y la base de datos en MySQL para almacenar la información, que se puede usar para fines diversos. La interacción entre el PLC y la aplicación de monitoreo se realizó mediante comunicación inalámbrica Wi-Fi. Se usaron los programas TwinCAT System Manager (para la configuración del hardware) y TwinCAT PLC Control (para la programación del PLC). Se evaluó el funcionamiento del sistema al realizar comparaciones de las lecturas obtenidas de los sensores, contra instrumentos de referencia y sensores de una estación meteorológica Campbell Scientific. Los resultados indican que es factible el uso del PLC en la implementación de estaciones meteorológicas.

Palabras clave: estaciones automáticas, meteorología, sensores, tiempo real.

ABSTRACT

The aim of this research was to develop a meteorological data acquisition system in real-time using a programmable logic controller (PLC) as an alternative to commercial weather stations. For sensing of: air temperature , relative humidity, solar radiation , rainfall, wind speed and direction, were used commercial sensors, during the period between May 23 to June 3 of 2013, to test the station, in the weather station of the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. The system consists of a PLC (CX1020 model, Beckhoff brand), a laptop where was installed an application of real-time monitoring that was developed in Visual Basic 2010 Express and the database in MySQL to store information, that can be used for different purposes. The interaction between the PLC and the monitoring application was implemented using wireless communication (Wi-Fi). Were used programs TwinCAT System Manager (Hardware configuration) and TwinCAT PLC Control (PLC programming). Was evaluated the system performance by making comparisons of the readings obtained of the sensors against reference instruments and sensors of a Campbell Scientific weather station. The results indicate that it is possible to use the PLC in the implementation of weather stations.

Key words: automatic stations, meteorology, sensors, real time.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis

A mis padres

María Luna Méndez y Adrián Guzmán Palestina, por todas sus enseñanzas, amor y sacrificio que han realizado durante toda su vida.

A mi esposa

Guadalupe Flores Rodríguez por su amor, apoyo, paciencia y comprensión.

A mis hijos

Eder Iván y Saúl, quienes son el motor para seguir adelante.

A mis hermanos

Adrián, Juventino, Roberto y Lilibeth por su apoyo incondicional.

A mis sobrinos

Mayte Guzmán Luna y Rubén Crivelli Vázquez a quienes quiero mucho.

Pero sobre todo a Dios, quien me dio la vida y me ha bendecido con toda mi familia y seres queridos, por darme fuerzas para salir adelante y ser una persona de bien.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado para continuar mi formación académica.

Al Colegio de Postgraduados y al programa de Hidrociencias por las facilidades otorgadas durante mi permanencia y realización de este proyecto.

Al Dr. Abel Quevedo Nolasco, por su dirección y apoyo incondicional, por sus acertados consejos y sugerencias, pero sobre todo por su amistad.

Al Dr. Martiniano Castro Popoca, por sus sugerencias y aportaciones en la realización del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Leonardo Tijerina Chávez, por sus acertadas sugerencias y comentarios en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al M.C. Pedro Ríos González, por su colaboración y aportaciones que contribuyeron a mejorar el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Alberto Ramírez Flores, por sus asesorías y aportaciones en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Sr. Narciso Torres Estrada, por su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE CUADROS	xvii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.3.1 Hipótesis General.....	4
1.3.2 Hipótesis particulares.....	5
1.4 Alcances	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Meteorología y tiempo atmosférico.....	6
2.2 Elemento meteorológico	6
2.2.1 Temperatura.....	6
2.2.2 Presión Atmosférica	7
2.2.3 Humedad relativa	7
2.2.4 Viento	7
2.2.5 Precipitación.....	8
2.2.6 Radiación solar.....	8
2.3 Estación meteorológica	8

2.3.1	Clasificación de las estaciones meteorológicas	9
2.3.2	Estación Meteorológica Automática	10
2.3.2.1	Clasificación de las Estaciones Meteorológicas Automáticas	10
2.3.2.2	Componentes de las estaciones meteorológicas automáticas....	12
2.4	Compañías Líderes en Estaciones meteorológicas.....	13
2.4.1	Vaisala	13
2.4.1.1	Modelo MAWS100 HydroMet.....	13
2.4.1.2	Modelo MAWS110 Hydromet.....	15
2.4.1.3	Modelo MAWS201 HydroMet.....	15
2.4.1.4	Modelo MAWS301 Hydromet.....	16
2.4.1.5	MAWS410 de Observación Marítima	16
2.4.1.6	AWS330.....	17
2.4.2	Campbell Scientific.....	17
2.4.2.1	Modelo GRWS100	18
2.4.2.2	Modelos RAWS.....	18
2.4.2.3	T107	19
2.4.3	Davis	20
2.4.3.1	Vantage Vue y Vantage Pro2.....	20
2.4.4	Diferencias entre estaciones	21
2.5	Disponibilidad de información meteorológica	23
2.5.1	Servicio Meteorológico Nacional SMN	23
2.5.2	Gerencia del Aguas Superficiales e información de Ríos (GASIR)	27
2.5.3	Comisión Federal de Electricidad (CFE)	28
2.5.4	Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM)	28

2.5.5	Servicio de la Defensa Nacional (SEDENA)	28
2.5.6	Distrito Federal	29
2.5.7	Otras instituciones.....	29
2.6	Programador Lógico Programable PLC.....	29
2.6.1	Antecedentes	30
2.6.2	Estructura de un PLC	31
2.6.3	Clasificación de los PLC.....	32
2.6.3.1	De acuerdo a su estructura.....	32
2.6.3.2	De acuerdo a su capacidad de procesamiento	35
2.6.4	Campo de aplicación de los PLC's	36
2.7	Señales.....	39
2.7.1	Señales Digitales.....	39
2.7.2	Señales Analógicas.....	40
2.8	Errores de medición de señales	41
2.9	Interferencia.....	41
2.10	Calidad de medición de señales.....	42
2.11	Causas posibles en errores de información meteorológica	43
2.12	Antecedentes de Automatización en sistemas de riego	43
2.13	Conclusiones	44
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1	Materiales	46
3.1.1	Fuente de alimentación	47
3.1.2	PLC CX1020	47
3.1.2.1	Criterio para selección de PLC.....	48
3.1.2.2	Modularidad	49

3.1.2.3	EtherCAT	50
3.1.3	Módulo CX1100-0004	50
3.1.4	Módulos de Entrada	51
3.1.4.1	Módulos de entrada digital	51
3.1.4.2	Módulos de entrada analógica	54
3.1.5	Módulo Terminal de bus EL9010.....	57
3.1.6	Regulador de voltaje μ A7805	57
3.1.7	Materiales y equipos complementarios	58
3.1.7.1	Interruptor termo-magnético.....	58
3.1.7.2	Materiales de Instalación.....	59
3.1.7.3	Vista general de componentes en gabinete	62
3.2	Software	63
3.2.1	TwinCAT.....	63
3.2.1.1	TwinCAT System Control.....	63
3.2.1.2	TwinCAT System Manager	67
3.2.1.3	TwinCAT PLC Control	69
3.2.2	Microsoft Visual Studio 2010 Express y MySQL	72
3.3	Instrumentación (Sensores Meteorológicos)	73
3.3.1	Sensor de Radiación	73
3.3.2	Sensor de Temperatura	74
3.3.3	Sensor de Humedad Relativa.....	75
3.3.4	Sensor de velocidad y dirección del viento	76
3.3.4.1	Sensor de velocidad del viento (anemómetro).....	77
3.3.4.2	Sensor de dirección del viento (veleta)	77
3.3.5	Pluviómetro	78

4	METODOLOGÍA.....	79
4.1	Implementación	80
4.1.1	Adecuación de Señales.....	80
4.1.1.1	Medición de Temperatura	80
4.1.1.2	Medición de Humedad	84
4.1.1.3	Medición de Velocidad del Viento	87
4.1.1.4	Medición de Dirección del Viento.....	91
4.1.1.5	Medición de Radiación Solar.....	93
4.1.1.6	Medición de Precipitación	95
4.1.2	Configuración de TwinCAT System Control	97
4.1.3	Configuración de TwinCAT System Manager.....	98
4.1.3.1	Configuración del Sistema	98
4.1.3.2	Configuración del PLC	102
4.1.3.3	Configuración de Dispositivos de Entrada/Salida.....	103
4.1.3.4	Vincular proyecto de PLC con TSM	112
4.1.4	Conexión de Sensores	117
4.1.4.1	Conexión de pluviómetro.....	118
4.1.4.2	Conexión de sensores de dirección y velocidad del viento	119
4.1.4.3	Conexión de sensores de temperatura y humedad.....	120
4.1.4.4	Conexión de sensor de radiación.....	121
4.1.5	Creación de programa de PLC en TwinCAT PLC Control.....	122
4.1.5.1	Descripción de Funciones.....	126
4.1.6	Aplicación Visual Basic 2010 con función HMI y Base de datos	133
4.1.6.1	TwinCAT.Ads en Visual Studio.NET	134

4.1.6.2 Descripción breve de código para establecimiento de comunicación.....	135
5 RESULTADOS	142
5.1 Evaluación de sensores.....	142
5.1.1 Comparación entre sensores de humedad relativa	144
5.1.2 Comparación de la velocidad y dirección del viento.....	147
5.1.3 Comparación entre los sensores de radiación	151
5.1.4 Comparación entre instrumentos de precipitación	154
5.2 Evaluación Económica	155
6 CONCLUSIONES	159
7 RECOMENDACIONES.....	161
8 LITERATURA CITADA	162
ANEXOS.....	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Estructura de Estación meteorológica Automática.....	12
Figura 2.2.	Estación MAWS 100 Hydromet	15
Figura 2.3.	Estación Meteorológica GRWS100	18
Figura 2.4.	Estación Meteorológica RAWS-F	19
Figura 2.5.	Estación Campbell T107	20
Figura 2.6.	Estación compacta Vantage Vue.....	21
Figura 2.7.	Estructura básica de PLC	31
Figura 2.8.	PLC Nano.....	33
Figura 2.9.	PLC Compacto.....	34
Figura 2.10.	Estructura de PLC modular	35
Figura 2.11.	Ejemplo de Señal Digital	40
Figura 2.12.	Ejemplo de señal analógica.....	41
Figura 3.1.	Fuente de alimentación Weidmuller de 120 V ca a 24 V de cd	47
Figura 3.2.	PC Embeded CX1010-0121	48
Figura 3.3.	Modularidad de componentes	49
Figura 3.4.	Módulo CX1100-0004	50
Figura 3.5.	Módulo de entrada digital	52
Figura 3.6.	Power contacts.....	53
Figura 3.7.	Módulo de entrada analógica EL3102	55
Figura 3.8.	Módulo de entrada analógica EL3312	56
Figura 3.9.	Regulador de voltaje μ A7805	57
Figura 3.10.	Partes principales de interruptor termo-magnético	58
Figura 3.11.	Gabinete	60
Figura 3.12.	Riel DIN.....	60
Figura 3.13.	Clemas.....	61
Figura 3.14.	Conector glándula	62
Figura 3.15.	Canaleta.....	62
Figura 3.16.	Vista general de componentes en gabinete.....	63
Figura 3.17.	TwinCAT System Control	64
Figura 3.18.	Net Id de Equipo Local	65
Figura 3.19.	Conexión remota.....	66
Figura 3.20.	Exploración de equipos remotos	66

Figura 3.21. Ruta de proyecto.....	67
Figura 3.22. TwinCAT System Manager.....	68
Figura 3.23. Ejemplo de lenguaje IL.....	70
Figura 3.24. Ejemplo de lenguaje ST	71
Figura 3.25. Ejemplo de lenguaje FBD.....	71
Figura 3.26. Ejemplo de lenguaje LD	71
Figura 3.27. Ejemplo de lenguaje SFC.....	72
Figura 3.28. Piranómetro LI-200.....	74
Figura 3.29. Sensor de Temperatura y Humedad Relativa.....	75
Figura 3.30. Sensores de velocidad y dirección del viento	77
Figura 3.31. Pluviómetro	78
Figura 4.1. Onda Senoidal	88
Figura 4.2. NetID.....	97
Figura 4.3. TwinCAT System Manager.....	98
Figura 4.4. Selección de sistema de destino	99
Figura 4.5. Selección del sistema de destino remoto	100
Figura 4.6. Opciones de arranque “Boot settings”	102
Figura 4.7. Plc Settings	103
Figura 4.8. Explorar Dispositivos.....	104
Figura 4.9. Advertencia de escaneo.....	104
Figura 4.10. Selección de tarjeta de red.....	105
Figura 4.11. Confirmación de escaneo de dispositivos.....	106
Figura 4.12. Dispositivos disponibles	106
Figura 4.13. Agregar Dispositivos	107
Figura 4.14. Tipos de protocolos de comunicación.....	107
Figura 4.15. Dispositivo EtherCAT	108
Figura 4.16. Configuración de CX1100-0004	109
Figura 4.17. Selección de CX1100-0004.....	109
Figura 4.18. CX1100-0004 configurado.....	110
Figura 4.19. Selección de módulo EL1014	111
Figura 4.20. Módulo EL1014 configurado.....	111
Figura 4.21. Vinculación de programa Plc con TSM.....	112
Figura 4.22. Variables asociadas	113
Figura 4.23. Escalamiento de variables.....	114

Figura 4.24. Valores en tiempo real.....	115
Figura 4.25. Cuadro de dialogo de Forzado	116
Figura 4.26. Vinculación de variables con hardware	116
Figura 4.27. Distribución de componentes y sensores	117
Figura 4.28. Esquema de conexión de pluviómetro en módulo EL1014	118
Figura 4.29. Esquema de conexión de sensores de dirección y velocidad de viento en módulo EL3102	119
Figura 4.30. Esquema de conexión de sensores de temperatura y humedad en módulo EL3102.....	120
Figura 4.31. Esquema de conexión de sensor de radiación en módulo EL3312.....	121
Figura 4.32. Selección de tipo de Sistema de Destino en TwinCAT PLC Control.....	122
Figura 4.33. Creación de POU principal	123
Figura 4.34. Creación de POU y selección de tipo de lenguaje	124
Figura 4.35. Lista de POUs en TwinCAT PLC Control	125
Figura 4.36. Código de PLC para lectura de temperatura	126
Figura 4.37. Código de PLC para lectura de humedad.....	127
Figura 4.38. Código de PLC para escaneo de valores máximos de onda senoidal de velocidad.....	128
Figura 4.39. Código de PLC para lectura de velocidad	129
Figura 4.40. Código de PLC para lectura de dirección del viento	130
Figura 4.41. Código de PLC para lectura de dirección de radiación solar	131
Figura 4.42. Código de PLC para precipitación acumulada.....	132
Figura 4.43. Agregar Referencia TwinCAT.Ads.....	134
Figura 4.44. Fragmento de código de notificación de eventos.....	136
Figura 4.45. Fragmento de código de casos de eventos de notificación.....	138
Figura 4.46. Interface Gráfica de Aplicación HMI	139
Figura 4.47. Menú de selección de base de tiempo para almacenamiento en base de datos	140
Figura 4.48. Base de datos en MySQL.....	141
Figura 5.1. Relación de temperatura de sensor HO2NVSTA1 y bulbo seco de psicrómetro	144
Figura 5.2. Psicrómetro ventilado tipo Assman	144
Figura 5.3. Relación de humedad relativa de sensor HO2NVSTA1 y de referencia	147
Figura 5.4. Actinógrafo tipo Robitzsch.....	151

Figura 5.5. Datos registrados por el actinógrafo.....	152
Figura 5.6. Datos calcados.....	152
Figura 5.7. Muestras de la lectura	153
Figura 5.8. Integrador de área foliar LI - 3100 C.....	153
Figura 5.9. Relación entre Piranómetro y Actinógrafo	154

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Comparativa de precios de PLC's.....	49
Cuadro 4.1. Distribución de conexión de sensores en tarjetas de entrada.....	79
Cuadro 4.2. Ejemplo de escalamiento de valores de temperatura.	84
Cuadro 4.3. Ejemplo de escalamiento de valores de humedad.....	87
Cuadro 4.4. Mediciones para determinación de lámina por impulso.	96
Cuadro 4.5. Resumen de Funciones POU utilizadas y descripción.....	125
Cuadro 5.1. Temperaturas de sensor HO2NVSTA1 y de Referencia.....	143
Cuadro 5.2. Humedad relativa de sensor HO2NVSTA1 y de Referencia.	146
Cuadro 5.3. Análisis vectorial de Velocidad y dirección del viento de sensores 3101 R.M. y 3301 contra sensor de estación Campbell.....	148
Cuadro 5.4. Determinación de cuadrante de vector resultante.....	150
Cuadro 5.5. Conversión de las áreas a energía solar recibida del actinógrafo y radiación solar de sensor.....	153
Cuadro 5.6. Lámina de sensor TE525 y sensor de Referencia Campbell.	155
Cuadro 5.7. Costo total de estación meteorológica.....	156
Cuadro 5.8. Precio estación automática Campbell Scientific.....	157

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han establecido redes de estaciones meteorológicas en muchos países alrededor del mundo, entre ellos México. Así también se le han incorporado nuevas tecnologías conforme ha avanzado el desarrollo de componentes electrónicos más potentes y de menor consumo de energía.

Los avances en los últimos 20 años se han producido en todos los ámbitos, lo que reduce el costo y la logística de la medición del medio ambiente a largo plazo. Con un rápido crecimiento de las opciones de comunicación a distancia (Tanner, 2001).

En México se han establecido diversas redes de estaciones meteorológicas, con diferentes propósitos. Por ejemplo el estudio del clima y tiempo atmosférico para poder tener información representativa que pueda ayudar en el desarrollo de diversas actividades como la agricultura, ganadería, transporte, salud, esparcimiento, prevención de desastres, calentamiento global y cambio climático, entre otros. Donde cada vez más se tiende al uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) que puedan reportar datos precisos y fiables, que se han convertido en herramienta en el estudio del clima y el tiempo atmosférico.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuenta con tres redes de estaciones tradicionales de monitoreo y una red de estaciones automáticas telemétricas. Dentro de las redes que cuenta son: la red de estaciones climatológicas, en la cual operan actualmente cerca de 3000 de ellas. La red de observatorios sinópticos con un total de 85 observatorios en todo el territorio nacional y la red de estaciones de radio sondeo, integrada por una red de 15 estaciones de monitoreo de altura. Y una red de estaciones automáticas de monitoreo de superficie comunicadas vía satélite. (Quintas, 2000).

En todos los casos, las EMA son de manufacturación extranjera, por ello se requiere desarrollar una estación meteorológica que pueda reportar información de calidad para diferentes aplicaciones.

1.1 Justificación

Las estaciones meteorológicas que son utilizadas en México son de origen extranjero, donde sus costos propios, más de importación, impuestos, entre otros resultan costosas. Es por ello que se tiene la necesidad de desarrollar una estación meteorológica, la cual debe ser eficiente y confiable como lo es una estación automática comercial, pero a un costo competitivo.

El proyecto contempla el uso de tecnologías confiables con base en PLC , ampliamente probadas en el campo de la automatización industrial, que se integran de forma modular para un rápido desarrollo, e incluso un reemplazo de componentes en caso de daños y/o fallas. Así mismo el sistema posee la característica de poder crecer a nuevas necesidades no solo respecto a la cantidad de variables a ser leídas, sino a poder realizar nuevas tareas según necesidades específicas, (p.e. de riego, cálculo de ETP, programa de prevención de plagas, entre otros) ya que se ejecuta bajo un sistema operativo, el cual es capaz de realizar procesamiento complejo de datos.

La implementación del sistema se basa en el hecho de utilizar un sistema completamente funcional como lo es el sistema operativo Windows, y que por lo tanto otorga grandes prestaciones a la hora de realizar tareas de procesamiento complejo de datos, así como funcionalidades de escritorio remoto y comunicaciones TCP/IP compatible para expandirse a casi cualquier sistema de telemetría.

Aunque las estaciones meteorológicas que se utilizan actualmente han sido ampliamente probadas, se encuentra como inconveniente que cuando alguna entrada del sistema se daña, es necesario el remplazo total de la unidad de procesamiento. Al contrario de un sistema con base en PLC, el cual funciona de forma modular, se puede reemplazar algún componente de forma independiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos meteorológicos con base en PLC (Programmable Logic Controller) para fines diversos (riego, meteorológico, entre otros).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las posibles alternativas tecnológicas, dentro de los PLC, para la implementación del sistema de adquisición de datos.
- Descripción de la programación de los PLC, para interactuar con los dispositivos (sensores).
- Selección y adecuación de los diferentes sensores con el PLC.
- Integrar el PLC, sensores y software para el desarrollo de una estación automática.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis General

El factible desarrollar un sistema de adquisición de datos meteorológicos con base en los PLC.

1.3.2 Hipótesis particulares.

- Dentro de la diversidad de PLC existe al menos uno para la implementación del sistema de adquisición de datos.
- La programación de los PLC es fácil e intuitiva para su interacción con los dispositivos (sensores).
- Los sensores meteorológicos se pueden integrar con el PLC, con la previa selección y adecuación de estos.
- El uso de los PLC, facilita el desarrollo de una estación automática.

1.4 Alcances

Se contempló la implementación de un sistema de adquisición de datos meteorológicos en tiempo real con base en PLC y su almacenamiento de la información en una base de datos. Así también el desarrollo de una interface gráfica para interactuar con el sistema y observar en tiempo real los valores de las variables meteorológicas. El uso de la información será para fines diversos p.e. cálculo de evapotranspiración, pronóstico del tiempo, etc.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Meteorología y tiempo atmosférico

El término meteorología viene de la palabra griega meteoros “alto en el cielo” (Ahrens et al.,2012) y logos “tratado”, es la ciencia interdisciplinaria que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen. Cuando se habla del tiempo, se refiere a condición de la atmosfera en algún momento en particular y lugar, que siempre está en constante cambio. Se utilizan parámetros como la temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación, actuales y previos con el objetivo de predecir el tiempo atmosférico a 24 o 48 horas, y así se elabora un pronóstico del tiempo a medio plazo.

2.2 Elemento meteorológico

Es una variable atmosférica o fenómeno (temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, nieblas, ciclones o anticiclones, etc.) que caracteriza el estado del tiempo en un lugar específico y en un tiempo dado , a continuación se describen algunos de ellos.

2.2.1 Temperatura

La OMM (WMO, 1992) define la temperatura como una magnitud física que caracteriza el movimiento medio de las moléculas en un cuerpo. Y su valor es determinado por la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos (WMO, 2008).

2.2.2 Presión Atmosférica

Es la fuerza que se ejerce por unidad de superficie como resultado del peso de la atmósfera por encima del punto de medición (WMO, 2008), es decir es el peso de la columna vertical de aire sobre la unidad de superficie.

2.2.3 Humedad relativa

Es la cantidad de vapor de agua que contiene una masa de aire con relación a la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener un volumen de aire, sin producirse condensación, al conservar las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. La OMM (WMO, 1998) la define como: “la razón expresada en porcentaje, entre la presión de vapor observada y la tensión del vapor saturante a la misma temperatura y presión”

2.2.4 Viento

Es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Günter (2002) lo define como “la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos”. Por su parte Mazzarella (1972), lo define como una cantidad vectorial tridimensional con pequeñas fluctuaciones aleatorias en espacio y tiempo superpuesto a un flujo organizado a mayor escala. Para cuestiones meteorológicas se considera como una cantidad vectorial, que se integra por su magnitud y su dirección, que se representa por su velocidad y dirección respectivamente en un tiempo dado (WMO, 2008). La unidad estándar para la dirección del viento se da en grados dextrósum (es decir en sentido de las agujas del reloj) a partir del norte. Su escala es 0-36, o 0-360, donde para 36 o 360 es viento proviene del Norte y 09 o 90 cuando proviene el viento del Este. Las unidades del viento pueden ser en ms^{-1} , kmh^{-1} , u otra que relacione la distancia entre el tiempo.

2.2.5 Precipitación

Se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o el aire y se deposita en suelo, incluye nieve, escarcha, precipitación de la neblina y el rocío (WMO, 2008). La unidad de medición es usualmente milímetros (volumen/área) o Kg/m^2 (masa/área).

2.2.6 Radiación solar

Es la energía en forma de ondas electromagnéticas proveniente del sol y que recibe la tierra. La radiación incidente en la atmósfera superior es llamada radiación solar extraterrestre; 97 por ciento de la cual se encuentra en el rango de 290 a 3000 nm es llamada radiación solar. Parte de la radiación extra-terrestre penetra la atmósfera (radiación directa), mientras que otra es dispersada y/o absorbida (radiación difusa) por las moléculas gaseosas, partículas de aerosoles y las gotas de agua o cristales de hielo presentes en la atmósfera (WMO, 2008).

2.3 Estación meteorológica

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas: temperatura del aire y del suelo, humedad del aire, viento, radiación solar, presión atmosférica, tipo de nubes, evaporación y precipitación. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas como para estudios climáticos.

La Organización Meteorológica Mundial recomienda que se instalen en sitios representativos de las condiciones del clima y del suelo. Con ningún obstáculo (árboles, edificios, torres) debe proyectar sombras sobre los instrumentos o impedir la libre circulación del aire. El terreno debe estar cubierto de césped corto

y debe ser plano y nivelado, de lo contrario podrían producirse inundaciones o dificultar el acceso al mismo.

Respecto a las funciones con que debe contar una estación meteorológica Tanner (1990) menciona que deben tener (1) sensores meteorológicos que proporcionen una señal electrónica, (2) electrónica para convertir la señal del sensor a un valor digital y (3) medios de almacenamiento para respaldo en sitio y (4) hardware de telecomunicaciones para transmisión de la información, de manera preferente.

2.3.1 Clasificación de las estaciones meteorológicas

La OMM clasifica a las estaciones meteorológicas con diferentes criterios como:

A) Según su finalidad:

- Sinóptica
- Climatológica
- Agrícolas
- Especiales
- Aeronáuticas
- Satélites

B) De acuerdo a la magnitud de las observaciones:

- Principales
- Ordinarias
- Auxiliares

C) Por el nivel de observación:

- Superficie
- Altitud

D) Según el lugar de observación:

- Terrestre
- Aéreas
- Marítimas

2.3.2 Estación Meteorológica Automática

Una estación meteorológica automática (EMA) es una versión automatizada de la tradicional estación meteorológica , preparada ya sea para ahorrar labor humana o para permitir mediciones de áreas remotas o inhóspitas.

En las últimas décadas se ha presentado un enorme avance en las tecnologías a base de semiconductores, la introducción de componentes CMOS de bajo consumo ha permitido la operación de estaciones meteorológicas con alimentación de 12 volts de corriente directa. Los microprocesadores simplifican el diseño de las EMA y permiten el procesamiento en sitio (Tanner, 2001).

2.3.2.1 Clasificación de las Estaciones Meteorológicas Automáticas

La clasificación de las estaciones meteorológicas automáticas se puede encarar desde varios puntos de vista. Se ha hecho costumbre clasificarlas en dos clases principales, de acuerdo al propósito para el cual se utilizan sus salidas de información (Colegio de Postgraduados, 2013).

- a) Estaciones climatológicas (datos en tiempo diferido o sistema de datos)
- b) Estaciones sinópticas (datos en tiempo real)

Los equipos representativos de ambas categorías pueden ser totalmente semejantes, excepto por la presencia de una unidad de codificación y un enlace de telecomunicaciones en las estaciones automáticas de tiempo real, conectando la estación con el consumidor de la salida de información en tiempo real. Una

unidad de telecomunicación no forma parte necesariamente de una estación climatológica.

Las dos clases principales de estaciones meteorológicas automáticas, descritas anteriormente pueden subdividirse. Según la clase de emplazamiento de la instalación, el equipo automático se puede llamar terrestre (urbano, del desierto, de montaña) u oceánico (a bordo de buques, boya a la deriva, boya fondeada).

Las estaciones se pueden clasificar conforme a la finalidad de la información: aviación, aviso de condiciones meteorológicas adversas, monitoreo de polución, micro climatología, etc.

Para la clasificación se pueden tomar como base las características técnicas del equipo automático: alimentado por red eléctrica, por batería, por generador, estaciones meteorológicas accionadas mecánicamente, completamente electrónicas, de proceso de datos en el lugar o fuera del mismo, protegidos de la intemperie o no protegidos (para instalaciones bajo techo), etc.

Existe una clasificación de estaciones meteorológicas automáticas basada en el potencial de información del equipo, partiendo del simple registrador de datos de cinco variables como categoría más baja.

Se pueden considerar distintas clases de equipos automáticos basados en las características de fiabilidad de las estaciones, etc.

2.3.2.2 Componentes de las estaciones meteorológicas automáticas

La configuración de una EMA puede variar de acuerdo al propósito del sistema, pero típicamente consiste en una estructura modular con los componentes siguientes:

- Un gabinete para intemperie, con un data logger, batería recargable y telemetría (opcional)
- Sensores meteorológicos (Variable de acuerdo a la aplicación)
- Paneles solares o generador eólico
- Mástil

La Figura 2.1 muestra de forma esquemática las partes principales de una EMA.

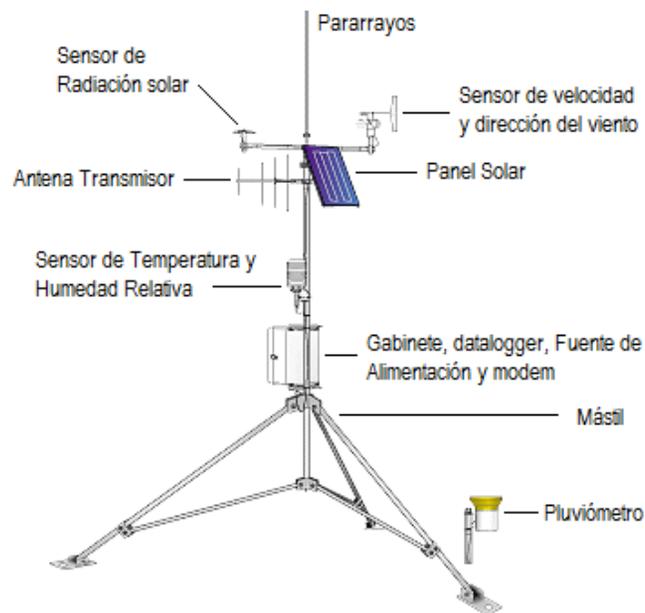


Figura 2.1. Estructura de Estación meteorológica Automática.

Muchas EMA tienen

- Termómetro para medir temperatura

- Anemómetro para medir viento
- Veleta para medir dirección del viento
- Higrógrafo (Higrómetro) para medir humedad
- Barómetro para medir presión atmosférica

Algunas otras también incluyen:

- Ceilómetro (nefobasímetro o proyector de techo de nubes) para medir altura de nubes
- Pluviómetro para medir precipitación de lluvia o sensor ultrasónico para medición de profundidad de nieve
- Piranómetro para medir radiación solar

2.4 Compañías Líderes en Estaciones meteorológicas

Actualmente existen diversas compañías dedicadas al desarrollado de estaciones meteorológicas automáticas, entre las que podemos mencionar Campbell Scientific, Vaisala, Davis, entre otras. A continuación se describen algunos modelos de estaciones de las compañías citadas:

2.4.1 Vaisala

Dentro de los modelos de estaciones meteorológicas automáticas de Vaisala tenemos:

2.4.1.1 Modelo MAWS100 HydroMet

Es un modelo compacto diseñado para aplicaciones de meteorología e hidrología. Está preparado para operaciones no atendidas en sitios remotos que requieren

alta fiabilidad con bajo consumo de energía y capacidad de expansión. La carcasa posee un grado de protección IP66 (de acuerdo a IEC 60529, 2001-2002), la cual proporciona una fuerte protección contra polvo y chorros de agua. Posee comunicación RS232 y de manera opcional de telemetría TCP/IP, GSM/GPRS y PSTN. Puede ser alimentado por medio del panel solar o por c.a.

Soporta un amplio rango de sensores como lo son:

- Velocidad y dirección del viento
- Presión atmosférica
- Temperatura del aire, humedad relativa ambiente y punto de rocío
- Lluvia / precipitación
- Radiación solar global
- Radiación solar neta
- Albedómetros
- Radiación UV / PAR
- Duración de luz solar
- Temperatura en tierra / agua
- Humedad del suelo
- Evaporación
- Humectación de hoja
- Altura de nubes y condiciones del cielo
Visibilidad
- Profundidad de nieve
- Nivel del agua



Figura 2.2. Estación MAWS 100 Hydromet.

2.4.1.2 Modelo MAWS110 Hydromet

Posee las mismas características y funcionalidades que el modelo MAWS100, solo que con mayores opciones de telemetría como:

- Comunicación satelital: GOES, METEOSAT, Inmarsat-C, Argos/SCD, Iridium, Autotrac.
- Comunicación inalámbrica: GSM, GPRS, CDMA, UHF, VHF,ISM
- Comunicación terrestre: RS232, RS485, PSTN y TCP/IP.

2.4.1.3 Modelo MAWS201 HydroMet

Es una estación portátil para instalaciones temporales, para aplicaciones meteorológicas exigentes como:

- Investigación meteorológica
- Defensa civil
- Estudios de impacto ambiental
- Respuesta a emergencias

- Meteorología de incendios
- Administración de desperdicios

Es capaz de leer sensores de viento, presión, temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, temperatura en tierra/agua, humedad del suelo y nivel de agua. Posee las opciones de telemetría RS232 y RS485. Puede ser alimentado por medio del panel solar o por c.a.

2.4.1.4 Modelo MAWS301 Hydromet

Posee prácticamente las mismas características del modelo MAWS110, con la diferencia de una capacidad extendida de la batería de reserva.

2.4.1.5 MAWS410 de Observación Marítima

Este sistema mide, observa y calcula variables como la velocidad, dirección del viento, presión atmosférica, temperatura del aire, humedad relativa, lluvia/precipitación, temperatura del agua y radiación solar/duración del sol. Así como también los elementos relativos a la posición, curso y velocidad de la embarcación (Brújula digital, Posición y Hora). Puede ser alimentado por medio del panel solar o por c.a.

Posee las opciones de telemetría:

- Comunicación satelital: Inmarsat-C, Argos/SCD, Iridium.
- Comunicación inalámbrica: GSM, GPRS, UHF, VHF.
- Comunicación por cable: RS232, RS485, PSTN, TCP/IP y Fibra óptica.

2.4.1.6 AWS330

Esta estación es capaz de medir los sensores de:

- Velocidad y dirección del viento con tecnología mecánica o ultrasónica
- Presión atmosférica
- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Intensidad de precipitación y acumulación
- Radiación solar global
- Temperatura del suelo
- Temperatura del subsuelo
- Profundidad de nieve

Además de varios otros parámetros como la evapotranspiración e índice de calor son calculados a partir de las mediciones primarias.

Comprende métodos de comunicación como Ethernet, GPRS, y GSM, lo que permite la transferencia de datos por e-mail, SMS, y FTP, por ejemplo. Puede también ser conectada a una estación de trabajo vía serial, y así los datos medidos pueden ser visualizados utilizando el PC con software de monitoreo. Puede ser alimentado por medio del panel solar o por c.a.

2.4.2 Campbell Scientific

A continuación se describen brevemente algunos modelos de la marca Campbell Scientific:

2.4.2.1 Modelo GRWS100

Es una estación portátil que proporciona mediciones de estaciones meteorológicas básicas y puede calcular varios parámetros meteorológicos relacionados, tales como la evapotranspiración, grados-días de crecimiento, punto de rocío, entre otros. Está preparada para medir velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa, presión barométrica, precipitación y radiación. Y así mismo posee la flexibilidad de añadir más sensores y opciones de telemetría. La batería puede ser recargada mediante el panel solar o c.a.



Figura 2.3. Estación Meteorológica GRWS100.

2.4.2.2 Modelos RAWS

Es una estación compacta ideal para monitoreo de quemas y otras instalaciones temporales (Modelo RAWS-F) o para instalaciones permanentes (Modelo RAWS-P), soporta sensores de radiación solar, temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento (sensor ultrasónico) y de manera opcional presión barométrica, temperatura/humedad de combustible, profundidad de la

nieve y nivel de agua. Posee conectores en el exterior del gabinete para una fácil conexión.

Cuenta con comunicación serial para descarga de datos y posee la telemetría satelital por medio de GOES y es compatible con otros equipos de comunicación como teléfonos celulares, transmisores digitales y radios. Al igual que el modelo GRWS100, la batería puede ser recargada mediante el panel solar o c.a.



Figura 2.4. Estación Meteorológica RAWS-F.

2.4.2.3 T107

Estación para aplicaciones de gestión de agua en el césped, en conjunto con el sistema de control central de riego monitorean las condiciones meteorológicas que afectan el consumo de agua. Esta información es utilizada por el Sistema Central de Riego para analizar las necesidades de riego actuales por medio del cálculo de la ETo. La comunicación entre la estación y la computadora central es por medio

de teléfonos o módems de corto alcance para transmitir la información de forma horaria.

Los sensores que incluye son de radiación solar, temperatura y humedad relativa, precipitación y viento. Y de igual forma que los modelos mencionados anteriormente la batería puede se recarga mediante el panel solar o C. A.



Figura 2.5. Estación Campbell T107.

2.4.3 Davis

En cuanto a la marca Davis a continuación se describen brevemente algunos modelos:

2.4.3.1 Vantage Vue y Vantage Pro2

La estación Vantage Vue posee un diseño muy compacto que puede leer sensores de temperatura, humedad, viento y precipitación. Se comunica de forma

inalámbrica a una consola hasta una distancia de 300m. Posee panel solar y una batería de litio para respaldo de seguridad.



Figura 2.6. Estación compacta Vantage Vue.

La Vantage Pro2 posee las mismas características que la estación Vantage Vue, pero con flexibilidad de aumentar la capacidad de opciones de sensores, pudiendo añadir sensores de radiación, humedad del suelo y repetidores de corto y largo alcance, entre otros. Así mismo incluye la opción de alimentarlo vía c.a.

2.4.4 Diferencias entre estaciones

A continuación se describe brevemente algunas de las características principales que diferencian a las marcas descritas anteriormente

Cantidad de sensores

Davis .- Soporta un número reducido de sensores

Vaisala .- Flexibilidad para soportar un amplio número de sensores

Campbell Scientific .- Flexibilidad a expansión de cantidad de sensores

Telemetría

Davis.- Recepción de información en consola inalámbrica Vantage Pro2 console/receiver hasta 3 km con repetidores, así como modem telefónico.

Vaisala .- Respaldo de datos vía RS232, RS485, TCP/IP y de manera opcional GSM, GPRS, CDMA, UHF, VHF, ISM y algunos con opción satelital por medio de Argos/SCD, Iridium, GOES, METEOSAT, Inmarsat-C

Campbell Scientific .- Respaldo de datos vía RS232, y opciones de telemetría como satelital GOES, transmisores celulares y de radio.

Software

Davis.- Diversos software individuales para rescate de datos, control de plagas, control de riego, envío de mensajes e e-mails.

Vaisala.- Software cliente para PDA, software para recopilación y almacenamiento de datos (MetMan)

Campbell Scientific.- Software LoggerNet para monitoreo en tiempo real y configuración.

Visualización

Davis.- Por medio de consola inalámbrica Vantage Pro2

Vaisala.- Visualizadores de texto, PDA y PC

Campbell Scientific.- PC (con LoggerNet)

Precio

Davis.- El costo no supera los \$ 2000 USD

Vaisala.- Costos por arriba de los \$ 6000 USD

Campbell Scientific.- Costos por arriba de los \$ 6000 USD

En Resumen se puede decir que de las tres marcas consultadas, todas contemplan la lectura de los sensores básicos (temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, precipitación y presión), teniendo mayor capacidad de crecimiento los de Campbell Scientific y Vaisala. Así también se puede decir que en telemetría, Vaisala posee más opciones para los modelos comparados.

También es importante mencionar que todas las aplicaciones de software mencionadas se comercializan y el precio varía según el fabricante.

2.5 Disponibilidad de información meteorológica

En México, el registro de datos de variables meteorológicas se realiza por diversas Instituciones, cuyo objetivo del uso de la información es diverso, entre los que se encuentran: funciones operativas (caso del SMN), para estudios climatológicos, mientras que para otras se trata de estudios específicos o con propósitos de investigación. Entre las instituciones más importantes que solicitan dicha información están: SMN, GASIR, CFE, Aeropuertos, Universidades, Gobierno del Distrito Federal, Ejército Mexicano y particulares (Quevedo, 2005).

2.5.1 Servicio Meteorológico Nacional SMN

Dentro del SMN, entre sus funciones está no sólo recabarlos sino crear y mantener un banco nacional de datos, así como de intercambiarlos a nivel nacional, regional e internacional bajo las normas de la OMM (Organización

Meteorológica Mundial). En la red básica de recolección de datos están las estaciones tradicionales, sin embargo ya se han instalado redes de estaciones automáticas de carácter permanente o bien otras temporales. Todo esto genera una cantidad de datos que debe verificarse su calidad, intercambiarla, procesarla, para un uso específico.

Dentro de la red de estaciones automáticas frecuentemente se produce un mayor volumen de datos con respecto a las estaciones tradicionales. El acopio de información en cada una de las instituciones no ha habido una discusión seria sobre la manera de capturar y guardar esta información, con el fin de hacerla compatible una con otra y así al organizar esfuerzos, hacia la creación de un banco nacional de datos climatológicos (Quintas, 2000).

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuenta con tres redes de estaciones tradicionales de monitoreo y operan una red de estaciones automáticas telemétricas, además de las receptoras de imágenes de satélite y radar.

La **Red de estaciones climatológicas** con información cada 24 horas, consiste de alrededor de 3000 estaciones climatológicas que toman lectura de las variables cada 24 horas, a las 8 AM, están a cargo de las gerencias regionales y estatales. Reportan en forma cuantitativa las variables de temperatura observada, temperaturas máxima y mínima de las 24 horas anteriores, evaporación y precipitación acumulada en 24 horas, en forma cualitativa cobertura del cielo, tormenta, granizo y niebla. Algunas coinciden con estaciones hidrométricas y otras con estaciones agro-climatológicas, donde se miden otras variables específicas, como altura y gasto en los ríos en las hidrométricas y humedad del suelo e irradiación solar en las otras.

Las primeras estaciones de esta red datan de los años veinte, esta red se aumentó hasta llegar a casi 5000 estaciones en la década de los setentas. A partir de 1985 aproximadamente se dio un desplome de esta red debido a que se pretendió modernizar al SMN, sustituyendo los sistemas tradicionales manuales por equipo moderno automatizado. El resultado fue desastroso, ambos sistemas se vinieron abajo, y lo más importante fue la carencia absoluta de personal capacitado, ya que también se había descuidado este aspecto. Actualmente trabajan menos de 3000 estaciones y el sistema de recolección de la información, ordenamiento y captura se está realizando de maneras muy dispareja en cada región.

La información correspondiente a esta red se capturo y almaceno en la base de datos CLICOM, en 1990. CLICOM es un sistema que se diseñó a finales de la década de los setentas como una alternativa de automatización para los países pobres y pequeños. La base ya era obsoleta cuando fue adoptada por el SMN, pero no se ha podido migrar a otra plataforma por la resistencia al cambio dentro del mismo SMN. En 1995 el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) colocó esta información en otros dos medios, uno en una plataforma sofisticada en una estación de trabajo con un sistema de información geográfico, que fue instalada en el SMN y otro en una versión en discos compactos, utilizable en cualquier computadora personal bajo ambiente MS-DOS, conocido como ERIC (Extractor Rápido de Información Meteorológica), que fue ampliamente utilizada en diferentes instituciones, con el problema de que no se llevó un control de calidad de datos.

Así durante 1999 se intentó actualizar esta información, donde logró recabarse aproximadamente la mitad de la información faltante. Tanto CLICOM como la segunda versión de ERIC incluyen esta información, que aun presentó problemas con la calidad de información. Incluso el IMTA ha intentado actualizar la base de datos para todo el país.

La **red de observatorios sinópticos**, como la segunda red de mediciones del SMN consiste en 85 observatorios en todo el territorio nacional, que toman mediciones cada hora y transmiten los resultados de sus mediciones cada tres horas a la Gerencia Central del SMN en Tacubaya (dentro del Centro Nacional de Telecomunicaciones, Radio XBA). Los datos forman parte del compromiso que tiene México con la OMM dentro del programa de vigilancia meteorológica mundial. Esta información se retransmite a la sede de Washington (como miembro dentro de la región IV) en tiempo real para los análisis sinópticos.

Los observatorios esta integrados por diversos instrumentos de observación meteorológicos, que son operados por personal durante las 24 horas del día, el personal está entrenado para el mantenimiento, lectura e incluso codificación de los datos (que es la forma en que se registra y trasmite la información dentro de la OMM). Sin embargo en la práctica aún se tienen carencias muy severas tanto de personal (capacitación) como de instrumentos (mantenimiento y calibración).

Las variables que se miden son: precipitación (duración e intensidad), temperatura, presión, viento (intensidad y dirección), evaporación, humedad, descripción del cielo, y en algunos casos insolación, estado del suelo, condiciones del tiempo presente y pasado. La información correspondiente a la hora múltiplo de tres llega al SMN codificados, que se almacenan y transmiten a la red Mundial de la OMM. El SMN cuenta con el servicio de brindar la información disponible al usuario que lo solicite. En el 2000 se creó una base de datos de información sinóptica descodificada (DBSYNOP), como un primer intento para hacer accesible dicha información a los usuarios.

La **red de estaciones de radio sondeo**, integrada por una red de 15 estaciones de monitoreo de altura, casi todas ellas coinciden con algún observatorio. En todas ellas se realiza un sondeo diario (a las 12 GTM, Tiempo del meridiano de Greenwich), excepto en el observatorio de Tacubaya (12 y 00 GTM). Estas mediciones se comenzaron a realizar en 1948 en el DF, Mazatlán y Mérida. Los

datos históricos hasta 1998 han sido recopilados y se editaron en un disco compacto, tarea en la cual colaboró el IMTA.

El SMN dispone de 12 **radares meteorológicos** que pueden producir imágenes de reflectividad y de viento cada 15 minutos. Esto es aproximadamente unas 2000 imágenes diarias. Lamentablemente han existido diversos problemas para mantener en operación a los radares en los últimos años. Por diversas razones, a la falta de especialistas en la interpretación de los productos de radar, no se ha explotado la capacidad potencial de esta información, por lo que es necesario diseñar procedimientos de procesamiento, clasificación y almacenamiento de esta información, para futuros estudios.

Las **estaciones automáticas de monitoreo de superficie**, que en 1998 se instalaron 19 estaciones hidroclimatológicas automáticas comunicadas vía satélite con la gerencia central. Actualmente se cuenta con 60 estaciones de este tipo, las cuales registran las siguientes variables: temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, precipitación y viento cada 10 minutos, que son transmitidos cada tres horas, procesándose y almacenándose en el SMN.

2.5.2 Gerencia del Aguas Superficiales e información de Ríos (GASIR)

La Gerencia mantiene también una red de estaciones hidrométricas y climatológicas, algunas de las cuales coinciden con las estaciones climatológicas que se reportan en la base de datos CLICOM. Además monitorea los principales vasos de almacenamiento del país, sin embargo operan de manera independiente con respecto al SMN.

Estaciones hidrométricas y climatológicas, red que cuenta con 1700 estaciones de las cuales aproximadamente 900 se pueden comunicar diariamente por

teléfono o radio. Todas realizan al menos una medición diaria, aunque algunas hacen mediciones dos o tres veces por día y aún más durante las emergencias. Las variables que se monitorean son nivel de agua, caudal, volumen escurrido, peso y volumen de sedimentos y precipitación.

Vasos de almacenamiento, se controlan 121 presas, donde se mide niveles y gastos de entrada y salida. Datos que fueron recabados y organizados por el IMTA y están disponibles en un sistema llamado BANDAS.

2.5.3 Comisión Federal de Electricidad (CFE)

La Comisión Federal de Electricidad mantiene una red de 200 estaciones hidrometeorológicas permanentes, cuya información hasta 1990 fue incorporada al sistema CLICOM. De la última década se tienen digitalizados los valores mensuales, pero aún no ha sido capturada la información diaria, Además, la CFE posee una estación receptora de imágenes de satélite.

2.5.4 Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM)

SENEAM realiza observaciones de manera permanente en cada uno de los 69 aeropuertos principales del país. Se trata de observaciones horarias, especialmente importantes para el tráfico aéreo, que son transmitidas para el intercambio mundial, en tiempo real. Institución que dispone de la información del SMN (radio sondeos y de superficie) como parte de apoyo en sus necesidades de navegación aérea.

2.5.5 Servicio de la Defensa Nacional (SEDENA)

Institución que maneja una red de observatorios climatológicos sin embargo se desconoce de manera oficial detalles sobre la misma.

2.5.6 Distrito Federal

El Gobierno del Distrito Federal posee una red de monitoreo atmosférico que es sin duda la red más densa del país. Con más de 60 estaciones en el Valle de México que miden variables meteorológicas y concentración de contaminantes, con el fin de evaluar la calidad del aire. Esta red es automática, y transmite en tiempo real, además permite realizar tanto las alertas de inundación como declarar las contingencias ambientales en la ciudad de México.

2.5.7 Otras instituciones

Diferentes universidades del país realizan mediciones para diferentes proyectos de investigación. Estas mediciones no suelen ser permanentes, aunque en algunos casos sí se mantienen en forma operativa unas pocas estaciones de medición. En el caso de la UNAM se ha comenzado a trabajar de manera permanente en algunas de las escuelas preparatorias y CCH. En otros casos como en Guanajuato, la universidad colabora realizando gran parte del trabajo de captura y procesamiento de los datos de la CNA. Entre otras Universidades que cuentan con estaciones meteorológicas tradicionales o automáticas de citan la UACH, UAM, Colegio de Postgraduados, entre otros.

2.6 Programador Lógico Programable PLC

Una definición formal por la NEMA (2005) (Nacional Electrical Manufacturers Association), es la siguiente:

El PLC es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada

/salida digitales y analógicas, varios tipos de máquinas o procesos. Una computadora digital que es usada para ejecutar las funciones de un controlador programable, se puede considerar bajo este rubro.

2.6.1 Antecedentes

Los Controladores Lógicos Programables PLC, (Programable Logic Controller por sus siglas en inglés), nacieron esencialmente como tales, a finales de la década de los 60s y principios de los 70s. Las industrias que propiciaron este desarrollo fueron las automotrices. Ellas usaban sistemas industriales basados en relevadores en sus sistemas de manufactura. Buscando reducir los costos de los sistemas de control por relevadores.

En 1968 GM Hydramatic (La división de transmisión automática de General Motors) emitió una solicitud de propuestas para un remplazo de los sistemas cableados por relevadores, dicha solicitud contempló ciertas especificaciones detallando un "Controlador Lógico Programable". La propuesta ganadora la obtuvo Bedford Associates, quien diseñó el primer PLC denominado 084. Más tarde Bedford Associates creó la empresa Modicon (MODular DIGital CONtroller), la cual se dedicaba al desarrollo, fabricación, venta y mantenimiento del PLC recién creado. Dick Morley fue una de las personas que trabajó en el proyecto, y es considerado como el padre del PLC.

En la década de los 70s con el avance de la electrónica, la tecnología de los microprocesadores agregó facilidad e inteligencia adicional a los PLC generando un gran avance y permitiendo un notorio incremento en la capacidad de interface con el usuario.

Actualmente existen diversos fabricantes de PLC's en todo el mundo, tales como Siemens, Allen Bradley, Omrom, Schneider, Beckhoff, Hitashi, Mitsubishi, Festo, Vipa, entre otros.

2.6.2 Estructura de un PLC

Típicamente un sistema PLC tiene los componentes funcionales básicos de la unidad de procesador, memoria, fuente de alimentación, sección de interfaz de entrada/salida, interfaz de comunicación, y el dispositivo de programación (Bolton, 2009). La Figura 2.7 muestra el arreglo básico.

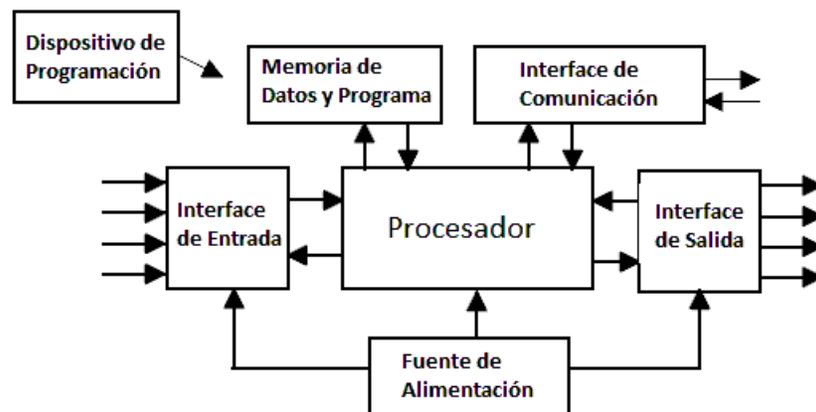


Figura 2.7. Estructura básica de PLC.

La unidad de procesador o unidad central de procesamiento (CPU) es la unidad que contiene el microprocesador y esta interpreta las señales de entrada y lleva a cabo las acciones de control, de acuerdo con el programa almacenado en su memoria, comunicando las decisiones como señales de acción para las salidas.

La fuente de alimentación es necesaria para convertir el voltaje de alimentación (c.a. o c.d.) a bajo voltaje c.d. (5V) necesario para el procesador y los circuitos de las interfaces de entrada y salida.

El equipo de programación se utiliza para introducir el programa deseado en la memoria del procesador. El programa se desarrolla en el dispositivo y luego trasladado a la unidad de memoria del PLC.

La unidad de memoria es dónde se almacena el programa que se utiliza para las acciones de control que se ejecutan en el microprocesador y los datos almacenados a partir de la entrada para el procesamiento y para las salidas para la activación

.

Las secciones de entrada y de salida son donde el procesador recibe información de los dispositivos externos y comunica información a dispositivos externos. Las entradas pueden ser de interruptores u otros sensores tales como células fotoeléctricas, sensores de temperatura, sensores de flujo, etc. Las salidas podrían ser las bobinas de arranque de motor, electroválvulas, etc.

2.6.3 Clasificación de los PLC

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de Entradas/Salidas, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.

2.6.3.1 De acuerdo a su estructura

De acuerdo a la estructura se clasifica en PLC Nano, Compacto y Modular.

PLC tipo Nano:

Generalmente un PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.



Figura 2.8. PLC Nano.

PLC tipo Compactos:

Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, CPU y módulos de Entrada/Salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas Entradas/Salidas hasta alrededor de 500, su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- entradas y salidas análogas
- módulos de comunicaciones
- interfaces de operador
- expansiones de entrada/salida

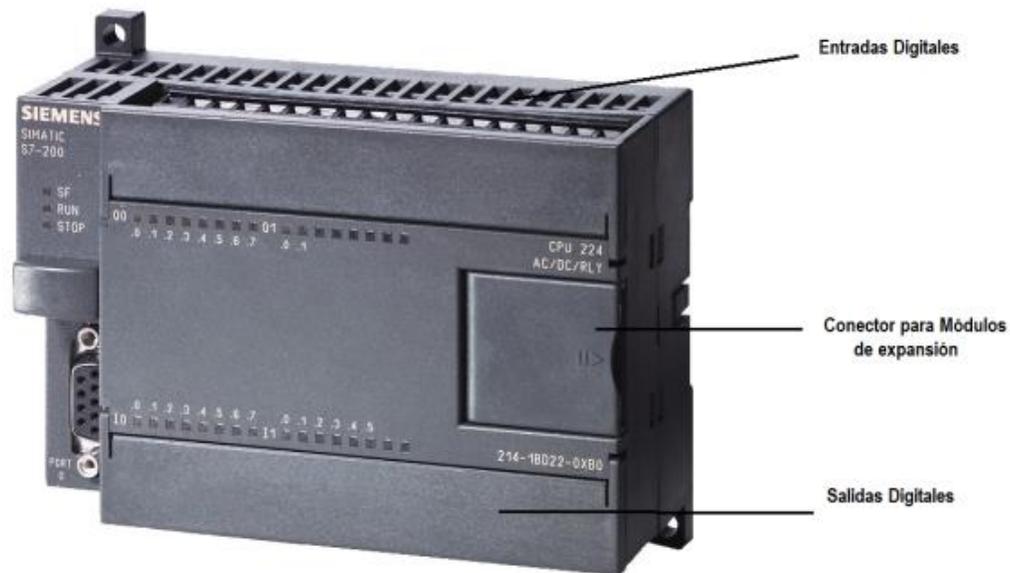


Figura 2.9. PLC Compacto.

PLC tipo Modular:

Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final (Figura 2.10), estos son:

- Rack
- Fuente de Alimentación
- CPU
- Módulos de I/O
- Comunicaciones

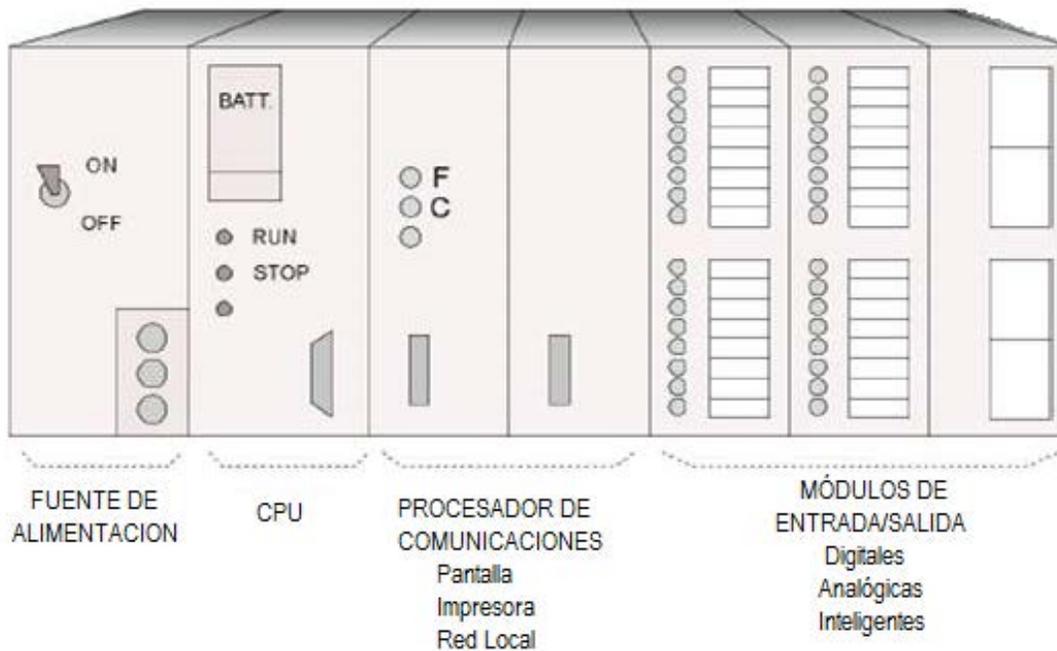


Figura 2.10. Estructura de PLC modular.

De estos tipos de PLC existen desde los denominados Micro-PLC que soportan gran cantidad de entradas y salidas, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de entradas y salidas.

2.6.3.2 De acuerdo a su capacidad de procesamiento

Otra clasificación utilizada es atendiendo al número de entradas y salidas que dispone un PLC, clasificándolo de forma genérica en tres tipos o categorías (Peña et. al, 2003).

- **Gama baja**

Pueden incluir hasta un máximo de 128 entradas/salidas y la memoria de usuario es de hasta unas 4 K instrucciones

- **Gama Media**

Pueden tener entre 128 y 512 entradas/salidas y la memoria de usuario disponible alcanza hasta 16 K instrucciones.

- **Gama Alta**

Pueden tener más de 512 entradas/salidas y la memoria de usuario es superior a las 16 k instrucciones e incluso en algunos casos superar las 100 k instrucciones.

2.6.4 Campo de aplicación de los PLC's

Por sus características especiales de diseño, el PLC tiene un campo de aplicación muy extenso. La evolución constante del Hardware y Software amplía continuamente este campo para poder satisfacer nuevos requerimientos.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, entre otros.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalación de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Su uso se da en:

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transfer
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones:
- Instalación de aire acondicionado, calefacción...
- Instalaciones de seguridad
- Señalización y control:
- Chequeo de programas
- Señalización del estado de procesos

Ejemplos de Aplicaciones de PLC

A) Maniobras de Máquinas

Maquinaria industrial del mueble y la madera.

Maquinaria en proceso de grava, arena y cemento.

Maquinaria en la industria del plástico.

Maquinaria de ensamblaje.

Máquinas de transferencia.

B) Maniobra de Instalaciones

Instalaciones de aire acondicionado y calefacción.

Instalaciones de seguridad.

Instalaciones de almacenamiento y transporte.

Instalaciones de plantas embotelladoras.

Instalaciones en la industria automotriz

Instalación de tratamientos térmicos.

Instalaciones de la industria azucarera.

C) Automóvil

Cadenas de montaje, soldadura, cabinas de pintura, etc.

Máquinas herramientas: Tornos, fresadoras, taladradoras, etc.

D) Plantas químicas y petroquímicas

Control de procesos (dosificación, mezcla, pesaje, etc.).

Baños electrolíticos, oleoductos, refinado, tratamiento de aguas residuales, etc.

E) Metalurgia

Control de hornos, laminado, fundición, soldadura, forja, grúas,

F) Alimentación

Envasado, empaquetado, embotellado, almacenaje, llenado de botellas, etc.

G) Papeleras y madereras

Control de procesos, serradoras, producción de conglomerados y de laminados, etc.

H) Producción de energía

Centrales eléctricas, turbinas, transporte de combustible, energía solar, etc.

I) Tráfico

Regulación y control del tráfico, ferrocarriles, etc.

J) Domótica

Iluminación, temperatura ambiente, sistemas anti robo, etc.

K) Fabricación de Neumáticos

Control de calderas, sistemas de refrigeración, prensas que vulcanizan los neumáticos.

Control de las máquinas para el armado de las cubiertas, extrusoras de goma.

Control de las máquinas para mezclar goma.

2.7 Señales

Una señal es la manifestación eléctrica de la información. Es decir, es una cantidad eléctrica, como voltaje o corriente, que constituye la analogía eléctrica del mensaje que se desea transmitir (Herrera, 2012: 20).

2.7.1 Señales Digitales

Son variables eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo transmitiendo información según un código previamente acordado. Cada nivel eléctrico representa uno de dos estados: 0 (falso) o 1 (Verdadero). Los niveles específicos dependen del tipo de dispositivos utilizado. Por ejemplo si se emplean componentes electrónicos de la familia lógica TTL (transistor-transistor-logic) los niveles son 0 V y 5 Volts cd (Corriente Directa). Por otro lado el PLC comúnmente utiliza niveles de referencia de 0V y 24 Volts cd.

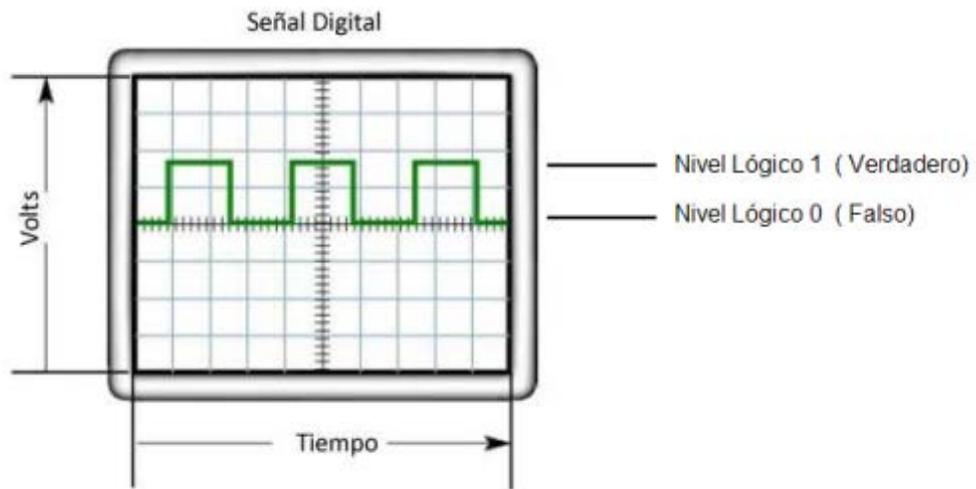


Figura 2.11. Ejemplo de Señal Digital.

2.7.2 Señales Analógicas

Son variables que varían en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Las señales transportan información e incluyen cantidades físicas tales como voltaje, corriente e intensidad (Ambardar, 2002). Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior. Cuando estos límites coinciden con los límites que admite un determinado dispositivo, se dice que la señal está normalizada.

Ejemplo de señales analógicas abundan en la naturaleza pudiendo tener su origen de diversas fuentes, citando solo algunas como:

Electromagnético: Luz, radiación infrarroja, ondas de radio y televisión, etc.

Hidráulico: Presión.

Origen térmico: Temperatura

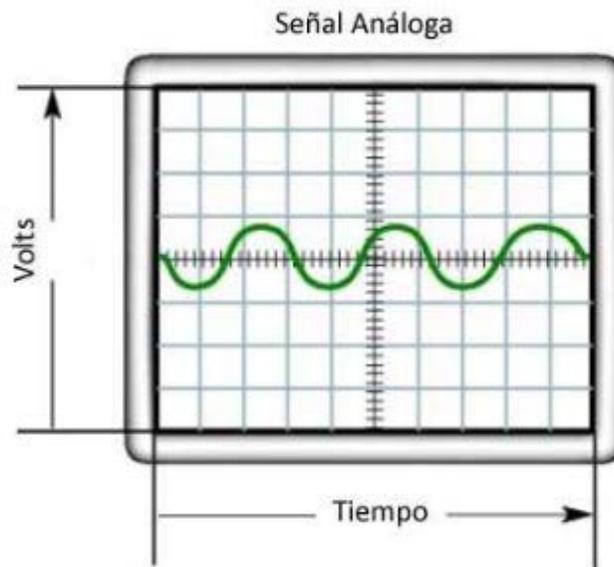


Figura 2.12. Ejemplo de señal analógica.

2.8 Errores de medición de señales

Helfrick (1991) Menciona que ninguna medición se puede realizar con una exactitud perfecta, siempre existe algún tipo de error y los clasifican en tres categorías:

- *Errores gruesos:* en gran parte de origen humano como malas lecturas, ajustes incorrectos y equivocaciones en cálculos.
- *Errores sistemáticos:* debidos a fallas en los instrumentos, como partes defectuosas o gastadas.
- *Errores aleatorios:* ocurren por causas que no se pueden establecer debido a variaciones en los parámetros o en el sistema de medición.

2.9 Interferencia

Las interferencias constituyen factores indeseables que de diversas maneras se manifiestan sobre las señales que se transmiten modificando el contenido de

información de la señal (Herrera, 2012:19-20). Se pueden distinguir tres tipos de interferencias que se conocen como: distorsión, diafonía y ruido.

Distorsión.- Se manifiesta como deformación de la señal y es generada por el propio sistema debido a que no responde de forma perfecta a la señal que se transmite.

Diafonía.- Son perturbaciones que sufre la señal por efecto de señales ajenas al sistema pero de forma similar a la señal deseada. Estas señales por lo general son producto de equipos fabricados por el hombre, como por ejemplo cuando una estación de radio se induce en una comunicación telefónica.

Ruido.- Son señales aleatorias o impredecibles que se agregan a la señal de información provocando su deformación parcial o total. Estas señales generalmente son producto de fenómenos naturales tanto del sistema como fuera de él. El ruido intergaláctico y el ruido térmico son ejemplos de señales de ruido.

2.10 Calidad de medición de señales

La calidad de la lectura está determinada por diversos factores como:

- Selección de los rangos de señal.- El margen de amplitudes de la señal debe coincidir con el margen de entrada del convertidor A/D (Analógico-Digital).
- Minimización de ruido.- Conectando el enmallado del cable que transmite la señal para evitar la filtración de interferencias.
- Correcta calibración o re-calibración de los sensores
- Correcta instalación y/o orientación del sensor (en caso de requerirlo)

- El mantenimiento del sensor

2.11 Causas posibles en errores de información meteorológica

En las estaciones meteorológicas automáticas así como en cualquier sistema, existen diversas causas que afectan la calidad de las variables a ser medidas, provocando errores de medición.

- Mala calibración o mala instalación de los sensores (muchas veces por falta de conocimientos especializados para la realización)
- Mantenimiento escaso o nulo (para re calibración o cambio de elementos dañados).

2.12 Antecedentes de Automatización en sistemas de riego

Castro (1998) desarrolló un sistema de control de riego a partir de tres estrategias de riego, el método de humedad del suelo, el método del lisímetro de pesada y el de Penman Monteith, en el cultivo de calabaza “zucchini grey”. Este sistema se integró por un Datalogger de marca Campbell para la adquisición de datos, así como diversas aplicaciones que se diseñaron en Turbo Pascal, EasyPad WAPtor, PHP. Los resultados obtenidos mostraron que es posible automatizar y controlar la aplicación del agua de acuerdo a las estrategias de riego considerando un programa de riego, una unidad de control y usando tecnologías de información.

Isaya (2009) realizó una investigación sobre la eficiencia de los sistemas para calcular la evapotranspiración, uno con base en historial y el otro en tiempo real. Se obtuvo como resultados que el método con base en los datos históricos para el cálculo de la ET, se logra un ahorro del 48% con respecto al riego por el método

tradicional, y por método en tiempo real se logró un ahorro del 56%, con lo que concluye que los métodos basados en tiempo real tienen una mejor respuesta contra el factor cambiante del clima.

Águila (2003) implemento un sistema automatizado de riego en tiempo real. En el programa se procesa información meteorológica, del suelo y cultivo por medio de varios algoritmos que resultan en diferentes estrategias de riego. Los datos se procesan por medio de un datalogger de la compañía Campbell Scientific Inc., el cual activa el sistema de distribución del agua, hasta que se cubren los requerimientos del cultivo.

Carrillo (1999) desarrolló un programa para el control de temperatura y control del fertiriego en un invernadero.

Xin *et al.*, (1995) desarrolló un sistema de manejo de irrigación en cítricos, donde se controlaba el riego en tiempo real, se consideraba la protección de heladas y control de fertirrigación

2.13 Conclusiones

En las últimas décadas el avance tecnológico ha aumentado considerablemente, lo que ha permitido el desarrollo de las estaciones meteorológicas, cuya mejora y evolución ha sido continua gracias a las nuevas tecnologías de control, procesamiento y comunicaciones, logrando menor consumo de energía, autonomía y muchas opciones de comunicación (telemetría).

Así mismo, el desarrollo tecnológico ha abierto las puertas a nuevas posibilidades, como lo es el desarrollo del presente proyecto, utilizando un PLC embebido en una PC de tamaño compacto con sistema operativo Windows y el cual puede realizar funciones de procesamiento complejo como lo hace cualquier computadora hoy en día. De este modo no solo es posible realizar captura de

datos, sino funciones como cálculo de ETo, control de plagas, funciones de riego, entre otras. Así también posee funcionalidad TCP/IP compatible con casi cualquier sistema para ser adaptado a opciones de telemetría.

A lo largo del planeta se han instalado redes de estaciones meteorológicas y en México no ha sido la excepción, donde instituciones como el servicio Meteorológico Nacional (SMN) recopilan información meteorológica para propósitos diversos. Y aunque México dispone de instituciones dedicadas a esta labor, es importante unificar esfuerzos para estandarizar el modo como se mide, recopila y comunica la información, y así mismo capacitar al personal para un óptimo mantenimiento de las estaciones para la obtención de datos correctos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

A continuación se listan los diferentes componentes electrónicos, sensores y su descripción de los mismos. Así como los diferentes materiales que se usó para el desarrollo de la estación automática (EA).

Componentes electrónicos y sensores

Componentes electrónicos

- 1 Fuente de alimentación 24 Volts Corriente Directa
- 1 PLC Beckhoff modelo CX1010-0121
- 1 Módulo CX1100-0004
- 1 Módulo de entrada digital 24 Vcd EL1014
- 2 Módulo de entrada analógica (-10Vcd...+10Vcd) EL3102
- 1 Módulo de entrada analógica (-75 mVcd...+75 mVcd) EL3312
- 1 Módulo terminal de bus EL9010
- 1 Regulador de voltaje μ A7805 a 5 Vcd

Sensores meteorológicos

- 1 Sensor de temperatura y Humedad Veris HO2NVSTA1
- 1 Sensor de velocidad del viento Campbell Scientific Modelo 3101 R.M.
- 1 Sensor de dirección del viento Campbell Scientific Modelo 3301 R.M.
- 1 Sensor de radiación solar LI-COR inc LI-200
- 1 Sensor de precipitación Campbell Scientific TE525

Materiales complementarios

- 1 Gabinete Rittal de 500x400x300 mm
- 1 Interruptor termo-magnético de 5 Amperes
- Riel ranurado DIN

- Canaleta para cables
- Clemas Portafusibles
- Componentes varios (clemas, conectores, cable, etc.)

3.1.1 Fuente de alimentación

Es un dispositivo que convierte tensión alterna, en una o varias tensiones continuas. Se utilizó una fuente de alimentación que convierte 120 VCA a 24 Volts cd y que puede soportar un consumo de 3 Amperes. La fuente es de la marca Weidmuller y se muestra en la Figura 3.1:



Figura 3.1. Fuente de alimentación Weidmuller de 120 V ca a 24 V de cd.

3.1.2 PLC CX1020

La PcEmbedded de Beckhoff combina la tecnología de un PC y una estructura modular de Entradas / Salidas para un fácil montaje sobre riel DIN en cualquier armario de control. La serie CX combina los mundos de un PC industrial y el hardware de PLC y es adecuado para tareas de control de mediano rendimiento (Beckhoff, 2012).

Este tipo de Pc Embedded está diseñado para tareas que requieren las características y capacidad de computación de PCs industriales, pero a un menor

costo. El sistema CX puede trabajar sólo con los componentes que son realmente necesarios. Por ejemplo, puede ser operado en modo "sin cabeza", es decir, sin pantalla o el teclado, en este caso, la interfaz asociada no es necesaria (Beckhoff, 2013). En la Figura 3.2 se muestra el PLC CX1020:

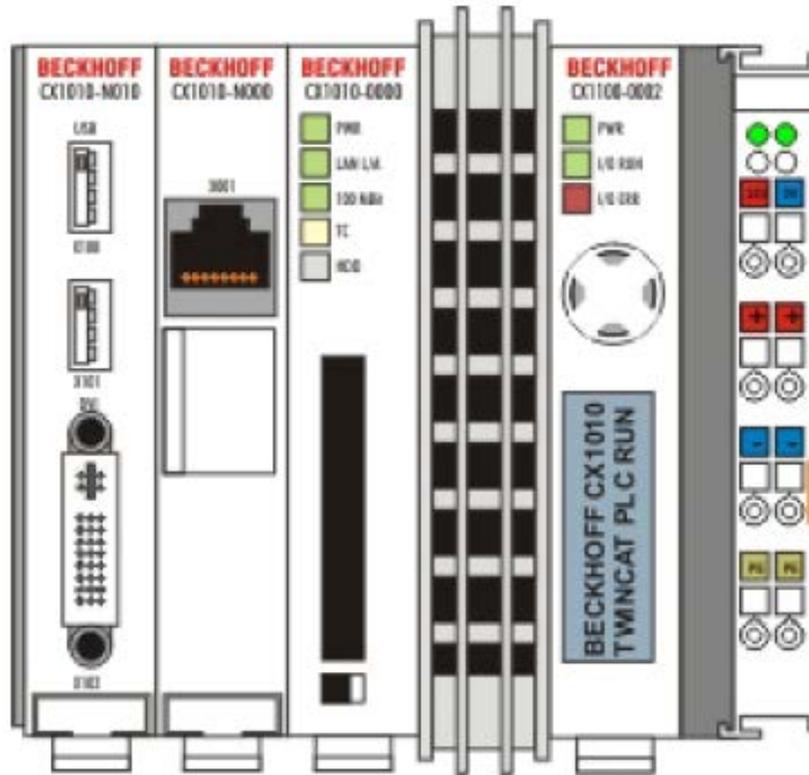


Figura 3.2. Embedded CX1010-0121.

3.1.2.1 Criterio para selección de PLC

Para la selección del PLC se evaluaron 3 alternativas de PLC, Siemens, Allen Bradley y Beckhoff.

El Cuadro 3.1 muestra una comparativa de precios entre las 3 alternativas de PLC's que se consideraron para la realización de la estación meteorológica.

Cuadro 3.1. Comparativa de precios de PLC's

Descripción	Siemens	Allen Bradley	Beckhoff
Hardware	\$27,500.00	\$30,000.00	\$41,500.00
Licencia Software Desarrollo	\$16,000.00	\$15,000.00	incluida en PLC no necesaria, utiliza ADS
Licencia Software HMI	\$15,000.00	\$18,000.00	ADS
Total	\$58,500.00	\$63,000.00	\$41,500.00

Se seleccionó el PLC Beckhoff (Pc Embebed serie CX) en primera instancia por el factor económico (Cuadro 3.1) y posteriormente debido a que trabaja sobre Windows XP con el software de programación precargado y licencia incluida.

Así mismo porque posee la posibilidad de comunicación con Visual Studio por medio del componente ADS, el cual es gratuito. De este modo es posible realizar una aplicación HMI sin la necesidad de una licencia adicional.

3.1.2.2 Modularidad

Una característica muy importante de los PLC es que sus componentes se conectan de forma modular, es decir, cualquier módulo puede ser fácilmente reemplazado.



Figura 3.3. Modularidad de componentes.

3.1.2.3 EtherCAT

EtherCAT es la abreviación de “*Ethernet for Control of Automation Technology*” y que en español significa: "Ethernet para el Control de Tecnología de Automatización", es un protocolo informático de código abierto y alto rendimiento que utiliza protocolos de Ethernet en un entorno industrial (Ethercat, 2013).

3.1.3 Módulo CX1100-0004

Este módulo se utiliza para suministrar alimentación de 24 Vcd al CX1020, además de funcionar como adaptador para comunicar los módulos del tipo ELxxx con el CX1020 por medio de EtherCAT, así también les suministra tensión de alimentación por medio del bus. Cuenta con un display de 2 líneas en el cual se pueden definir mensajes personalizados (Figura 3.4).

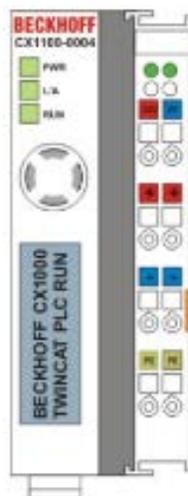


Figura 3.4. Módulo CX1100-0004.

3.1.4 Módulos de Entrada

Los módulos utilizados son del tipo ELxxxx, donde EL indica que se utiliza el bus-E para su comunicación hacia el PLC. El bus-E un protocolo de comunicación serial utilizado para comunicar los distintos elementos de campo mediante un procedimiento asíncrono bajo el concepto maestro-esclavo. Y donde xxxx se refiere al número de tarjeta según el fabricante (4 dígitos), por ejemplo la tarjeta EL1014 es un módulo de entradas digitales con bus-E (para más información consultar www.beckhoff.com).

3.1.4.1 Módulos de entrada digital

En los PLC's comúnmente se utilizan módulos de entrada digital que trabajan con niveles de 0V y 24 Volts cd para estados falso y verdadero respectivamente, aunque también existen módulos con diversos rangos como 0 – 5 Volts cd y 0 – 12 Volts cd. Incluso existen módulos que trabajan con corriente alterna (ca) en distintos rangos como 0-12 V ca, 0-24 V ca, 0-48 V ca, 0-120 V ca, entre otros.

Para el presente proyecto se utilizaron entradas digitales de 24 V cd.

3.1.4.1.1 Módulo de entrada digital EL1014

Se usó la tarjeta de 4 entradas digitales EL1014, la cual se muestra en la Figura 3.5:

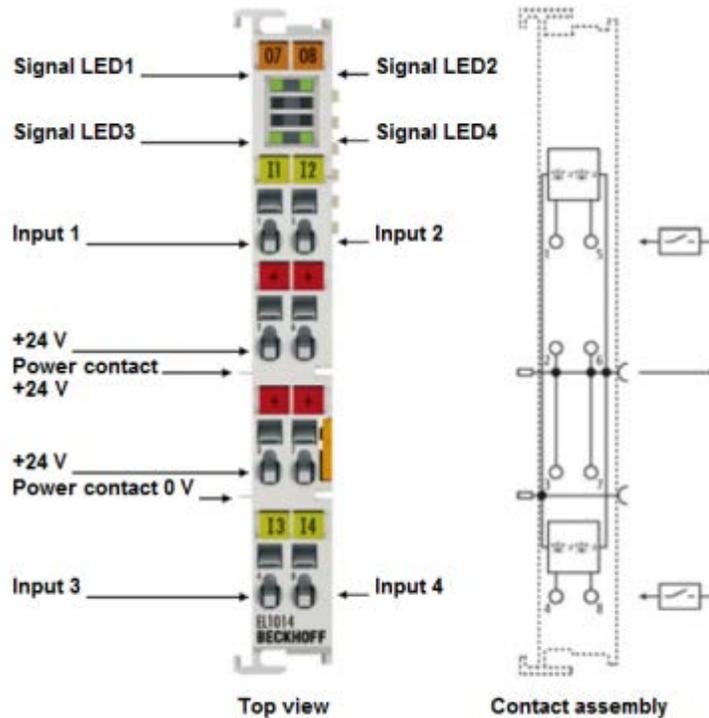


Figura 3.5. Módulo de entrada digital.

3.1.4.1.1 Descripción de componentes

- Signal LED 1...4 son leds que indican el estado del sensor conectado en la correspondiente entrada, donde:

Apagado(es falso y representa 0 V de cd).

Encendido (es verdadero, se indica de color verde y representa 24 V de cd).

- Input 1...4 son las entradas de sensor
- +24 V son tomas disponibles de voltaje para alimentar al sensor en caso de ser necesario (1 por cada entrada, total 4)
- Power contact +24 V y Power contact 0 V son los contactos laterales a través de los cuales la tarjeta recibe su alimentación para poder funcionar.

Cabe mencionar que hasta el momento con fines didácticos se han tomado como valores fijos para falso 0 Vcd y verdadero 24 Vcd, pero es importante decir que la mayoría o casi todas las tarjetas de entradas digitales aceptan un rango de voltaje para cada estado, por ejemplo para la tarjeta EL1014 los rangos para cada estado son:

-3...+5 Vcd Falso
+15...+30 Vcd Verdadero

Para mayor información consultar hoja de especificaciones en Anexo.

3.1.4.1.1.2 Power Contacts para tarjetas ELxxxx

Los power contacts como su nombre lo dice, son contactos de alimentación de tensión a 24 Vcd de las tarjetas tipo ELxxxx, de modo que cada tarjeta conectada se alimenta de la tarjeta previa, y ya conectada podrá alimentar a otra tarjeta posterior a ella. La Figura 3.6 muestra una imagen lateral de los power contacts.

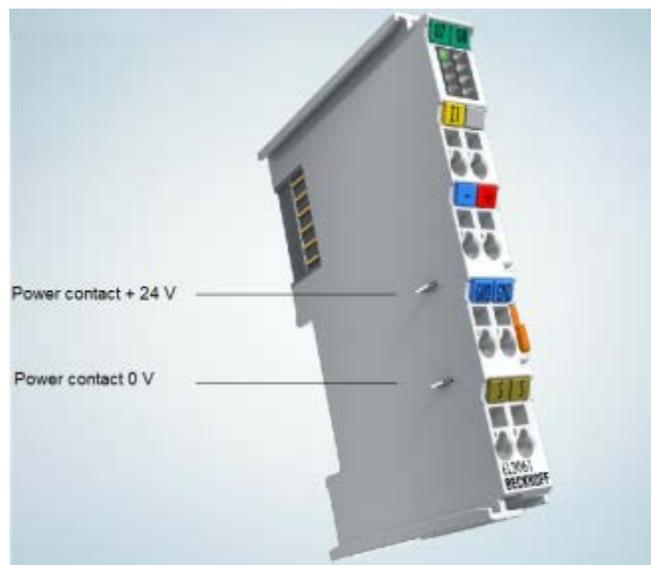


Figura 3.6. Power contacts.

3.1.4.2 Módulos de entrada analógica

En cuanto a la lectura de señales analógicas existen módulos con diversos rangos de lectura normalizados, entre los más comunes se pueden mencionar 0...+10 Vcd, -10...+10 Vcd, 0...+5Vcd, -5...+5Vcd, 0-20 mA, 4-20 mA, y algunos otros como 0...+500mV, -75...+75mV, etc.

La selección del rango normalizado de la tarjeta de entrada analógica depende del rango que utilice el sensor, es decir, la tarjeta de entrada analógica debe de abarcar el mismo rango o en su defecto ser mayor, por ejemplo un sensor de temperatura que su salida es de 0-5 Volts (para representar el rango de 0-60°C) debería ser leído preferentemente por una entrada analógica del mismo rango (0-5 Volts), pero en su defecto podría ser leído por una entrada digital de 0-10 Volts, pudiendo escalar el valor a través del software del PLC.

En lo que respecta a la selección del tipo de señal a utilizar, corriente o voltaje, todo dependerá principalmente de la distancia entre el sensor y tarjeta de entrada analógica. Una señal de 0-10 V tiene como ventaja el poder medirla fácilmente (con un voltímetro en paralelo), pero tiene como desventaja que a largas distancias habrá una caída de tensión provocando un error de lectura. Por otro lado la señal de corriente (0-20mA y 4-20mA) es constante y menos susceptible a interferencias, sin embargo su medición se dificulta debido a que se debe realizar en serie.

Algunos ejemplos de aplicación donde se obtienen valores de una entrada analógica son: la lectura de velocidad de un motor, lectura de posición de ejes robotizados, lectura de temperatura de hornos y en la adquisición de datos de una estación meteorológica, entre otros.

3.1.4.2.1 Módulo de entrada analógica EL3102

La tarjeta EL3102 es una tarjeta con 2 entradas analógicas en el rango de -10...+10 Vcd. Este módulo se utilizó para la lectura de temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento.

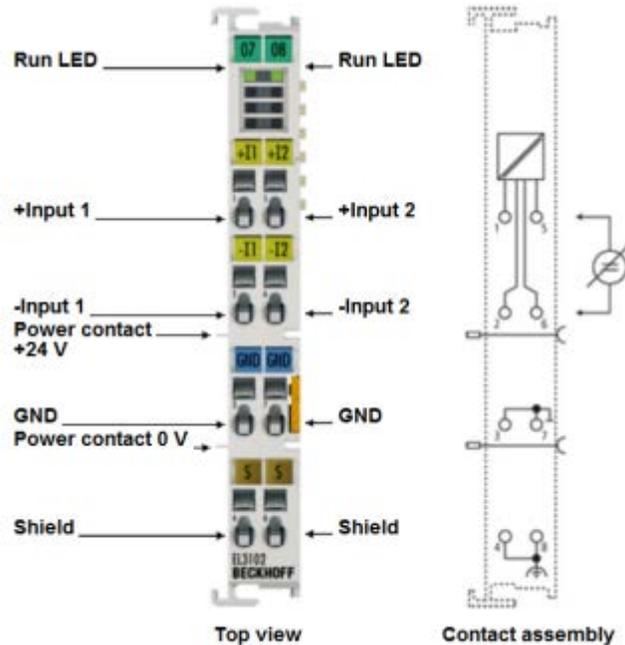


Figura 3.7. Módulo de entrada analógica EL3102.

3.1.4.2.1.1 Descripción de componentes

- Run LED luz indicadora sí la entrada se encuentra en modo ejecución run (run = encendida, Off = apagada).
- +Input 1 es la entrada positiva de la señal de entrada 1
- +Input 2 es la entrada positiva de la señal de entrada 2
- - Input 1 es la entrada negativa o de referencia de la señal de entrada 1
- - Input 2 es la entrada negativa o de referencia de la señal de entrada 2
- Shield es el blindaje de las señales de entrada
- GND es la tierra de las señales de entrada

- Power contact +24 V y Power contact 0 V son los contactos laterales a través de los cuales la tarjeta recibe su voltaje de alimentación.

3.1.4.2.2 Módulo de entrada analógica EL3312

La tarjeta EL3312 es una tarjeta con 2 entradas analógicas en el rango de -30...+30mVcd y -75...+75mVcd. Este módulo se utilizó para la lectura de la radiación solar.

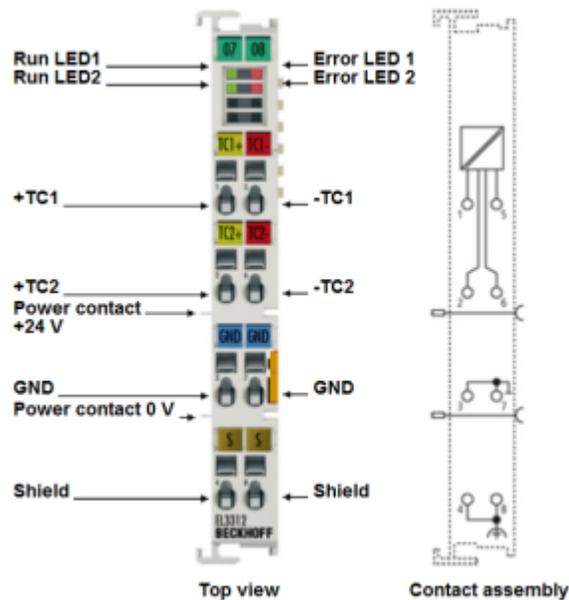


Figura 3.8. Módulo de entrada analógica EL3312.

3.1.4.2.2.1 Descripción de componentes

- Run LED 1..2 luz indicadora sí la entrada correspondiente se encuentra en modo ejecución run (run = encendida, Off = apagada).
- Error LED 1...2 son luces indicadoras de hilo roto de la entrada correspondiente, es decir si el sensor esta desconectado.
- +TC 1 es la entrada positiva de la señal de entrada 1
- +TC 2 es la entrada positiva de la señal de entrada 2

- - TC1 es la entrada negativa o de referencia de la señal de entrada 1
- - TC 2 es la entrada negativa o de referencia de la señal de entrada 2
- Shield es el blindaje de las señales de entrada
- GND es la tierra de las señales de entrada
- Power contact +24 V y Power contact 0 V son los contactos traseros a través de los cuales la tarjeta recibe su voltaje de alimentación.

3.1.5 Módulo Terminal de bus EL9010

El módulo de terminación de bus es necesario para determinar el punto final de nuestra red de dispositivos, y de este modo el programa de configuración de hardware “TwinCAT System Manager” pueda trabajar correctamente. Posee las mismas características de tamaño que los módulos ELxxxx, aunque por cuestiones estéticas también posee bornes de conexión, estos no tienen función alguna.

3.1.6 Regulador de voltaje μ A7805

El regulador de voltaje μ A7805 de la marca National Instruments es un dispositivo electrónico capaz de mantener en su salida 5 Vcd teniendo una entrada de voltaje variable entre el rango de 7-25 Vcd.

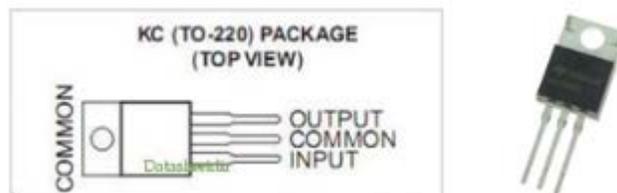


Figura 3.9. Regulador de voltaje μ A7805.

3.1.7 Materiales y equipos complementarios

3.1.7.1 Interruptor termo-magnético

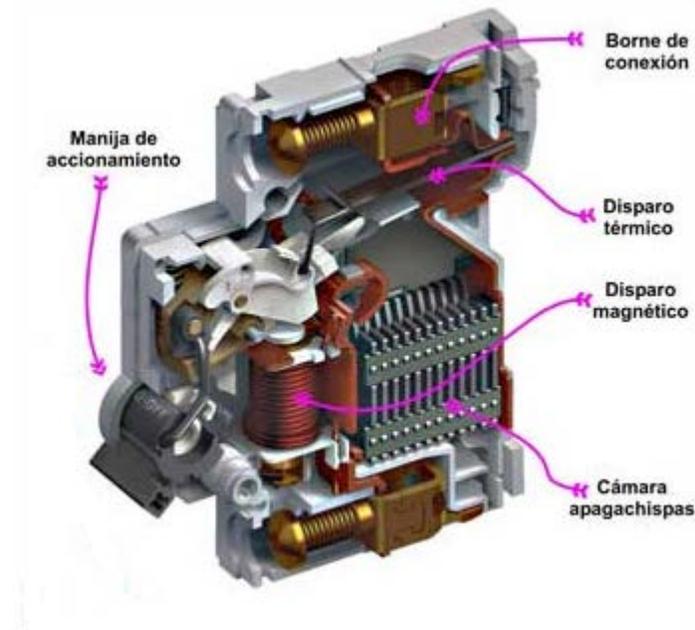


Figura 3.10. Partes principales de interruptor termo-magnético.

Un interruptor magneto térmico o interruptor termo magnético, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico. El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. Los interruptores termo magnéticos protegen la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos.

Al circular la corriente por el electroimán, crea una fuerza que, mediante un dispositivo mecánico adecuado, tiende a abrir el contacto, pero sólo podrá abrirlo si la intensidad de corriente que circula por la carga sobrepasa el límite de intervención fijado. Este nivel de intervención suele estar comprendido entre 3 y 20

veces la intensidad nominal (la intensidad de diseño del interruptor termomagnético) y su actuación es de aproximadamente unas 25 milésimas de segundo, lo cual lo hace muy seguro por su velocidad de reacción. Esta es la parte destinada a la protección frente a los cortocircuitos, donde se produce un aumento muy rápido y elevado de corriente.

La otra parte está constituida por una lámina bimetálica que, al calentarse por encima de un determinado límite, sufre una deformación y mediante el correspondiente dispositivo mecánico, provoca la apertura del contacto. Esta parte es la encargada de proteger de corrientes que, aunque son superiores a las permitidas por la instalación, no llegan al nivel de intervención del dispositivo magnético, es decir, protegen contra una sobrecarga.

Ambos dispositivos se complementan en su acción de protección, el magnético para los cortocircuitos y el térmico para las sobrecargas.

Lo descrito anteriormente aplica para la interrupción de un hilo del suministro, al cual se le denomina unipolar. También existen versiones bipolares y tripolares de estos interruptores, pero en esencia funcionan bajo en el mismo principio.

Para el sistema de adquisición de datos se utilizó un interruptor termomagnético de 5 amperes para protección de la fuente de alimentación de 24 Vcd.

3.1.7.2 Materiales de Instalación

A continuación se describen los materiales utilizados para la construcción del gabinete donde se alojan todos los componentes.

3.1.7.2.1 Gabinete

Se utilizó un gabinete de la marca Rittal para la colocación de PLC, fuente de alimentación y módulos ELxxx, así como elementos de protección y conexión. Las medidas del gabinete son 400x500x300 mm (ancho x alto x profundidad).



Figura 3.11. Gabinete.

3.1.7.2.2 Riel DIN

Un carril DIN o riel DIN es una barra de metal normalizada de 35 mm de ancho con una sección transversal en forma de sombrero. Se usa para el montaje de elementos eléctricos, tanto en aplicaciones industriales como en viviendas.

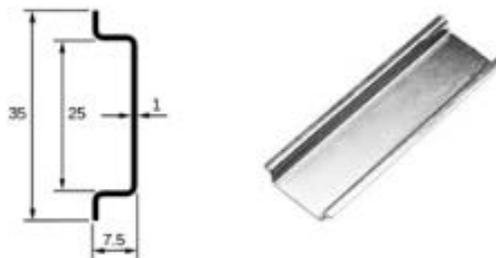


Figura 3.12. Riel DIN.

3.1.7.2.3 Clemas

La clema es un conector eléctrico que aprisiona un cable mediante el uso de un tornillo (clema de tornillo) o mediante un resorte (clema de muelle). Están diseñadas para ser montadas sobre riel DIN.



Figura 3.13. Clemas.

También existen clemas que pueden alojar un fusible para interrumpir la tensión en caso de que se sobrepase el valor de corriente. A estas clemas se les conoce como clemas portafusible.

Se utilizaron clemas de este tipo para proteger al módulo EK1100 y la alimentación común en los “Power Contacts” para los módulos ELxxxx (Véase cap. 3.1.4.1.1.2 Power Contacts para tarjetas ELxxxx).

3.1.7.2.4 Conector glándula

Este conector se utiliza para la sujeción de los cables al gabinete, consta de un cuerpo con doble cuerda para sujetarse de un lado al gabinete con una tuerca y del otro extremo con una contratuerca para poder apretar el cable y evitar movimientos. Además de hermetizar para evitar filtraciones de agua, ya que también cuenta con juntas de neopreno.



Figura 3.14. Conector glándula.

3.1.7.2.5 Canaleta

La canaleta se utiliza como medio de ruteo de cables para la alimentación de los elementos eléctricos-electrónicos (fuente de alimentación, PLC, EK1100) y la interconexión entre algunos otros como ELxxxx y sensores.

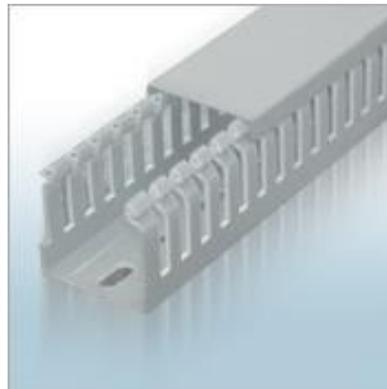


Figura 3.15. Canaleta.

3.1.7.3 Vista general de componentes en gabinete

En la Figura 3.16 se muestra una vista general de la distribución de los distintos equipos y componentes del sistema de adquisición dentro del gabinete.



Figura 3.16. Vista general de componentes en gabinete.

3.2 Software

3.2.1 TwinCAT

TwinCAT es un software de desarrollo para sistemas automáticos, que cuenta con diversas aplicaciones para desarrollar y ejecutar aplicaciones de automatización de procesos. Entre las aplicaciones de TwinCAT que se utilizaron para el desarrollo del sistema de adquisición de datos meteorológicos se tienen:

- TwinCAT System Control
- TwinCAT System Manager
- TwinCAT PLC Control

3.2.1.1 TwinCAT System Control

Es una aplicación de configuración en la cual se parametrizan ciertas propiedades referentes al proyecto.

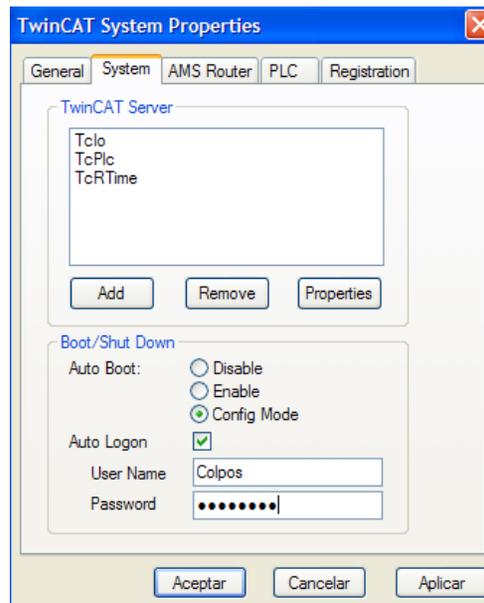


Figura 3.17. TwinCAT System Control.

La pestaña “General” muestra información acerca de la versión de software.

En la pestaña “System” se muestran datos de sistema, en la parte superior “TwinCAT Server” se muestran los controladores de comunicación disponibles, pudiendo añadir o borrar dichos controladores según las necesidades del proyecto. Por ejemplo: el TcIo es el controlador de TwinCAT que gestiona funcionamiento de los dispositivos de entrada/salida; TcPlc es el controlador para el programa "TwinCAT PLC control" , desde el cual se ejecuta el programa secuencial de PLC; y TcRTime es el controlador para la aplicación de tiempo real (Runtime) del TwinCAT System Manager y desde el cual se activa el modo Run de los dispositivos interconectados.

En “Boot/Shut Down” se selecciona si el programa de aplicación deberá o no iniciar automáticamente, o de ser necesario iniciar el programa en modo de configuración.

En la parte inferior se define un usuario y password para el equipo (debe ser el mismo que el administrador del equipo), se puede utilizar este password para acceder de forma remota y poder realizar cambios en el equipo.

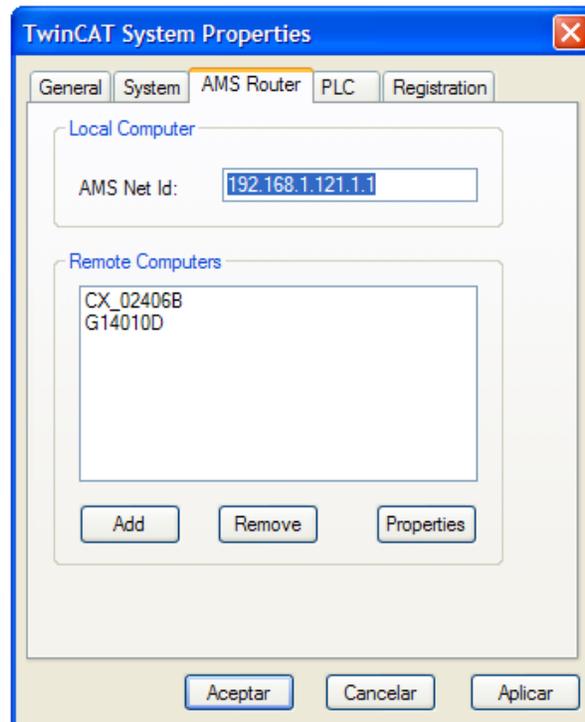


Figura 3.18. Net Id de Equipo Local.

En la pestaña “AMS Router” se muestra la **Ams Net Id** del Equipo Local, la cual es la dirección con la que el equipo se identifica dentro de la red de TwinCAT. Esta Ams Net Id es generada por estándar con la IP del equipo + “1.1”

En la sección “Remote Computers” se muestran los equipos a los cuales se puede acceder de forma remota desde el equipo local, así mismo se pueden agregar nuevos equipos a los que sea necesario acceder presionando en **Add** y configurar la pantalla que se muestra a continuación.

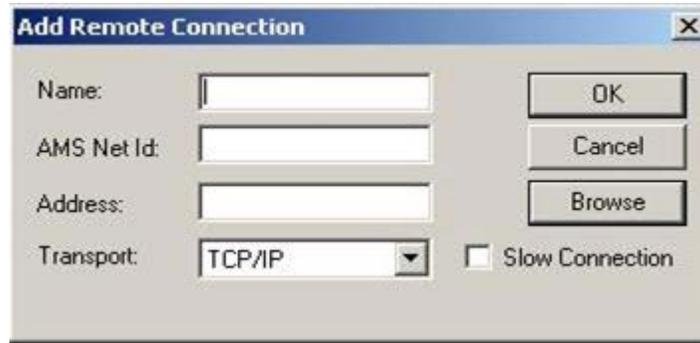


Figura 3.19. Conexión remota.

Aquí se pueden ingresar los datos de un equipo al que se desee acceder de forma remota si se conocen los datos completos del equipo. De lo contrario se puede seleccionar "Browse" y navegar entre los equipos disponibles en la red y agregar el que se deseé.

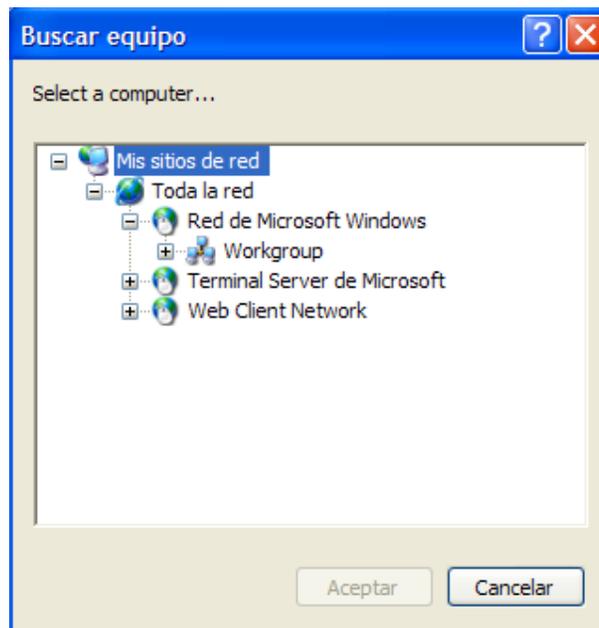


Figura 3.20. Exploración de equipos remotos.

Esta configuración es la que se necesitará realizar en algún equipo diferente al de la aplicación en caso de requerir realizar alguna modificación de forma remota.

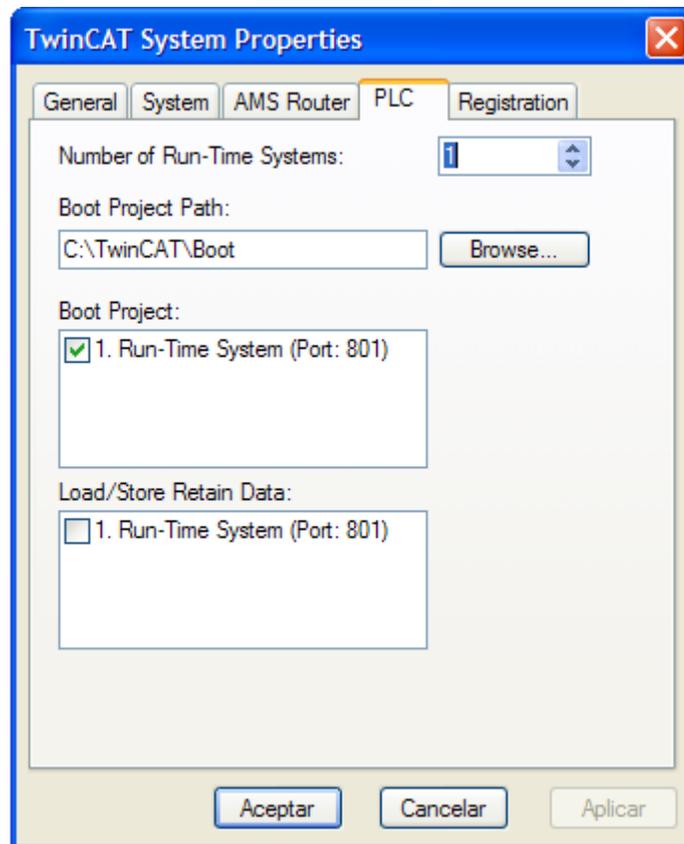


Figura 3.21. Ruta de proyecto.

En la pestaña “PLC” se indica la ruta de arranque del proyecto (Boot Project Path). En la sección “Boot Project” se selecciona la tarea que se iniciará, ya que se pueden ejecutar hasta 4 tareas por PLC.

En la sección “Load/Store Retain Data” se selecciona si la tarea tendrá área de memoria remanente, la cual sirve para almacenar la información que se necesite aun cuando el equipo se apague o se reinicie.

3.2.1.2 TwinCAT System Manager

TwinCAT System Manager es una herramienta de parametrización de hardware donde se asocian que módulos estarán disponibles en el sistema. Es el que maneja los componentes como EK1100, EL3102, EL3312 y EL9010, así mismo

controla la interconexión con el programa de PLC (Véase cap. 3.2.1.3 TwinCAT PLC Control), es decir, es el que se encarga de que los valores recibidos en las entradas y/o salidas estén correctamente direccionados a las variables de PLC.

3.2.1.2.1 Interface

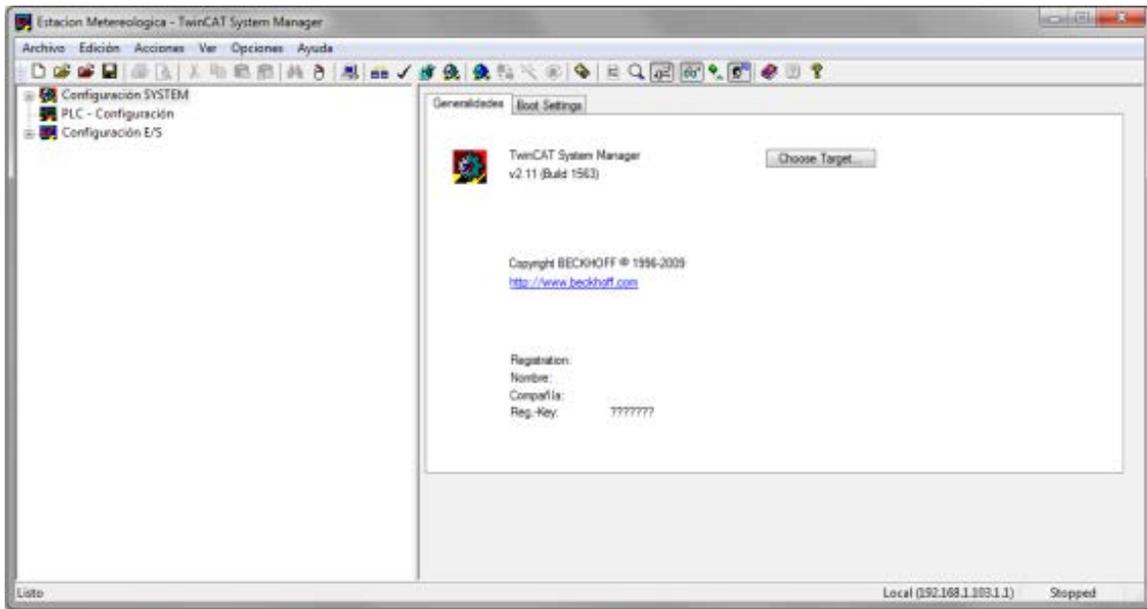


Figura 3.22. TwinCAT System Manager.

Como se observa en Figura 3.22 al abrir TwinCAT System Manager se despliegan tres secciones en la parte izquierda, las cuales se describen a continuación:

3.2.1.2.2 Configuración SYSTEM

En esta sección se configura el tiempo de ejecución de la aplicación así como programar tareas personalizadas.

3.2.1.2.3 PLC Configuración

Aquí se asocia el programa de PLC que se ejecutará en conjunto con el hardware existente.

3.2.1.2.4 Configuración E/S

En esta sección se declaran los componentes de hardware y se vinculan las entradas y/o salidas de los módulos hacia el programa de PLC previamente declarado en la sección de “PLC Configuración”. Se realiza una descripción más detallada del TwinCAT System Manager en el cap. 4.1.3 Configuración de TwinCAT System Manager.

3.2.1.3 TwinCAT PLC Control

Es una potente herramienta de desarrollo para programación de PLC que trabaja según el estándar internacional IEC 61131-3 (IEC, 2013; John, 2010) para controladores lógicos programables. La Comisión Electrotécnica Internacional IEC (por sus siglas en inglés, International Electrotechnical Commission) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

3.2.1.3.1 Lenguajes

TwinCAT PLC Control cuenta con 5 diferentes lenguajes de programación que se enlistan a continuación:

- IL (Instruction List - Lista de instrucciones)
- ST (Structured Text – Texto estructurado)
- FBD (Function Block Diagram - Diagrama de bloques de función)

- LD (Ladder Diagram - Diagrama de escalera)
- SFC (Sequential function chart- Diagrama de funciones secuenciales)

IL y ST son lenguajes de programación textual mientras que FBD, LD y SFC son lenguajes de programación gráfica. Cada uno es considerado por si solo un lenguaje de programación ya que cada uno posee su propio conjunto de símbolos, reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones.

3.2.1.3.1.1 Lenguaje IL

La lista de instrucciones IL contiene instrucciones en lenguaje de bajo nivel orientado a máquina. A continuación se muestra un ejemplo:

Ejemplo IL

```
LD      variable1
OR      variable2
AND     variable3
ST      Salida
```

Figura 3.23. Ejemplo de lenguaje IL.

3.2.1.3.1.2 Lenguaje ST

El texto estructurado ST es un lenguaje de alto nivel estructurado en bloques y que sintácticamente se asemeja a Pascal, ya que esta con base en él, a continuación se muestra un ejemplo:

Ejemplo ST

Salida:= (variable1 OR variable2)AND variable3

Figura 3.24. Ejemplo de lenguaje ST.

3.2.1.3.1.3 Lenguaje FBD

El lenguaje de diagramas de bloques de función es un lenguaje gráfico que conecta funciones aritméticas, bloques de función y operaciones booleanas. A continuación se muestra un ejemplo:

Ejemplo FBD

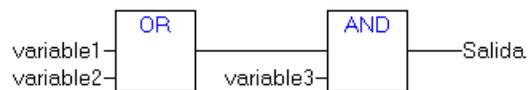


Figura 3.25. Ejemplo de lenguaje FBD.

3.2.1.3.1.4 Lenguaje LD

El lenguaje LD o de escalera es un lenguaje gráfico muy popular en el campo de los PLC, está con base en los esquemas eléctricos de control clásicos (contactos y bobinas). La Figura 3.26 muestra un ejemplo.

Ejemplo LD

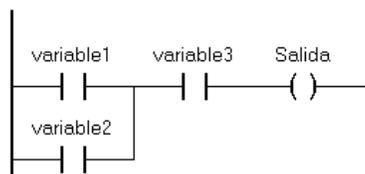


Figura 3.26. Ejemplo de lenguaje LD.

3.2.1.3.1.5 Lenguaje SFC

Es un lenguaje gráfico que se utiliza para programar procesos secuenciales, el cual puede combinar los otros lenguajes de programación.

Los recuadros S0..S3 representan los pasos del proceso secuencial, t1..t5 (transiciones) son las condiciones para avanzar de un paso a otro. Las transiciones pueden incluir condiciones creadas en los otros lenguajes de programación, por ejemplo t1 contiene condiciones creadas en lenguaje LD y t2 en lenguaje FBD.

Ejemplo SFC

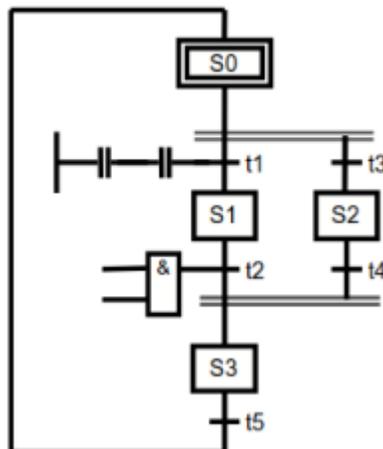


Figura 3.27. Ejemplo de lenguaje SFC.

3.2.2 Microsoft Visual Studio 2010 Express y MySQL

Se utilizó este software gratuito de Microsoft para el desarrollo de una aplicación en Visual Basic cuya tarea es el monitoreo y almacenamiento de los datos meteorológicos medidos en tiempo real. Dentro de la solución se contempló la comunicación con el PLC Beckhoff CX1020 por medio de la especificación ADS, y que en Visual Studio se añade como librería gratuita para el establecimiento de comunicación entre dispositivo y/o aplicaciones que soporten ADS.

Así mismo se utilizó MySQL para el almacenamiento de la información en una base de datos, la cual se consideró para propósitos generales y diversos. El almacenamiento de los datos se lleva a cabo dentro del mismo programa de Visual Basic utilizado para la aplicación de monitoreo de variables meteorológicas. Así también se puede seleccionar la frecuencia en que los datos serán almacenados.

3.3 Instrumentación (Sensores Meteorológicos)

3.3.1 Sensor de Radiación

Los instrumentos más comúnmente que usan para medir el contenido de energía directa y difusa del espectro solar son llamados piranómetros. El principio físico que utilizan, es la medida de voltaje en una pila termoeléctrica sobre la que incide la radiación solar.

La termopila se forma por sectores blancos y negros, que absorber la radiación solar, las bandas negras absorben más radiación solar con respecto a las bandas blancas, que se transforma en calor. Este flujo de calor se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura, y a su vez la tensión eléctrica es proporcional a la radiación incidente.

Los Piranómetros suelen medir el espectro de la radiación solar, el cual se extiende aproximadamente de 300 a 2800 nm.

Se utilizó el sensor LI-COR modelo LI-200 que se muestra en la Figura 3.28:



Figura 3.28. Piranómetro LI-200.

Este dispositivo genera 1mV por cada 0.2 KW/m^2 detectados, es decir, 1 mV equivale a 200 W/m^2 (Véase especificaciones Anexo).

3.3.2 Sensor de Temperatura

Para medir la temperatura comúnmente que se utilizan son los RTD (Resistive Temperature Detector) y Termopares. Los RTD son sensores de temperatura resistivos, los cuales aprovechan el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones, ya que con un aumento de temperatura habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciendo su velocidad media y de este modo se aumenta la resistencia, es decir, ante un aumento de temperatura hay un aumento de la resistencia eléctrica.

Por otra parte un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, 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.

Se utilizó el sensor HO2NVSTA1 de la marca Veris (Figura 3.29), el cual es un sensor de temperatura y humedad relativa, con las siguientes características para el sensor de temperatura:

- Voltaje de Alimentación: 24 Vcd
- Rango de Medición: - 40 a 50 °C
- Señal de Salida: 0-5 Vcd / 0-10 Vcd



Figura 3.29. Sensor de Temperatura y Humedad Relativa.

El principio de operación es el de un termopar, y posee electrónica adicional para escalar el valor a un rango de 0-5 Vcd y 0-10 Vcd (Véase especificaciones en Anexo).

3.3.3 Sensor de Humedad Relativa

Entre la instrumentación existente para medir la humedad relativa del aire se puede mencionar:

- Mecánicos: aprovechan los cambios de dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Como por ejemplo: fibras orgánicas o sintéticas, el cabello humano, etc.
- Con base en sales higroscópicas: calculan el valor de la humedad en el ambiente a partir de una molécula cristalina que tiene mucha afinidad con la absorción de agua.
- Por conductividad: la presencia de agua en un ambiente permite que a través de unas rejillas de oro circule una corriente. Ya que el agua es

perfecta conductora de corriente. Según la medida de corriente se deduce el valor de la humedad.

- Capacitivos: se basan tan sencillamente en el cambio de la capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad.
- Infrarrojos: estos disponen de dos fuentes infrarrojas que absorben parte de la radiación que contiene el vapor de agua.
- Resistivos: aplican un principio de conductividad

El sensor que se utilizó es de tipo capacitivo, que son los más empleados para las aplicaciones agro-meteorológicas. Como se había mencionado viene incluido en el sensor HO2NVSTA1 (Véase especificaciones en Anexo) cuyas características son:

- Voltaje de Alimentación: 24 Vcd
- Rango de medición: 0-100% de Humedad Relativa
- Exactitud: $\pm 1\%$ (0-80% RH)
- Señal de Salida: 0-5 Vcd / 0-10 Vcd

3.3.4 Sensor de velocidad y dirección del viento

El sensor de velocidad que se utilizó es el 03101 R.M. y el 03301 R.M. para dirección, ambos de la marca Campbell Scientific, los cuales se muestran en la Figura 3.30:



Figura 3.30. Sensores de velocidad y dirección del viento.

3.3.4.1 Sensor de velocidad del viento (anemómetro)

El principio de funcionamiento del sensor de velocidad, es que genera una onda senoidal que es inducida por un imán, que está colocado en el eje giratorio del sensor como el que se muestra en la Figura 3.30.

La señal de salida senoidal posee la característica de que 100mV pico a pico son generados por cada Hz de frecuencia a la que gira el anemómetro, y cada Hz equivale a 0.75 m/s (Véase especificaciones en Anexo).

3.3.4.2 Sensor de dirección del viento (veleta)

El principio de funcionamiento del sensor para medir la dirección del viento consiste en un potenciómetro de 10 KOhms de resistencia, el cual varía su valor de manera proporcional al ángulo al cual se encuentra, y genera como salida un voltaje proporcional a la dirección del viento. El voltaje de salida del sensor se encuentra acotado por el voltaje de alimentación, es decir el voltaje máximo a 355° será el mismo que el voltaje de alimentación.

El sensor puede medir de 0 a 355°, siendo 5° de zona muerta, por lo que 0 Vcd representan 0° y 5 Vcd representan 355° cuando el voltaje de alimentación es 5 Vcd. En la zona muerta que comprende de 356°..360° el circuito se comporta como abierto y el voltaje que entrega es de 5 Vcd, es decir, como si indicara 355° (Véase especificaciones en Anexo).

3.3.5 Pluviómetro

El diseño básico de operación del pluviómetro consiste en un recipiente de entrada, por donde el agua ingresa a través de un embudo hacia el colector o balancín donde el agua se recolecta. Se mide el número de cambios de posición del balancín (pulsos) al recolectar y vaciar un volumen unitario de agua.



Figura 3.31. Pluviómetro.

EL sensor que se usó fue el TE525 de la marca Campbell Scientific y con las siguientes características:

- Resolución : 0.35 mm
- Salida: pulso
- Alimentación: 5-24 Vcd

4 METODOLOGÍA

A continuación se describen de manera general los pasos que se siguieron para cumplir con los objetivos del presente trabajo:

1. Primero se realizó la implementación que es la adecuación de señales, para que el PLC las interprete de modo correcto y pueda convertirlas al valor correspondiente de acuerdo a las magnitudes de cada sensor. Es decir, se obtuvieron las fórmulas de conversión a % para humedad relativa, °C para temperatura, m/s para velocidad del viento, ° grados para dirección del viento, W/m² para radiación y mm para precipitación.
2. El siguiente paso fue la configuración de las propiedades básicas del proyecto en TwinCAT System Control.
3. A continuación con el TwinCAT System Manager se configuraron los módulos de entrada digital y analógica necesarios, así como los rangos de voltaje que se utilizaron en las tarjetas analógicas.

Se utilizaron 4 tarjetas de entrada, 1 digital y 3 analógicas. El Cuadro 4.1 muestra un resumen de como se distribuyen los sensores en los módulos de entrada y los rangos de voltaje utilizados.

Cuadro 4.1. Distribución de conexión de sensores en tarjetas de entrada.

Tarjeta	Tipo de Tarjeta	Entrada de la tarjeta	Sensor conectado	Rango de Voltaje
EI1014	Digital	1	Pluviómetro	24 Vcd
		2	Reserva	-
		3	Reserva	-
		4	Reserva	-
EL3102	Analógica	1	Sensor dir. de viento	0-10 Vcd
		2	Anemómetro	0-10 Vcd
EL3102	Analógica	1	Temperatura	0-10 Vcd
		2	Humedad	0-10 Vcd
EL3312	Analógica	1	Radiación solar	0-75 mVcd
		2	Reserva	-

4. Se asoció esta configuración con el programa de PLC que se realizó en TwinCAT PLC Control, para que los valores sensados y leídos se puedan almacenar y escribir en las variables del PLC, y así posteriormente se procesan y escalan a su correspondiente magnitud y unidades.
5. Posteriormente se realizó la programación en TwinCAT PLC Control para adecuar las fórmulas previamente desarrolladas al lenguaje propio del PLC (ST – Texto Estructurado).
6. Por último se programó una aplicación de comunicación entre TwinCAT PLC Control con Microsoft Visual Basic para la visualización y almacenamiento de los datos leídos.

4.1 Implementación

4.1.1 Adecuación de Señales

En esta sección se describe el procedimiento que se realizó para la obtención de la fórmula que relaciona el valor de lectura en la entrada del PLC con el correspondiente valor que representa la variable meteorológica ($^{\circ}\text{C}$, %, m/s, W/m^2 , mm, etc.)

4.1.1.1 Medición de Temperatura

Para la medición de la temperatura y humedad relativa se utilizó el sensor de la marca Veris Modelo HO2NVSTA1 con las siguientes características:

- Rango de Medición (-40 ... 50 $^{\circ}\text{C}$)
- Salida de 0-5 Vcd / 0-10 Vcd

Se utilizó la salida de 0-10 Vcd, dado que la tarjeta que emplea para leer el sensor también utiliza el mismo rango de entrada.

4.1.1.1.1 Características de Tarjeta de Entradas Analógicas EL3102

Para la lectura de este sensor se utilizó la tarjeta de entradas analógicas EL3102, la cual posee las siguientes características:

Características en modo lectura bipolar

- Rango de medición de -10... +10 Vcd
- Resolución de 16 bits

Características en modo lectura unipolar

- Rango de medición de 0... +10 Vcd
- Resolución de 15 bits

Para mayor información acerca de la tarjeta EL3102 consultar hoja de especificaciones en el Anexo.

4.1.1.1.2 Resolución de Tarjeta de Entradas Analógicas EL3102

La resolución se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Resolucion} &= \frac{(\text{Rango de Medicion})Vcd}{2^{15}} = \frac{(\text{Valor Maximo} - \text{Valor Minimo})Vcd}{2^{15}} \\ &= \frac{(10 - 0)Vcd}{2^{15}} = \frac{10Vcd}{2^{15}} = \frac{10Vcd}{32768} = 0.00030517578125 Vcd \cong 305 \mu Vcd \end{aligned}$$

Es decir, para que el valor leído en la tarjeta analógica aumente una unidad, debe presentarse una variación de voltaje de $305\mu Vcd$ en el sensor de temperatura, que representa la resolución de la tarjeta analógica.

Se utilizó el denominador 2^{15} debido a que los valores de voltaje 0-10Vcd son convertidos digitalmente en el rango de 0..32768, es decir, 32768 valores posibles para resolución de 15 bits (2^{15}).

Es importante mencionar que esta tarjeta se utilizó para leer las señales de temperatura, humedad, velocidad y dirección, por lo que para el cálculo de la resolución para dichas variables meteorológicas se hace referencia a este apartado.

4.1.1.1.3 Escalamiento a voltaje cd para lectura de temperatura

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en Vcd se realizó de la siguiente manera:

$$Voltajecd = (ValorLeido * Resolución)$$

4.1.1.1.4 Escalamiento a Grados Centígrados

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en °C se realizó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Temperatura &= (ValorLeido * Factor^{\circ C}) - LímiteInferiorTemperatura \\ &= (ValorLeido * Factor^{\circ C}) - 40^{\circ C} \end{aligned}$$

Dónde: Límite inferior de temperatura es el valor mínimo de temperatura que puede detectar el sensor.

Donde $Factor^{\circ C}$, se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 Factor^{\circ C} &= \frac{RangoTemperatura^{\circ C}}{2^{15}} = \frac{(ValorMáximo-ValorMínimo)^{\circ C}}{32768} \\
 &= \frac{(50 - (-40))^{\circ C}}{32768} = \frac{90^{\circ C}}{32768} \cong 0.00274658203125^{\circ C}
 \end{aligned}$$

Es decir, para que el valor leído en la tarjeta analógica aumente una unidad, debe presentarse una variación de temperatura de aprox. $0.002746^{\circ C}$.

Entonces se resume la fórmula:

$$\begin{aligned}
 Temperatura &= \frac{Valorleido * RangoTemperatura}{2^{15}} \\
 &\quad - LímiteInferiorTemperatura \\
 &= Valorleido * 0.002746 - Límiteinferiordetemperatura
 \end{aligned}$$

Ejemplo: si se lee el valor 16384 en la entrada analógica se aplica la fórmula y se tiene:

$$Valor^{\circ C} = (16384 * 0.002746^{\circ C}) - 40^{\circ C} = 5^{\circ C}$$

En resumen se tiene que el sensor es capaz de medir un rango de $90^{\circ C}$ ($-40...+50^{\circ C}$) y entrega valores de voltaje en el rango de $0...10 V_{cd}$ que a su vez la tarjeta de entrada analógica convierte en el rango de $0...32768$.

En el Cuadro 4.2 se muestran algunos valores leídos por la tarjeta analógica dentro del rango de temperatura $-40...+50^{\circ C}$ y cuál es su equivalencia en Voltaje cd.

Cuadro 4.2. Ejemplo de escalamiento de valores de temperatura.

Valor Tarjeta Entrada Analógica	Valor Volts Vcd	Temperatura Sensor °C
0	0	-40
1	0,000305176	-39,99725342
2	0,000610352	-39,99450684
3	0,000915527	-39,99176025
.	.	.
.	.	.
.	.	.
14564	4,444580078	0,001220703
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
32765	9,999084473	49,99176025
32766	9,999389648	49,99450684
32767	9,999694824	49,99725342
32768	10	50

4.1.1.2 Medición de Humedad

Como se mencionó anteriormente, para la medición de la temperatura y humedad relativa se utilizó el sensor de la marca Veris Modelo HO2NVSTA1, que posee las siguientes características para el sensor de humedad relativa:

- Rango de Medición (0% a 100%)
- Salida de 0-5 Vcd / 0-10 Vcd

Al igual que en la lectura de temperatura, se utilizó la salida de 0-10 Vcd, puesto que la tarjeta de entrada analógica utiliza el mismo rango.

Así mismo para el sensor de humedad relativa se utilizó una tarjeta de entradas analógicas EL3102 para leer el rango de 0...+10 Vcd (Véase cap. 4.1.1.1.1 Características de Tarjeta de Entradas Analógicas EL3102).

4.1.1.2.1 Escalamiento a Voltaje cd para lectura de Humedad Relativa

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en Vcd se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje cd} = (\text{Valor Leído} * \text{Resolución})$$

Donde la resolución $\cong 305 \mu\text{Vcd}$

(Véase cap. 4.1.1.1.2 Resolución de Tarjeta de Entradas Analógicas EL3102)

Es decir, para que el valor leído en la tarjeta analógica aumente una unidad, debe presentarse una variación de voltaje de $305 \mu\text{Vcd}$ en el sensor de humedad relativa, que representa la resolución de la tarjeta analógica.

4.1.1.2.2 Escalamiento a % de Humedad Relativa

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en porcentaje de humedad relativa se realiza de la siguiente manera:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{Valor Leído} * \text{Factor Humedad})$$

Dónde: *Factor Humedad* se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \text{FactorHumedad} &= \frac{\text{RangoHumedadRelativa}}{2^{15}} = \frac{(\text{ValorMáximo} - \text{ValorMínimo})\%}{32768} \\
 &= \frac{(100 - 0)\%}{32768} = \frac{100\%}{32768} \cong 0.003051\%
 \end{aligned}$$

Es decir, para que el valor leído en la tarjeta analógica aumente una unidad, debe presentarse una variación de humedad de aprox. 0.003051%.

Entonces se resume la fórmula:

$$\%Humedad = \frac{\text{Valorleido} * \text{RangoHumedadRelativa}}{2^{15}} = \text{ValorLeido} * 0.003051$$

En resumen se tiene que el sensor es capaz de medir un rango de 0% a 100 % de variación de humedad relativa, y entrega valores de voltaje en el rango de 0...10 Vcd que a su vez la tarjeta de entrada analógica convierte en el rango de 0...32768.

El Cuadro 4.3 muestra algunos valores leídos por la tarjeta analógica dentro del rango de porcentaje de humedad relativa de 0...100% y cuál es su equivalencia en Voltaje cd.

Cuadro 4.3. Ejemplo de escalamiento de valores de humedad.

Valor Tarjeta Entrada Analógica	Valor Volts Vcd	Humedad Relativa Sensor %
0	0	0
1	0,000305176	0,003051
2	0,000610352	0,006102
3	0,000915527	0,009153
.	.	.
.	.	.
.	.	.
16384	5	50
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
32765	9,999084473	99,990847
32766	9,999389648	99,993898
32767	9,999694824	99,996949
32768	10	100

4.1.1.3 Medición de Velocidad del Viento

Para medir la velocidad se utilizó el sensor de la marca Campbell Scientific Modelo 3101 R.M., que tiene las siguientes características:

- Rango de Medición de 0 a 50m/s y soporta ráfagas de 60m/s
- Salida: señal senoidal inducida
 - 100mV pico a pico a 60rpm (1Hz)
 - 6V pico a pico a 3600rpm (60Hz)
- Frecuencia de Salida: 1 ciclo por revolución de copa (0.75m/s por Hz)

Se utilizó una tarjeta de entradas analógicas EL3102 para la lectura de valores de voltaje en el rango de -10...+10 Vcd, ya que la onda senoidal inducida genera un voltaje en el rango -3...+3 Vca para una frecuencia de 60Hz, y de este modo se abarca todo el rango de posibles valores del sensor de velocidad.

En la Figura 4.1 se muestra una imagen de onda senoidal.

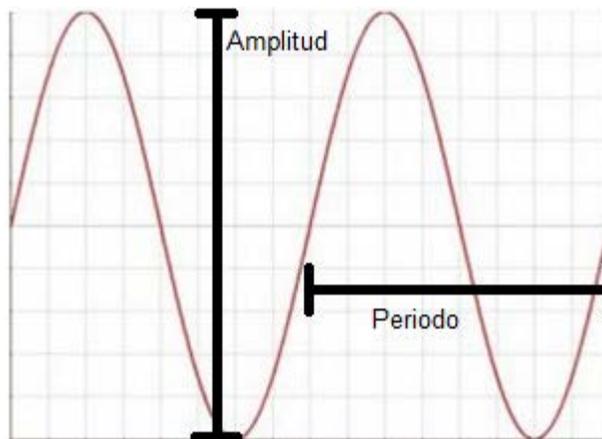


Figura 4.1. Onda Senoidal.

La amplitud es la magnitud entre el punto más bajo y el más alto de la onda, lo que corresponde con el voltaje pico a pico. Y el periodo es el tiempo que tarda o dura un ciclo de la onda, por consiguiente la frecuencia es la cantidad de periodos o ciclos por segundos.

4.1.1.3.1 Escalamiento a Voltaje para lectura de velocidad

En este caso se realizan muestreos constantes de la señal senoidal de entrada para detectar el voltaje pico positivo (valor máximo positivo) y el voltaje pico negativo (valor máximo negativo) en un intervalo de tiempo y así obtener el Voltaje pico a pico V_{pp} para posteriormente convertir a su equivalente en frecuencia (hz), para finalmente calcular la velocidad a partir del dato de frecuencia.

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en volts se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje} = (\text{ValorLeido} * \text{Resolución})$$

Entonces se sustituye y se tiene:

$$\begin{aligned} V_{pp} &= \text{Voltajepico positivo} - \text{Voltajepico negativo} \\ &= \text{Lectura máx positiva} * \text{resolucion} - \text{Lectura máx negativa} * \text{resolucion} \\ &= (\text{Lectura máx positiva} - \text{Lectura máx negativa}) * \text{resolucion} \end{aligned}$$

Dónde: resolución es $\cong 305 \mu Vcd$

(Véase cap. 4.1.1.1.2 Resolución de Tarjeta de Entradas Analógicas EL3102)

En este caso se realizó el procedimiento para obtener la resolución, ya que aunque el resultado es el mismo, se utilizan diferentes valores para el rango de medición (en este caso -10...+10Vcd) y se utiliza como denominador 2^{16} , que es la resolución en bits de la tarjeta para la lectura en modo bipolar.

$$\begin{aligned} \text{Resolución} &= \frac{(\text{Rango de Medición})Vcd}{2^{16}} = \frac{(\text{Valor Máximo} - \text{Valor Mínimo})Vcd}{2^{16}} \\ &= \frac{(10 - (-10))Vcd}{2^{16}} = \frac{20Vcd}{2^{16}} = \frac{20Vcd}{65536} = 0.00030517578125 Vcd \cong 305 \mu Vcd \end{aligned}$$

Donde “Valor Máximo” es el límite superior que puede leer la tarjeta de entrada analógica, en este caso +10Vcd y “Valor Mínimo” es el límite inferior, el cual es -10Vcd.

Se utilizó el denominador 2^{16} debido a que los valores de voltaje -10..+10Vcd son convertidos digitalmente en el rango de -32768..32768, es decir, 65536 valores posibles para resolución de 16 bits (2^{16}).

4.1.1.3.2 Escalamiento a Frecuencia a partir de voltaje pico a pico

Una vez obtenido el voltaje pico a pico (Vpp) se calcula el valor de frecuencia a partir de que 100mV representan 1 Hz.

Entonces:

$$100mV \rightarrow 1Hz$$

$$\text{Voltaje pico a pico} \rightarrow \text{Frecuencia}$$

Se despeja *Frecuencia*:

$$\begin{aligned} \text{Frecuencia} &= \frac{\text{Voltaje pico a pico}}{100mV} * 1Hz \\ &= \frac{\text{Voltaje pico a pico}}{0.1V} * 1Hz \end{aligned}$$

Ya obtenido el valor de frecuencia se calcula la velocidad partiendo de que 0.75m/s representan 1 Hz.

$$0.75m/s \rightarrow 1Hz$$

$$\text{Velocidad} \rightarrow \text{Frecuencia}$$

Se despeja *Velocidad*:

$$Velocidad = \frac{Frecuencia}{1Hz} * 0.75m/s$$

4.1.1.4 Medición de Dirección del Viento

Para medir la velocidad del viento se utilizó el sensor Modelo 3301 R.M. de la Campbell Scientific que cuenta con las siguientes características:

- Rango de Medición: 360° mecánicamente, 355° eléctricamente (5° Abierto)
- Salida: Voltaje cd proporcional a la dirección del viento comprendido entre el rango según voltaje de excitación.

Se utilizó la tarjeta de entrada analógica EL3102, y al igual que en los apartados de temperatura y humedad se utiliza el rango de 0-10 Vcd, por lo tanto se tiene que la resolución es de 305 μVcd (Véase cap. 4.1.1.1.2 Resolución de Tarjeta de Entradas Analógicas EL3102).

Para alimentar este sensor se utilizó un regulador de voltaje $\mu A7805$, (Véase cap. 3.1.6 Regulador de voltaje $\mu A7805$) el cual entrega como salida 5 Vcd. El uso de este regulador fue necesario debido a que en el equipo solo se utiliza una fuente de 24 Vcd para la alimentación de tensión de los equipos y de los sensores, siendo el sensor de dirección del viento la excepción (consultar hoja de especificaciones en el Anexo).

4.1.1.4.1 Conversión Ángulo de Dirección

Para esto es necesario conocer la relación que existe entre la dirección y la señal que entrega el sensor, con lo que se tiene que 5 Vcd corresponden a un ángulo de 355° y se tiene la siguiente regla:

$$\begin{aligned} 5 \text{ Vcd} &\rightarrow 355^\circ \\ \text{Voltajecd} &\rightarrow \text{Direccion} \end{aligned}$$

Dónde:

$$\text{Voltajecd} = (\text{ValorLeido} * \text{Resolucion})$$

Se despeja Dirección y se sustituye Voltajecd:

$$\begin{aligned} \text{Direccion} &= \frac{(\text{Voltajecd} * 355^\circ)}{5 \text{ Vcd}} = \frac{\text{ValorLeido} * \text{Resolucion} * 355^\circ}{5 \text{ Vcd}} \\ &= \frac{\text{ValorLeido} * 305\mu\text{V} * 355^\circ}{5 \text{ VDC}} = \text{ValorLeido} * 0.021667 \end{aligned}$$

$$\text{Direccion} = \text{ValorLeido} * 0.021667$$

4.1.1.5 Medición de Radiación Solar

Para la medición de la radiación solar se utilizó el sensor LI-COR inc LI200S con las siguientes características:

- Sensibilidad: 0.2 KW/m²mV
- Linealidad : Máxima desviación de 1% hasta 3000 W/m²

4.1.1.5.1 Tarjeta de Entradas Analógicas para lectura de radiación

Para la señal de radiación solar se utilizó una tarjeta de entradas analógicas EL3312, la cual posee las siguientes características:

Características en modo bipolar

- Rango de medición de -75mV... +75mV cd
- Resolución de 16 bits

Características en modo unipolar

- Rango de medición de 0 mV... +75mV cd
- Resolución de 15 bits

4.1.1.5.2 Escalamiento a Voltaje Vcd para sensor de radiación

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en Vcd se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje}_{cd} = (\text{ValorLeido} * \text{Resolucion})$$

Donde la resolución se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Resolucion} &= \frac{(\text{Rango de Medicion})Vcd}{2^{16}} = \frac{(\text{Valor maximo} - \text{Valor Minimo})Vcd}{2^{16}} \\ &= \frac{(75 - (-75))mVcd}{2^{16}} = \frac{150mVcd}{2^{16}} = \frac{150mVcd}{65536} \cong 0.000002288818 Vcd \\ &\cong 2.28 \mu Vcd \end{aligned}$$

Es decir, para que el valor leído en la tarjeta analógica aumente una unidad, debe presentarse una variación de voltaje de $2.28\mu Vcd$ en el sensor de radiación solar, que es la resolución de la tarjeta analógica.

4.1.1.5.3 Escalamiento a Radiación en W/m^2

La conversión del valor leído en la entrada analógica al valor que representa en radiación (W/m^2) se realizó de la siguiente manera:

Se parte de que:

$$\begin{aligned} 1mV &\rightarrow 0.2KW/m^2 \\ \text{Voltaje}cd &\rightarrow \text{Radiacion} \end{aligned}$$

Se despeja *Radiación* y se tiene:

$$\text{Radiacion} = \frac{(\text{Voltaje}cd * 0.2KW/m^2)}{1 mV}$$

Dónde:

$$\text{Voltaje}cd = \text{ValorLeido} * \text{Resolucion}$$

Entonces se sustituye voltaje y se tiene:

$$Radiacion = \frac{(ValorLeido * Resolucion * 0.2KW/m^2)}{1 mV}$$

Se convierten mV y μV a su equivalente en Volts y KW a W respectivamente para resumir la ecuación y se tiene:

$$Radiacion = \frac{(ValorLeido * Resolucion * 200 W/m^2)}{0.001 Vcd}$$

Se sustituye y se obtiene:

$$Radiacion = 0.457 * ValorLeido W/m^2$$

En caso de que el sensor presente una lectura en total ausencia de radiación, es decir un Offset, será necesaria aplicar la fórmula siguiente:

$$Radiacion = 0.457 * (ValorLeido - Offset) W/m^2$$

Se utilizó esta última fórmula ya que el sensor presentó una lectura en total ausencia de radiación.

4.1.1.6 Medición de Precipitación

Para la medición de la precipitación se utilizó el sensor de la marca Campbell Scientific Modelo TE525 con las siguientes características:

- Precipitación por impulso: 0.35 mm
- Salida: Cierre momentáneo de interruptor activado por un mecanismo de balancín. El tiempo de cierre es de aproximadamente 135 ms.

Se utilizó la tarjeta de entrada digital EL1014 (Véase cap. 3.1.4.1.1 Módulo de entrada digital EL1014), para la lectura de los impulsos de este sensor.

4.1.1.6.1 Determinación de lámina por impulso de sensor

Para la determinación de la lámina por cada impulso del sensor se realizaron 4 mediciones para obtener el valor de la lámina por impulso del balancín. Para esto se vertieron 200, 400, 600 y 800 ml respectivamente (Cuadro 4.4), y se obtuvieron los siguientes valores:

Cuadro 4.4. Mediciones para determinación de lámina por impulso.

Volumen [cm ³]	Área [cm ²]	Lamina [cm]	No. de impulsos registrados	Lámina por impulso [cm]	Lámina por impulso [mm]
200	182.41	1.0964	31	0.035368	0.353677
400	182.41	2.1929	63	0.034808	0.348079
600	182.41	3.2893	93	0.035369	0.353688
800	182.41	4.3857	125	0.035086	0.350856

Dónde: El radio del sensor es de 7.62 cm, por lo tanto el Área ($A = \pi r^2$) = 182.41 cm²

Entonces se tomó el valor de lámina por impulso (tip) = 0.35 mm

4.1.1.6.2 Conversión de impulsos a Precipitación Acumulada

Para obtener la precipitación acumulada basta multiplicar la constante de precipitación por el número de impulsos acumulados hasta el momento que se toma la medición. Se mide la precipitación acumulada durante 24 horas (1 día) a partir de las 8:00 a.m., volviéndose a reiniciar este valor cada día.

Entonces:

$$\text{PrecipitacionAcumulada} = \text{Número de impulsos} * 0.35 \text{ mm}$$

4.1.2 Configuración de TwinCAT System Control

En esta sección se indica la configuración de la dirección NetID del PLC (Véase cap. 3.2.1.1 TwinCAT System Control) como se muestra en la Figura 4.2:

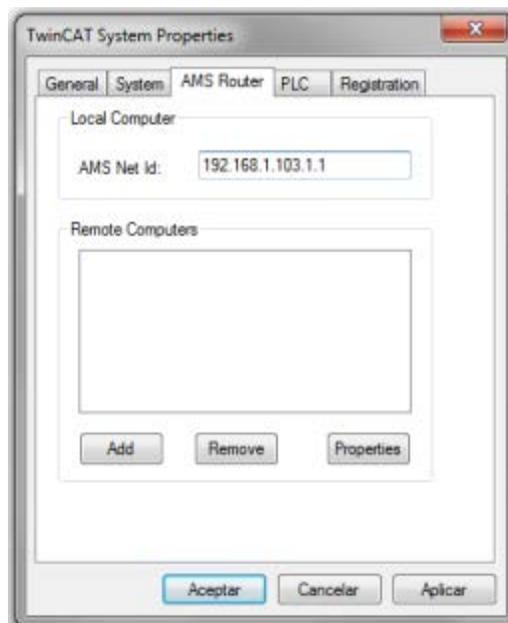


Figura 4.2. NetID.

4.1.3 Configuración de TwinCAT System Manager

Como ya se mencionó previamente (cap. 3.2.1.2), TwinCAT System Manager es una herramienta de configuración que permite parametrizar el hardware, así como asociarlo con el software, es decir, vincularlo con TwinCAT PLC Control, donde se encuentra el programa de PLC.

En lo subsecuente se abreviará TwinCAT System Manager como TSM y TwinCAT PLC Control como TPC.

4.1.3.1 Configuración del Sistema

Al abrir la aplicación TSM aparece la siguiente pantalla.

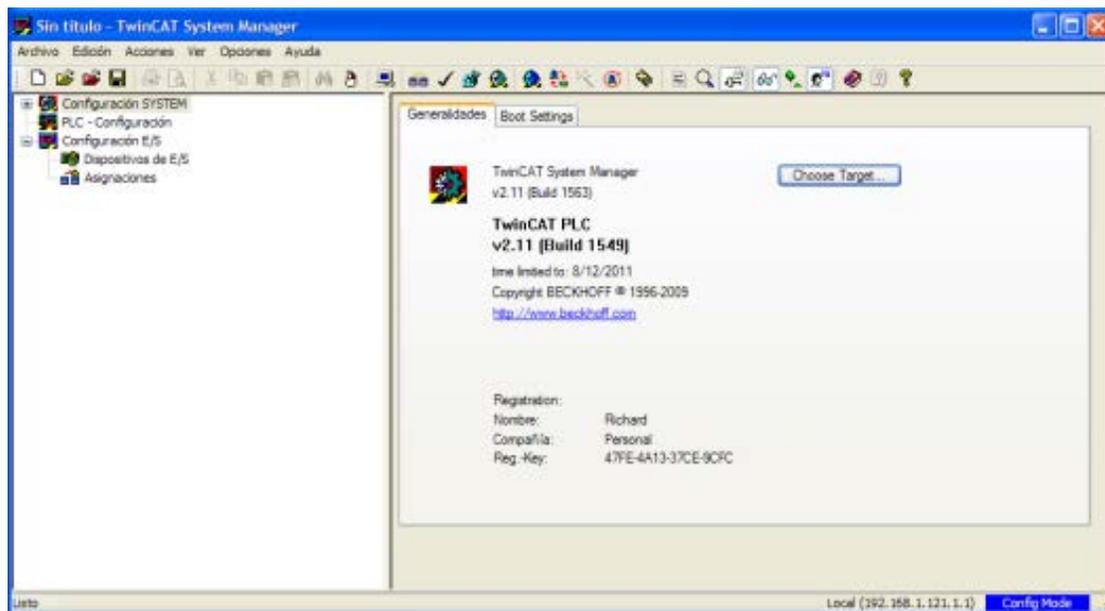


Figura 4.3. TwinCAT System Manager.

4.1.3.1.1 Generalidades

Al seleccionar “Configuración SYSTEM” se muestra la pestaña “Generalidades”, donde aparece información sobre la versión del software y la opción “Choose Target” donde se puede seleccionar el sistema de destino donde se alojará la aplicación, así al presionar el botón “Choose Target” aparece la siguiente pantalla. (Figura 4.4).

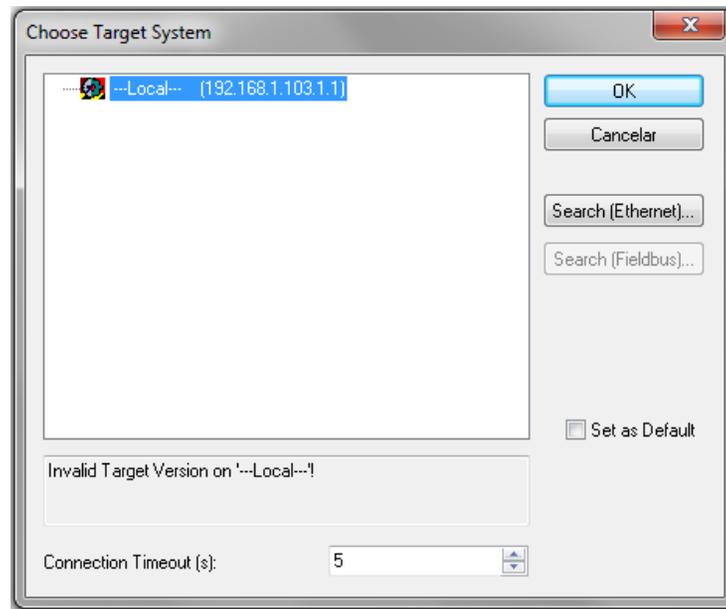


Figura 4.4. Selección de sistema de destino.

Aquí se define el sistema de destino (donde se aloja la aplicación) como Local, ya que es el mismo que el equipo de configuración (PC donde se edita la configuración y programación).

4.1.3.1.1.1 Equipo Local como Sistema de destino

El sistema de destino es el equipo (PC embebida CX o PC) donde residen las aplicaciones de TSM y TPC. Cuando el equipo donde se ejecuta TSM y TPC es el mismo que el de configuración, el equipo local es el sistema de destino.

4.1.3.1.1.2 Equipo Remoto como Sistema de destino

Cuando el equipo donde se ejecuta TSM y TPC se encuentra alejado, se puede acceder a él de manera remota, siempre y cuando se encuentre conectado en red y en el equipo de configuración se encuentre instalado TwinCAT. Por lo que el sistema de destino es remoto, ya que se configura o modifica desde otro equipo.

4.1.3.1.1.3 Selección de Sistema de Destino Remoto

Aunque solo se utilizó el Sistema de destino local, se explica de manera breve como utilizar el Sistema de destino remoto.

Para seleccionar el sistema de destino remoto se debe pulsar la opción “Search (Ethernet)” en la pantalla mostrada al seleccionar previamente “Choose Tarjet” (Figura 4.3 y Figura 4.4) y aparece la siguiente pantalla:

The screenshot shows a dialog box titled "Add Route Dialog" with a close button in the top right corner. At the top, there is a text input field labeled "Enter Host Name / IP:" and two buttons: "Refresh Status" and "Broadcast Search". Below this is a table with the following columns: Host Name, Connected, Address, AMS NetId, TwinCAT, OS Version, and Comentario. The table is currently empty. At the bottom of the dialog, there are several configuration fields: "Route Name (Target):" with an empty text box; "Route Name (Remote):" with a text box containing "RICARDO"; "AmsNetId:" with an empty text box; "Transport Type:" with a dropdown menu set to "TCP/IP"; "Address Info:" with an empty text box; radio buttons for "Host Name" (selected) and "Dirección IP"; "Connection Timeout (s):" with a dropdown menu set to "5"; "Target Route" section with radio buttons for "Proyecto", "Static" (selected), and "Temporary"; "Remote Route" section with radio buttons for "Ninguno", "Static" (selected), and "Temporary"; and finally, "Add Route" and "Cerrar" buttons at the bottom right.

Figura 4.5. Selección del sistema de destino remoto.

En esta ventana se debe pulsar “**Broadcast Search**” y se mostrarán todos los equipos compatibles disponibles en la red. Una vez que se actualicen los equipos disponibles se debe seleccionar el que se desea y presionar **Add Route** y de este modo el equipo quedará dado de alta para que se pueda acceder a él de forma remota.

4.1.3.1.2 Boot Settings

En la pestaña “Boot Settings” (Figura 4.3) se seleccionan las condiciones de arranque, “Run Mode” si se desea que la aplicación se ejecute de forma automática al iniciar el sistema, o "Config Mode" si se desea que se active en Modo de Configuración para su edición o monitoreo.

Así mismo se puede definir un usuario y password, y se puede utilizar este password para acceder de forma remota desde otro equipo y realizar cambios (Véase cap. 4.1.3.1.1.3 Selección de Sistema de Destino Remoto).

La Figura 4.6 muestra la ventana “Boot Settings”

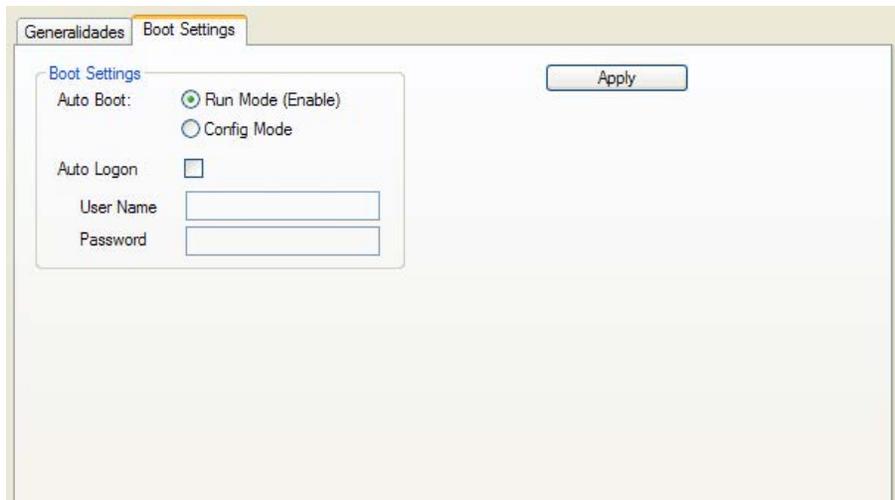


Figura 4.6. Opciones de arranque “Boot settings”.

4.1.3.2 Configuración del PLC

En esta sección se configura la conexión que existirá entre los componentes de hardware y el programa de aplicación de TPC. En la pestaña de generalidades se muestra información de la versión de software.

4.1.3.2.1 Plc Settings

En esta sección se configura el número de tareas a ejecutar (como máximo 4), así como la habilitación del área de datos remanentes. También se puede seleccionar la opción de limpiar datos remanentes inválidos “Clear Invalid Retain Data” y datos persistentes inválidos “Clear Invalid Persistent Data”.

Las variables declaradas como datos remanentes y persistentes vuelven a tomar el último valor que tenían antes de que la aplicación se cerrara por pérdida de energía o por manejo del usuario.

La diferencia entre ambos es que los datos remanentes se pueden inicializar después de realizar una compilación, y los persistentes conservan su valor. La única manera de inicializar los datos persistentes es con un borrado completo del programa.

Si se tiene más de una tarea se puede habilitar la prioridad de las mismas si se selecciona “Enable Task Priority Assignmet”.

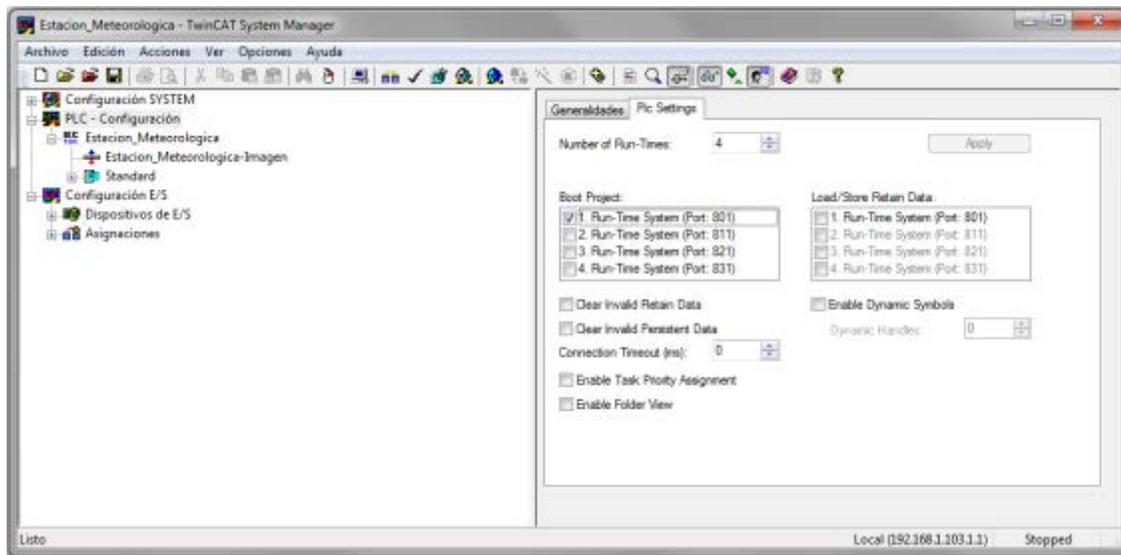


Figura 4.7. Plc Settings.

En esta configuración solo se activó la tarea 1 (Runtime System Port 801) y no se seleccionó el área de datos remanentes, puesto que no se necesita, dado que las lecturas se deben reportar el ultimo estado en tiempo real.

4.1.3.3 Configuración de Dispositivos de Entrada/Salida

Aquí se configuran los módulos adicionales al CX1021 que se requiere para la aplicación. Existen dos modos de agregar los dispositivos, el primero es conectar físicamente los módulos y después hacer un escaneo para que se agreguen de manera automática. La segunda opción es agregarlos manualmente uno por uno,

para lo cual se debe de explorar entre una lista de dispositivos y seleccionarlos en el orden que estén conectados.

4.1.3.3.1 Configuración automática de dispositivos

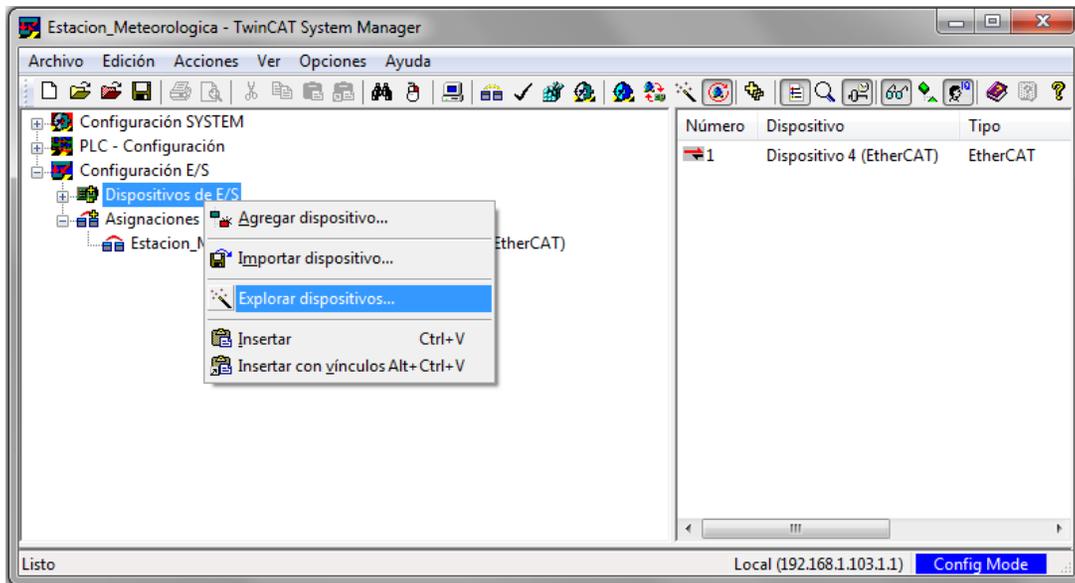


Figura 4.8. Explorar Dispositivos.

Para realizar una agregado automático de los módulos se debe dar clic derecho sobre “Dispositivos de E/S” (Figura 4.8) y seleccionar “Explorar dispositivos”, entonces aparecerá la siguiente pantalla.

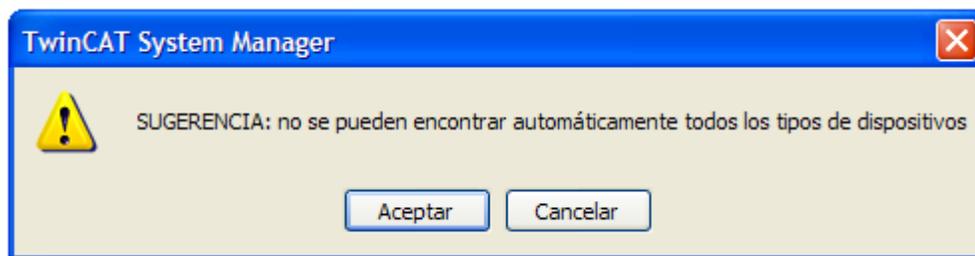


Figura 4.9. Advertencia de escaneo.

En la Figura 4.9 se indica que no se pueden agregar ciertos dispositivos de manera automática, esto debido a que algunos dispositivos especializados

requieren cierta configuración especial. Para el sistema de adquisición se utilizan módulos estándar no especializados, por lo que se hace caso omiso del mensaje y se continúa al presionar Aceptar.

Después aparece una ventana donde se muestran las opciones disponibles como medios de conexión (Figura 4.10). Se debe seleccionar la tarjeta de red del equipo local y Aceptar (OK).

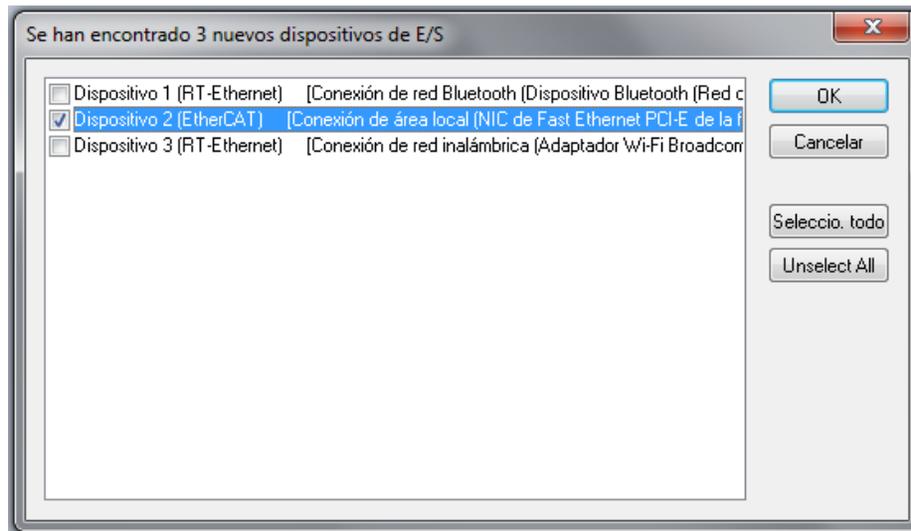


Figura 4.10. Selección de tarjeta de red.

En seguida aparece la ventana que se muestra en la Figura 4.11, donde se pregunta si se desea escanear, donde se confirma con sí y continúa.

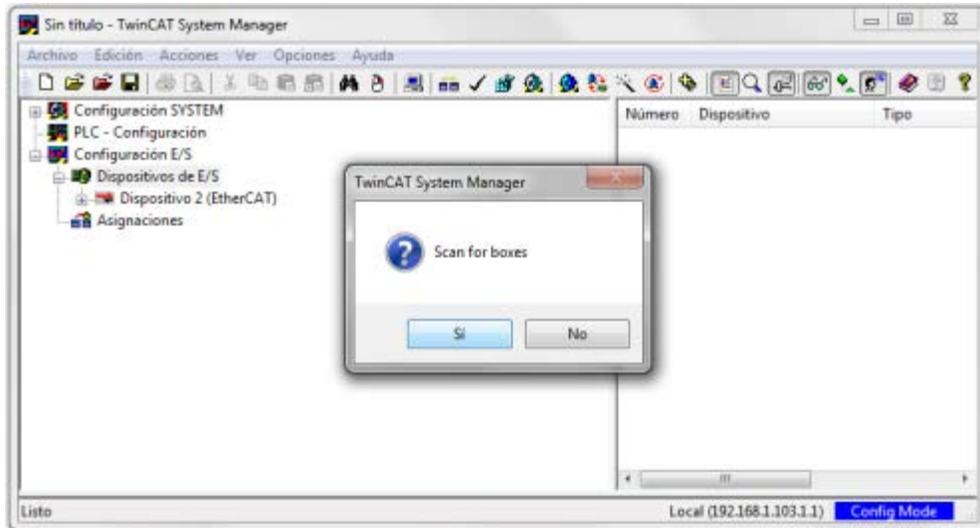


Figura 4.11. Confirmación de escaneo de dispositivos.

Una vez terminado el escaneo, los dispositivos disponibles aparecerán como se muestra dentro del recuadro de la Figura 4.12.

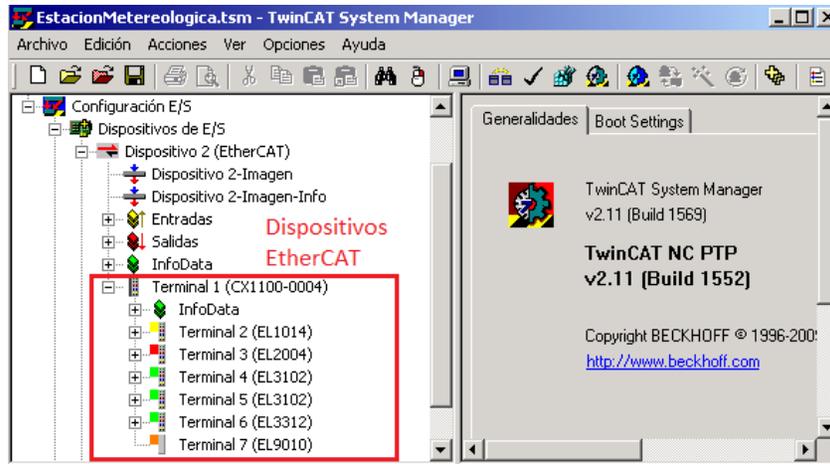


Figura 4.12. Dispositivos disponibles.

Se observan los componentes conectados que se agregaron automáticamente a la lista de dispositivos de entrada/salida. Los componentes que aparecen son del tipo EtherCAT (Véase cap. 3.1.2.3 EtherCAT).

4.1.3.3.2 Configuración manual de dispositivos

Para realizar el agregado manual de los módulos se debe dar click derecho sobre “Dispositivos de E/S” y seleccionar “Agregar dispositivo”.

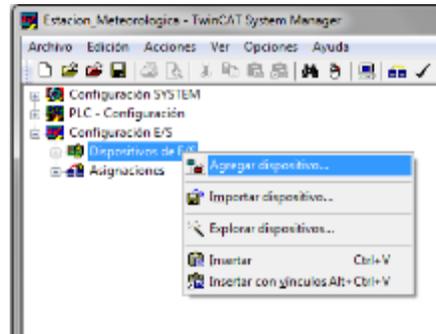


Figura 4.13. Agregar Dispositivos.

Después aparece una ventana con los distintos tipos de protocolos de comunicación disponibles, entonces se selecciona EtherCAT, puesto que los módulos utilizados trabajan con este protocolo de comunicación.

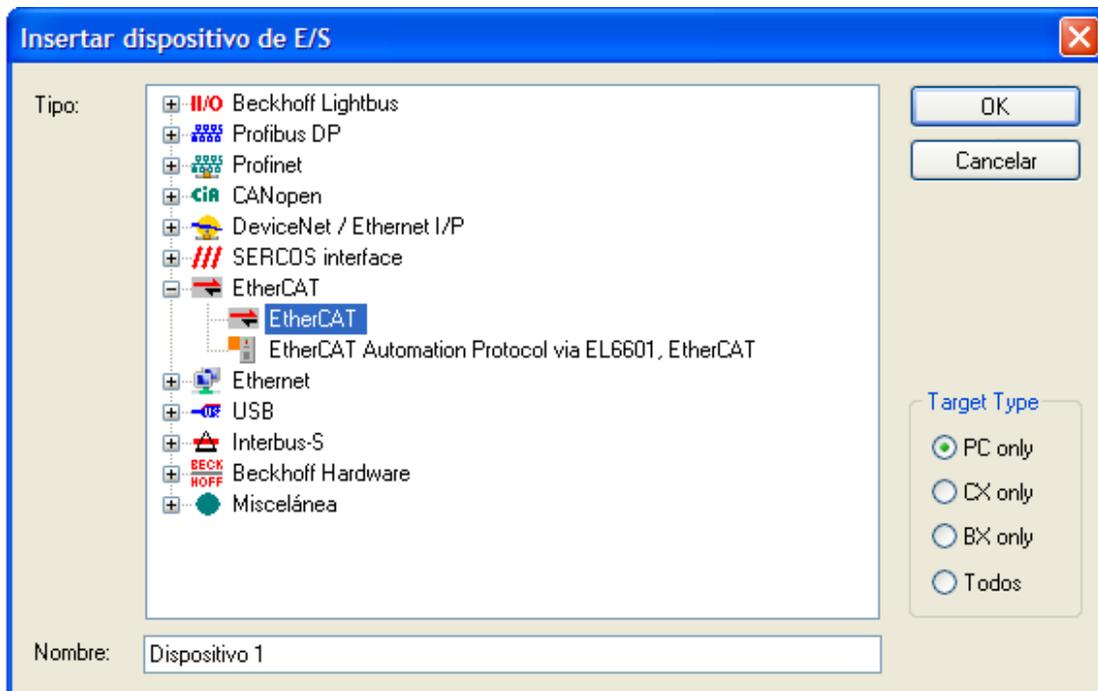


Figura 4.14. Tipos de protocolos de comunicación.

Una vez que se seleccionó el protocolo EtherCAT aparecerá en la lista de dispositivos E/S como se muestra en el recuadro de la Figura 4.15.

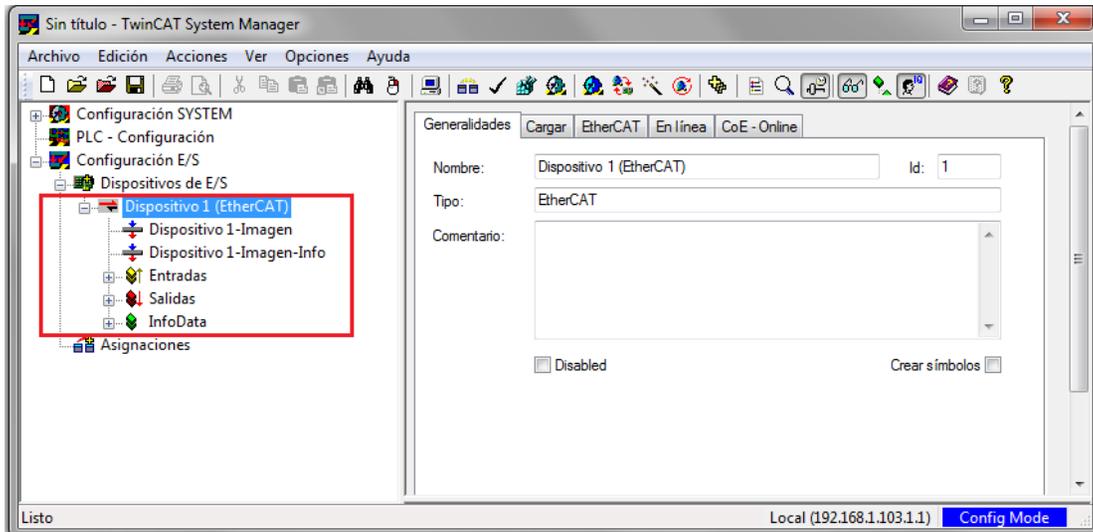


Figura 4.15. Dispositivo EtherCAT.

Hasta aquí solo se configuró el tipo de protocolo de comunicación, lo siguiente es agregar los dispositivos necesarios. Se comenzó con el CX1100-0004, por medio del cual se alimenta con 24 Vcd el CX1020 y que además funciona como adaptador para comunicar los módulos del tipo ELxxxx con el CX1020 por medio de EtherCAT.

Entonces para agregar el módulo CX1100-0004 se debe dar click derecho sobre el Dispositivo EtherCAT previamente configurado y seleccionar "Agregar box" (Figura 4.16).

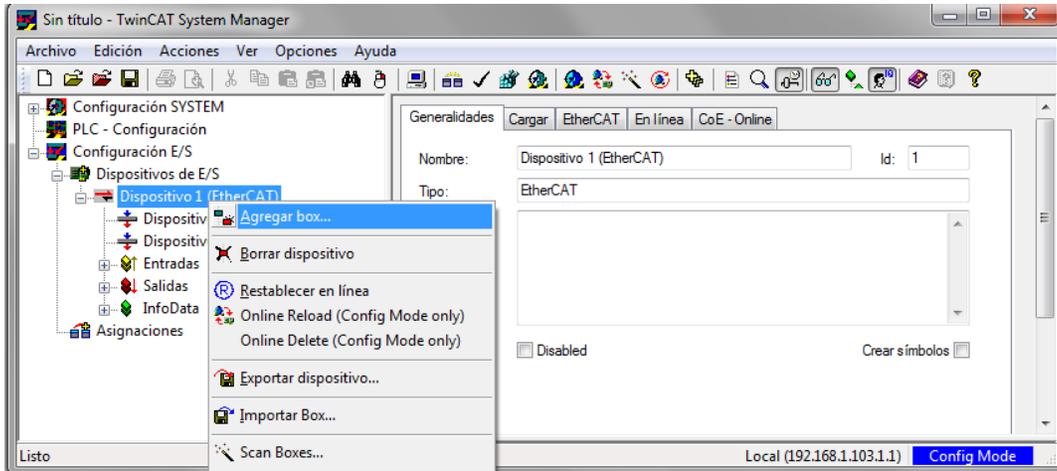


Figura 4.16. Configuración de CX1100-0004.

Posteriormente aparece una ventana donde se muestran los distintos módulos disponibles, entre los cuales se puede navegar para seleccionar el que se necesita, o de lo contrario se puede introducir el nombre del dispositivo y se desplegarán los dispositivos con ese nombre (Figura 4.17).

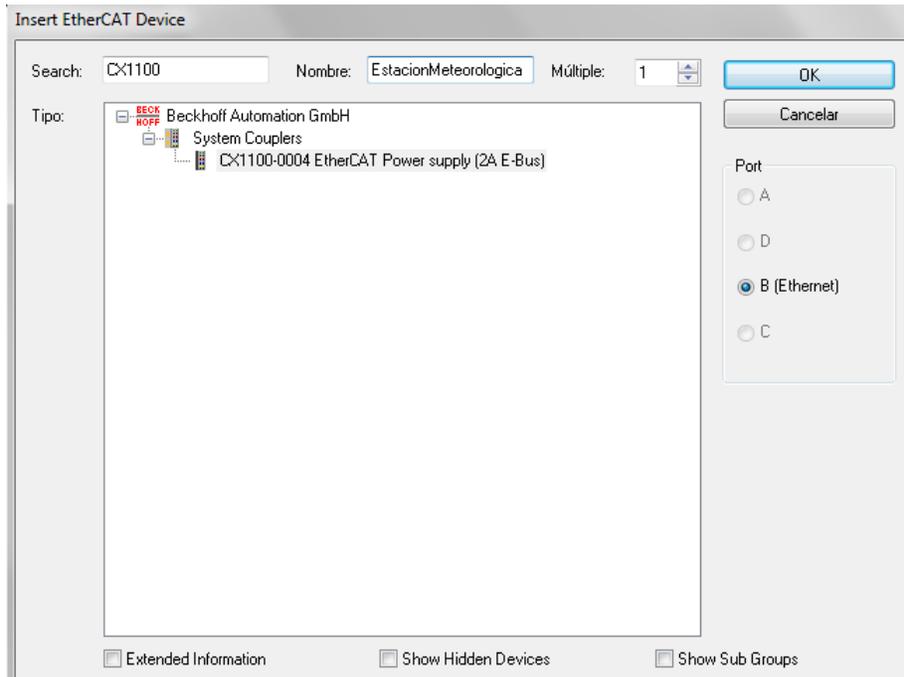


Figura 4.17. Selección de CX1100-0004.

Entonces se teclea “CX1100” en el campo “Search” y aparece el dispositivo, se selecciona y se pone un nombre en el campo “Nombre”, se ingresa el valor 1 en el campo "Múltiple" para la cantidad de dispositivos a agregar y por último se presiona OK, entonces el CX100-0004 se añade en la configuración como se muestra en el recuadro de la Figura 4.18.

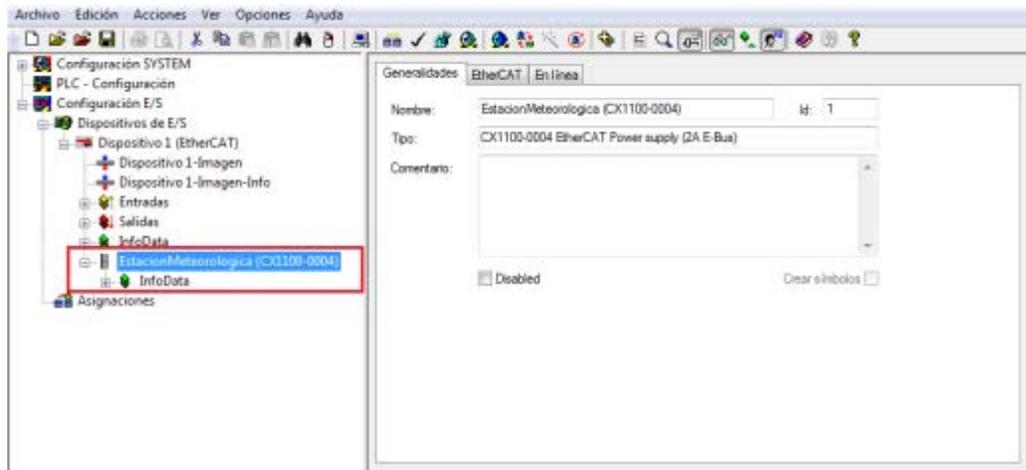


Figura 4.18. CX1100-0004 configurado.

Ya que se agregó el CX1100-0004 se continua con la configuración de los módulos ELxxxx, los cuales se agregan al dar click derecho sobre el módulo CX1100-0004 recién configurado y se selecciona “Agregar box”, entonces aparecerán todos los dispositivos compatibles. De igual manera que en la configuración del CX1100-0004, se puede realizar una búsqueda y seleccionar de manera rápida el dispositivo (Figura 4.19).

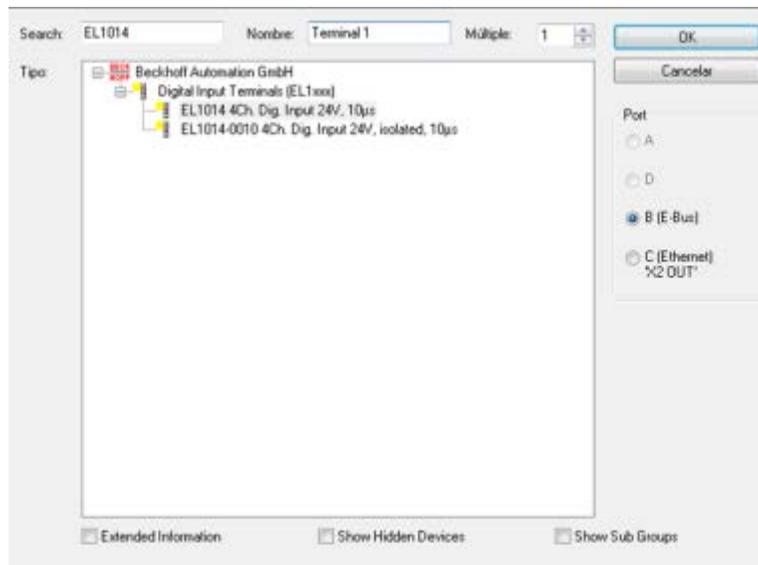


Figura 4.19. Selección de módulo EL1014.

En este ejemplo se configuró el módulo de entradas EL1014, siendo el procedimiento el mismo para cada uno de los módulos ELxxxx.

Una vez configurado el módulo aparece en la lista de dispositivos (Figura 4.20).

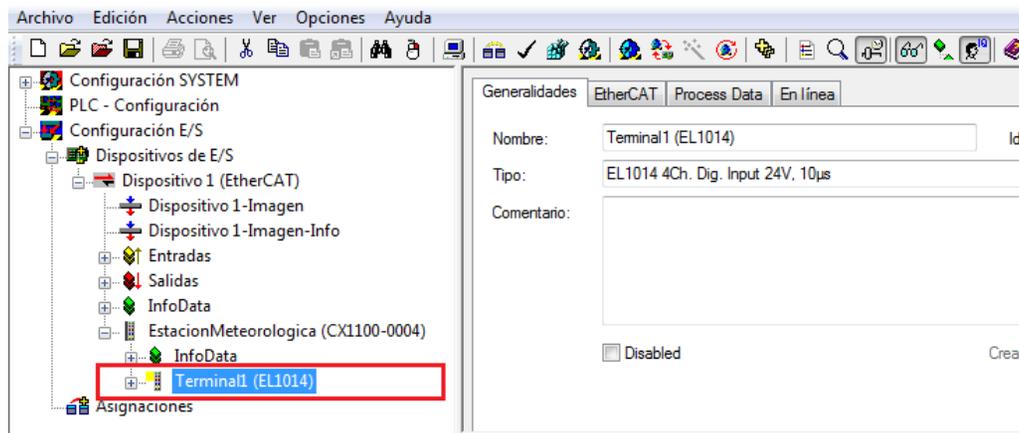


Figura 4.20. Módulo EL1014 configurado.

4.1.3.4 Vincular proyecto de PLC con TSM

En esta sección se asocia el programa desarrollado en TwinCAT PLC Control con TSM, de este modo el hardware de TSM quedará vinculado al programa de PLC y cualquier lectura de los módulos de entrada se verá reflejada en el programa de PLC.

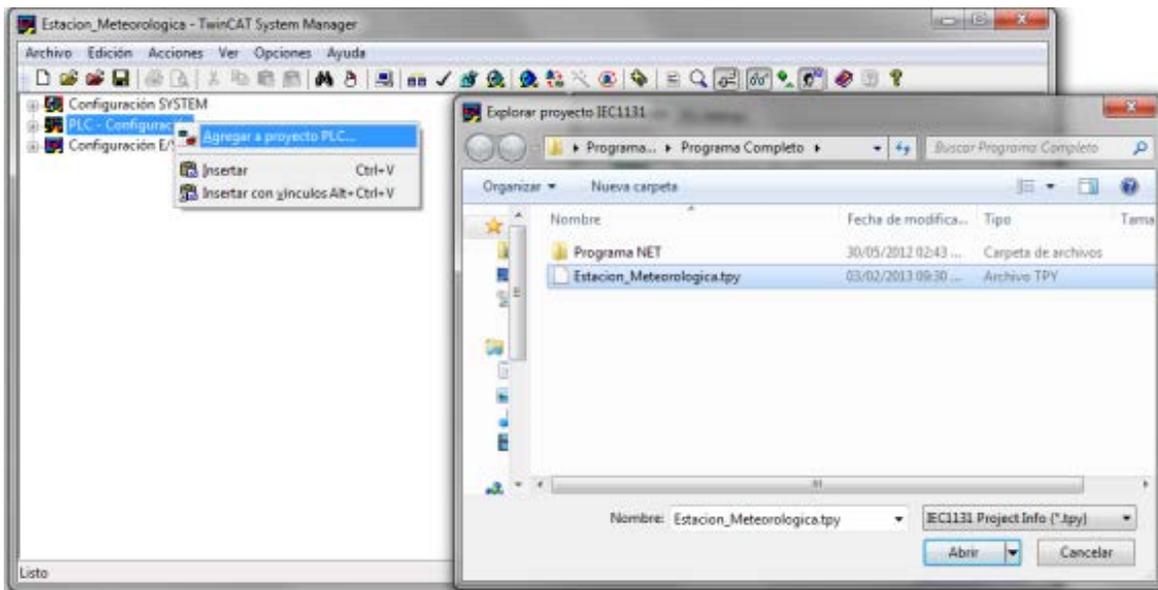


Figura 4.21. Vinculación de programa Plc con TSM.

Para asociar el programa es necesario dar click derecho sobre “PLC Configuración” y seleccionar “Agregar a proyecto PLC” (Figura 4.21) y aparecerá el explorador para buscar el proyecto donde se encuentra el programa de PLC previamente creado en TwinCAT PLC Control (Véase cap. 4.1.5 Creación de programa de PLC en TwinCAT PLC Control)

Entonces se selecciona el proyecto y se confirma con "Abrir", de este modo el programa de PLC quedará asociado y se generarán automáticamente las variables utilizadas en TwinCAT PLC Control.

4.1.3.4.1 Variables asociadas

Una vez que se asocia el programa de PLC, las variables aparecerán dentro de las propiedades de PLC-Configuración en TSM.

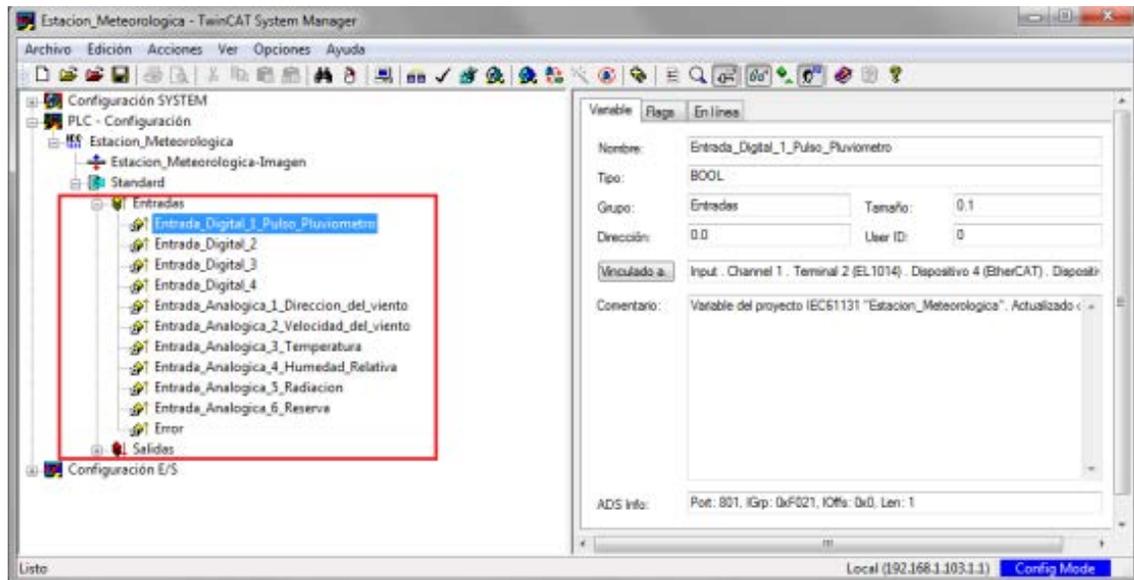


Figura 4.22. Variables asociadas.

Al asociar las variables se generan de forma estándar tres pestañas con las propiedades y configuración de cada una.

4.1.3.4.1.1 Propiedades de Variable

Nombre.- Nombre de la variable en TwinCAT Plc Control

Tipo.- Se muestra el tipo de dato de la variable (bool, int, uint, etc).

Grupo.- Se indica si la variable es entrada o salida.

Dirección.- Muestra la dirección de la variable.

Tamaño.- Muestra el tamaño de la variable.

Para más información acerca de los tipos de datos consultar standard IEC-61131-3 disponible de forma comercial en http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/

4.1.3.4.1.2 Escalamiento de variables

En la pestaña Flags existe la posibilidad de que el valor leído sea escalado a un rango de valores para su visualización. Por ejemplo en caso de que el sensor conectado maneje el rango de 0-10 Vcd, se puede escalar el valor leído a 0-10 y así nos indicará el valor en Vcd que corresponde al valor leído. Este escalamiento solo es para visualizarse, no se vincula a ninguna variable.

En la Figura 4.23 se muestran los rangos de escalamiento que existen. Para el presente proyecto no se utilizaron estas parametrizaciones, dado que al interior del programa se realizó la conversión para obtener las unidades de medición correspondientes.

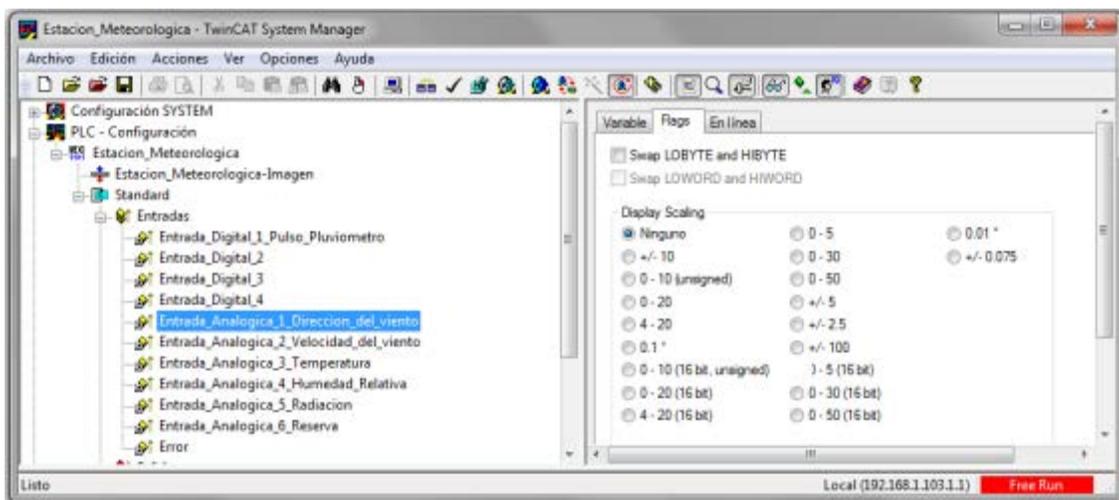


Figura 4.23. Escalamiento de variables.

4.1.3.4.1.3 En línea (valores en tiempo real)

En esta ventana se puede observar el valor leído de la entrada seleccionada, en el caso de una entrada digital el valor está en el rango [0...1], es decir falso o verdadero y en el caso de una entrada analógica de 16 bits de resolución el valor está en el rango [- 32768...+32768].

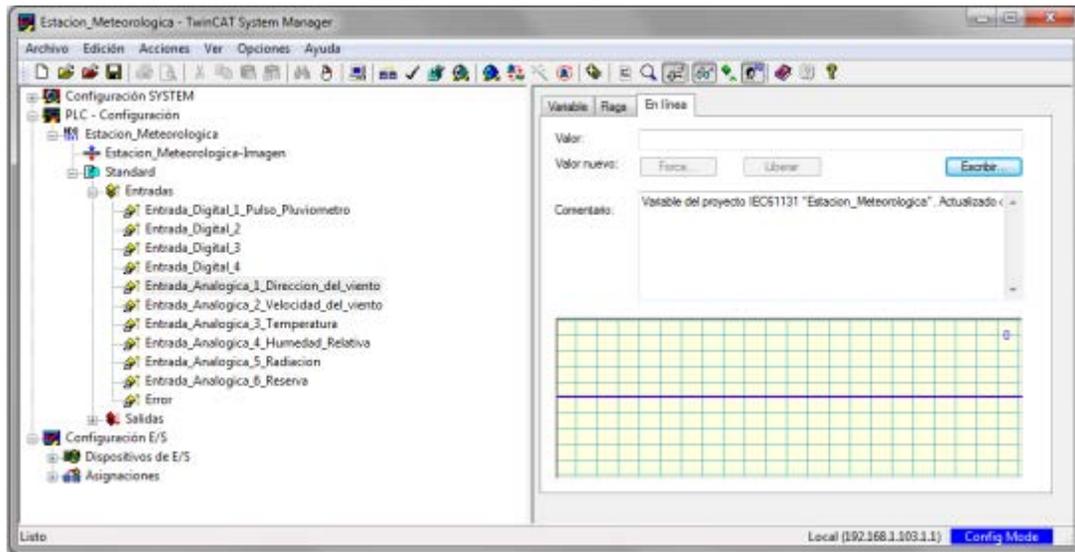


Figura 4.24. Valores en tiempo real.

Dentro de la sección “En línea” existen las opciones:

Force.- Sirve para forzar un valor permanentemente

Liberar.- Se usa para liberar de un forzado

Escribir.- Utilizado para escribir un valor

En las funciones “Force” y “Escribir” aparece una ventana (Figura 4.25) donde se puede escribir el valor que se desee. El valor aparece en distintos formatos (decimal, hexadecimal y flotante) y al escribir en un campo el valor se actualiza en los demás campos con el mismo valor en el formato correspondiente.

Estas funciones no se utilizaron en el presente proyecto, pero se mencionan con fin de dar una panorámica completa del programa y sus funciones.

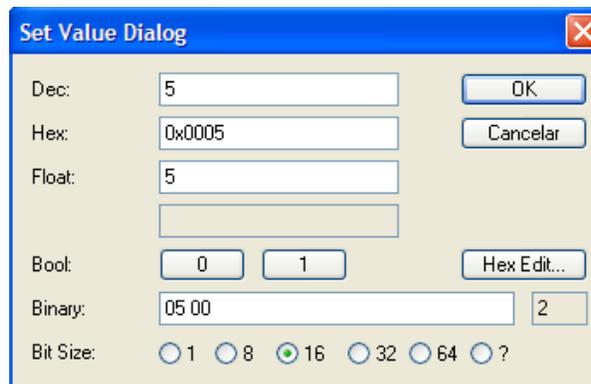


Figura 4.25. Cuadro de dialogo de Forzado.

4.1.3.4.2 Vinculación de variables

En esta sección se indica cómo se asocia la variable con una entrada o salida física conectada en los módulos electrónicos de entrada o salida.

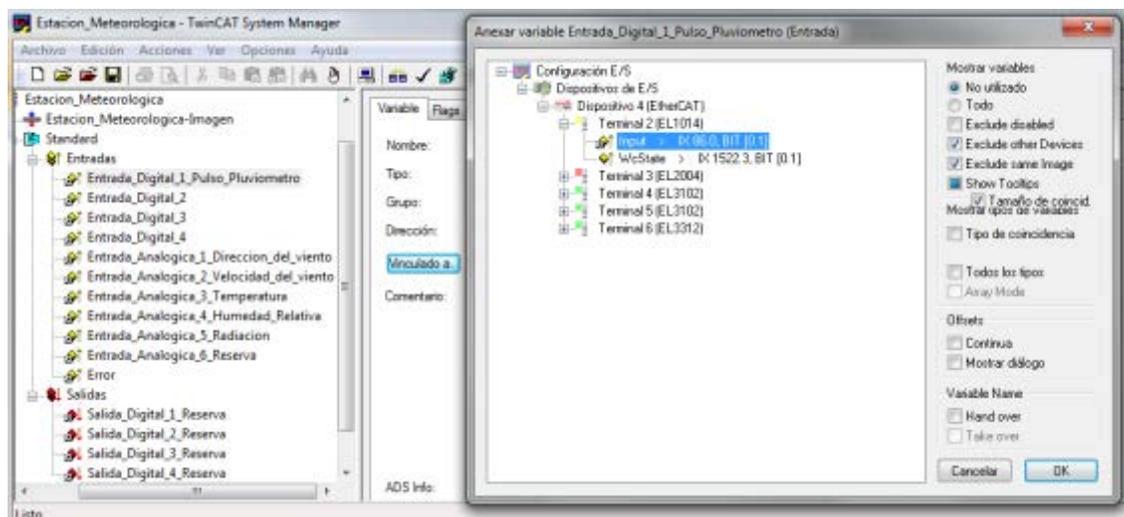


Figura 4.26. Vinculación de variables con hardware.

Al presionar sobre “Vinculado a” se muestra una ventana donde se despliegan los módulos configurados, y se puede seleccionar la entrada o salida que se desea asociar a la variable del PLC.

En la Figura 4.26 se muestra como ejemplo el vínculo o asociación entre la variable de PLC “Entrada_Digital_1_Pulso_Pluviometro” para lectura de precipitación con la entrada de hardware del módulo EL1014. Este procedimiento es igual para cada una de las variables de PLC necesarias.

4.1.4 Conexión de Sensores

La distribución de los sensores se realizó como se muestra en la Figura 4.27:

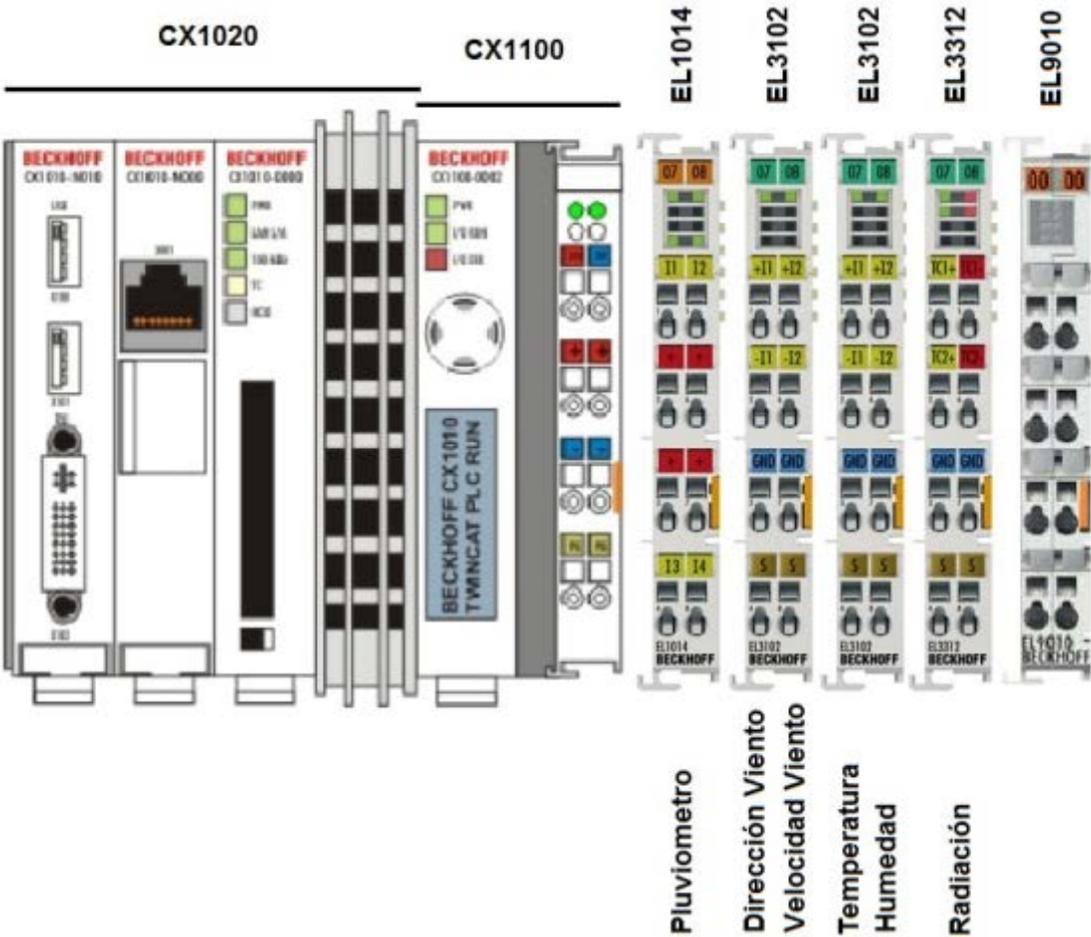


Figura 4.27. Distribución de componentes y sensores.

La Figura 4.27 muestra el orden del PLC (CX1020), fuente de alimentación y módulos de entrada en el orden como fueron conectados.

El pluviómetro se conectó en la primera entrada del módulo EL1014, quedando 3 entradas libres, ya que el módulo cuenta con 4 entradas.

Los sensores de dirección y velocidad del viento fueron conectados al primer módulo EL3102, ya que éste cuenta con 2 entradas.

De igual manera los sensores de temperatura y humedad se conectaron al segundo módulo EL3102.

Por último, el sensor de radiación se conectó en la primera entrada del módulo EL3312, quedando libre la segunda, ya que éste módulo cuenta con 2 entradas.

4.1.4.1 Conexión de pluviómetro

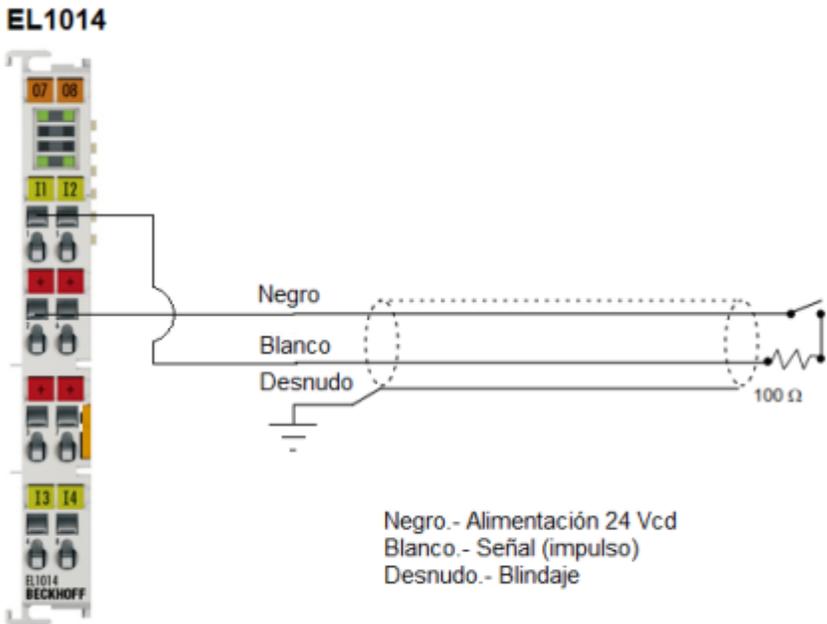


Figura 4.28. Esquema de conexión de pluviómetro en módulo EL1014.

El pluviómetro se conectó como se muestra en la Figura 4.28, se alimentó un extremo con 24 Vcd provenientes del módulo EL1014, y el otro extremo se conectó a la entrada digital, de tal forma que al generarse una conmutación del sensor, la entrada digital recibe 24 Vcd (estado lógico 1).

La resistencia de 100 Ohms con que cuenta el sensor es para limitar la corriente y evitar arcos cuando el interruptor cierra, y de este modo alargar la vida del sensor (Véase especificaciones en Anexo)

4.1.4.2 Conexión de sensores de dirección y velocidad del viento

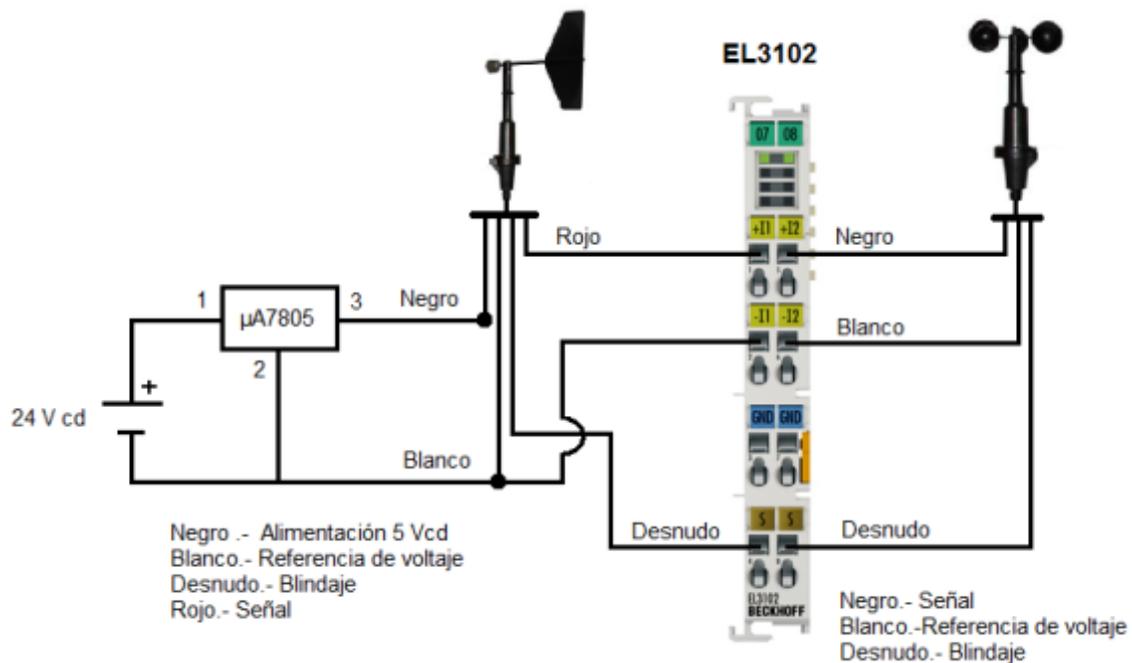


Figura 4.29. Esquema de conexión de sensores de dirección y velocidad de viento en módulo EL3102.

El sensor de dirección del viento se conectó en la primera entrada analógica (Figura 4.29), utilizando un voltaje de alimentación de 5 Vcd provenientes del regulador de voltaje $\mu A7805$ (Véase cap. 3.1.6 Regulador de voltaje $\mu A7805$). La

entrada analógica recibe un voltaje proporcional a la dirección del viento a través de los bornes +I1 y -I1, en la cual se conectaron los cables rojo y blanco respectivamente, siendo el cable rojo el de señal y el blanco la referencia.

El sensor de velocidad fue conectado en la segunda entrada analógica, conectándolo directamente sin necesidad de aplicarle voltaje para alimentarlo, ya que la señal es generada por medio de movimiento de las copas. La entrada analógica recibe la señal generada a través de los bornes +I2 y -I2 con la conexión de los cables negro y blanco respectivamente, donde el cable negro es la señal y el blanco la referencia.

En ambos sensores se conectó el cable desnudo a los bornes S (Shield) para la eliminación de señales perturbadoras (ruido).

4.1.4.3 Conexión de sensores de temperatura y humedad

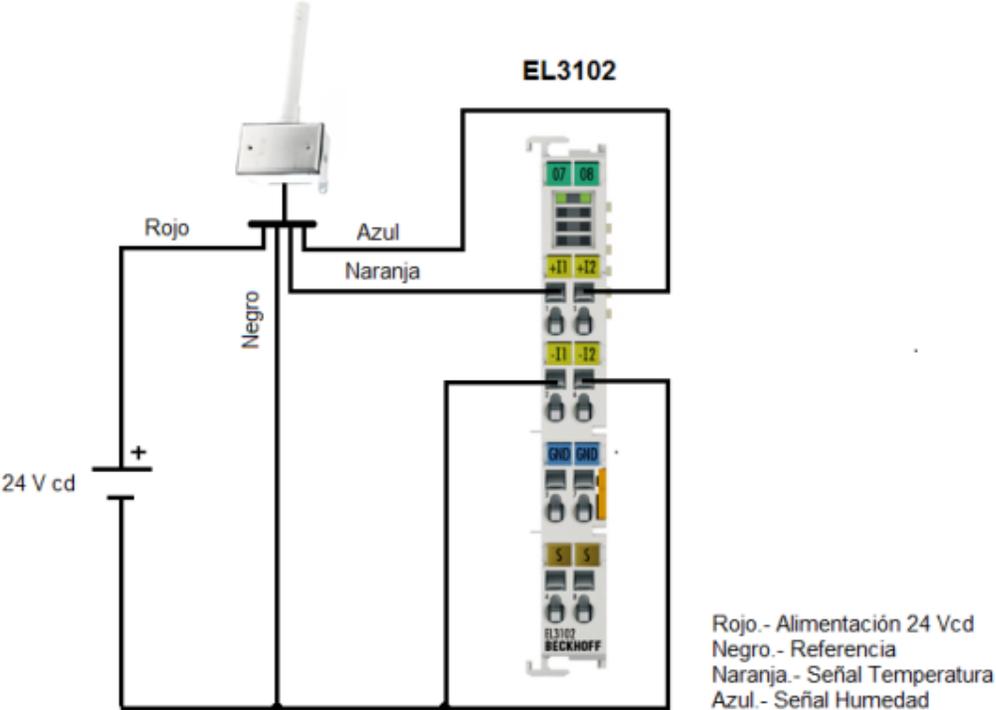


Figura 4.30. Esquema de conexión de sensores de temperatura y humedad en módulo EL3102.

El sensor de temperatura y humedad relativa se conectó en el segundo módulo EL3102, conectándose la señal de temperatura en la primera entrada analógica y la señal de humedad en la segunda (Figura 4.30). Se alimentó con 24 Vcd a través de los cables rojo y negro.

La primera entrada analógica recibe la señal de temperatura a través de los bornes +I1 y -I1 por medio de la conexión de los cables naranja y negro respectivamente, siendo el cable naranja la señal y el negro la referencia. De igual manera, la segunda entrada analógica recibe la señal de humedad relativa a través de los bornes +I2 y -I2 con la conexión de los cables azul y negro respectivamente, donde el cable azul es la señal y el negro la referencia.

4.1.4.4 Conexión de sensor de radiación

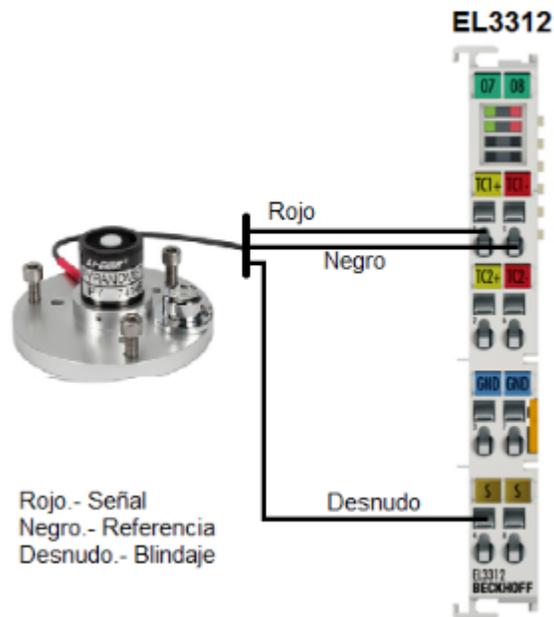


Figura 4.31. Esquema de conexión de sensor de radiación en módulo EL3312.

El sensor de radiación se conectó a la primera entrada del módulo EL3312, conectándolo directamente sin necesidad de alimentación, ya que genera la señal por medio de la termopila con que cuenta (Figura 4.31).

La entrada analógica recibe la señal generada a través de los bornes TC+ y TC– con la conexión de los cables rojo y negro respectivamente, donde el cable rojo es la señal y el negro la referencia.

Se conectó el cable desnudo al borne S (Shield) para la eliminación de señales perturbadoras (ruido).

4.1.5 Creación de programa de PLC en TwinCAT PLC Control

Una vez obtenidas las fórmulas para la adecuación de las señales, se prosiguió con la programación de la aplicación de PLC, en la cual se adaptaron las fórmulas de adecuaciones de señales previamente determinadas y se convirtieron en las magnitudes de las variables meteorológicas. Para lo cual se empleó TwinCAT PLC Control (Figura 4.32).

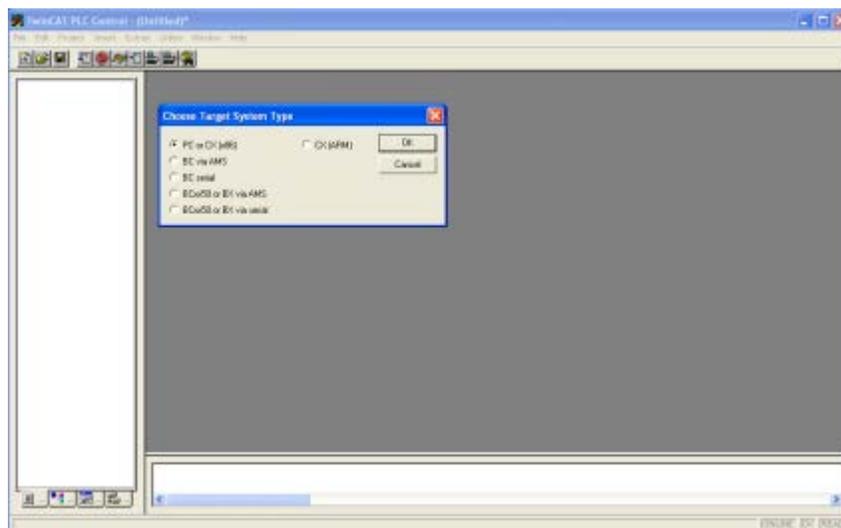


Figura 4.32. Selección de tipo de Sistema de Destino en TwinCAT PLC Control.

Lo primero que se realizó fue generar un nuevo proyecto al presionar sobre la opción "File" y posteriormente "New", a continuación apareció un cuadro de diálogo para seleccionar el sistema de destino y se eligió "PC or CX" (Figura 4.32) ya que el sistema de adquisición utilizó un PLC Embebido CX1020.

Posteriormente se guardó mediante el menú "File-->save as" con el nombre "Estación", generándose el archivo **Estacion.pro**

Una vez seleccionado el tipo de sistema de destino, de manera automática se abrió un cuadro de diálogo en el cual se creó la primera *unidad de organización de programa* POU (Program Organization Unit), así mismo se seleccionó que esta POU se creara en el lenguaje de programación ST (Figura 4.33).

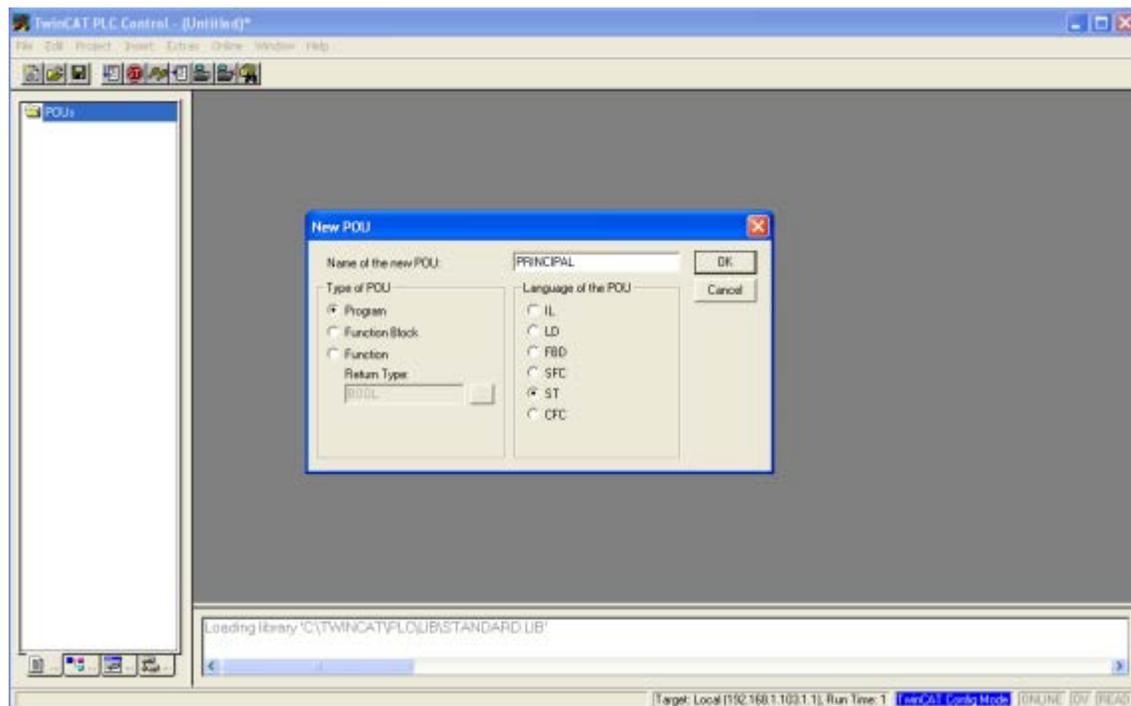


Figura 4.33. Creación de POU principal.

Se continuó con la creación de las demás unidades de organización de programa necesarias. El procedimiento para la creación de una nueva POU consistió en dar

clic sobre POU y seleccionar "Add Object", con lo cual se abrió un cuadro de dialogo donde se ingresó el nombre y se seleccionó el lenguaje ST (Figura 4.34).

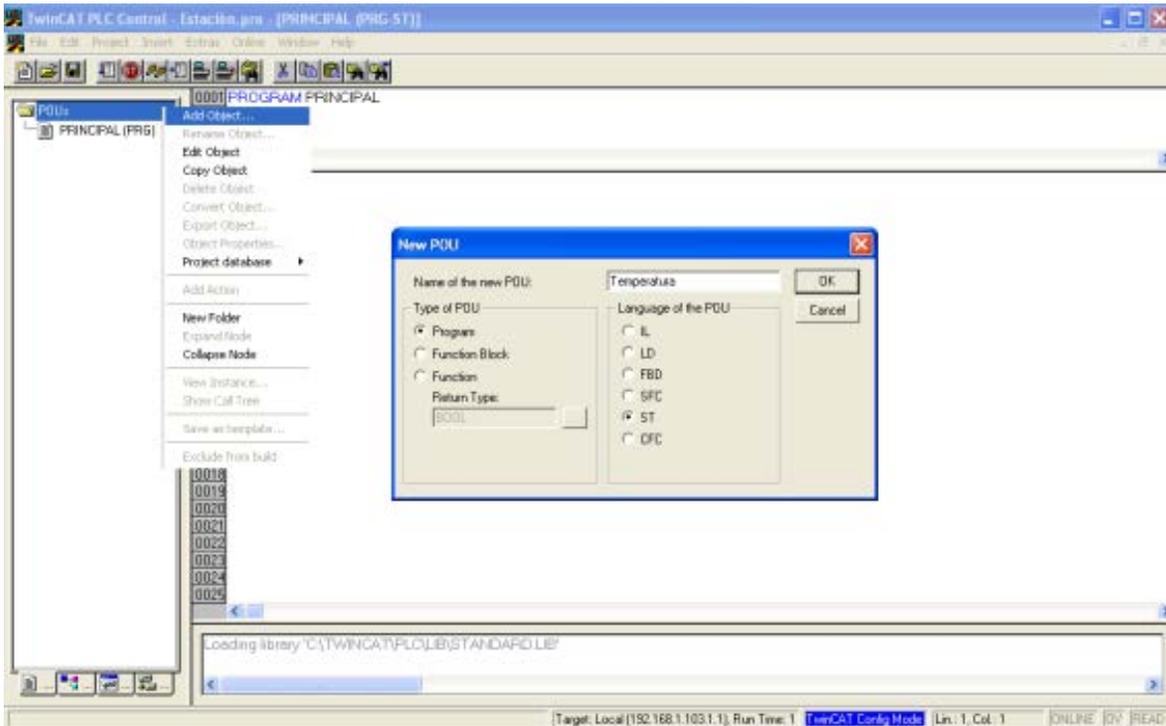


Figura 4.34. Creación de POU y selección de tipo de lenguaje.

Se crearon 11 POU's como se resumen en el Cuadro 4.5 y se muestran en la Figura 4.35.

Cuadro 4.5. Resumen de Funciones POU utilizadas y descripción.

Número	Nombre POU	Función
1	PRINCIPAL	Función de organización para llamada de todas las funciones
2	Fecha_Hora	Lectura de fecha y hora
3	Fallas	Detección de irregularidades en sensores (corto-circuito, desconectado)
4	HMI	Transferencia de valores leídos a Variables Globales para fácil manejo en comunicación hacia HMI
5	Temperatura_Ambiente	Lectura de temperatura
6	Humedad_Relativa	Lectura de humedad
7	Velocidad_de_Viento	Lectura de velocidad del viento
8	Dirección_de_Viento	Lectura de dirección del viento
9	Radiación_Solar	Lectura de radiación solar
10	PrecipitaciónTasa	Lectura de tasa de precipitación
11	PrecipitacionAcumulada	Lectura de precipitación acumulada

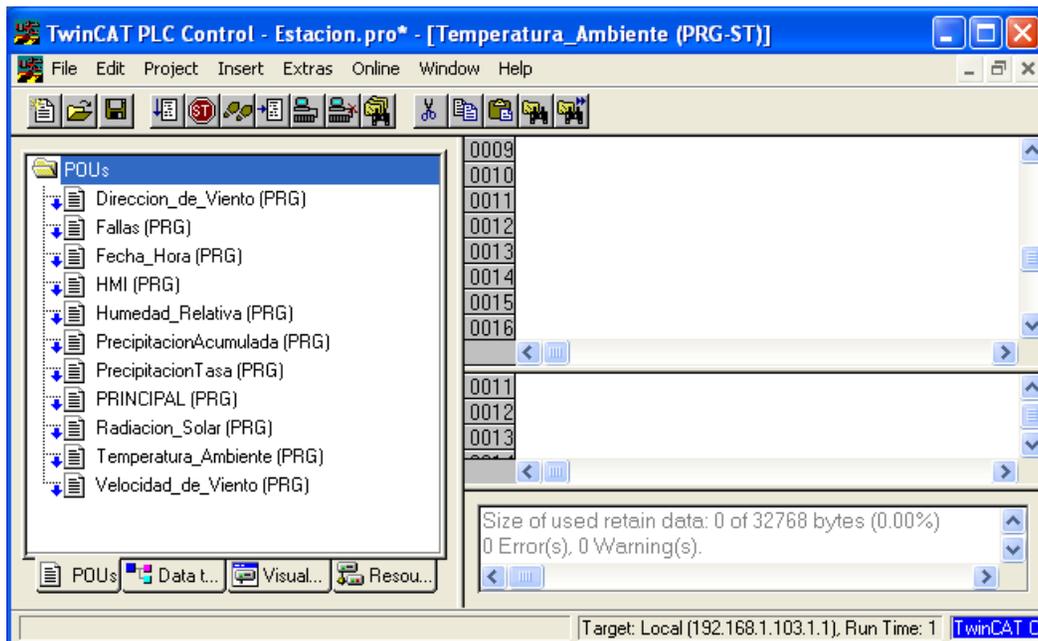


Figura 4.35. Lista de POU en TwinCAT PLC Control.

4.1.5.1 Descripción de Funciones

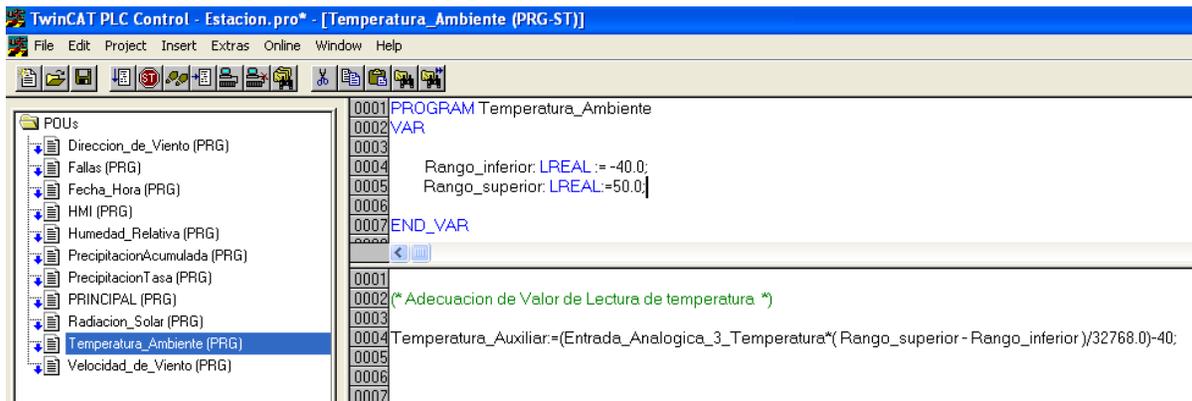
Se realizó la captura del código de acuerdo a la fórmula de adecuación previamente calculada para cada variable meteorológica, por lo que se describen pequeños segmentos del código generado..

4.1.5.1.1 Función Temperatura_Ambiente

Del capítulo 4.1.1.1.4 se obtuvo:

$$Temperatura = \frac{Valorleido * RangoTemperatura}{2^{15}} - Límiteinferiordetemperatura$$

Esta fórmula se aplicó para el código de lectura de temperatura como se muestra en la Figura 4.36.



```
0001 PROGRAM Temperatura_Ambiente
0002 VAR
0003
0004     Rango_inferior: LREAL := -40.0;
0005     Rango_superior: LREAL:=50.0;
0006
0007 END_VAR

0001
0002 (*Adecuacion de Valor de Lectura de temperatura *)
0003
0004 Temperatura_Auxiliar:=(Entrada_Analogica_3_Temperatura*(Rango_superior-Rango_inferior)/32768.0)-40;
0005
0006
0007
```

Figura 4.36. . Código de PLC para lectura de temperatura.

En este caso se declararon dos variables locales *Rango_inferior* y *Rango_superior* para definir los límites de temperatura inferior (-40°C) y superior (50°C) respectivamente. Así mismo se declaró la variable global *Temperatura_Auxiliar*, la cual es posteriormente transferida a la variable global **Temperatura** para su envío a la aplicación HMI.

4.1.5.1.2 Función Humedad_Relativa

Del capítulo 4.1.1.2.2 se obtuvo la fórmula:

$$\%Humedad = \frac{Valorleido * RangoHumedadRelativa}{2^{15}}$$

Esta fórmula fue adaptada para la lectura de humedad relativa y quedó programada como se muestra en la Figura 4.37.

```
0001 PROGRAM Humedad_Relativa
0002 VAR
0003
0004     Rango_inferior: LREAL := 0.0;
0005     Rango_superior: LREAL:=100.0;
0006
0007 END_VAR
0008
0009
0010
0011
0012 Humedad_Auxiliar:=(Entrada_Analogica_4_Humedad_Relativa*(Rango_superior-Rango_inferior)/32768.0);
0013
0014
0015
0016
```

Figura 4.37. Código de PLC para lectura de humedad.

Así se crearon las dos variables auxiliares para determinar el valor de los límites de humedad que comprende el sensor que se utilizó. La variable *Humedad_Auxiliar* se transfiere a la variable global **humedad** para su envío a la aplicación HMI.

4.1.5.1.3 Función Velocidad_de_Viento

Para la lectura de la velocidad del viento se realizó una función de escaneo para determinar la amplitud de la señal y en base a este valor se determinó el voltaje pico a pico en primera instancia, para que posteriormente se calcule la velocidad.

En la Figura 4.38 se muestra el código para realizar el escaneo mencionado, en donde se genera una lectura cada dos segundos, en el primer segundo se hace un

escaneo de los valores y en el segundo restante solo se procesan los valores leídos anteriormente.

Durante el tiempo de escaneo se sobrescriben los valores si se encuentra un valor mayor al guardado en el ciclo anterior, de este modo se obtienen tanto el valor máximo positivo y valor máximo negativo.

```

0001 PROGRAM Velocidad_de_Viento
0002 VAR
0003     T1_Temporizador_Oscilador: TON;
0004     T2_Temporizador_Oscilador: TON;
0005     Lectura_positiva_actual: LREAL;
0006     Lectura_positiva_maxima: LREAL;
0007     Lectura_negativa_actual: LREAL;
0008     lectura_negativa_maxima: LREAL;
0009     Resolucion: LREAL;
0010     Voltajepp: LREAL;
0011     Lectura_pico_a_pico: LREAL;
0012     Frecuencia: LREAL;
0013 END_VAR
0014
0015
0001
0002
0003 T1_Temporizador_Oscilador(IN:=NOT T2_Temporizador_Oscilador.Q, PT:=T#1S);
0004 T2_Temporizador_Oscilador(IN:= T1_Temporizador_Oscilador.Q, PT:=T#1S);
0005
0006 IF T1_Temporizador_Oscilador.Q THEN
0007
0008     IF Entrada_Analogica_2_Velocidad_del_viento>0 THEN
0009
0010         Lectura_positiva_actual:=Entrada_Analogica_2_Velocidad_del_viento;
0011
0012         IF Lectura_positiva_actual> Lectura_positiva_maxima THEN
0013             Lectura_positiva_maxima:= Lectura_positiva_actual;
0014         END_IF
0015
0016     END_IF
0017
0018
0019
0020     IF Entrada_Analogica_2_Velocidad_del_viento<0 THEN
0021
0022         Lectura_negativa_actual:=Entrada_Analogica_2_Velocidad_del_viento;
0023
0024         IF Lectura_negativa_actual< Lectura_negativa_maxima THEN
0025             Lectura_negativa_maxima:= Lectura_negativa_actual;
0026         END_IF
0027
0028     END_IF
0029

```

Figura 4.38. Código de PLC para escaneo de valores máximos de onda senoidal de velocidad.

Posteriormente ya obtenidos los valores máximos se prosiguió al cálculo de la velocidad a partir de las fórmulas previamente calculadas (cap. 4.1.1.3.2)

Primero se calculó el voltaje pico a pico Vpp según la fórmula (cap. 4.1.1.3.1)

$$V_{pp} = (Lectura\ máx\ positiva - Lectura\ máx\ negativa) * resolución$$

Posteriormente se obtuvo la frecuencia a partir del Vpp

$$Frecuencia = \frac{Voltaje\ pico\ a\ pico}{0.1V} * 1Hz$$

Y por último se calculó la velocidad a partir de la frecuencia

$$Velocidad = \frac{Frecuencia}{1Hz} * 0.75m/s$$

En la Figura 4.39 se muestra la adaptación de las fórmulas al lenguaje ST.

```

0041
0042 (*Adecuacion velocidad*)
0043
0044 IF (NOT T1_Temporizador_Oscilador.Q) THEN
0045
0046     Lectura_pico_a_pico:= Lectura_positiva_maxima + ABS(Lectura_negativa_maxima);
0047
0048     Resolucion:= 10.0/32768.0;
0049     Voltajepp:=Lectura_pico_a_pico*Resolucion; (*Representado en Volts*)
0050     Frecuencia:= Voltajepp/0.1; (*0.1 representa 100mV= 0.1Volts*)
0051     Velocidad_Auxiliar:= 0.75*Frecuencia;
0052
0053 END_IF
0054
nnff

```

Figura 4.39. Código de PLC para lectura de velocidad.

La variable *Velocidad_Auxiliar* es transferida la variable global **velocidad** para su transferencia a la aplicación HMI.

4.1.5.1.4 Función Direccion_de_Viento

Del Cap. 4.1.1.4.1 se obtuvo:

$$Direccion = \frac{(Voltaje_{cd} * 355^\circ)}{5 V_{cd}} = \frac{ValorLeido * Resolucion * 355^\circ}{5 V_{cd}}$$

La fórmula fue adaptada como se muestra en la Figura 4.40 La variable *Direccion_Auxiliar* es transferida posteriormente a la variable global ***direccion*** para su transferencia a la aplicación HMI.

```
0001 PROGRAM Direccion_de_Viento
0002 VAR
0003
0004     Resolucion: LREAL;
0005     Direccion_Auxiliar_2: LREAL;
0006
0007 END_VAR
0008
0009
0001
0002 (*355 son los grados que puede medir el sensor y 5 es el voltaje de excitacion*)
0003
0004 Resolucion:= 10.0/32768.0;
0005 Direccion_Auxiliar:=Entrada_Analogica_1_Direccion_del_viento*Resolucion*355/5;
0006
```

Figura 4.40. Código de PLC para lectura de dirección del viento.

4.1.5.1.5 Función Radiacion_Solar

Del Cap. 4.1.1.5.3 se tiene que:

$$Radiacion = \frac{(ValorLeido - Offset) * Resolucion * 200 W/m^2}{0.001 V_{cd}}$$

La fórmula se adaptó al lenguaje ST del PLC como se muestra en la Figura 4.41.

```

0001 PROGRAM Radiacion_Solar
0002 VAR
0003
0004   Resolución: LREAL;
0005   Offset_radiacion: INT:=443; (*Valor leído en total ausencia de radiacion*)
0006
0007 END_VAR
0008

```

```

0001
0002
0003 Resolución:=0.075/32768.0;
0004 Radiacion_Auxiliar:= (Entrada_Analogica_5_Radiacion-Offset_radiacion)*Resolución*200/0.001;
0005
0006

```

Figura 4.41. Código de PLC para lectura de dirección de radiación solar.

Se ajustó el valor de Offset mostrado debido a que el sensor utilizado generaba ese valor aun cuando no se recibía radiación.

4.1.5.1.6 Función Precipitación Acumulada

La fórmula que se utilizó para obtener la precipitación acumulada (cap. 4.1.1.6.2) fue:

$$PrecipitacionAcumulada = \text{Número de impulsos} * 0.35 \text{ mm}$$

Y el código generado es el que se muestra en la Figura 4.42.

```

0001 PROGRAM PrecipitacionAcumulada
0002 VAR
0003
0004   Precipitacion_Auxiliar_1: INT;
0005   Precipitacion_Auxiliar_2: LREAL;
0006   Pulso_Iluvia_R_TRIG;
0007   impulso_Iluvia: BOOL;
0008
0009 END_VAR
0010
0001
0002 ("Precipitacion Acumulada")
0003 Pulso_Iluvia(CLK:=Entreda_Digital_1_Pulso_Pluviometro);
0004
0005 impulso_Iluvia:=Pulso_Iluvia.Q;
0006
0007 IF impulso_Iluvia THEN
0008
0009   Precipitacion_Acumulada_Auxiliar:=Precipitacion_Acumulada_Auxiliar + 0.35;
0010
0011 END_IF

```

Figura 4.42. Código de PLC para precipitación acumulada.

En esta función se ejecuta una suma acumulada para el intervalo de un día. Cada impulso del sensor suma el valor de lámina de lluvia que representa dicho impulso (0.35 mm).

4.1.5.1.7 Función PrecipitacionTasa

En esta función se realizan los cálculos de intensidad de precipitación de lluvia para intervalos de tiempo de 15, 30 y 60 min, partiendo como principio el conteo de impulsos por intervalo de tiempo. Así también se almacenan los valores máximos diarios.

4.1.5.1.8 Funciones Fecha y Hora, Fallas y HMI

Aparte de las funciones de lectura de las variables meteorológicas se implementaron otras funciones que se describen brevemente a continuación:

Fecha_Hora .- Esta función se encarga de consultar la hora actual del sistema. Esta función se utilizó para poder tener los registros de tiempo para las lecturas de precipitación, así como para reiniciar los valores cada 24 horas.

Fallas.- Esta función se implementó para poder indicar en el programa de visualización HMI si algún sensor se encuentra desconectado y así pueda ser revisado para su reemplazo o reparación. El principio de programación para determinar la falla consiste en verificar cada cierto tiempo si los valores de lectura se encuentran por abajo de cero, esto es válido para los sensores de velocidad, temperatura y dirección, los cuales generan como salida un voltaje positivo y por lo tanto la lectura será mayor a cero cuando el sensor este sin falla.

Para el sensor de radiación solar no fue necesario realizar esta programación debido a que la tarjeta con la que es leído posee la funcionalidad incluida, por lo que solo se vinculó una variable global para indicar la falla.

En el caso del sensor de velocidad no se aplicó este procedimiento de detección de falla, debido a que la señal que entrega tiene valores de voltaje positivos y negativos. Así mismo en el sensor de precipitación tampoco se evaluó esta falla dado que es una señal digital

HMI.- En esta función se implementó la transferencia de los valores de las variables meteorológicas leídas hacia nuevas variables para ser enviadas mediante *Ethernet* a una aplicación de visualización HMI que a la vez tiene incluida la función de registro de los datos en una base de datos generada en MySQL.

4.1.6 Aplicación Visual Basic 2010 con función HMI y Base de datos

Por último se desarrolló una aplicación en Visual Basic 2010 dentro de la cual se incluye el establecimiento de la comunicación a través del componente de comunicación ADS de TwinCAT.

4.1.6.1 TwinCAT.Ads en Visual Studio.NET

ADS (Automation Device Specification) es una especificación de TwinCAT para el intercambio de información consistente entre dispositivos sobre una conexión TCP/IP. ADS permite el intercambio de comandos, datos, envío de mensajes, transferencia de estatus, entre otros.

El componente TwinCAT.Ads se utilizó para el establecimiento de la comunicación entre la aplicación de PLC y la aplicación de Visual Studio 2010 Express. En primera instancia se agregó el componente presionando *Agregar Referencia* bajo en menú de proyecto y se seleccionó el archivo TwinCAT.Ads.dll ubicado en la ruta de instalación de TwinCAT (Figura 4.43).

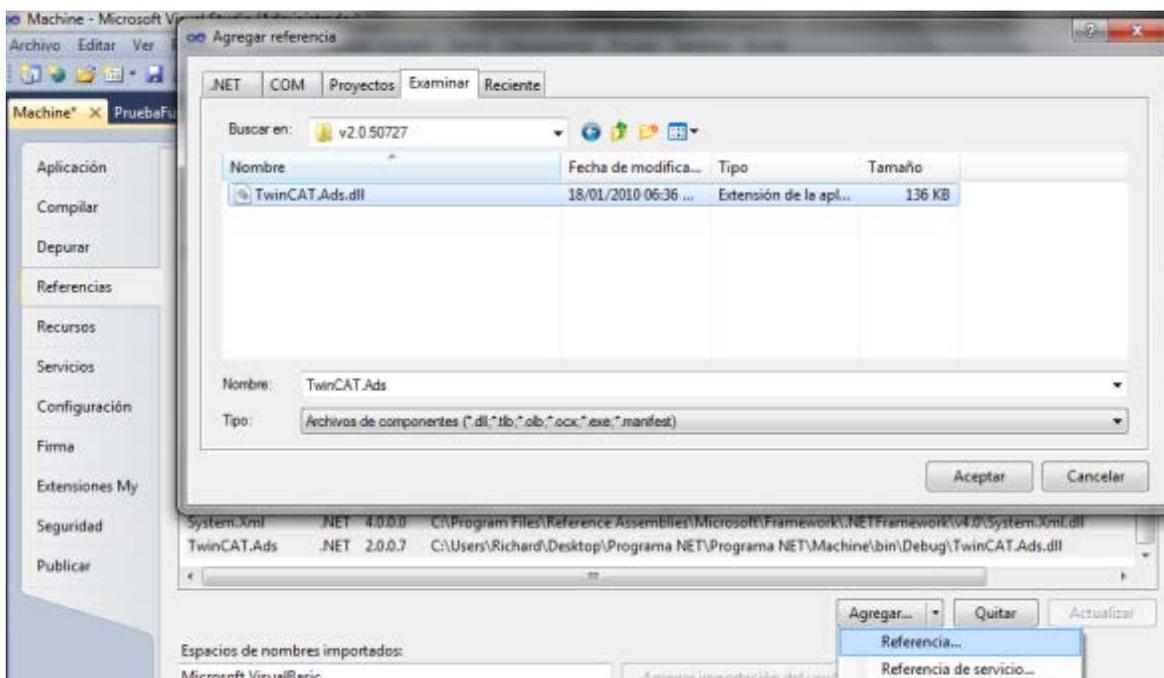


Figura 4.43. Agregar Referencia TwinCAT.Ads.

4.1.6.2 Descripción breve de código para establecimiento de comunicación

TwinCAT.Ads se compone con un amplio número de *clases* dentro de visual studio. A continuación se describe brevemente las funciones utilizadas para el establecimiento de la comunicación.

4.1.6.2.1 Parámetros de conexión

Primero se generó el comando de conexión con la sintaxis siguiente:

```
tcClient.Connect("5.1.18.249.1.1", 801)
```

Donde *tcClient* es una variable que se declaró como clase *TcAdsClient* y *Connect* es un constructor de la clase mencionada. A continuación se indica el código de declaración de la variable *tcClient*:

```
Private tcClient As TwinCAT.Ads.TcAdsClient
```

Donde *TcAdsClient* es una clase que habilita de manera asíncrona el acceso a un dispositivo Ads, en el caso concreto del proyecto al CX1020.

Dentro del comando de conexión *tcClient.Connect ("5.1.18.249.1.1", 801)* el primer parámetro indica la NetID del CX1020 al que se comunica la aplicación y el segundo indica que es a través del puerto 801 del mismo CX1020.

4.1.6.2.2 Notificaciones de eventos

Después se usó un evento de notificación con el constructor *AddDeviceNotification* , el cual pertenece a la clase *TcAdsClient*. La sintaxis de declaración se muestra a continuación:

Evento = *TcAdsClient.AddDeviceNotification*("variable", *dataStream*, *offset*, *length*, *transmode*, *cycleTime*, *maxDelay*, *userData*)

Donde *Evento* es la variable de notificación y los parámetros son:

variable: Nombre de la variable en string.

dataStream: Formato en que los datos son recibidos.

offset: Offset de los datos en el formato de *dataStream*.

length: Longitud de los datos en *dataStream*.

transMode: Especifica si el evento se debe ejecutar cíclicamente o si la variable ha cambiado.

cycleTime: El servidor ADS comprueba si la variable ha cambiado después de este intervalo de tiempo. Medido en ms.

maxDelay: El evento se dispara a más tardar cuando haya transcurrido este tiempo. Medido en ms.

userData: Este objeto se puede utilizar para almacenar datos específicos de usuario.

A continuación se describe la sección del código donde se realiza la parametrización de los eventos:

```
hvelocidad = tcClient.AddDeviceNotification(".velocidad", dataStream, 0, 8, AdsTransMode.Cyclic, 10, 0, DBNull.Value)  
hdireccion = tcClient.AddDeviceNotification(".direccion", dataStream, 1, 8, AdsTransMode.Cyclic, 10, 0, DBNull.Value)  
hradiacion = tcClient.AddDeviceNotification(".radiacion", dataStream, 2, 8, AdsTransMode.Cyclic, 10, 0, DBNull.Value)  
htemperatura = tcClient.AddDeviceNotification(".temperatura", dataStream, 3, 8, AdsTransMode.Cyclic, 10, 0, DBNull.Value)  
hhumedad = tcClient.AddDeviceNotification(".humedad", dataStream, 4, 8, AdsTransMode.Cyclic, 10, 0, DBNull.Value)
```

Figura 4.44. Fragmento de código de notificación de eventos.

Como se observa en el código de notificaciones, la parametrización del evento es muy parecido en todas las notificaciones declaradas, cambiando solo en el nombre de la variable, el offset y la longitud en bytes.

En el primer parámetro (*variable*) se parametrizó el nombre de la variable meteorológica con formato *string* y cuyo nombre es idéntico en TwinCAT PLC Control.

En el segundo parámetro (*dataStream*) se declaró la variable con el mismo nombre y que previamente fue asignada como clase *AdsStream* con la longitud total en bytes. *AdsStream* es una clase de determinar la longitud y formato de datos.

En el tercer parámetro (*Offset*) se asignaron los valores de la posición de la variable, que comienza con cero para la primera variable, uno para la segunda y así sucesivamente.

En el cuarto parámetro (*Lenght*) se asignó el valor de la longitud de la variable que es 8, ya que las variables utilizadas son del tipo LREAL y estas ocupan 8 bytes de longitud.

En quinto parámetro se configuró con el valor de *AdsTransMode.Cyclic*, el cual es una constante de *TwinCAT.Ads.AdsTransMode* (=3) y que indica que la notificación del evento se realiza de forma cíclica.

El sexto parámetro (*cycleTime*) se estableció a 10 ms

El séptimo parámetro (*maxDelay*) se estableció a 0ms

El octavo y último parámetro no fue utilizado y se declaró como nulo (*DBNull.value*)

4.1.6.2.3 Manejo de Notificación y Transferencia a valores locales

Posterior a tener identificado el evento de cada variable se procedió a guardar los valores en variables locales como se muestra a continuación:

```
Private Sub tcClient_OnNotification(ByVal sender As Object, ByVal e As AdsNotificationEventArgs)
    Try
        ' Estableciendo la posicion de e.DataStream a la posición del valor actual
        e.DataStream.Position = e.Offset

        Select Case e.NotificationHandle

            Case hvelocidad
                vvelocidad = binReader.ReadDouble()

            Case hdireccion
                vdireccion = binReader.ReadDouble()

            Case hradiacion
                vradiacion = binReader.ReadDouble()

            Case htemperatura
                vtemperatura = binReader.ReadDouble()
        End Select
    End Try
End Sub
```

Figura 4.45. Fragmento de código de casos de eventos de notificación.

Donde “e” es una variable con el formato de la clase *AdsNotificationEventArgs*, la cual provee información de los eventos de la clase *TcAdsClient*. De este modo *e.NotificationHandle* nos indica que evento está activo y según el valor se ejecuta el caso correspondiente transfiriendo el valor de la variable que ha cambiado a una variable local. La variable local se utiliza para desplegado en pantalla y transferencia a la base de datos de MySQL.

Es importante mencionar que *binReader* es una variable declarada con el formato de la clase *AdsStream*, y que posee el formato de los datos a comunicar. De este modo al ejecutarse el caso (Figura 4.45) se transfiere el valor correspondiente según el offset establecido en la notificación (Figura 4.44).

4.1.6.2.4 Interface de Aplicación HMI

La aplicación HMI se desarrolló de tal forma que las variables meteorológicas puedan ser monitoreadas en tiempo real, así como la selección del periodo de muestreo para su almacenamiento en la base de datos.

La Figura 4.46 muestra una vista general de la interface gráfica de la aplicación.

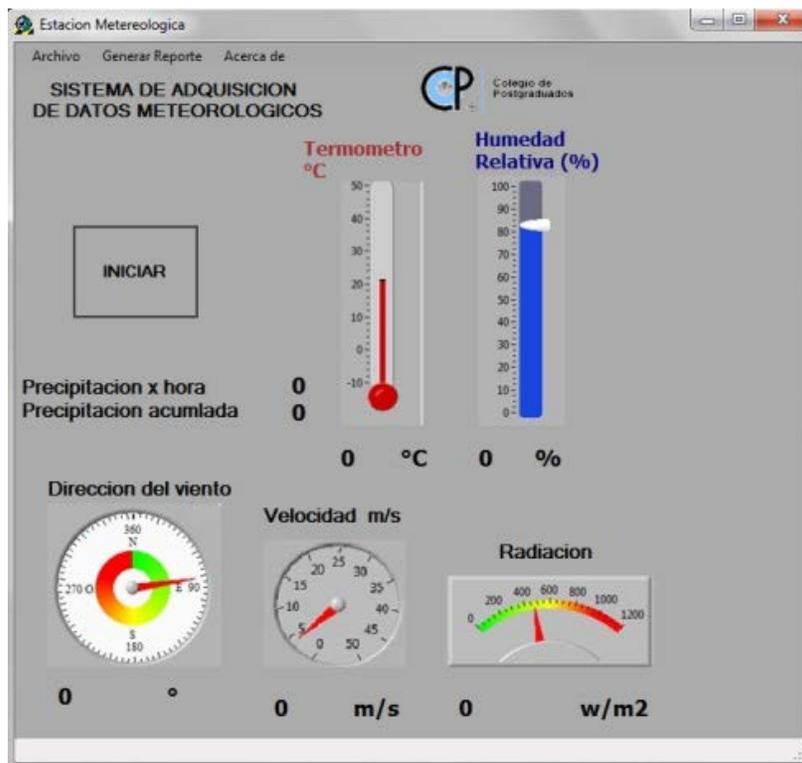


Figura 4.46. Interface Gráfica de Aplicación HMI.

En la Figura 4.47 se muestra la opción de selección del tiempo de muestreo

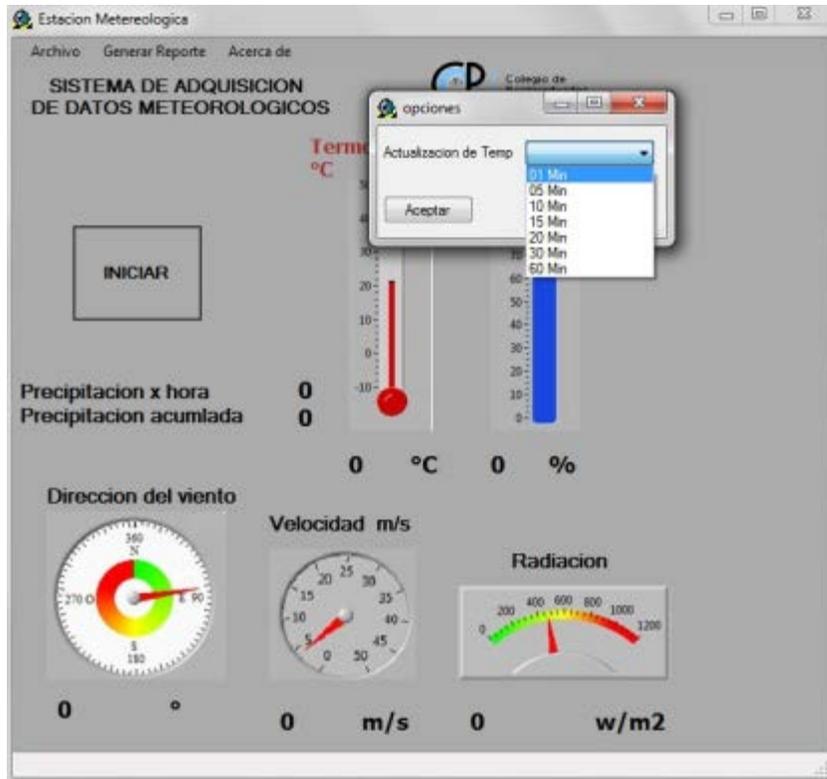


Figura 4.47. Menú de selección de base de tiempo para almacenamiento en base de datos.

4.1.6.2.5 Base de datos

Dentro de la solución desarrollada en Visual Studio se incluyó la programación para el almacenamiento de la información de las variables meteorológicas en una base de datos de MySQL (Figura 4.48).

The screenshot displays the MySQL Workbench interface. On the left, the Object Browser shows a tree view with schemas: sakila, temperaturas, test, and world. The main window shows a query editor with the following query:

```
1 • call consulta_dinamica('2013-05-23 8:00:00','2013-06-03 17:00:00','1')
```

The query results are displayed in a table with the following columns: velocidad, direccion, radiacion, temperatura, humedad, precipitacion_acum, and precipitacion_tasa. The table contains 16050 rows of data. Below the table, the Output pane shows the Action Output for the query, indicating that 16050 rows were returned.

velocidad	direccion	radiacion	temperatura	humedad	precipitacion_acum	precipitacion_tasa
1.94778442382813	0	1027.67944...	22.037048...	49.1729...	0	0
3.28903198242188	0	1025.84838...	22.034301...	47.7569...	0	0
2.61611938476563	55.5337524414063	1036.83471...	22.034301...	46.7071...	0	0
2.15606689453125	31.3528442382813	1043.70117...	21.990356...	48.4405...	0	0
3.25698852539063	304.948120117188	1037.75024...	21.927185...	48.7213...	0	0
1.98211669921875	0	1041.41235...	21.907958...	48.3367...	0	0
0.954437255859375	308.999938964844	1045.07446...	21.938171...	48.1231...	0	0
3.1951904296875	283.432312011719	1047.36328...	22.004089...	48.2940...	0	0
1.64108276367188	288.827514648438	1048.73657...	22.056274...	47.0245...	0	0
2.61154174804688	347.459716796875	1053.31420...	22.179870...	46.0562...	0	0
0.748443603515625	259.14306640625	1060.18066...	22.237548...	46.3073...	0	0
2.57492065429688	279.185485839644	1070.70922...	22.229305...	47.3541...	0	0

Result 2
Read Only

Output
Action Output

Time	Action	Message
1 23:32:29	call consulta_dinamica('2013-05-23 8:00:00','2013-06-03 17:00:00','1')	16050 row(s) returned

Information
No object selected

Figura 4.48. Base de datos en MySQL.

5 RESULTADOS

5.1 Evaluación de sensores

En el presente apartado se realizó una comparación entre los sensores de la estación meteorológica que se diseñó con respecto a los sensores de una estación meteorológica tipo Campbell Scientific y otros sensores de referencia.

Con respecto a la temperatura

Se compararon las lecturas del sensor HO2NVSTA1 contra la temperatura del bulbo seco del psicrómetro ventilado tipo Assman (como instrumento de referencia, Figura 5.2). Se tomaron lecturas durante cuatro días cada hora entre las horas comprendidas de 9:00 a.m. a 3:00 p.m. (Cuadro 5.1).

La información se ajustó a una regresión lineal, donde se obtuvo el modelo siguiente (Figura 5.1):

$$T_{\text{bulbo seco}} = 1.012 (T_{\text{sensor HO2NVSTA1}}) + 0.4735 \text{ con } r^2 = 0.9576$$

Se observa que la temperatura de referencia sobreestima en promedio 0.4735 grados a la temperatura del sensor, es decir, el sensor de temperatura esta en promedio 0.4735 grados por debajo de la temperatura de referencia. El coeficiente de determinación igual a 0.9576, que indica que existe una buena relación entre las lecturas de ambos sensores.

Cuadro 5.1. Temperaturas de sensor HO2NVSTA1 y de Referencia

Fecha	Hora	Ts	Tref
27/05/2013	09:00	16.67	18.00
27/05/2013	11:00	18.22	18.00
27/05/2013	12:00	19.99	21.00
27/05/2013	13:00	19.98	21.00
27/05/2013	14:00	21.83	23.00
27/05/2013	15:00	21.01	22.00
28/05/2013	09:00	15.29	15.80
28/05/2013	10:00	15.62	16.00
28/05/2013	11:00	18.33	19.60
28/05/2013	12:00	19.69	20.00
28/05/2013	13:00	21.23	20.60
28/05/2013	14:00	22.75	22.40
28/05/2013	15:00	24.51	25.00
29/05/2013	09:00	18.52	20.00
29/05/2013	10:00	20.19	21.00
29/05/2013	11:00	21.05	22.00
29/05/2013	12:00	23.01	24.20
29/05/2013	13:00	23.59	25.00
29/05/2013	14:00	24.86	26.00
29/05/2013	15:00	25.65	26.20
30/05/2013	09:00	17.12	18.00
30/05/2013	10:00	18.03	19.00
30/05/2013	11:00	21.15	21.80
30/05/2013	12:00	22.53	22.00
30/05/2013	13:00	23.8	26.00
30/05/2013	14:00	24.84	25.60
30/05/2013	15:00	25.55	26.00

Ts y Tref, representan las temperaturas del sensor y de la referencia (termómetro de bulbo seco del psicrómetro ventilado) respectivamente.

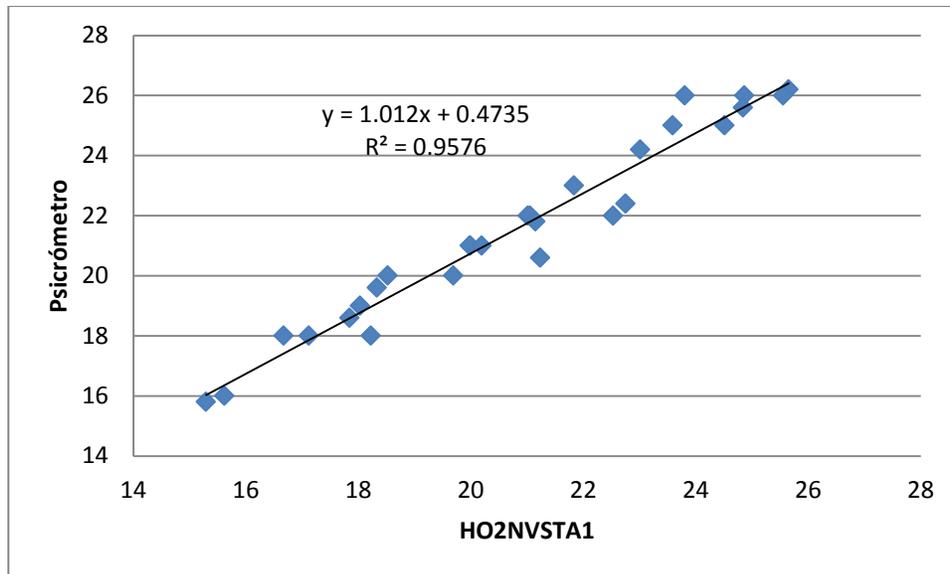


Figura 5.1. Relación de temperatura de sensor HO2NVSTA1 y bulbo seco de psicrómetro.



Figura 5.2. Psicrómetro ventilado tipo Assman.

5.1.1 Comparación entre sensores de humedad relativa

Se compararon las lecturas de humedad relativa del sensor HO2NVSTA1 contra la estimación respectiva por medio de los termómetros del bulbo seco y húmedo del psicrómetro ventilado tipo Assman. En primera instancia se ejemplifica la estimación de la humedad relativa a partir de la temperatura de los termómetros

de bulbo seco y húmedo de psicrómetro ventilado tipo Assman, con su corrección de la tensión de vapor de agua por la presión atmosférica (Herrera et.al.,2012).

A partir de la temperatura del bulbo seco de 19 C y del bulbo húmedo de 12.1 C y con una presión atmosférica de 590 mm de Hg, estimar la humedad relativa.

1.- Determinación de la tensión de vapor a 750mm

$t = 19^{\circ}\text{C}$

$t' = 12.1^{\circ}\text{C}$

Diferencia $t - t' = 6.9^{\circ}\text{C}$

De la tabla 3.1 del Anexo: $t' = 12.1^{\circ}\text{C}$

$e_1 = 10.55\text{mm}$

De la tabla 3.2 del Anexo: $t - t' = 6.9^{\circ}\text{C}$

$e_2 = 3.42\text{mm}$

Diferencia

$\underline{\underline{7.13\text{mm}}}$

La tensión de vapor a 750mm será 7.13mm

2.- Corrección para el lugar de observación.

Presión a la que fue calculada tabla 3.1 del Anexo 750mm

Presión en el lugar de observación $\underline{\underline{590\text{mm}}}$

Diferencia 160mm

Dividido entre 100 1.6mm

De la tabla 3.2 del Anexo, el factor para 6.9°C 0.40

Corrección por esta diferencia: $1.6 \times .40 = 0.64\text{mm}$

Como la presión en el lugar de observación es menor a 750 mm, entonces la corrección deberá sumarse a la tensión de vapor calculada en el inciso 1.

$7.13\text{mm} + 0.64\text{mm} = 7.77\text{mm}$

3.- Cálculo de la humedad relativa por ciento

Tensión de vapor del lugar (corregida) 7.77mm

Tensión máxima de vapor a 19°C (Temp. Amb.) 16.31mm

Cociente de éstas tensiones: $7.77/16.37 = 0.4746$
 Multiplicado por 100 $0.4746 \times 100 = 47.46\%$
 La humedad relativa para este lugar y momento, es de 47.46%

Se tomaron lecturas durante tres días cada hora entre las horas comprendidas de 9:00 a.m. a 3:00 p.m. (Cuadro 5.2).

La información se ajustó a una regresión lineal (Figura 5.3), donde se obtuvo el modelo siguiente:

$$\text{HR referencia} = 0.8963 (\text{HR}_{\text{sensor HO2NVSTA1}}) + 11.93 \text{ con } r^2 = 0.8647$$

Cuadro 5.2. Humedad relativa de sensor HO2NVSTA1 y de Referencia.

Fecha	Hora	tbulbo seco	tbulbo humedo	Presión	HR HO2NVSTA1	HR Referencia
27/05/2013	09:00	18.0	14.6	589.2	78.82	71.86
27/05/2013	10:00	18.6	14.6	589.4	70.89	67.92
27/05/2013	11:00	18.0	14.0	589.2	66.28	67.48
27/05/2013	12:00	21.0	16.8	589.6	59.30	68.15
27/05/2013	13:00	21.0	16.0	589.4	59.26	62.81
27/05/2013	14:00	23.0	17.0	589.2	52.35	58.06
27/05/2013	15:00	22.0	15.4	589.4	53.99	53.06
28/05/2013	09:00	15.8	13.4	588.4	84.76	78.42
28/05/2013	10:00	16.0	15.0	588.4	82.27	90.96
28/05/2013	11:00	19.6	18.0	588.6	77.09	86.59
28/05/2013	12:00	20.0	17.5	588.6	71.71	79.72
28/05/2013	13:00	20.6	17.0	588.2	62.07	71.95
28/05/2013	14:00	22.4	17.2	587.8	55.11	62.54
28/05/2013	15:00	25.0	18.6	588.0	48.16	57.10
29/05/2013	09:00	20.0	17.0	587.8	66.13	76.30
29/05/2013	10:00	21.0	16.8	588.0	60.00	68.17
29/05/2013	11:00	22.0	17.4	587.8	55.56	65.93
29/05/2013	12:00	24.2	17.0	587.4	48.44	51.84
29/05/2013	14:00	26.0	16.6	587.0	39.43	41.62
29/05/2013	15:00	26.2	17.0	587.2	30.45	42.96

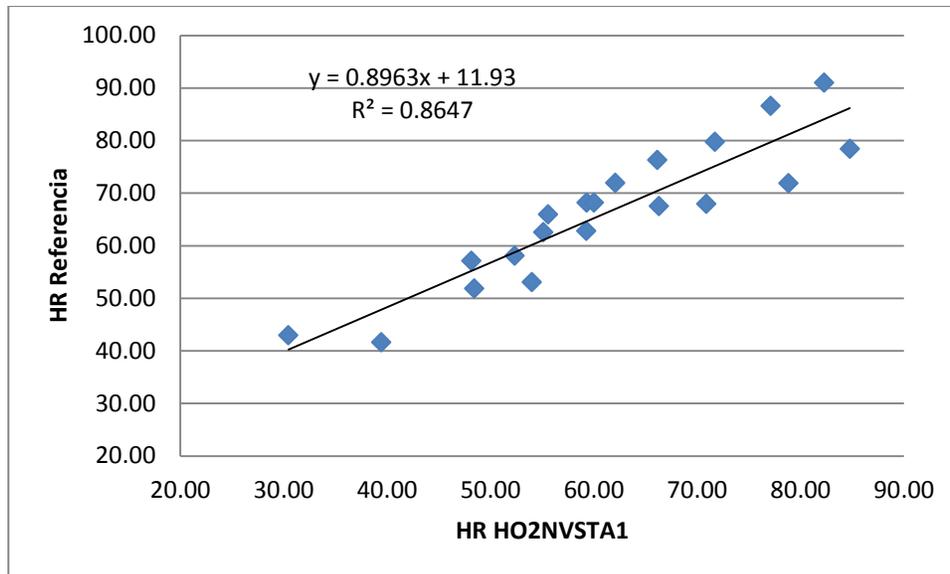


Figura 5.3. Relación de humedad relativa de sensor HO2NVSTA1 y de referencia.

5.1.2 Comparación de la velocidad y dirección del viento

Para el caso del sensor de velocidad y dirección del viento cabe mencionar que no son comparables contra los sensores de la estación de referencia, debido a que el sensor de dirección del viento utilizado solo puede representar valores de ángulo comprendidos entre [0-355], ocasionando una diferencia significativa al realizar un análisis vectorial. Es por eso que se realiza un análisis vectorial solo para medir ambos valores y no como comparativa.

Se realizó un análisis vectorial para obtener una resultante final (velocidad) y una dirección (representado por la dirección del viento en grados). El método analítico fue la suma de vectores, el cual consiste en utilizar las ecuaciones de las componentes rectangulares de los vectores (F_x y F_y), cuyas ecuaciones son:

$$F_x = F \sin \theta$$

$$F_y = F \cos \theta$$

En primera instancia se realizó la descomposición de cada valor de velocidad y dirección para obtener los componentes F_x y F_y , después se obtuvo la sumatoria

de las fuerzas en X ($\sum F_x$) y en Y ($\sum F_y$), y de este modo se aplica el teorema de Pitágoras, para obtener el vector resultante como:

$$V_r = \sqrt{\frac{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}{N^2}} \quad (11)$$

Donde N representa el número de datos para la sumatoria.

Para obtener el ángulo del vector resultante se utilizó la función trigonométrica arcotangente, cuya fórmula es:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sum F_x}{\sum F_y} \quad (12)$$

Cuadro 5.3. Análisis vectorial de Velocidad y dirección del viento de sensores 3101 R.M. y 3301 contra sensor de estación Campbell.

Hora	Sensor de Velocidad 3101 R.M y Dirección 3301 R.M.		Sensor Estación Campbell		Sensor 3101 R.M y 3301 R.M. Proyecciones X y Y		Sensor Campbell Proyecciones X y Y	
	Velocidad [m/s]	Dirección [grados]	Velocidad [m/s]	Dirección [grados]	x = v sen (θ)	y = v cos (θ)	x = v sen (θ)	y = v cos (θ)
00:00:00	1.90	164.89	1.72	175.10	0.50	-1.84	0.15	-1.72
01:00:00	1.93	161.99	2.28	161.70	0.60	-1.83	0.71	-2.16
02:00:00	2.28	168.32	2.16	158.20	0.46	-2.24	0.80	-2.01
03:00:00	1.66	153.55	2.49	165.40	0.74	-1.48	0.63	-2.41
04:00:00	1.11	155.85	1.87	153.80	0.45	-1.01	0.83	-1.68
05:00:00	0.63	162.47	1.34	156.60	0.19	-0.60	0.53	-1.23
06:00:00	0.51	111.97	0.80	155.00	0.47	-0.19	0.34	-0.73
07:00:00	0.03	63.03	0.67	124.40	0.03	0.02	0.56	-0.38
08:00:00	0.25	113.01	0.08	44.37	0.23	-0.10	0.06	0.06
09:00:00	0.48	83.14	0.41	2.33	0.48	0.06	0.02	0.41
10:00:00	1.39	123.04	0.68	12.98	1.17	-0.76	0.15	0.66
11:00:00	2.39	56.98	1.74	5.85	2.01	1.30	0.18	1.73
12:00:00	2.56	41.61	2.97	10.85	1.70	1.92	0.56	2.91
13:00:00	2.95	107.77	3.04	4.28	2.81	-0.90	0.23	3.04

Hora	Sensor de Velocidad 3101 R.M y Dirección 3301 R.M.		Sensor Estación Campbell		Sensor 3101 R.M y 3301 R.M. Proyecciones X y Y		Sensor Campbell Proyecciones X y Y	
	Velocidad [m/s]	Dirección [grados]	Velocidad [m/s]	Dirección [grados]	x = v sen (Θ)	y = v cos (Θ)	x = v sen (Θ)	y = v cos (Θ)
14:00:00	3.08	323.00	3.11	345.00	-1.85	2.46	-0.80	3.00
15:00:00	3.09	334.00	3.67	355.70	-1.36	2.78	-0.27	3.66
16:00:00	3.87	16.29	3.70	357.30	1.09	3.72	-0.17	3.69
17:00:00	4.78	33.05	4.33	13.13	2.61	4.00	0.98	4.22
18:00:00	4.80	18.27	5.06	19.99	1.50	4.56	1.73	4.76
19:00:00	4.61	22.42	5.26	21.72	1.76	4.26	1.95	4.89
20:00:00	3.46	14.90	5.13	26.57	0.89	3.35	2.29	4.58
21:00:00	1.51	44.03	3.73	23.21	1.05	1.08	1.47	3.43
22:00:00	0.15	94.25	1.63	11.82	0.15	-0.01	0.33	1.60
23:00:00	0.20	228.87	0.21	66.92	-0.15	-0.13	0.20	0.08
				Σ	17.52	18.40	13.43	30.41

La magnitud del vector resultante (V_r) de la velocidad del viento se calculó mediante la ecuación (11), entonces:

Sensor estación

$$V_r = \sqrt{\frac{17.52^2 + 18.40^2}{24^2}}$$

$$V_r \text{ sensor R.M.} = 1.05 \text{ m/s}$$

Sensor Campbell

$$V_r = \sqrt{\frac{13.43^2 + 30.41^2}{24^2}}$$

$$V_r \text{ sensor Campbell} = 1.38 \text{ m/s}$$

Para el cálculo del ángulo del vector resultante se utilizó la ecuación 12

Sensor estación

$$\theta' = \tan^{-1} \frac{17.52}{18.40}$$

$$\theta' = 43.59^\circ$$

Sensor Campbell

$$\theta'' = \tan^{-1} \frac{13.43}{30.41}$$

$$\theta'' = 23.82^\circ$$

Debido a que en la función arcotangente no se puede reconocer si se trata de un ángulo del primer o tercer cuadrante, donde la tangente es positiva, o de un ángulo del segundo o cuarto cuadrante donde la tangente es negativa. Por lo que es necesario tomar en cuenta la dirección de cada una de las componentes del vector resultante para saber a qué cuadrante pertenece, para esto, se seguirán las siguientes reglas (Cuadro 5.4):

Cuadro 5.4. Determinación de cuadrante de vector resultante.

Condición	Para obtener la dirección correcta (o ángulo de la resultante)
Si las sumas de las componentes "X" y "Y" son positivas	Pertenece al 1° cuadrante NE $\Theta = \Theta'$
Si la suma del componente "X" es positiva y la suma de la componente "Y" es negativa	Pertenece al 2° cuadrante SE Θ' resultará negativo, réstelo de 180 o $\Theta = 180 - \Theta'$
Si la suma del componente "X" es negativa y la suma de la componente "y" es positiva	Pertenece al 4° cuadrante NW Θ' resultará negativa réstelo de 360 o $\Theta = 360 - \Theta'$
Si las sumas de los componentes "X" y "Y" son negativas	Pertenece al 3° cuadrante SW Sumar $180 + \Theta'$ o $\Theta = 180 + \Theta'$

Nota: Se debe considerar que las componentes hacia abajo e izquierda son negativas; las componentes hacia arriba o hacia la derecha son positivas. Si convenimos que el N es (+) y el S es (-); al E es (+) y el W es (-) entonces algo que vaya en esas direcciones será (+) o (-) [40].

Al analizar la suma de los vectores, se observó que pertenece al 1° cuadrante, por lo que:

Sensor estación

Sensor de referencia Campbell

$$\theta' = 43.59^\circ$$

$$\theta'' = 23.82^\circ$$

En resumen se tiene:

Sensor estación

$$Vr_{\text{sensor R.M.}} = 1.05 \text{ m/s}$$

$$\theta' = 43.59^\circ$$

Sensor de referencia Campbell

$$Vr_{\text{sensor Campbell}} = 1.38 \text{ m/s}$$

$$\theta'' = 23.82^\circ$$

5.1.3 Comparación entre los sensores de radiación

Se evaluó la respuesta del sensor de radiación solar (LI200) comparándolo contra el actinógrafo bimetálico tipo Robitzsch (Figura 2.25), el cual se usó como un instrumento de referencia, a pesar que ambos instrumentos trabajan en diferente rango del espectro, el primero dentro de la radiación global y el segundo dentro de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

Se realizó la toma de lecturas el día 29 de Mayo de 2013 (Cuadro 5.5)



Figura 5.4. Actinógrafo tipo Robitzsch.

A partir de la gráfica del actinógrafo (Figura 5.5), se determinó la cantidad de energía acumulada mediante la medición del área bajo la curva para periodos de una hora.

Se calcó la gráfica (Figura 5.6), posteriormente se recortó el área dividida por horas (Figura 5.7), y finalmente se determinó el área para cada hora por medio de un integrador de área foliar (Figura 5.8).



Figura 5.5. Datos registrados por el actinógrafo.

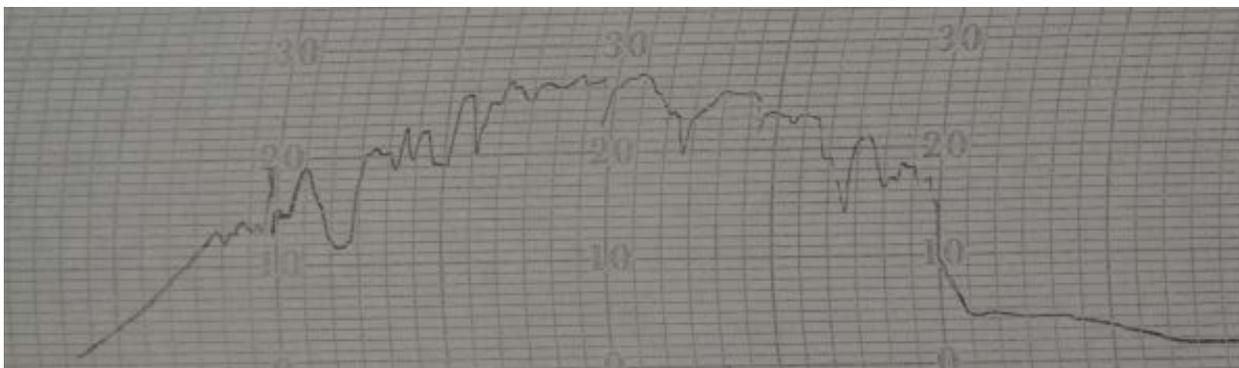


Figura 5.6. calcados.



Figura 5.7. Muestras de la lectura.

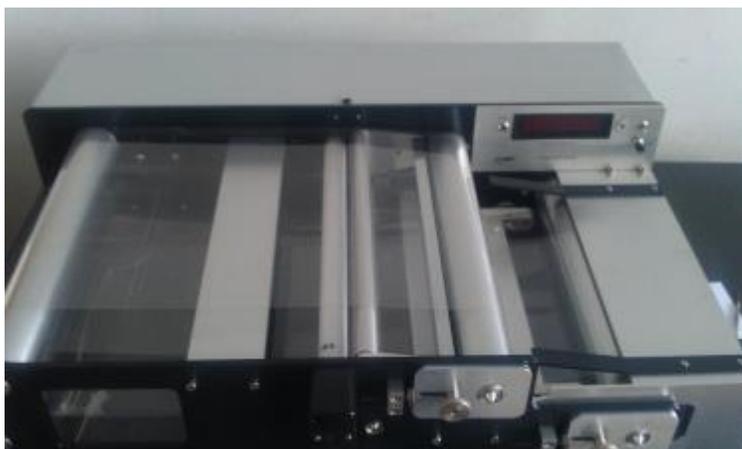


Figura 5.8. Integrador de área foliar LI - 3100 C.

El Cuadro 5.5 muestra el área medida para cada hora, así como la energía recibida por unidad de superficie en unidades $\text{Cal}/\text{cm}^2 \text{ h}$ y su conversión a $\text{W}/\text{m}^2 \text{ h}$, y por último muestra el valor registrado por el sensor LS200 ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ h}$).

Cuadro 5.5. Conversión de las áreas a energía solar recibida del actinógrafo y radiación solar de sensor.

Hora	Área cm^2	Actinógrafo $\text{Cal}/\text{cm}^2 \text{ h}^*$	Actinógrafo $\text{W}/\text{m}^2 \text{ h}^{**}$	Sensor LS200 $\text{W}/\text{m}^2 \text{ h}$
06:00-07:00	0.35	6.66	278963.69	444326.73
07:00-08:00	1.15	22.04	922726.06	1479418.94
08:00-09:00	2.03	38.95	1630864.67	2155926.41
09:00-10:00	2.29	44.08	1845452.12	2821728.73
10:00-11:00	2.99	57.40	2403379.51	3592448.56
11:00-12:00	3.63	69.70	2918389.40	4163665.65
12:00-13:00	3.57	68.68	2875471.91	3876359.61

Hora	Área cm ²	Actinógrafo Cal/cm ² h *	Actinógrafo W/m ² h **	Sensor LS200 W/m ² h
13:00-14:00	3.23	62.02	2596508.22	3774188.23
14:00-15:00	2.99	57.40	2403379.51	3066896.85
14:00-15:00	2.35	45.10	1888369.61	2293453.71
15:00-16:00	0.67	12.81	536468.64	445925.93
16:00-17:00	0.31	5.89	246775.57	261947.75
17:00-18:00	0.06	1.18	49355.11	22027.58

* 19.22 Factor de conversión de cm² a cal/cm²

** 41868 Factor de conversión de cal/cm² a W/m²

A pesar de ser sensores diferentes (en términos espectrales) ambas respuestas están relacionadas (Figura 5.9) con un coeficiente de determinación R² de 0.979.

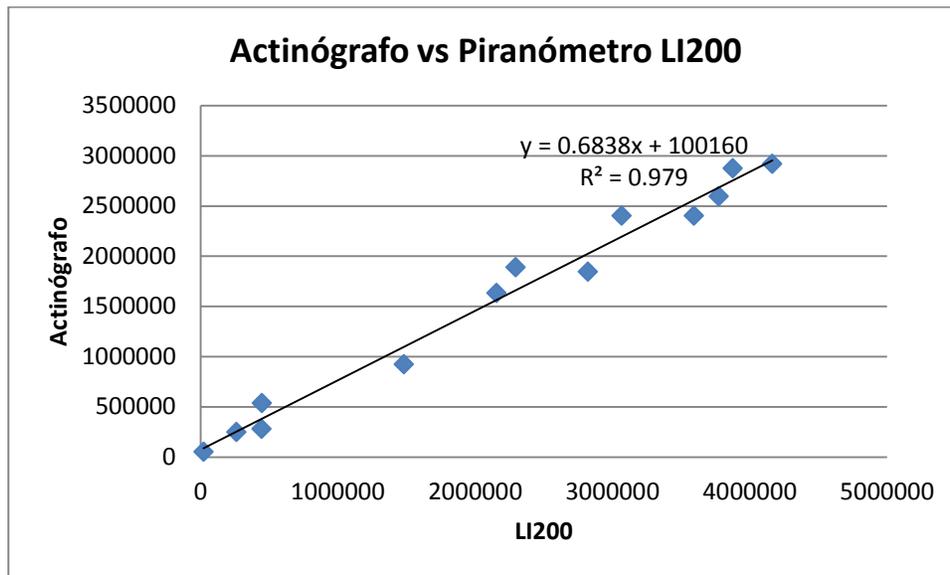


Figura 5.9. Relación entre Piranómetro y Actinógrafo.

5.1.4 Comparación entre instrumentos de precipitación

Se evaluó el pluviómetro TE525 contra un sensor de referencia de una estación automática comercial Campbell Scientific. El Cuadro 5.6 muestra los resultados de la evaluación durante el día 25 de Mayo de 2013.

Cuadro 5.6. Lámina de sensor TE525 y sensor de Referencia Campbell.

Fecha	Horario	Lámina sensor estación TE525	Lámina sensor Campbell
		mm	mm
25/05/2013	09:00 a.m.	0	0
25/05/2013	10:00 a.m.	0	0
25/05/2013	11:00 a.m.	0	0
25/05/2013	12:00 p.m.	0	0
25/05/2013	01:00 p.m.	0	0
25/05/2013	02:00 p.m.	0	0
25/05/2013	03:00 p.m.	0	0
25/05/2013	04:00 p.m.	0	0
25/05/2013	05:00 p.m.	0	0
25/05/2013	06:00 p.m.	0	0
25/05/2013	07:00 p.m.	0	0
25/05/2013	08:00 p.m.	0.1	0.35
25/05/2013	09:00 p.m.	0.9	0.7
25/05/2013	10:00 p.m.	1.4	1.4
25/05/2013	11:00 p.m.	0.3	0.35
25/05/2013	12:00 a.m.	0.5	0.35
26/05/2013	01:00 a.m.	0.3	0.35
26/05/2013	02:00 a.m.	0	0
26/05/2013	03:00 a.m.	0	0
26/05/2013	04:00 a.m.	0	0
26/05/2013	05:00 a.m.	0	0
26/05/2013	06:00 a.m.	0	0
26/05/2013	07:00 a.m.	0	0
26/05/2013	08:00 a.m.	0	0
Total		3.5	3.5

Se obtuvo que los valores de lectura de ambos sensores son iguales para reportes diarios, pudiendo tener una variación significativa para intervalos de tiempo más cortos, ya que poseen diferentes resoluciones, el sensor TE525 tiene una resolución de 0.35 mm por impulso mientras que el sensor de la estación Campbell 0.1 mm por impulso.

5.2 Evaluación Económica

A continuación en el Cuadro 5.7 se desglosa el costo de cada componente utilizado:

Cuadro 5.7. Costo total de estación meteorológica.

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo Unitario	Subtotal	Total
PLC y componentes					
1	PLC Beckhoff CX1020	pza	\$28,150.00	\$28,150.00	
1	Modulo de alimentación CX1100-0004	pza	\$3,800.00	\$3,800.00	
2	Módulo de entradas analógicas EL3102	pza	\$2,700.00	\$5,400.00	
1	Módulo de entradas analógicas EL3312	pza	\$3,288.00	\$3,288.00	
1	Módulo de entradas digitales EL1014	pza	\$516.00	\$516.00	
1	Módulo de bus terminal EL9010	pza	\$215.40	\$215.40	
1	Fuente de alimentación 24 Vcd 3Amp	pza	\$1,250.00	\$1,250.00	
1	Regulador de voltaje uA7805	pza	\$10.00	\$10.00	
1	Interruptor termo magnético 5 Amperes	pza	\$120.00	\$120.00	
1	Punto de acceso inalámbrico TPLink	pza	\$650.00	\$650.00	
					\$43,399.40
Software					
1	TwinCAT	pza	Incluido en CX1020		
1	Visual Basic 2010 Express	pza	Gratuito		
					\$0.00
Sensores					
1	Sensor de temperatura y humedad	pza	\$4,650.00	\$4,650.00	
1	Sensor de velocidad y dirección	pza	\$11,591.00	\$11,591.00	
1	Sensor de radiación LI-200	pza	\$3,216.00	\$3,216.00	
1	Sensor de precipitación TE525MM	pza	\$7,490.00	\$7,490.00	
					\$26,947.00
Materiales					
1	Gabinete Rittal	pza	\$550.00	\$550.00	
1	Canaleta	pza	\$150.00	\$150.00	
1	Riel DIN	pza	\$250.00	\$250.00	
15	Clemas	pza	\$13.00	\$195.00	
10	Cable (cableado interno)	mts	\$8.00	\$80.00	
6	Conector glándula	pza	\$25.00	\$150.00	
1	Soporte para estación	pza	\$1,250.00	\$1,250.00	
					\$2,625.00
				TOTAL	\$72,971.40

Comparativa de precios

En cuanto a una comparativa de precios, se tomó como referencia una estación Campbell Scientific, tomando en cuenta el equivalente en componentes para la medición de las mismas variables y monitoreo en tiempo real. En el Cuadro 5.8 se muestra el costo de la estación Campbell.

Cuadro 5.8. Precio estación automática Campbell Scientific

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo Unitario	Total
Datalogger y telemetría				
1	Datalogger CR800, Opción 1, CSI	pza	\$1,495.00	
1	Fuente Alimentación CH100, CSI	pza	\$266.00	
1	Batería 12V-24Amp-Hr c/Montura, CSI	pza	\$252.00	
COMUNICACIONES RADIO TRANSMISOR DE DATOS				
1	Radio Spread Spectrum 900 MHz, CSI Cable p/Alimentación 12Vdc Plug, CSI Paq. Fijación RF401, RF411, o RF416, CSI Antena Omni 900MHz 0dBd 1/2 Onda, CSI	pza	\$640.00	
COMUNICACIONES RADIO RECEPTOR DE DATOS DE DATOS (COLOCADO A LADO DE LA PC)				
1	Radio Spread Spectrum 900 MHz, CSI Paq. Fijación RF401, RF411, o RF416, CSI Adaptador AC 12Vdc 800mA, CSI Antena Omni 900MHz 0dBd 1/2 Onda, CSI	pza	\$640.00	
				\$3,293.00
Software				
1	Software Soporte d/Datalogger, LN, CSI	pza	\$824.00	
1	Software RTMC Pro, CSI	pza	\$846.00	
1	CSI Web Server	pza	\$358.00	
1	EQUIPO PARA ALMACENAMIENTO EN CENTRO DE CONTROL VISUALIZACION Y MONITOREO WS Estandar	pza	\$3,200.00	
				\$5,228.00
Sensores				
1	SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD Sonda d/Temp y Hum CS215, -PT, CSI Protector Rad solar 6 Platos, CSI	pza	\$651.00	

	SENSOR DE VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO		
1	Juego Sen Vel y Dir Viento, -PT-2, CSI Brazo p/Sensores 0.6m, CSI Paq. Montaje Ángulo Recto, CSI	pza	\$1,029.00
	PIRANOMETRO		
1	Piranómetro SP-110 -PT, CSI Base p/Montaje d/Sensor Solar, CSI Base Nivelante p/Piranómetro CS300, CSI Brazo p/Sensores 0.6m, CSI	pza	\$581.00
	SENSOR DE PRECIPITACION (8 m de cable)		
1	Pluviómetro 0.1mm 9.6" TE525MM, -PT, CSI Poste 0.58m (23") c/Tapa, -PJ, CSI	pza	\$826.00
			\$3,087.00
	Materiales		
1	Caja p/Intemperie 16x18", 2, CSI	pza	\$528.00
	TORRE DE ALUMINIO		
1	Torre Universal 9m c/Mástil Ajus, CSI Base p/Fijar Torre Universal Conc, CSI Paq. Cables d/Acero p/Torre Univ, CSI Paq. Aterrizar Torre Universal, CSI Paq. 3 Anclas Estándar p/UTGUY	pza	\$1,792.00
			\$2,320.00
		TOTAL (USD)	\$13,928.00

Si se considera un aproximado de \$12 el dólar (Julio 2013) se tiene un costo aproximado de \$ 167,136.00 pesos, y la diferencia en el costo es de \$ 94,164.60 pesos.

6 CONCLUSIONES

A partir de las hipótesis que se establecieron para el desarrollo del sistema de adquisición de datos meteorológicos, se llegó a las siguientes conclusiones:

Con relación a la factibilidad de la realización del sistema de adquisición con base en PLC se concluye que es factible, tanto en el aspecto funcional como económico.

Existen diversas opciones de PLC para el desarrollo del sistema de adquisición, cada una con diferentes prestaciones en mayor o menor grado, dependiendo de las capacidades requeridas.

La programación del PLC es fácil e intuitiva, logrando una fácil interacción entre los distintos dispositivos, tanto en el aspecto de conexiones como de programación.

Los sensores meteorológicos comúnmente utilizados se pueden integrar con el PLC, tomando en cuenta previamente las características para una correcta selección del módulo de lectura a utilizar.

El uso de los PLC facilita el desarrollo de una estación automática, ya que la estructura modular facilita la construcción, la programación es intuitiva y los costos menores.

Se logra el desarrollo del sistema de adquisición de datos con tecnologías implementadas con base en PLC como una alternativa económica, segura y eficiente. Con la posibilidad de realizar distintas funciones adicionales como cálculo de evapotranspiración, control de riego, prevención de plagas, entre otras, aunque el alcance del presente proyecto es solo la adquisición de datos.

Al término de la realización de calibración, pruebas de medición y comparación contra los datos de una estación meteorológica e instrumentos de referencia, se puede decir que el resultado es satisfactorio.

7 RECOMENDACIONES

Se debe realizar un mantenimiento periódico de al menos cada año, principalmente para re calibración en caso de ser necesario y verificar que los sensores no presenten obstrucciones o piezas desgastadas que interfieran la medición. Así mismo se debe realizar un cambio de sensores al menos cada 3 años.

En cuanto a la detección de fallas, se debe verificar periódicamente en la base de datos si existe registro de fallas y así poder realizar mantenimiento o cambio de sensores.

En caso de cambio de sensores se deben usar sensores que manejen el mismo rango de señal, en caso contrario será necesario adaptar el código de programación para cada nuevo sensor.

Para trabajos futuros se recomienda crear una base de datos de sensores en el código de programación y la opción de configuración desde la aplicación de monitoreo, y así conforme se utilicen nuevos sensores de acuerdo a los requerimientos de cada estación la base de datos de los sensores se alimentará con la información de cada nuevo sensor.

Para trabajos posteriores se deben utilizar protocolos o métodos de comunicación que manejen distancias considerables.

8 LITERATURA CITADA

Ahrens, D.; Lawrence, P. y C.E. Jackson, (2012) "*Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and The environment First Canadian Edition*", By Nelson Education Ltd, Canada, p. 20.

Ambardar, A., (2002) "*Procesamiento de señales analógicas y digitales*", Segunda Edición, Thompson Editores S.A. de C.V., México, p. 15

Beckhoff (2003) "*Hardware documentation for CX1020 / CX1030 Embedded PC*" [en línea], disponible en:
http://download.beckhoff.com/download/Document/EPC/CX1020_HW_en.pdf [consultado el 10 de Agosto de 2013]

Bolton, W., (2009) *Programmable Logic Controllers*, Fifth Edition, Oxford, Elsevier Newnes, pp. 3-4.

Castro, P.M., (2008) "*Desarrollo de un sistema de Riego Automatizado en tiempo real con base en balance hídrico climático, medición de humedad del suelo y lisímetro*". Agricultura Técnica de México, Vol.34, Núm.4, octubre-diciembre, pp.459-470.

Günter, D.R., (2002) "*Meteorología Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos. Situaciones meteorológicas generales*". *Pronósticos del tiempo*. Barcelona. Ediciones Omega

Helfrick A.D. y W. D. Cooper, (1991), "*Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*", Prentice-Hall Hispanoamérica, México p.p. 449.

Herrera, E., (2012), “*Comunicaciones I Señales, Modulación y Transmisión*”, Limusa, México, pp. 284.

Herrera V.G., (2012) “*Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*” , Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA, Mexico, pp. 70-73.

<http://es.vaisala.com/sp/meteorology/products/Pages/default.aspx> [Consultado el 23 de Julio de 2013]

<http://web.archive.org/web/20080725081032/http://www.nimbus.com.uy/aprendiendo.html> [Consultado el 14 de Junio de 2013]

<http://www.beckhoff.com/> [Consultado en Diciembre de 2012]

<http://www.campbellsci.com/weather-climate> [Consultado el 24 de Julio de 2013]

<http://www.cm.colpos.mx/meteoro/agm620/automa2.htm> [Consultado el 23 de Julio de 2013]

<http://www.ethercat.org> [Consultado Enero 2013]

IEC 60529, (2001-02), *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*. International Electrotechnical Commission, Edition 2.1 Geneva.

IEC 61131-3, (2013), *Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages*. Ed. 3.0. International Electrotechnical Commission, 464 pp.

Isaya N. K. et al., (2009) "*Evaluation of Evapotranspiration-Based Irrigation Controllers in a Tropical Fruit Orchard in Southern Florida*". Reno, Nevada.

John, K. H. y M. Tiegelkamp, (2010) "*IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*" 2nd Edition, Germany, Springer, pp. 396.

Mazzarella, D.A. (1972), "*An inventory of specifications for wind-measuring instruments*" Bulletin of American Meteorological Society, pp. 860-871.

NEMA IA 2.1, (2005) "*Programmable Controllers – Part 1: General Information*". National Electrical Manufacturers Association.

Peña J.D., et al. (2003) "*Introducción a los autómatas programable*" Primera Edición, Editorial UOC.

Quevedo, N. A., (2005) "*La información meteorológica en México*". Reporte Noviembre para AGROASEMEX, Colegio de Postgraduados

Quintas I., (2000) "*Fuentes de datos meteorológicos*". Memorias del 5 Congreso de Meteorología de CFE, Celebrado el 23 y 24 de marzo. Museo Tecnológico de CFE, Cd. de México.

Tanner B.D., (1990) "*Remote Sensing Reviews*", Vol. 5 (1), United Kingdom, Harwood Academic GmbH, p. 73

Tanner B.D., (2001) *“Evolution of automated weather station technology through the 1980s and 1990s, In Automated Weather Stations for Applications in Agriculture and Water Resources Management: Current Use and Future Perspectives”*, K.D. Hubbard and M. Sivakumar, Eds. WMO publication (in press). High Plains Regional Climate Center, Nebraska, University of Nebraska – Lincoln, p.p. 3-5.

WMO, (1992) *Measurement of temperature and Humidity*. WMO-No. 759. Geneva, World Meteorological Organization.

WMO, (1998) *Technical Regulations*. Volume I. Geneva, World Meteorological Organization.

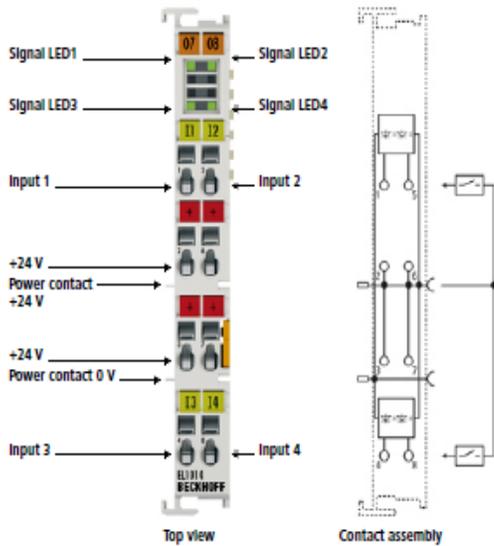
WMO, (2008) *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO-No.8. Ed. 2008. Geneva, World Meteorological Organization.

Xin, J. N.; Zazueta, F. S.; Smajstrla, A. G. and Wheaton, T. A. (1995). *“Real time expert system for citrus microirrigation management”*. Proceeding of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando Fl., USA. ASAE. p. 785–790.

ANEXOS

Digital Input

EL1014



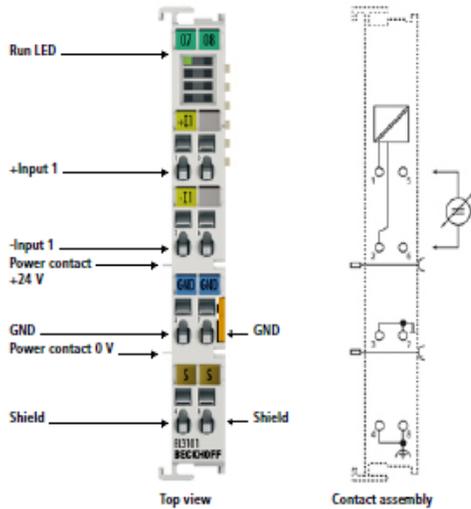
EL1014 | 4-channel digital input terminal 24 V DC, 10 μ s

The EL1014 digital input terminal acquires the binary control signals from the process level and transmits them, in an electrically isolated form, to the higher-level automation unit. Digital input terminals from the EL101x series have a 10 μ s input filter. The EtherCAT Terminals indicate their state via an LED.

Technical data	EL1014 ES1014
Connection technology	2-wire
Specification	EN 61131-2, type 1/3
Number of Inputs	4
Nominal voltage	24 V DC (-15 %/+20 %)
"0" signal voltage	-3...+5 V (EN 61131-2, type 3)
"1" signal voltage	15...30 V (EN 61131-2, type 3)
Input current	typ. 3 mA (EN 61131-2, type 3)
Input filter	typ. 10 μ s
Distributed clocks	-
Current consumption power contacts	typ. 2 mA + load
Current consumption E-bus	typ. 90 mA
Electrical Isolation	500 V (E-bus/field potential)
BIT width in the process Image	4 Inputs
Configuration	no address or configuration setting
Special features	standard Input terminals for 2-wire connection
Weight	approx. 50 g
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27/29
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Pluggable wiring	for all ESxxxx terminals
Approvals	CE, UL, Ex

Analog Input

EL3101, EL3102



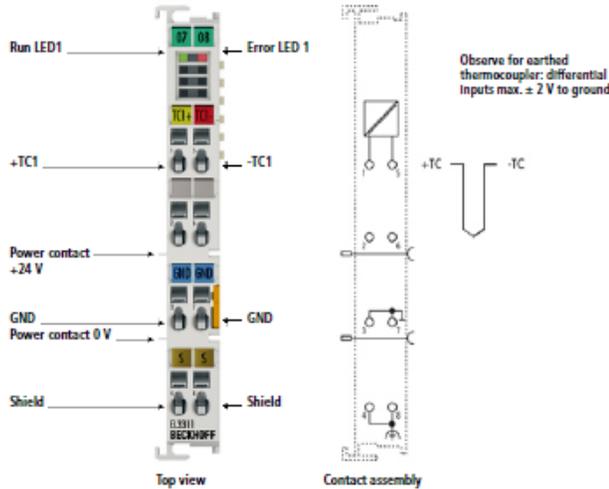
EL3101, EL3102 | 1-, 2-channel analog input terminals -10...+10 V, differential input, 16 bits

The EL3101 and EL3102 analog input terminals handle signals in the range between -10 and +10 V. The voltage is digitised to a resolution of 16 bits, and is transmitted, electrically isolated, to the higher-level automation device. The input channels of the EtherCAT Terminals have differential inputs and possess a common, internal ground potential. The signal state of the EtherCAT Terminals is indicated by light emitting diodes.

Technical data	EL3101 ES3101	EL3102 ES3102
Number of inputs	1 (differential)	2 (differential)
Power supply	via the E-bus	
Technology	differential input	
Signal voltage	-10...+10 V	
Oversampling factor	–	
Distributed clocks	yes	
Distributed clock precision	<< 1 µs	
Internal resistance	> 200 kΩ	
Input filter limit frequency	5 kHz	
Common-mode voltage U_{cm}	35 V max.	
Conversion time	– 40 µs	– 60 µs (fast mode – 40 µs)
Input signal bandwidth	–	
Resolution	16 bits (incl. sign)	
Measuring error	< ±0.3 % (relative to full scale value)	
Electrical isolation	500 V (E-bus/signal voltage)	
Current consumption power contacts	–	
Current consumption E-bus	typ. 130 mA	typ. 170 mA
Bit width in the process image	1 x 16 bit input, 1 x 8 bit status	2 x 16 bit input, 2 x 8 bit status
Special features	standard and compact process image, switchable measuring data representation, activatable FIR/IIR filters, limit value monitoring	
Weight	approx. 60 g	
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C	
Relative humidity	95 %, no condensation	
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27	
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4	
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable	
Pluggable wiring	for all ESxxxx terminals	

Analog Input

EL3311, EL3312



EL3311, EL3312 | 1-, 2-channel thermocouple input terminals with open-circuit recognition

The EL3311 and EL3312 analog input terminals allow thermocouples to be connected directly. The EtherCAT Terminals circuit can operate thermocouple sensors using the 2-wire technique. Linearisation over the full temperature range is realised with the aid of a microprocessor. The temperature range can be selected freely. The error LEDs indicate a broken wire. Compensation for the cold junction is made through an internal temperature measurement at the terminals. The EL3311/EL3312 can also be used for mV measurement.

Technical data	EL3311	EL3312
Number of inputs	1	2
Power supply	via the E-bus	
Thermocouple sensor types	types J, K, L, B, E, N, R, S, T, U (default setting type K), mV measurement	
Distributed clocks	-	
Input filter limit frequency	typ. 1 kHz; dependent on sensor length, conversion time, sensor type	
Connection method	2-wire	
Wiring fail indication	yes	
Conversion time	approx. 750 ms up to 20 ms, depending on configuration and filter setting, default: approx. 75 ms	approx. 1.2 s up to 20 ms, depending on configuration and filter setting, default: approx. 125 ms
Temperature range	in the range defined in each case for the sensor (default setting: type K; -200...+1,370 °C); voltage measurement: ±30 mV...±75 mV	
Resolution	0.1 °C per digit	
Measuring error	< ±0.3 % (relative to full scale value)	
Electrical isolation	500 V (E-bus/signal voltage)	
Current consumption power contacts	-	
Current consumption E-bus	200 mA	
Bit width in the process image	1 x 32 bit TC input, 1 x 16 bit TC output	2 x 32 bit TC input, 2 x 16 bit TC output
Special features	open-circuit recognition	
Weight	approx. 60 g	
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C	
Relative humidity	95 %, no condensation	
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27	
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4	
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable	
Approvals	CE, UL, Ex	

LI-200SA PYRANOMETER SENSOR

LI-COR, Inc. Toll Free: 1-800-447-3576 (U.S. & Canada) • Phone: 402-467-3576 • FAX: 402-467-2819 • E-mail: envsales@env.li.cor.com • Internet: <http://www.li.cor.com>

TOTAL SOLAR RADIATION

The LI-200SA Pyranometer is designed for field measurement of global solar radiation in agricultural, meteorological, and solar energy studies. In clear unobstructed daylight conditions, the LI-COR pyranometer compares favorably with first class thermopile type pyranometers (1, 2), but is priced at a fraction of the cost.

Patterned after the work of Kerr, Thurtell and Tanner (3), the LI-200SA features a silicon photovoltaic detector mounted in a fully cosine-corrected miniature head. Current output, which is directly proportional to solar radiation, is calibrated against an Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) under natural daylight conditions in units of watts per square meter (W m^{-2}). Under most conditions of natural daylight, the error is $< 5\%$.

The spectral response of the LI-200SA does not include the entire solar spectrum (Figure 1), so it must be used in the same lighting conditions as those under which it was calibrated. Therefore, the LI-200SA should only be used to measure unobstructed daylight. It should NOT be used under vegetation, artificial lights, in a greenhouse, or for reflected solar radiation.

LI-200SA Pyranometer Sensor



LI-200SA SPECIFICATIONS

Calibration: Calibrated against an Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) under natural daylight conditions. Typical error under these conditions is $\pm 5\%$.

Sensitivity: Typically $90 \mu\text{A}$ per 1000 W m^{-2} .

Linearity: Maximum deviation of 1% up to 3000 W m^{-2} .

Stability: $< \pm 2\%$ change over a 1 year period.

Response Time: $10 \mu\text{s}$.

Temperature Dependence: 0.15% per $^{\circ}\text{C}$ maximum.

Cosine Correction: Cosine corrected up to 80° angle of incidence.

Azimuth: $< \pm 1\%$ error over 360° at 45° elevation.

Tilt: No error induced from orientation.

Operating Temperature: -40 to 65°C .

Relative Humidity: 0 to 100% .

Detector: High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced).

Sensor Housing: Weatherproof anodized aluminum case with acrylic diffuser and stainless steel hardware.

Size: $2.38 \text{ Dia.} \times 2.54 \text{ cm H}$ ($0.94'' \times 1.0''$).

Weight: 28 g (1 oz).

Cable Length: 3.0 m (10 ft).

ORDERING INFORMATION

The LI-200SA Pyranometer Sensor cable terminates with a BNC connector that connects directly to the LI-250 Light Meter or LI-1400 DataLogger. The 2220 Millivolt Adapter should be ordered if the LI-200SA will be used with a strip chart recorder or datalogger that measures millivolts. The 2220 uses a 147 ohm precision resistor to convert the LI-200SA output from microamps to millivolts. The sensor can also be ordered with bare leads (without the connector) designated LI-200SZ. Both are available with 50 foot cables, LI-200SA-50 or LI-200SZ-50. The 2003S Mounting and Leveling Fixture is recommended for each sensor unless other provisions for mounting are made. Other accessories are described on the Accessory Sheet.

LI-200SA Pyranometer
 LI-200SZ Pyranometer
 LI-200SA-50 Pyranometer
 LI-200SZ-50 Pyranometer
 2220 Millivolt Adapter
 2003S Mounting and Leveling Fixture
 2222SB-50 Extension Cable
 2222SB-100 Extension Cable

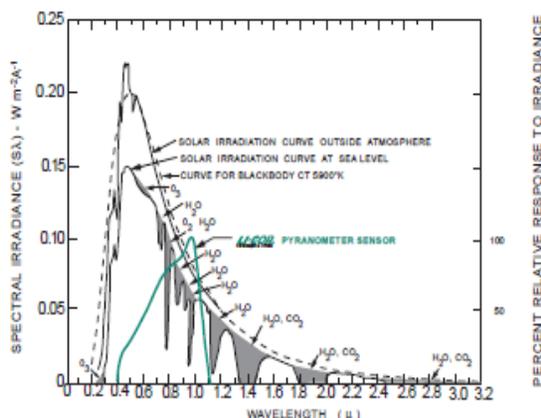


Figure 1. The LI-200SA Pyranometer spectral response is illustrated along with the energy distribution in the solar spectrum (3).

R.M. Young Wind Sentry

1. Introduction

The 03001 Wind Sentry Set is used to measure horizontal wind speed and direction.

Wind speed is measured with a three cup anemometer. Rotation of the cup wheel produces an AC sine wave voltage with frequency proportional to wind speed.

Vane position is transmitted by a 10K ohm potentiometer. With a precision excitation voltage applied, the output voltage is proportional to wind direction.

The 03101 Anemometer and 03301 Vane can be ordered as separate sensors, which are also covered in this manual. The R.M. Young Instruction Manual includes additional information on the operating principles, installation and maintenance of the sensor.

Lead length for the Wind Sentry is specified when the sensor is ordered. Table 1-1 gives the recommended lead length for mounting the sensor at the top of the tripod/tower with a 019ALU or CM200 series crossarm.

TABLE 1-1. Recommended Lead Lengths							
CM6	CM10	CM110	CM115	CM120	UT10	UT20	UT30
12'	15'	15'	20'	25'	15'	25'	38'

The 03001 Wind Sentry ships with:

- (1) 03001 Wind Sentry including
 - 03101 Anemometer
 - 03301 Vane
 - crossarm
 - band clamp (P/N 4919)
- (1) 10" x 3/4" unthreaded aluminium pipe (P/N 6332)
- (1) Allen wrench (P/N 5201)

The 03101 Anemometer ships with:

- (1) 03101 Anemometer
- (1) 10" x 3/4" threaded galvanized pipe (P/N 12243)
- (1) Allen wrench (P/N 5201)

The 03301 Vane ships with:

- (1) 03301 Vane
- (1) 10" x 3/4" threaded galvanized pipe (P/N 12243)
- (1) Allen wrench (P/N 5201)

2. Specifications

Wind Speed (Anemometer) Specifications

Range:	0 to 50 m s-1 (112 mph), gust survival 60 m s-1 (134 mph)
Sensor:	12 cm diameter cup wheel assembly, 40 mm diameter hemispherical cups
Accuracy:	±0.5 m s-1 (1.1 mph)
Turning Factor:	75 cm (2.5 ft)
Distance Constant (63% recovery):	2.3 m (7.5 ft)
Threshold:	0.5 m s-1 (1.1 mph)
Transducer:	Stationary coil, 1350 ohm nominal resistance
Transducer Output:	AC sine wave signal induced by rotating magnet on cup wheel shaft 100 mV peak-to-peak at 60 rpm; 6 V peak-to-peak at 3600 rpm
Output Frequency:	1 cycle per cup wheel revolution; 0.75 m s-1 per Hz
Cup Wheel Diameter:	12 cm (4.7 in)
Weight:	113 g (4 oz)

Wind Direction (Vane) Specifications

Range:	360° mechanical, 355° electrical (5° open)
Sensor:	Balanced vane, 16 cm turning radius
Accuracy:	±5°
Damping Ratio:	0.2
Delay Distance (50% recovery):	0.5 m (1.6 ft)
Threshold:	0.8 m s-1 (1.8 mph) at 10° displacement 1.8 m s-1 (4 mph) at 5° displacement
Transducer:	Precision conductive plastic potentiometer; 10 K ohm resistance; 0.5% linearity; life expectancy 20 million revolutions. Rated 1 watt at 40°C, 0 watts at 125°C.
Transducer Output:	Analog dc voltage proportional to wind direction angle with regulated excitation voltage supplied by the datalogger
Vane Length:	22 cm (8.7 in)
Vane Weight:	170 g (6 oz)

Wind Sentry Assembly Specifications

Operating Temperature:	-50° to +50°C assuming non-riming conditions
Overall Height:	32 cm (12.6 in)
Crossarm Length:	40 cm (15.7 in) between instruments (center-to-center)
Mounting Diameter:	26.7 mm (1.05 in), mounts on standard 3/4 in. pipe

TE525 Tipping Bucket Rain Gage

1. General Description

The TE525 is an adaptation of the standard Weather Bureau tipping bucket rain gage. Output is a switch closure for each bucket tip. Three models are available:

- TE525 6 in. Collector 0.01 in. tip
- TE525WS 8 in. Collector 0.01 in. tip
- TE525MM 9.6 in Collector 0.1 mm tip

A “-L” after the model number indicates that the cable length is specified when ordering.

The TE525 ships with:

- (1) Calibration sheet
- (2) Hose clamps from original mfg
- (1) Instruction manual
- (3) Screws from original mfg

The 260-953 Alter-Type Wind Screen can be used with the TE525 to minimize the effects of strong winds.

2. Specifications

Range of Indication:

Infinite in increments of tip (least count) of rainfall.

Rainfall per Tip

TE525	0.01 in.
TE525WS	0.01 in.
TE525MM	0.1 mm

Volume per Tip

TE525, TE525MM:	0.16 fl. oz./tip (4.73 ml/tip)
TE525WS:	0.28 fl. oz./tip (8.24 ml/tip)

Accuracy:

Rainfall Rate	TE525	TE525WS
Up to 1 in./hr	±1%	±1%
1 to 2 in./hr	+0, -3%	+0, -2.5%
2 to 3 in./hr	+0, -5%	+0, -3.5%

Rainfall Rate	TE525MM
Up to 10 mm/hr	±1%
10 to 20 mm/hr	+0, -3%
20 to 30 mm/hr	+0, -5%

Signal Output:

Momentary switch closure activated by tipping bucket mechanism.
Switch closure is approximately 135 ms.

Calibration/Cleaning Frequency:

Sensor is factory calibrated and should not require field calibration.
Debris filters, funnel, and bucket reservoirs should be kept clean. Section 6 describes field calibration check and factory calibration.

Environmental Limits:

Temperature: 0° to +50°C
Humidity: 0 to 100%

Physical Data:

Diameter: 6.25 in. overall

Height

TE525	9.5 in.
TE525WS	12 in.
TE525MM	12 in.

Weight: 2.5 pounds

Funnel: Gold anodized spun aluminum knife edge collector ring and funnel assembly.

Funnel Collector Diameter:

TE525	6.064 in.
TE525WS	8 in.
TE525MM	9.664 in.

Resolution: 1 tip

Mounting: Side bracket with clamps for pole or mast mounting

Material: Aluminum

Cable: 2-conductor, shielded cable, length must be specified when ordering.

NOTE

The black outer jacket of the cable is Santoprene® rubber. This compound was chosen for its resistance to temperature extremes, moisture, and UV degradation. However, this jacket will support combustion in air. It is rated as slow burning when tested according to U.L. 94 H.B. and will pass FMVSS302. Local fire codes may preclude its use inside buildings.

1% & 2% NIST, or STANDARD
2%, 3%, or 5%

5 Year
Warranty



Die cast metal housing and an extended five-year warranty



Exceptional accuracy, long-term stability... the best in the industry for serviceability. Available in 2%, 2% NIST, 3%, or 5% accuracies

Deluxe Duct and Outdoor Humidity Sensors

HD/HO Deluxe humidity transmitters provide an ideal solution for measuring relative humidity in all conditions. All devices are equipped with a thin-film capacitive sensor that is easily replaceable in the field. These sensors are calibrated to NIST standards, with certificates available.

The duct mounted HD is encased in a die cast metal housing for extra strength. The outdoor HO housing is completely weather proof – the most rugged sensor available.

All Deluxe models come with an extended five-year warranty.

APPLICATIONS

- Managing energy systems
- Controlling HVAC systems for improved comfort and energy savings
- Museums, schools, printing shops, and other locations requiring humidity control
- Facilitating compliance with ASHRAE standards for environmental control and indoor air quality

Sense humidity in harsh environments

- Thin-film polymer capacitive sensor element recovers from 100% saturation
- Fully interchangeable element to 1%, 2%, 3%, or 5% accuracy. Calibration-free!
- Replace element in the field...maintain accuracy and minimize downtime

Rugged industrial design

- Duct sensor element can be serviced without disturbing conduit
- Polarity insensitive, two-wire 4-20mA, or 3-wire 0-5/0-10VDC versions...flexible systems compatibility

Calibration-free interchangeable NIST traceable HS element

- HS element is microprocessor profiled with on-board nonvolatile memory
- Multi-point digital calibration to NIST standards
- NIST certification available
- Minimizes field calibration downtime

SPECIFICATIONS

HS Element	Digitally profiled thin-film capacitive (32 bit mathematics) U.S. Patent 5,844,138
Accuracy at 25°C from 10-80% RH**	±1%, 2%, 3%, or 5% (specify); Multi-point calibration, NIST traceable
Reset Rate*	24 hours
Stability	±1% @ 20°C (68°F) annually, for two years
Operating Humidity Range	0 to 100% RH (non-condensing)
Hysteresis	1.5% typical
Duct Only Temperature Effect	±0.1% RH/°C above or below 25°C (typical)
Outdoor Only Temperature Effect	Voltage Versions (0.0015x%RHx(T°C-25)) (%RHx0.0008xabs(T°C-25)) mA Versions (0.0013x%RHx(T°C-25))
Analog Output	4-20mA version: 2-wire, polarity insensitive, (clipped and capped) 0-5V/0-10V versions: 3-wire, observe polarity
Scaling	0-100% RH
Operating Temperature Range	-40° to 50°C (-40° to 122°F)
Input Power	4-20mA version: loop powered 12-30VDC only, 30mA max. 0-5V/0-10V versions: 12-30VDC/24VAC, 15mA max.
Optional Temperature Transmitter Output	Digital, 4-20mA (clipped and capped) or 0-5V/0-10V output; accuracy ±0.5°C (±1°F) typical
EMC Conformance – CE Option	EN 50081-1, EN 50082-1, EN 61000-4-4, EN 61000-4-5, EN 61000-4-3, EN 50204, EN 61000-4-6

*Reset Rate is the time required to recover to 50% RH after exposure to 90% RH for 24 hours.

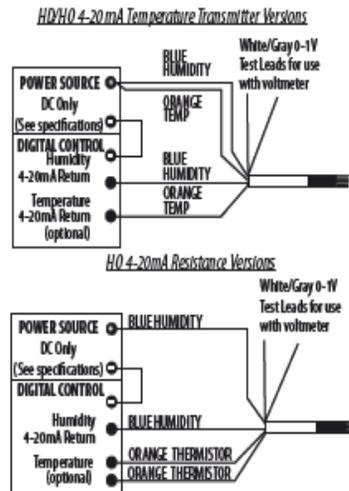
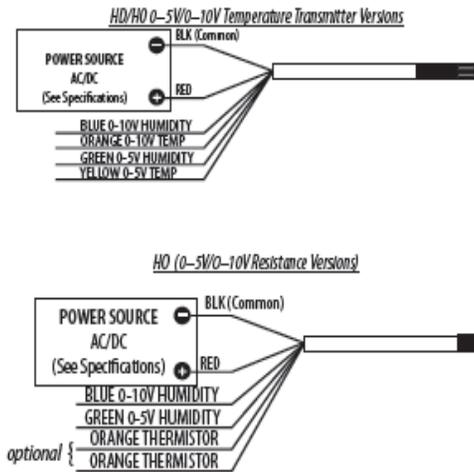
**Specified accuracy with 24VDC supplied power with rising humidity. RTD Thermistors are not compensated for internal heating of product.

One side of transformer secondary is connected to signal common, so an isolation transformer or dedicated power supply may be required.

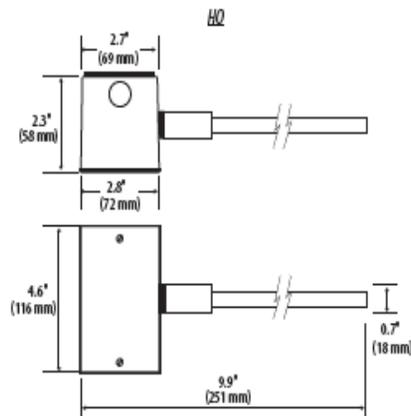
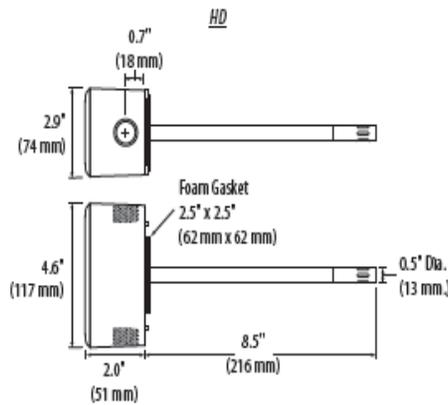
Shielded cabling is required for conformance to EMC standards. Technical information is available from factory upon request or is available on our website: www.veris.com.



APPLICATION/WIRING DIAGRAMS



DIMENSIONAL DRAWINGS



ORDERING INFORMATION Available

Endure	Accuracy	NST	Output	US or EU	Temp.
H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D = RH Duct O = Outdoor	1 = 1% 2 = 2% 3 = 3% 5 = 5% (1% not available on HO)	N = NIST 1% & 2% only X = None 2%, 3%, 5% only	M = 4-20mA V = 0-5V/0-10VDC	S = Standard C = CE	T = Temp X = No Temp (Stop here)

Humidity Transmitter Combination

Sensor Type	Range	OPTION Temp Cert
A <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
= Transmitter	1 = -40° to 50°C (-40° to 122°F) 2 = 0° to 50°C (32° to 122°F)	Blank = None 1 = 1pt Cal 2 = 2pt Cal

Humidity RTD/Thermistor Combination

Sensor Type	OPTION Temp Cert
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B = 100R Platinum, RTD C = 1k Platinum, RTD D = 10k T2, Thermistor E = 2.2k, Thermistor F = 3k, Thermistor G = 10k CPC, Thermistor H = 10k T3, Thermistor J = 10k Dale, Thermistor K = 10k with 11k shunt, Thermistor M = 20k NTC, Thermistor N = 1800 ohm TAC, Thermistor Q = 1uA/°C, Lin temp R = 10k US, Thermistor S = 10k 3A 221, Thermistor T = 100k, Thermistor	Blank = None 1 = 1pt Cal 2 = 2pt Cal

ACCESSORIES

Water guard and other accessories...see page 218.
Replacement HS humidity element...see page 76.

Example: (No Temp)

H	O	2	X	M	S	X
---	---	---	---	---	---	---

Example: (With Temp)

H	D	2	N	V	C	T	C	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---

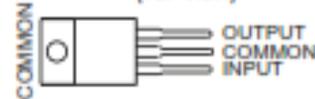
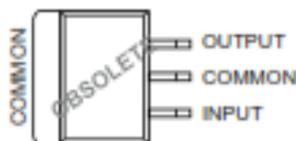
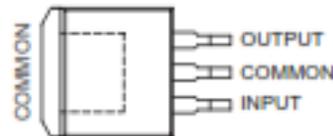
FIXED POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

 Check for Samples: [μA7800 SERIES](#)

FEATURES

- 3-Terminal Regulators
- Available in fixed 5V/8V/10V/12V/15V/24V options
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation

**KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)**

**KCS OR KCT (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)**

**KTE (PowerFLEX™) PACKAGE
(TOP VIEW)**

**KTT (TO-263) PACKAGE
(TOP VIEW)**


DESCRIPTION/ORDERING INFORMATION

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. PowerFLEX, PowerPAD are trademarks of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1976–2012, Texas Instruments Incorporated

μA7805 Electrical Characteristics

 at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J ⁽¹⁾	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$			1	50	
Ripple rejection ⁽²⁾	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	62	78		dB
	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz (KCT)}$			68		
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			5	50	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.017		Ω	
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1.1		mV/°C	
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	40		μV	
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2		V	
Bias current		25°C	4.2	8	mA	
Bias current change	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	750		mA	
Peak output current		25°C	2.2		A	

- (1) Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.
- (2) This parameter is validated by design and verified during product characterization. It is not tested in production.

μA7808 Electrical Characteristics

 at specified virtual junction temperature, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J ⁽¹⁾	μA7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 10.5\text{ V to }23\text{ V}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$			2	80	
Ripple rejection ⁽²⁾	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	72		dB
	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz (KCT)}$			62		
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.016		Ω	
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-0.8		mV/°C	
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	52		μV	
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2		V	
Bias current		25°C	4.3	8	mA	
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	450		mA	

- (1) Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.
- (2) This parameter is validated by design and verified during product characterization. It is not tested in production.

TABLA 3.1
TENSIONES MÁXIMAS DEL VAPOR DE AGUA

°C	DECIMOS DE GRADO									
	0.0 mm	0.1 mm	0.2 mm	0.3 Mm	0.4 Mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm
-29	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30
-28	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33
-27	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36
-26	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40
-25	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44
-24	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49
-23	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.54
-22	0.65	0.64	0.64	0.63	0.62	0.62	0.61	0.61	0.30	0.60
-21	0.71	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65
-20	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.74	0.73	0.72
-19	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79
-18	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.88
-17	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96
-16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06
-15	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.17
-14	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27
-13	1.51	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39
-12	1.65	1.64	1.62	1.61	1.59	1.58	1.56	1.55	1.53	1.52
-11	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.73	1.71	1.70	1.68	1.67
-10	1.97	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82
-9	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.06	2.05	2.03	2.01	1.99
-8	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.21	2.19	2.17
-7	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47	2.45	2.43	2.41	2.39	2.37
-6	2.79	2.76	2.74	2.72	2.69	2.67	2.65	2.62	2.60	2.58
-5	3.03	3.01	2.98	2.96	2.93	2.91	2.88	2.86	2.83	2.81
-4	3.30	3.27	3.24	3.22	3.19	3.16	3.14	3.11	3.08	3.06
-3	3.59	3.56	3.53	3.50	3.47	3.44	3.41	3.38	3.35	3.33
-2	3.89	3.86	3.83	3.80	3.77	3.74	2.71	3.68	3.65	3.62
-1	4.22	4.19	4.16	4.12	4.09	4.06	4.02	3.99	3.96	3.93
-0	4.58	4.54	4.51	4.47	4.43	4.40	4.36	4.33	4.29	4.26
0	4.58	4.61	4.65	4.68	4.71	4.76	4.78	4.82	4.85	4.89
1	4.92	4.96	4.99	5.03	5.06	5.10	5.14	5.17	5.21	5.25
2	5.29	5.32	5.36	5.40	5.44	5.48	5.52	5.56	5.60	5.64
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.84	5.88	5.92	5.96	6.00	6.05
4	6.09	6.13	6.17	6.22	6.26	6.31	6.35	6.39	6.44	6.48
5	6.53	6.57	6.62	6.67	6.71	6.76	6.81	5.85	6.90	6.95
6	7.00	7.05	7.09	7.14	7.19	7.24	7.29	7.34	7.39	7.44
7	7.49	7.55	7.60	7.65	7.70	7.76	7.81	7.86	7.91	7.97
8	8.02	8.08	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.41	8.47	8.53
9	8.58	8.64	8.70	8.76	8.82	8.88	8.94	9.00	9.06	9.12

TABLA 3.1
TENSIONES MÁXIMAS DEL VAPOR DE AGUA
(CONTINUACION)

°C	DECIMOS DE GRADO									
	0.0 mm	0.1 Mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm
10	9.18	9.24	9.30	9.36	9.43	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75
11	9.81	9.88	9.94	10.01	10.07	10.14	10.21	10.27	10.34	10.41
12	10.48	10.55	10.62	10.69	10.76	10.83	10.90	10.97	11.04	11.11
13	11.19	11.26	11.33	11.41	11.48	11.56	11.63	11.71	11.78	11.86
14	11.94	12.01	12.09	12.17	12.25	12.33	12.41	12.49	12.57	12.65
15	12.73	12.81	12.89	12.97	13.06	13.14	13.23	13.31	13.39	13.48
16	13.57	13.65	13.74	13.83	13.91	14.00	14.09	14.18	14.27	14.36
17	14.45	14.54	14.63	14.72	14.82	14.91	15.00	15.10	15.19	15.29
18	15.38	15.48	15.48	15.67	15.77	15.87	15.97	16.07	16.17	16.27
19	16.37	16.47	16.57	16.67	16.78	16.88	16.98	17.09	17.19	17.30
20	17.41	17.51	17.62	17.73	17.84	17.95	18.06	18.17	18.28	18.39
21	18.50	18.62	18.73	18.84	18.96	19.07	19.19	19.31	19.42	19.54
22	19.66	19.78	19.90	20.02	20.14	20.26	20.39	20.51	20.63	20.76
23	20.88	21.01	21.14	21.26	21.39	21.52	21.65	21.78	21.91	22.05
24	22.18	22.31	22.45	22.58	22.72	22.85	22.99	23.13	23.27	23.41
25	23.55	23.69	23.83	23.97	24.11	24.26	24.40	24.55	24.69	24.84
26	24.99	25.14	25.28	25.43	25.58	25.74	25.89	26.04	26.20	26.35
27	26.51	26.66	26.82	26.98	27.13	27.29	27.45	27.62	27.78	27.94
28	28.10	28.27	28.43	28.60	28.77	28.93	29.10	29.27	29.44	29.61
29	29.79	29.96	30.13	30.31	30.48	30.66	30.84	31.02	31.19	31.37
30	31.56	31.74	31.92	32.10	32.29	32.47	32.66	32.85	33.04	33.23
31	33.42	33.61	33.80	33.99	34.19	34.38	34.58	34.78	34.97	35.17
32	35.37	35.57	35.78	35.98	36.18	36.39	36.59	36.80	37.01	37.22
33	37.43	37.64	37.85	38.06	38.28	38.49	38.71	38.93	39.15	39.37
34	39.59	39.81	40.03	40.25	40.48	40.71	40.93	41.16	41.39	41.62
35	41.85	42.09	42.32	42.55	42.79	43.03	43.27	43.51	43.75	43.99
36	44.23	44.48	44.72	44.97	45.22	45.46	45.71	45.97	46.22	46.47
37	46.73	46.99	47.24	47.50	47.76	48.02	48.28	48.55	48.81	49.08
38	49.35	49.61	49.88	50.16	50.43	50.70	50.98	51.25	51.53	51.81
39	52.09	52.37	52.65	52.94	53.22	53.51	53.80	54.09	54.38	54.67
40	54.97	55.26	55.56	55.85	56.15	56.45	56.76	57.06	57.36	57.67
41	57.98	58.29	58.60	58.91	59.22	59.51	59.85	60.17	60.49	60.81
42	61.13	61.46	61.78	62.11	62.45	62.76	63.10	63.43	63.76	64.10
43	64.43	64.77	65.11	65.45	65.80	66.14	66.49	66.84	67.19	67.54
44	67.89	68.24	68.60	68.96	69.32	69.68	70.04	70.40	70.77	71.15
45	71.50	71.87	72.25	72.62	72.99	73.37	73.75	74.13	74.51	74.90
46	75.28	75.67	76.06	76.45	76.84	77.21	77.63	78.03	78.43	78.83
47	79.23	79.64	80.04	80.45	80.86	81.27	81.69	82.10	82.52	82.94
48	83.36	83.78	84.21	84.63	85.06	85.49	85.92	86.36	86.79	87.23
49	87.67	88.11	88.65	89.00	89.45	89.90	90.35	90.80	91.25	91.71

TABLA 3.2
 DETERMINACION DE LA TENSION DEL VAPOR DEL AGUA
 DEL AIRE DEL PSICROMETRO
 (PRESIÓN 750 mm.)
 PSICRÓMETROS VENTILADOS

t-t'	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	
0°	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.00
1	0.50	0.54	0.59	0.64	0.69	0.74	0.79	0.84	0.89	0.94	0.07
2	0.99	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24	1.29	1.84	1.39	1.44	0.13
3	1.49	1.53	1.55	1.63	1.68	1.73	1.78	1.83	1.88	1.93	0.20
4	1.98	2.03	2.08	2.13	2.18	2.23	2.28	2.33	2.38	2.43	0.26
5	2.48	2.52	2.57	2.62	2.67	2.72	2.77	2.82	2.87	2.92	0.33
6	2.97	3.02	3.07	3.12	3.17	3.22	3.27	3.32	3.37	3.42	0.40
7	3.47	3.51	3.56	3.61	3.66	3.71	3.76	3.81	3.86	3.91	0.46
8	3.96	4.01	4.06	4.11	4.16	4.21	4.26	4.31	4.36	4.41	0.53
9	4.46	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70	4.75	4.80	4.85	4.90	0.59
10	4.95	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.35	5.40	0.66
11	5.45	5.49	5.54	5.59	5.64	5.69	5.74	5.79	5.84	5.89	0.73
12	5.94	5.99	6.04	6.09	6.14	6.19	6.24	6.29	6.34	6.39	0.79
13	6.44	6.48	6.53	6.58	6.63	6.68	6.73	6.78	6.83	6.88	0.86
14	6.93	6.98	7.03	7.08	7.13	7.18	7.23	7.28	7.33	7.38	0.92
15	7.43	7.47	7.52	7.57	7.62	7.67	7.72	7.77	7.82	7.87	0.99
16	7.92	7.97	8.02	8.07	8.12	8.17	8.22	8.27	8.32	8.37	1.06
17	8.42	8.46	8.51	8.56	8.61	8.66	8.71	8.76	8.81	8.86	1.12
18	8.91	8.96	9.01	9.06	9.11	9.16	9.21	9.26	9.31	9.36	1.19
19	9.41	9.45	9.50	9.55	9.60	9.65	9.70	9.75	9.80	9.85	1.25

CORRECCION POR CADA 100 mm DE DIFERENCIA DE PRESION EXCLUSIVO
 PARA CADA OBSERVATORIO

VOCABULARIO

PLC	Controlador Lógico Programable
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
cd	Corriente Directa
ca	Corriente Alterna
TSM	TwinCAT System Manager
TPC	TwinCAT Plc Control
OMM	Organización Meteorológica Mundial