UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

"Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control distribuido a través de la nube, de micro-unidades de regulación de humedad y temperatura para invernaderos"

Autor:

Miguel Iván Gómez Gavilanes

Tutor:

MSc. Gary Ampuño Avilés

Guayaquil – Ecuador

2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El contenido del presente documento, las ideas, análisis, comentarios y desarrollo técnico y lógico son de mi exclusiva responsabilidad, correspondiéndole a su vez el patrimonio intelectual a la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Abril de 2015

_____

Miguel Iván Gómez Gavilanes

C.I. #090911749-1

DEDICATORIA

A Dios, por darme las fuerzas y la sabiduría para caminar a lo largo de la vida. Siempre he sentido tu mano amorosa Padre mío. Estás en mí siempre.

A mi amada esposa, por su fortaleza de carácter y templanza. Los días contigo han sido llenos de desafíos y superación. No hay expectativas bajas contigo a mi lado mi amor.

A mi hija Doménica, para que las desavenencias de la vida jamás te venzan. Para que siempre mantengas esa dulzura que llena a todos a tu alrededor de paz.

A mi hija Ornella, para que Dios me dé la sabiduría y el carácter para guiarte a lo largo de tu vida que acaba de empezar. Para que seas la luz que se abre paso entre las tinieblas. Para que seas una verdadera hija de Dios.

A mi madre, por todo el amor que puso durante ms años de juventud. Tu paciencia me dio todas las posibilidades de encontrar el camino que buscaba por tantos años.

A mi Fanicita, porque Dios me ha dado la oportunidad de cerrar este círculo que tanto añoraba ver dispuesto. Esto es especialmente para Usted mamita.

A mi hermana Yanina y mi tía Tere, quienes siempre prestaron sus oídos en los momentos más difíciles de mi vida. Gracias por su cariño y comprensión.

Miguel

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial a la Universidad Politécnica Salesiana, por mantenerse siempre interesados en que cerremos nuestro ciclo de formación superior. Por sus reiterados esfuerzos por ver esta meta concretada. Por su dedicación a una formación integral académica y en valores de los jóvenes de nuestro país.

A mi tutor Gary Ampuño, por su oportuno consejo y guía, por su paciencia en este proceso y su confianza y motivación. Gracias por toda la colaboración prestada durante este proceso.

A todas las personas que de alguna forma intervinieron directa o indirectamente en el cumplimiento de este cometido. Les tengo una inmensa gratitud por sus esfuerzos y su apoyo.

Índice

Introducción. 1
Capítulo I. – El Problema 2
1.1. Planteamiento del problema 2
1.2. Delimitación 3
1.3. Objetivos 3
1.3.1. Objetivo general 3
1.3.2. Objetivos específicos 3
1.4. Justificación 4
1.5. Variables e indicadores 5
1.6. Metodología 5
1.6.1. Métodos 5
1.6.2. Técnicas 5
1.7. Población y muestra 6
1.8. Descripción de la propuesta 6
1.8.1. Beneficiarios 7
1.8.2. Impacto 8
Capítulo II. –Marco teórico 9
2.1. Descripción y análisis de proceso 9
2.1.1. Tipos de invernadero. 9
2.1.2. Parámetros fundamentales y control del clima en invernaderos. 12
2.2. Teoría de sistemas de control. 13
2.2.1. Sistemas de control distribuido. 16
2.2.2. Canales de comunicación. 18
2.2.3. El modelo OSI. 24
2.2.4. Aplicaciones portables. 27
2.3. Lógica difusa y controles pseudo-difusos. 28
2.3.1. Conjuntos difusos. 30
2.3.2. Funciones de pertenencia. 32
Capítulo III. - Diseño y Análisis de Propuesta Técnica 35
3.1. Diseño de Infraestructura de red 35
3.2. Diseño de unidades de control de humedad y temperatura basadas en módulos de micro-automatización S7-1212C. 36

3.2.1. Hardware y equipos de control. 36
3.2.2. Siemens Simatic Tia Portal V11. 45
3.3. Diseño de interface de monitoreo y control Web 51
3.3.1. Ignition de Inductive Automation. 51
3.3.2. Configuración de sistema de base de datos y tablas sobre plataforma MSSQL Server 2005..... 75
3.4. Diseño y construcción de estructuras de invernaderos..... 85
3.5. Pruebas de monitoreo y registro de datos históricos..... 92
3.5.1. Interface de sistema de control SCADA. 92
3.5.2. Pruebas de aplicación de control..... 95
Capítulo IV.- Análisis de pruebas y resultados 98
4.1. Pruebas de enlace por paquetes de mensajería simple ICMP..... 98
4.2. Pruebas de comunicación y monitoreo de paquetes tipo Modbus TCP. 100
4.3. Determinación de latencia y configuraciones mínimas para entrega confiable de paquetes a través de la nube 105
Conclusiones..... 107
Recomendaciones 108
Cronograma de actividades. 109
Presupuesto de proyecto..... 110
Bibliografía..... 111
Anexos..... 115
Anexo A. Datos de prueba de proceso..... 116
Anexo B. Catálogos técnicos..... 122

Índice de Tablas

Tabla 1: Cronograma de actividades durante proceso de titulación 109
Tabla 2: Lista de materiales y costos de insumos de implementación 110

Índice de figuras

Figura 1. Elementos de control y comunicaciones para Invernaderos..... 6
Figura 2. Invernadero tipo túnel. 10
Figura 3. Invernadero tipo capilla. 10
Figura 4. Invernadero tipo cercha. 11
Figura 5. Invernadero tipo diente de sierra. 11
Figura 6. Estructura elemental de un sistema de control. 14
Figura 7. Sistema de control automático en lazo cerrado. 14
Figura 8. Sistema básico de control Panel HMI – PLC. 15
Figura 9. Sistema de control Distribuido. 17
Figura 10. CSMA/CD. 19
Figura 11. Codificación Manchester. 20
Figura 12. Datagrama Ethernet. 21
Figura 13. Enrutamiento dinámico. 23
Figura 14. Transmisión de paquetes en protocolo TCP. 24
Figura 15. El modelo OSI y las funciones de las capas. 25
Figura 16. Segmentación de datos a través de las capas del modelo OSI. 26
Figura 17. Estados de ambiente en función a la temperatura. 30
Figura 18. Conjuntos difusos para estados de ambiente. 31
Figura 19. Modelo difuso de estado de ambiente en función a temperatura. 31
Figura 20. Función de pertenencia de altura de una persona al conjunto difuso de personas altas. 32
Figura 21. Tipos de funciones de pertenencia. 33
Figura 22. Topología de monitoreo y control para sistemas de Invernadero. 35
Figura 23. Motor de pasos bipolar. 37
Figura 24. Esquema de bobinas de motor de pasos bipolar. 38
Figura 25. Circuito tipo puente H dual conmutando dos bobinas. 38
Figura 26. Modulo controlador para motores DC y de paso L298N. 39
Figura 27. Pines y terminales del módulo L298N. 40
Figura 28. Módulo L298N conectado a motor de pasos bipolar y controlador externo. 40
Figura 29. Bloque para servidor Modbus TCP en PLC S7-1200. 42

Figura 30. Bloque para servidor Modbus TCP parametrizado. 44
Figura 31. Nuevo proyecto en TIA Portal V11. 46
Figura 32. Primeros pasos en TIA Portal V11. 46
Figura 33. Nuevo dispositivo en TIA Portal V11. 47
Figura 34. Configuración de hardware para dispositivo. 48
Figura 35. Interface de programación de bloques lógicos de control. 49
Figura 36. Funciones difusas para parámetros medidos en proceso. 49
Figura 37. Procesamiento de funciones Fuzzy en PLC. 50
Figura 38. Entorno de gestión de aplicaciones de Ignition 52
Figura 39. Pantalla de login de Ignition. 53
Figura 40. Dispositivos conectados a la plataforma. 53
Figura 41. Drivers de conexión disponibles en Ignition. 54
Figura 42. Parámetros de conexión para driver Modbus TCP. 55
Figura 43. Conexiones de bases de datos. 56
Figura 44. Opciones de plataformas de manejo de bases de datos. 57
Figura 45. Menú de configuración de parámetros para MSSQL Server. 58
Figura 46. Login a Diseñador Ignition. 59
Figura 47. Apertura de proyectos en Diseñador. 60
Figura 48. Opción de nuevo proyecto en Diseñador. 61
Figura 49. Configuración de nuevo proyecto en diseñador. 62
Figura 50. Interface de Diseñador Ignition. 63
Figura 51. Inserción de objetos en ventana de imagen. 64
Figura 52. Tags y niveles de jerarquización de rutas. 65
Figura 53. Vista de propiedades generales de un tag. 65
Figura 54. Vista de configuración de parámetros históricos de un tag. 66
Figura 55. Asistente de configuración de control de curvas “Easy Chart”. 67
Figura 56. Control de curvas “Easy Chart” configurado para tiempo real. 68
Figura 57. Dinamización de objeto a través del Editor de Propiedades. 68
Figura 58. Grabar y publicar proyecto. 69
Figura 59. Proyecto publicado en Gateway. 69
Figura 60. Ejecución de aplicación cliente en modo ventana. 70
Figura 61. Configuración de propiedades generales del proyecto. 71
Figura 62. Opciones de ejecución de cliente tras configuración en Diseñador. 71

Figura 63. Ejecución de aplicación cliente en modo pantalla completa. 72
Figura 64. Modificación en interface y publicación de cambio. 73
Figura 65. Solicitud automática de actualización en cliente. 74
Figura 66. Cliente actualizado tras modificación en interface. 74
Figura 67. Acceso a MSSQL Server 2005 Management Studio. 77
Figura 68. Entorno de MSSQL Server 2005 Management Studio. 78
Figura 69. Opciones de servidor en MSSQL Server 2005 Management Studio..... 78
Figura 70. Opciones de bases de datos en MSSQL Server 2005 Management Studio. 79
Figura 71. Creación de nueva base de datos en Management Studio..... 80
Figura 72. Menú base de datos en MSSQL Server 2005 Management Studio..... 80
Figura 73. Creación de nueva tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio. . 81
Figura 74. Creación de campos en nueva tabla en Management Studio. 82
Figura 75. Comando abrir tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio..... 82
Figura 76. Modificación de datos en tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio. 83
Figura 77. Tabla con datos modificados en MSSQL Server 2005 Management Studio. 84
Figura 78. Consulta a tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio..... 85
Figura 79. Estructura de soporte para invernadero. 86
Figura 80. Estructura real de soporte para modelo a escala de invernadero. 86
Figura 81. Invernadero con láminas de vidrio. 87
Figura 82. Instalación de láminas de vidrio en modelo a escala de invernadero. 87
Figura 83. Invernadero con elementos de control. 88
Figura 84. Ajuste de brazo de dámper de regulación de entrada de aire. 89
Figura 85. Instalación de equipos en modelo a escala de invernadero. 89
Figura 86. Modelo a escala de invernadero terminado. 90
Figura 87. Vista de dámper de regulación de entrada de aire y motor de paso..... 90
Figura 88. Vista de ventilador de extracción de aire en modelo de invernadero. 91
Figura89. Tablero de control para invernadero. 91
Figura 90. Sistema SCADA, interface de monitoreo de proceso. 92
Figura 91. Sistema SCADA, interface de ajuste de proceso. 93
Figura 92. Sistema SCADA, interface de histórico de curvas. 94

Figura 93. Sistema SCADA, interface de bitácora y novedades. 95
Figura 94. Conjunto óptimo de sistema pseudo difuso..... 95
Figura 95. Vista de exterior de invernadero durante pruebas de control 96
Figura 96. Vista de elementos de control y proceso al interior de invernadero 96
Figura 97. Curvas registradas durante pruebas de proceso de sistema de control..... 97
Figura 98. Prueba de entrega de paquetes ICMP a través del Internet. 99
Figura 99. Evidencia de direcciones IP en distintas redes. 100
Figura 100. Transacciones TCP entre SCADA en la nube y PLC remoto. 101
Figura 101. Retransmisión de trama TCP tras fallo de acuse de recepción. 102
Figura 102. Esquema de ventanas deslizantes para transacciones TCP entre SCADA y PLC. 103
Figura 103. Registros de transacciones TCP con tiempo transcurrido desde inicio de ciclo de captura de tramas. 104
Figura 104. Gráfico de tráfico de Bytes desde inicio de ciclo de captura de transacciones TCP entre SCADA y PLC remoto. 105

ABSTRACT

AÑO	ALUMNO/S	DIRECTOR DE TESIS	TEMA TESIS
2015	MIGUEL IVÁN GÓMEZ GAVILANES	MSC. GARY AMPUÑO	"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DISTRIBUIDO A TRAVÉS DE LA NUBE, DE MICRO-UNIDADES DE REGULACIÓN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARA INVERNADEROS"

La presente tesis: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DISTRIBUIDO A TRAVÉS DE LA NUBE, DE MICRO-UNIDADES DE REGULACIÓN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARA INVERNADEROS"**, comprende la implementación de un sistema de control de parámetros de humedad y temperatura en un microclima al interior de un modelo a escala de un invernadero. Para ello se ha hecho uso de técnicas de control basadas en sistemas de conjuntos difusos, infiriendo a partir de ellos reglas de control que regularán las condiciones climáticas al interior del vivero.

El objetivo fundamental consiste en evaluar un sistema de control centralizado en la nube, cuyo costo de inversión es considerablemente bajo, de manera que pueda constituir una herramienta al alcance de pequeños y medianos agricultores, estimulando así el uso de técnicas modernas de cultivo para proteger su inversión y por tanto hacer sus prácticas más redituables de manera sostenible, en concordancia con el plan del Buen Vivir impulsado por el Gobierno Nacional del Ecuador.

Se demuestra la confiabilidad de este sistema de control mediante herramientas de rastreo de datos para observar que la información llega íntegra y de forma oportuna a través de una conexión de Internet, de manera que su rendimiento no diste en gran medida al de una aplicación instalada en el sitio del proceso.

PALABRAS CLAVE

Control distribuido, comunicaciones en la Nube, control de humedad y temperatura, invernadero

ABSTRACT

YEAR	STUDENT/S	THESIS DIRECTOR	THESIS TOPIC
2015	MIGUEL IVAN GOMEZ GAVILANES	MSC. GARY AMPUÑO	"DESIGN AND IMPLMENTATION OF A MONITORING AND DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM THROUGH THE CLOUD, OF TEMPERATURE AND HUMIDITY REGULATION MICRO-UNITS FOR GREENHOUSES"

The current thesis: "**DESIGN AND IMPLMENTATION OF A MONITORING AND DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM THROUGH THE CLOUD, OF TEMPERATURE AND HUMIDITY REGULATION MICRO-UNITS FOR GREENHOUSES"** is about the implementation of a system that controls parameters of humidity and temperature in a microclimate within a scale-size model of a greenhouse. Fuzzy set system based techniques have been used for this purpose, inferring upon them the control rules that will regulate the climate conditions within the greenhouse.

The main objective of this proposal is to evaluate a cloud centralized control system, whose investment cost is considerably low, so that it could become a tool that small and medium scale farmers can afford to use, incentivizing the use of modern crop techniques in order to protect their investment, therefore making their practices more profitable in a sustainable way, in accordance with Well Being plan promoted by the National Government of Ecuador.

The reliability of this system is proven with the use of data tracing tools in order to observe that the information is delivered complete and in the proper time through an Internet connection, so that its performance would not largely differ from the one of an application installed within the premises of the process.

KEY WORDS

Distributed control, communications through the Cloud, humidity and temperature control, greenhouse

Introducción.

El presente trabajo trata sobre la integración de múltiples tecnologías para la optimización del proceso de cultivos dentro de invernaderos, mediante la regulación de parámetros característicos del proceso, como son la humedad y la temperatura. Los recursos tecnológicos que se busca utilizar como herramientas para la gestión de dicho proceso son elementos de uso diario, de manera que se pueda monitorearlo sin requerimientos especiales en términos de equipos y hardware. Para ello se busca establecer enlaces con un servidor de aplicaciones en la nube, de manera que los datos del proceso siempre estén disponibles para todos los posibles clientes autorizados.

Capítulo I. – El Problema

1.1. Planteamiento del problema

El comercio de productos agrícolas en mercados internacionales está sujeto a una serie de normativas y controles de calidad que aseguren la inocuidad y condiciones de desarrollo normalizadas para cada tipo de cultivo. Así, mediante mecanismos de rastreo de condiciones climáticas y controles microbiológicos ante los cuales han sido expuestos el producto, se puede obtener su certificado de trazabilidad, el cual es su pasaporte a mercados foráneos.

El registro de los parámetros bajo los cuales se ha desarrollado el producto facilita a los potenciales compradores verificar la ejecución de procesos óptimos en su manufactura, lo que permite comercializar dichos productos de forma más sencilla a mercados extranjeros, estimulando así una relación de confianza mediante la garantía del adecuado manejo y calidad del producto. Tal es la importancia de este cuidado, que han existido iniciativas de gobiernos extranjeros para financiar en gran parte ciclos de capacitación para nuestros agricultores, de manera que el producto se encuentre dentro de sus expectativas. En Noviembre de 2011, el Gobierno de Navarra subvencionó al 80% una capacitación de técnicas de cultivo orgánico a caficultores en Loja. Una de las técnicas que dieron asesoría a nuestros caficultores, Uxue Gabari (s.f.), habló de la importancia de esto, indicando que “Es importante que conozcan cómo cumplir con la trazabilidad, que significa seguir el rastro de un alimento. En el caso del café, desde su siembra, pues es un requerimiento del consumidor mundial”.

Las mayores dificultades que enfrentan estos programas, pese a los esfuerzos del Gobierno Nacional por establecer sistemas de trazabilidad para fomentar una producción y comercialización normalizada y sostenible, son el nivel de formación muy elemental de los agricultores y la falta de herramientas de medición y análisis del proceso de cultivo de los productos agrícolas. Sin ambos componentes, no es posible demostrar que los productos han sido manejados en condiciones óptimas.

La implementación de estos sistemas se ve fuertemente limitada por los rubros de inversión de una infraestructura de tecnologías de información, monitoreo

y control. Los equipos físicos (hardware), las redes y personal para soporte de dichos sistemas lo hacen costoso para la agroindustria en nuestro país.

Por ello, se considera la implementación de un sistema de control menos costoso que las plataformas industriales dedicadas, aprovechando economías de escala, que resulten en una solución compacta y específica para las necesidades planteadas, apalancado en sistemas dedicados a infraestructura de tecnologías de información, a los cuales se accede mediante un esquema de computación en la nube.

1.2. Delimitación

Para la implementación se construyó en la ciudad de Guayaquil un entorno acondicionado a las necesidades del proyecto pretendiendo representar distancias geográficas, infraestructura del vivero, utilizando mini plantas con condiciones de humedad y temperatura, simulando las características del área objetivo, con dos nodos de control, puestos en distintos lugares, cada uno con su propio medio (distinto el uno del otro) de acceso a la nube. De igual forma, se simula el servidor de aplicación de control, monitoreo y registro de datos en un tercer punto en la nube.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema de control y monitoreo de ambiente en función a la medición de humedad y temperatura entre dos invernaderos cerrados, geográficamente distantes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un sistema de control de humedad y temperatura con conectividad Ethernet basado en un micro PLC S7-1212C de Siemens, y un sensor de humedad / temperatura Dwyer RHP-3O22, el cual modula un dámper de ventilación motorizado y comandará el accionamiento pulsante de un sistema de rocío de agua para compensar la humedad.

- Desarrollar la lógica de control y comunicación para las unidades de control de humedad y temperatura, implementando el escalado de señales para leer

datos del sensor y la configuración de enlaces Modbus TCP para comunicación con el SCADA[1] en la nube, además del algoritmo de control de modulación para el motor del dámper, el cual se implementa mediante un sistema de control pseudo-difuso.

- Levantar la infraestructura de red para intercomunicar a todos los nodos perteneciente al sistema e implementar un sistema SCADA basado en Web, ubicado en la nube, el cual debe leer los datos de todos los nodos de control de humedad y temperatura, permitiendo parametrizar el punto de operación, registrar datos históricos, mostrar informes y curvas con filtros de consulta.

- Demostrar la confiabilidad del sistema en términos de entrega de información, tanto por velocidad de respuesta, como integridad de los datos.

1.4. Justificación

Existe la necesidad de garantizar las condiciones adecuadas de cultivo de productos en la agroindustria, llevando un control de las condiciones ambientales y registrando dichos parámetros para sustentar las buenas prácticas en su manejo. El costo en una solución industrial convencional resulta muy elevado y no permite que esta propuesta sea viable. Sin embargo, las nuevas tecnologías presentan múltiples opciones a precios razonables que hacen posible armar la combinación de componentes adecuada para lograr el cometido.

Con la implementación de este sistema, tanto los agricultores, como los clientes locales y extranjeros pueden tener acceso a los datos de proceso de forma transparente; los primeros, para analizar y mejorar sus técnicas de manejo de cultivos, y los demás para verificar que los parámetros estén en concordancia con sus expectativas y estándares de calidad. De esta forma, también se observa un enfoque social con esta propuesta.

La integración de múltiples áreas de especialidad técnica también resulta en un aporte científico al área de especialidad. Esta propuesta comprende el uso de

[1]SCADA: Siglas en Inglés para Supervisory Control And Data Acquisition, el cual es un software para Supervisión, Control y Adquisición de Datos

recursos y conceptos de electrónica, control, automatización, sistemas de bases de datos e infraestructuras de red.

1.5. Variables e indicadores

Las variables que intervienen en el proceso son:

- Humedad de ambiente
- Temperatura de ambiente
- Porcentaje de modulación de dámper de ventilación
- Frecuencia de rocío (por pulsaciones con intermitencia variable)
- Activación de sistema de extracción (por períodos de extracción pulsante)
- Calor del sol (simulado con una lámpara incandescente)

Los indicadores generados por el sistema son:

- Histórico de humedad vs. tiempo
- Histórico de temperatura vs. tiempo
- Calidad de lote de producto en función a humedad y temperatura
- Histórico de alarmas por disparos fuera de parámetros normales de ambiente

1.6. Metodología

1.6.1. Métodos

El presente trabajo de titulación se enmarca en el Método Cuantitativo de Diseño experimental puesto que implica medición numérica, análisis de datos, ajustes y pruebas del funcionamiento del proyecto.

1.6.2. Técnicas

La técnica empleada fue Investigación Aplicada debido a que se propuso encontrar la forma idónea de integrar diversas tecnologías para lograr un producto innovador con alta aplicabilidad en el sector agroindustrial.

1.7. Población y muestra

Para el presente proyecto se considera como Población a todos los sistemas existentes para el control y monitoreo y como Muestra a la selección intencional de conjuntos de elementos tecnológicos para construir el producto.

1.8. Descripción de la propuesta

El esquema propuesto comprende una plataforma de comunicaciones a múltiples niveles, desde las comunicaciones seriales de bajo nivel, hasta transferencia de datos en la capa de aplicación del modelo OSI[2]. La topología a implementar se presenta en el siguiente gráfico.

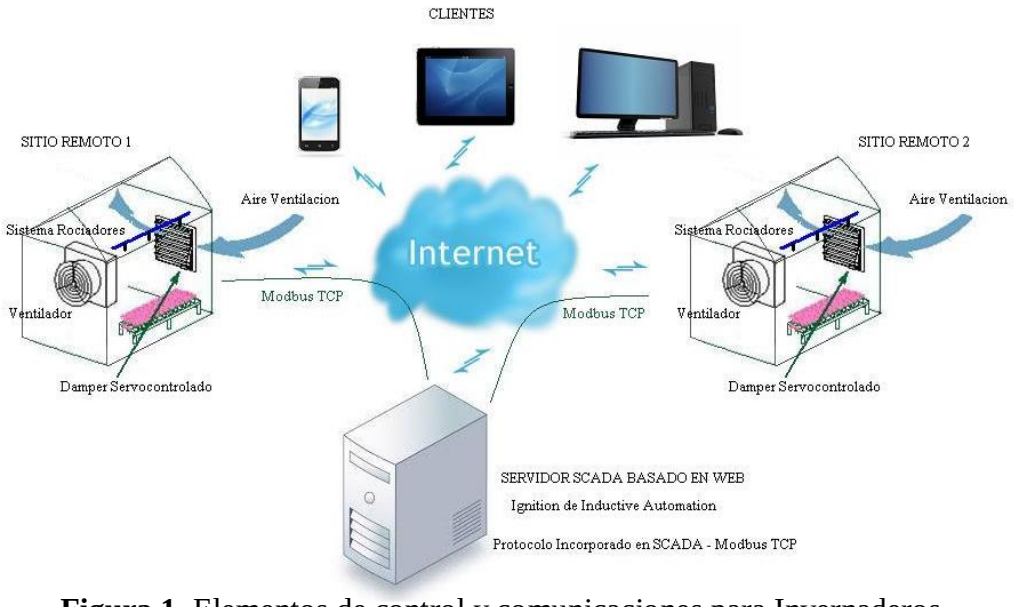

Figura 1. Elementos de control y comunicaciones para Invernaderos.
Por: El autor

Las comunicaciones al servidor de aplicaciones son realizadas mediante TCP/IP[3], utilizando el protocolo Modbus TCP, el cual está a disposición en los módulos de comunicaciones del PLC S7-1212C utilizado en esta implementación como unidad de control en cada invernadero.

[2]El modelo OSI por sus siglas en inglés Open Systems Interconnection que traducido al español significa modelo de interconexión de sistemas abiertos.

[3]TCP/IP son las siglas de Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (en inglés Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

En cuanto a los formularios del software de gestión SCADA, se utiliza una solución basada en Java, la cual permite ver el proceso en virtualmente cualquier plataforma. Por ello se muestra los clientes como cualquier equipo provisto de OS[4] Android o similar, siendo posible hacer consultas desde cualquier teléfono inteligente, sea Balckberry, IPhone, o toda la gama de marcas que manejan Android.

El software de igual forma es amigable con entornos de manejo de bases de datos. Se puede interactuar con varias opciones disponibles en el mercado, estando entre las más populares MSSQL Server, MySQL, y Oracle. Para esta aplicación hemos seleccionado MSSQL Server 2005. Los reportes se estructuran mediante consultas al sistema de archivos de la base de datos, integrando así conocimientos elementales de las tecnologías de la información a este proyecto tecnológico.

Finalmente, el control de humedad consta de un algoritmo programado en el PLC que permite controlar la posición de un motor de pasos que comanda un damper de ventilación. Esto resulta posible mediante un control de secuencias binarias, para lo cual el CPU S7-1212C está adecuadamente dotado. Abajo se muestra un esquema con los invernaderos, donde se encuentran instaladas las unidades de regulación de humedad y temperatura.

Se muestra la facilidad de cambios en la plataforma SCADA, la cual permite modificaciones remotas a su estructura gráfica y distintas parametrizaciones a las unidades de control, es decir, un control remoto completo, sin necesidad de encontrarse físicamente trabajando sobre la estación de Ingeniería o servidor.

1.8.1. Beneficiarios

Los beneficiarios de la propuesta son los estudiantes y docentes de Ingeniería Electrónica de las materias Automatización Industrial y Electiva III, quienes pueden hacer uso de esta tecnología en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana.

[4]OS: Operating System en Inglés, lo cual significa Sistema Operativo

1.8.2. Impacto

Se busca determinar la viabilidad del proyecto para plantear su aplicación de manera masiva en este tipo de proceso, de manera que constituya una herramienta que contribuya en el desarrollo y buenas prácticas de cultivo de los pequeños y medianos agricultores, buscando proteger su inversión cuando los factores climatológicos se muestren adversos.

Capítulo II. –Marco teórico

2.1. Descripción y análisis de proceso

De acuerdo con Lourdes Huertas (2006), las plantas enfrentan una gran amenaza durante los primeros días de su vida, como indica a continuación:

Independientemente del origen de una planta, ya sea a partir de una semilla, o de una estaquilla o por cultivo de tejidos, los primeros días de vida son los más críticos para su supervivencia. Con el propósito de lograr que un mayor número de plantas sobreviva a esta etapa se utilizan instalaciones especiales en las que se manejan las condiciones ambientales y se proporcionan las condiciones de crecimiento más favorables para que las nuevas plantas continúen su desarrollo y adquieran la fortaleza necesaria para trasplantarlas al lugar en el cual pasarán en resto de su vida. Por esto, el diseño de un vivero es un aspecto fundamental para llegar a obtener plantas listas para su siembra… Los viveros que producen en algún tipo de estructura de forzado tienen la propiedad de controlar cuatro factores limitantes: temperatura, humedad, luz y dióxido de carbono.

Esto implica que se puede incrementar la razón de supervivencia de un cultivo en etapas tempranas si se logra controlar los parámetros climáticos que permitan condiciones más favorables de crecimiento y desarrollo. Si bien es cierto, en su momento se lograba con técnicas de riego al aire libre, hoy es posible controlar dichos parámetros de mejor manera mediante un ambiente cerrado con entorno climático controlado. Para ello, efectivamente, se hace uso de viveros o invernaderos.

2.1.1. Tipos de invernadero.

La Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (2004) indica en su libro “Diseño, construcción y mantenimiento de Invernaderos de Madera”, que los tipos de invernaderos más comunes que se encuentran en nuestro medio se enlistan así:

- Invernadero tipo túnel.- consiste en una estructura cilíndrica desde su base de anclaje, la cual tiene aspecto de túnel, de donde sale su nombre. Esta distribuye la luminosidad de buena forma en el interior, maximizando el uso del espacio interno para los cultivos.

Figura 2. Invernadero tipo túnel.
Por: Transfer-Agro (s.f.)
Fuente: http://www.transferagro.com/images/tipotunel.jpg

- Invernadero tipo capilla.- consiste en una estructura rígida con vigas de apoyo laterales y centrales, las cuales sostienen un techo a dos aguas que cubrirá a la nave de lluvias y distribuirá la luminosidad. Las vigas centrales impiden maximizar el uso del área interna para el cultivo. Sin embargo, proveen buena estabilidad a la estructura contra el viento.

Figura 3. Invernadero tipo capilla.
Por: Técnica Internacional (s.f.)
Fuente: http://tecnicainternational.com/manejodeaguas/wp-content/uploads/2013/04/006.jpg

- Invernadero tipo cercha.- Este resulta similar al invernadero tipo capilla, con la salvedad que no se soporta en vigas centrales, sino únicamente en pilares en sus extremos. El acceso de luz y protección contra viento y lluvias es igual al presentado en el invernadero tipo capilla, con la diferencia que el uso del espacio interno se maximiza con este esquema.

Figura 4. Invernadero tipo cercha.
Por: Interempresas (s.f.)
Fuente: http://img.interempresas.net/fotos/80365.jpeg

- Invernadero en diente de sierra.- Este tipo de invernadero permite la exposición a la luz solar en una dirección definida, al igual que una mejor ventilación natural por las aperturas para tales efectos en la sección recta de su techado, el cual se asemeja a un diente de sierra. Está provista de canalones de desfogue de agua para que el fluido conducido en el lado inclinado de su techado no ingrese al invernadero.

Figura 5. Invernadero tipo diente de sierra.
Por: Hortelana (s.f.)
Fuente: http://www.hortelana.com/imagpps/s1.jpg

Cada tipo de invernadero tiene características que lo hace más favorable para las condiciones de crecimiento y supervivencia de los cultivos mantenidos en su interior en función a los factores climáticos y del tipo de suelo del sitio en el que serán instalados.

2.1.2. Parámetros fundamentales y control del clima en invernaderos.

La vegetación es susceptible a muchos factores climáticos. Al implementar un cultivo por medio de invernaderos, se busca suprimir los efectos nocivos del ambiente externo, específicamente la lluvia y el viento. Sin embargo, el entorno encapsulado del invernadero presenta otros desafíos para suplir a los cultivos del ambiente propicio para su desarrollo y la reducción del stress de los mismos.

Entre los parámetros más relevantes para un adecuado desarrollo del cultivo se tiene la temperatura ambiente. Alfredo Martínez, Lee Burpe y Clint Waltz (2012) hablan sobre las incidencias de la temperatura en el césped.

Los céspedes varían en su tolerancia a las altas temperaturas. Los céspedes de invierno son mucho más susceptibles a las altas temperatura. Usualmente las altas temperaturas están combinadas con daños por sequía. El efecto de las altas temperaturas en la planta de césped son los imbalances metabólicos que se crean. Bajo condiciones normales de temperatura, los sistemas enzimáticos de las plantas incrementan en actividad cuando las temperaturas incrementan; sin embargo cuando las temperaturas ambientales sobrepasan las condiciones óptimas de crecimiento, los sistemas enzimáticos de la planta se paran, el crecimiento de la planta cesa… Las bajas temperaturas extremas pueden ocasionar daño a los céspedes. El daño por bajas temperaturas puede resultar debido al congelamiento del tejido de la corona, que es la parte de la planta que es responsable del crecimiento de las raíces y de las hojas. Un congelamiento repetido de la corona puede causar una deshidratación y la muerte eventual del césped.

De acuerdo a lo comentado en esta cita, los extremos de temperatura son perjudiciales para esta especie en particular. Sin embargo, esto es aplicable en todo tipo de vida vegetal, dado que su forma de nutrición y crecimiento es en principio la misma. Con ello se entiende que el control de temperatura entre los rangos máximos

y mínimos determinados para cada especie en particular debe tener un buen ajuste, de manera que se aseguren las condiciones necesarias para un buen desarrollo de la especie que crece dentro del invernadero.

Las variaciones de temperatura tampoco representan un parámetro que oscila de manera aislada, tal como señala Yolanda López (2005) quien dice que

…la variación de temperatura se encuentra estrechamente relacionada con la humedad; cuando la temperatura sube, el aire es capaz de absorber una mayor cantidad de humedad. Es por ello que un control sobre la temperatura tanto en exceso como en defecto, implica un control de la humedad.

La ventilación adecuada es fundamental en un clima cálido como el local para renovar el aire que se encuentra encerrado en el invernadero. De esta manera se evita altos niveles de humedad que puedan ser nocivos para los cultivos al fomentar presencia de microorganismos que puedan provocar enfermedades a dicha plantación. Se debe asegurar un determinado nivel de CO2 para que el cultivo al interior del invernadero pueda realizar el proceso fotosintético. Con la presencia de luz solar, las plantas comenzarán el consumo de dióxido de Carbono, lo cual significa que el invernadero requiere por este motivo una renovación constante del aire para asegurar que los niveles de CO2 existentes sean suficientes para el proceso de la fotosíntesis. Finalmente, la luz debe poder acceder al ambiente del invernadero con relativa facilidad. El diseño debe asegurar que en todo momento haya una buena incidencia de luminosidad y evitar la proyección de sombras al cultivo, de manera que las plantas puedan desarrollarse de la mejor manera con la presencia de energía lumínica.

2.2. Teoría de sistemas de control.

Conforme Castro, S. G. (1998), los sistemas de control se han estructurado sobre tres elementos fundamentales, siendo estos las variables de entrada a un proceso, el cual a su vez entregará un resultado o salidas ante dicho estímulo.

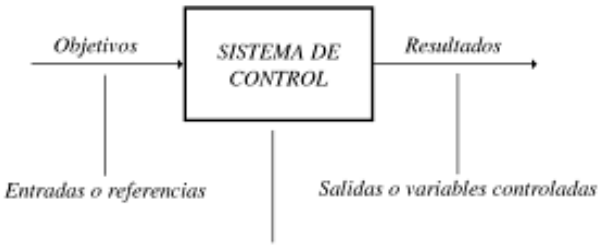

Figura 6. Estructura elemental de un sistema de control.
Por: Castro, S.G., 1998
Fuente: *Teoría de control: diseño electrónico* (Vol. 72). Univ. Politèc. de Catalunya. Pags 15-17.

Con el nacimiento de la industria surgieron los sistemas de control industrial, cuyas primeras etapas constaban de controles manuales y semi-automáticos instalados a pie de máquina. Con el tiempo, las demandas por sistemas de control más sofisticados fueron acrecentando, con la consigna de reducir la dependencia del proceso a la mano de obra humana y la optimización de la eficiencia en los sistemas de producción. Claramente, el modelo simple de entrada, proceso y salida debía por lo tanto, ajustarse más a la realidad, de manera que el nuevo modelo sea realmente representativo del proceso que debe regular.

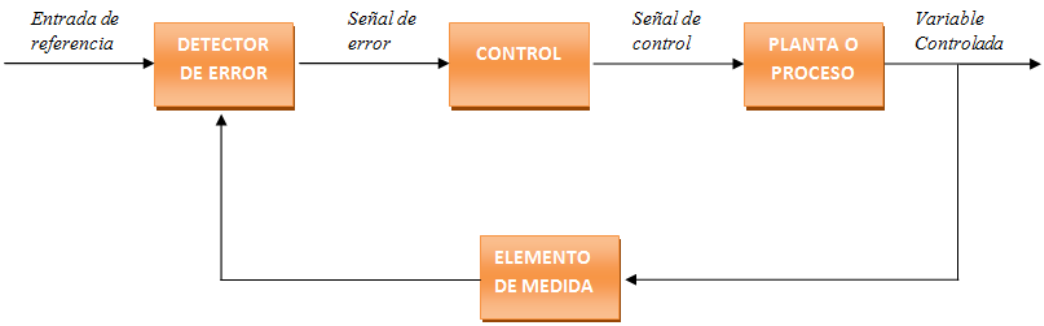

Figura 7. Sistema de control automático en lazo cerrado.
Por: Castro, S.G., 1998
Fuente: *Teoría de control: diseño electrónico* (Vol. 72). Univ. Politèc. de Catalunya. Pags 15-17.

Estos sistemas contemplan el control de un parámetro característico del proceso, cuya medición se retroalimenta y permite al sistema de control verificar que dicha magnitud esté dentro de los valores adecuados, lo cual es definido por el personal que opera sobre este proceso. El controlador debe entonces, en función a la desviación del parámetro medido respecto a los límites o valores establecidos para el

mismo, ejecutar el accionamiento de elementos actuadores que corrijan esta desviación y actúen sobre el proceso, de manera que la salida del proceso esté más próximo a los parámetros establecidos. Nuevamente, la retroalimentación de la medición de dicha señal comanda un nuevo ciclo de comparación, ajuste y medición.

Existen innumerables maneras de establecer un sistema de control automático. Esto depende de la manera en que se modele el proceso, y del mecanismo de interpretación de la información entregada por el proceso. En la actualidad, la información no se recibe filtrada, sino dispersa y con mucha interferencia respecto al medio medido. Por ello, el modelado exacto de un proceso empieza a resultar menos frecuente, dando paso a sistemas de control que se basan en la interpretación de grandes cantidades de datos caracterizados por cualidades de imprecisión y ruido.

En cuanto al esquema de mando a pie de máquina, los sistemas de control industrial se fueron ampliando e integrando gracias a las nuevas tecnologías emergentes y las convenciones de comunicación que se fueron estableciendo como lineamientos para la interacción de sistemas a través de interfaces comunes.

Muy a pesar del desarrollo tecnológico que se encuentra a disposición en la actualidad, existen paradigmas en la implementación de sistemas de control que limitan la visión del Ingeniero en Control que los comisiona. El esquema básico de implementación de un sistema automatizado es comúnmente considerado de la siguiente manera.

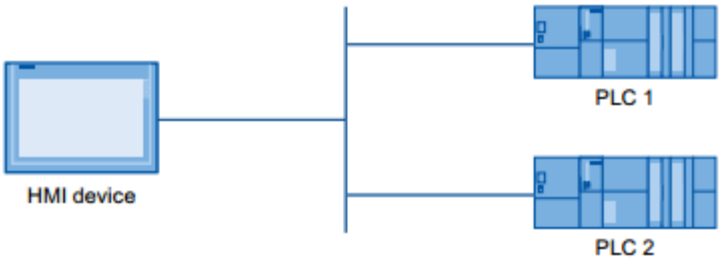

Figura 8. Sistema básico de control Panel HMI – PLC.
Por: Siemens (s.f.)
Fuente:
http://cache.automation.siemens.com/dnl/jU/jUyNzI0OQAA_49313233_HB/hmi_comfort_panels_operating_instructions_en-US_en-US.pdf

Esta filosofía básica de control, muchas veces impulsada por las grandes marcas comerciales de equipos de automatización industrial, resultan en costos de implementación muy elevados. De igual forma, el soporte y mantenimiento demandan que el comisionista asista al sitio a revisar el equipo en caso de un fallo del sistema, incurriendo en tiempos de respuesta regularmente extensos.

El escenario presentado se da bajo el supuesto que la implementación del sistema de control es llevado a cabo en una sola máquina, donde es posible transportar todas las señales desde y hacia el controlador vía cable. Ahora, ¿qué ocurre cuando se extiende la delimitación geográfica de las variables de entrada y salida respecto al controlador? El esquema lógico no cambia en lo absoluto, tan solo la ruta de las señales es diferente. En principio, los sistemas de control, sean locales, remotos o distribuidos, siguen respondiendo al mismo esquema básico presentado arriba. La diferencia radica en determinar cómo llegan los estímulos de entrada al sistema de control y a donde se envía la respuesta del mismo.

El presente apartado trata, por ende, sobre el conjunto de tecnologías, tanto en hardware como software, que permiten extender los cables hacia y desde el controlador a través de áreas geográficas extensas, virtualmente ilimitadas.

2.2.1. Sistemas de control distribuido.

Existen casos en que se necesita controlar múltiples sub-procesos pertenecientes a un único proceso global desde una ubicación central que gestiona y regula cada uno de ellos. Para ello es necesario implementar mecanismos que permitan recopilar los parámetros que caracterizan estos sub-procesos y alimentarlos al sistema de control central de proceso.

Bajo esta filosofía, a cada sub-proceso le corresponde un sistema gestor de la información que dicho proceso maneja, entregándola a niveles superiores para ejecutar las directivas de control pertinentes en base a la información de cada sub-proceso. Estos controladores ubicados en cada sub-proceso cumplen la vital función de leer los datos de instrumentación que se generan en dicho proceso, y accionar los elementos de maniobra que comandan las partes motrices que impulsan al proceso.

Liptak, B. G. (Ed.). (2005) muestra un sistema de control distribuido, donde cada controlador de sub-proceso accede a los sensores y actuadores que estructuran la etapa de control que ellos gestionan. Las directivas de control, sin embargo, vienen desde el nivel de gestión de proceso, interconectados todos a través de una red común, que típicamente es una red Ethernet de cobre o por medio de fibra óptica.

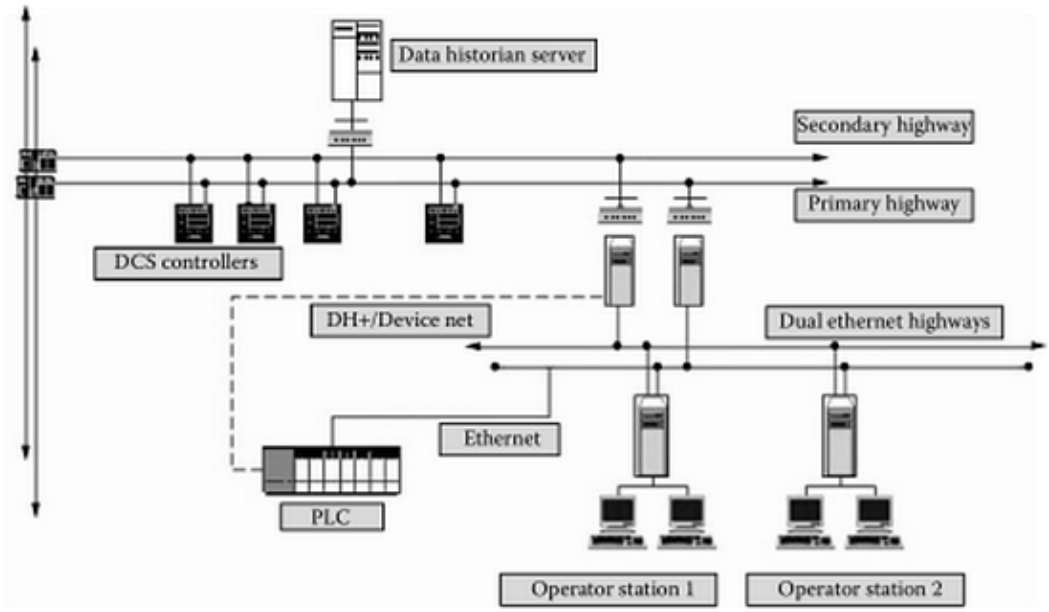

Figura 9. Sistema de control Distribuido.
Por: Liptak, B. G. (Ed.). (2005).
Fuente: *Instrument Engineers' Handbook, Volume Two: Process Control and Optimization* (Vol. 2). CRC press. Pag 797.

Como se puede observar en la figura 9, la integridad del enlace es de vital importancia para mantener operativo de forma óptima un sistema de control distribuido. La forma más elemental de dicho enlace son plataformas de comunicación basadas en cables de cobre. Es la práctica más común y aparentemente la más segura, aunque con el tiempo y el crecimiento de un proceso puede resultar en un esquema poco funcional en términos de adaptación y expansión.

La tecnología disponible en la actualidad permite fortalecer la integridad de este enlace mediante el uso de otros medios y canales de comunicación. De esta forma, los riesgos de indisponibilidad o rotura de un enlace a través de un conductor eléctrico se reducen al no limitar las comunicaciones a este único medio de transmisión.

2.2.2. Canales de comunicación.

Lo que en su momento fue un cable hoy en día puede extenderse a otro tipo de mecanismos y dispositivos. Así, con el establecimiento de las redes interconectadas y la radiofrecuencia como mecanismos de transmisión de información, es posible direccionar la información que se enviaría vía cable a través de dichos canales, teniendo en cuenta las consideraciones y normativas elementales para el tráfico de información en estas infraestructuras.

Otro factor determinante para la implementación de un enlace de comunicación es el costo de implementación del mismo. En la década de los 80, en pleno apogeo de las comunicaciones masivas de datos a nivel empresarial y científico, resultaba imposible para el público en general acceder a enlaces o sistemas interconectados. Las infraestructuras de comunicación eran propietarias, con sistemas de redes cerrados de altos costos, hasta que se dimensionó la interconexión de sistemas como un negocio con potencial masivo. De ahí que hoy se tiene acceso a estas redes de comunicaciones masivas, tanto para fines comerciales como de entretenimiento e investigación, a un costo cómodo y razonable.

Hoy, las telecomunicaciones constituyen uno de los negocios más lucrativos a nivel global. Las tecnologías que predominan en los grandes mercados de consumo tecnológicos son las redes celulares y las redes de servicio de datos. Solía haber una clara distinción entre ellas, siendo las redes celulares específicamente diseñadas para comunicación de señales de voz, y las redes de datos basadas en enlaces de alta velocidad vía cable eléctrico o fibra óptica. En la actualidad, ambos esquemas de comunicación se utilizan para la transmisión de datos con un mercado objetivo muy extenso. Todos estos sistemas se pueden intercomunicar e intercambiar información. Para que esto sea posible de manera efectiva y coherente, deben responder a una estructura de la información determinada, que sea común para todos los sistemas. De aquí que se intuye claramente que existe, necesariamente, un estándar de comunicaciones bajo el que todos estos sistemas deben regirse.

2.2.2.1. Redes Ethernet.

Para una comunicación efectiva entre puntos finales de un sistema se requiere que ambos conozcan la codificación de la información intercambiada. Existen múltiples convenciones de comunicación, lo cual generaría divergencia entre sistemas de no haber acuerdos estandarizados para los distintos dispositivos que quisieran interactuar en una red determinada.

Según lo reseña Spurgeon, C. (2000), en 1973, Robert Metcalfe, como parte del staff de investigación de Xérox en PARC (Palo Alto Research Center) presentó un sistema de redes que constituiría la base para los grandes sistemas de comunicación de hoy en día. Se le encomendó diseñar un sistema que intercomunicara los primeros computadores personales con impresoras y otros dispositivos de red, el cual permita el intercambio de archivos de gran volumen a velocidades del orden de los Megabits por segundo. Con ello nacen las redes Ethernet como solución a dicho requerimiento.

El sistema de redes Ethernet se basa en la tecnología CSMA/CD, cuyas siglas en inglés determinan un sistema de Acceso al Medio por Censado de Portadora y Detección de Colisión.

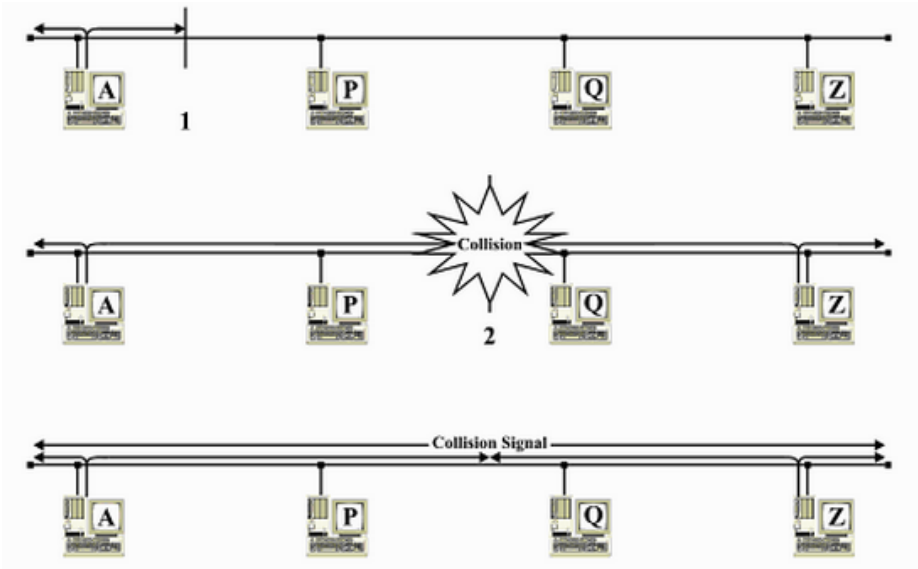

Figura 10. CSMA/CD.
Por: Miller, P. (2009).
Fuente: *TCP/IP: The Ultimate Protocol Guide* (Vol. 2).

Los equipos buscan que el medio esté libre para transmitir, enviando información cuando el canal se encuentre libre. Sin embargo, existen ocasiones en las cuales más de un equipo detecta el medio libre y ocurre una transmisión simultánea de información desde múltiples terminales. Cuando las señales se encuentran en el medio físico, ocurre una distorsión de los datos por causa del traslape de ambos telegramas, resultando en una colisión. Cuando ocurren colisiones, los equipos en la red detectan este incidente y se abstienen de ejecutar transmisiones durante un período determinado, luego del cual continuarán con el ciclo de CSMA/CD.

Las redes Ethernet utilizan un mecanismo muy efectivo en la transmisión serial de sus señales. Los datos se codifican junto con la señal de reloj propuesta por el transmisor, resultando en flancos o transiciones para la representación de cada dígito binario del telegrama. De esta manera, se evita pérdida de información al forzar en cada pulso de reloj una variación en las transiciones del código Manchester. Un esquema bastante descriptivo se muestra en la siguiente figura.

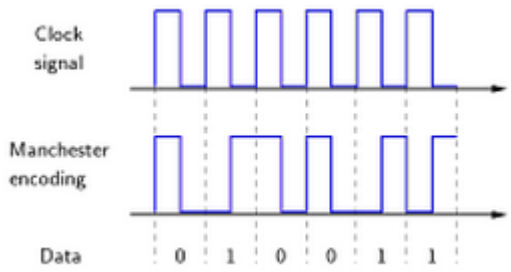

Figura 11. Codificación Manchester.
Por: Gauger, M. (2010).
Fuente: *Integration of Wireless Sensor Networks in Pervasive Computing Scenarios.*

Esto último define únicamente lo que ocurre físicamente con las señales eléctricas del protocolo. Sin embargo, el mensaje debe contener una estructura estandarizada para que todos los sistemas puedan interpretar la información. Para ello, un juego de telegramas específicos fueron diseñados, de manera que cada campo de información tuviese una manera de ser identificado y decodificado.

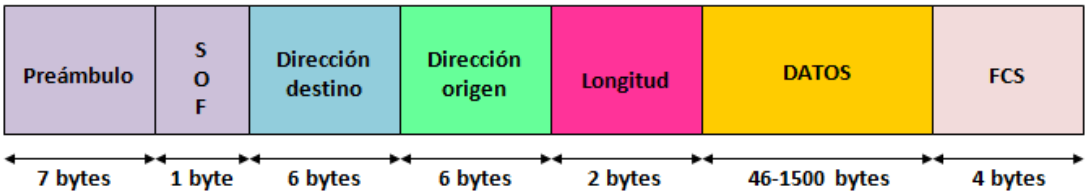

Figura 12. Datagrama Ethernet.
Por: Miranda, C. V. (1999).
Fuente: *Sistemas informáticos y redes locales.*

Estos telegramas se componen de una trama de información para inicio de comunicaciones, las direcciones del emisor y el destinatario del mensaje, los datos que se intercambian entre los interlocutores, y finalmente un campo de comprobación de errores el cual indica si el mensaje ha llegado a su destino intacto.

El protocolo Ethernet trabaja con direcciones físicas de red. Esto implica que funciona en redes de dispositivos físicamente conectados entre sí. Ahora, para establecer comunicaciones a través de grandes distancias, dicho protocolo no hace viable tales comunicaciones. Para ello se necesita un mecanismo que interconecte varias redes, de manera que la información esté codificada para viajar a través de una infraestructura de redes interconectadas entre sí, desde una red que origina el mensaje, hasta una donde se encuentre la terminal destinataria del mismo.

2.2.2.2. El Internet.

Ante la necesidad de transportar información a mayores distancias, de forma rápida y confiable, los países de primer mundo invirtieron vastos recursos para el desarrollo de una infraestructura que así lo permitiera. El gran precursor de los inicios de un sistema de redes interconectadas fue el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, impulsando el desarrollo de la ARPANET, la cual fue la primera red en utilizar el protocolo IP o Protocolo de Internet. La primera transmisión de paquetes a través de la ARPANET se dio desde un computador ubicado en un laboratorio en la Universidad de California, Los Ángeles, hasta otra terminal en un laboratorio en el Instituto de Investigación de Stanford.

El protocolo IP consiste en un esquema de direccionamiento lógico que permite enrutar los datos entre redes. El objetivo fundamental de este protocolo es asegurar que los paquetes lleguen desde un punto origen al destinatario adecuado. El datagrama Ethernet que se vio en el apartado anterior se encapsula en un esquema de direccionamiento IP, convirtiendo este telegrama Ethernet en los datos de la trama del nuevo paquete.

Sin embargo, el IP es un protocolo que no determina la ruta por la que los datos viajan a través de las distintas redes. Por ello, se conoce al protocolo IP como un protocolo enrutado. Los dispositivos a lo largo de las redes poseen mapas de direcciones y conexiones que permiten que los datos se envíen por una o varias rutas a través de dichas redes hasta llegar a su destino. Estos mapas se actualizan dinámicamente con los cambios que se van dando en los estados de las conexiones y la disponibilidad de los enlaces, de manera que no proporcionen información de rutas inadecuadas que deriven en pérdida de información mientras viaja a través de las redes.

Existen múltiples convenciones para compartir información. Estos constituyen los protocolos que determinan a través de qué ruta se transmite un determinado paquete de información en función a su procedencia y dirección de destino. Todos estos protocolos buscan el menor costo posible en recursos de red y el tiempo más rápido de entrega. Para ello se ejecutan cómputos de funciones de costo en las posibles rutas, seleccionando como resultado la más óptima para ciertas condiciones de transmisión. Por este motivo, estos protocolos se conocen como Protocolos de Enrutamiento, porque hacen posible direccionar los datos por una o varias rutas computadas.

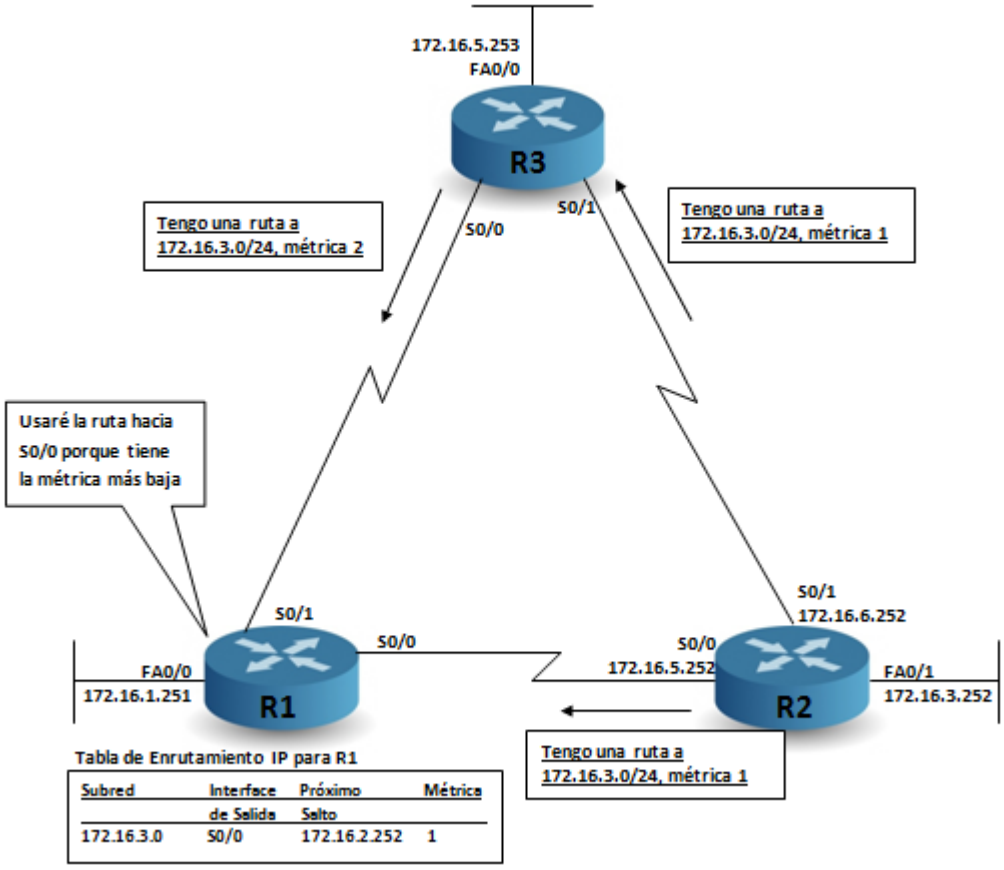

Figura 13. Enrutamiento dinámico.
Por: Odom, W. (2011).
Fuente: *CCNA ICND2 640-816 official cert guide*

El protocolo IP no requiere un circuito de conexión fijo para que el datagrama sea transportado. Un datagrama o paquete contiene cierta información que es parte de un conjunto mayor. El protocolo IP no tiene control sobre cómo se dividen y se ensamblan dichos paquetes de origen a destino. Por lo tanto, para asegurar que la información enviada entre dos puntos a través de las redes interconectadas sea correctamente ensamblada, se requiere de un mecanismo de control que gestione dichos paquetes. Este es el protocolo TCP o Protocolo de Control de Transmisión, que numera los paquetes que viajan a través de las redes interconectadas, y controla su ensamblaje correcto en el destino. El protocolo TCP mantiene control sobre cómo se envían los paquetes de manera que todas las tramas que componen un determinado segmento de información lleguen adecuadamente a su destino. Cuando se da el evento que no existe acuse de recibo de un determinado paquete por parte del receptor, el paquete es retransmitido por el emisor, sin importar

el orden del último paquete transmitido. Las solicitudes en cola continuarán con el mecanismo TCP hasta que todos los paquetes pendientes hayan sido enviados.

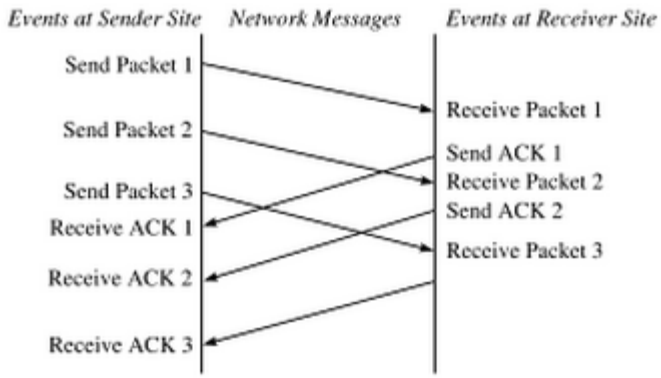

Figura 14. Transmisión de paquetes en protocolo TCP.
Por: Gopalan, N. P., & Selvan, B. S. (2008).
Fuente: *TCP/IP ILLUSTRATED.*

Este esquema debe responder a un sistema de organización formal, el cual regula que las interfaces de los distintos dispositivos que se conectan a la Internet puedan acoplarse al uso y lectura de estos mecanismos de control. Este esquema existe y define los estándares de comunicaciones de datos en la actualidad. En el siguiente apartado se menciona sus características generales.

2.2.3. El modelo OSI.

Los datos se pueden direccionar y organizar para que viajen entre dos puntos cualesquiera de la red con mecanismos de entrega confiable. Esta entrega confiable se asegura con un propósito, dado que estos datos corresponden a aplicaciones que harán uso de ellos para realizar un proceso determinado. Se entiende con esto que dichas aplicaciones están orientadas a redes, ejecutando sus procesos entre sistemas interconectados. Los niveles de aplicación en el intercambio de información, sin embargo, no están orientados a mecanismos de transporte de información, ni de entrega confiable de datos. Lo que es prioritario es la interface final con el usuario. Claro está, el usuario final no observa ceros y unos al trabajar con una aplicación en una terminal. Lo que el usuario percibe son caracteres formateados de acuerdo a su lenguaje y su estructura de comunicación. Conforme lo describe Pérez, E. H. (2003),

estas etapas están claramente definidas en un modelo que engloba todas las instancias de manejo de información y datos a través de un sistema interconectado. Este modelo se denomina modelo OSI (modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos por sus siglas en inglés), el cual detalla tanto los enlaces físicos, estructura de telegramas en redes locales, entre redes, y encapsulación de datos hasta llegar a su formato de aplicación para interacción con el usuario final.

Los datos, por lo tanto, sufren una serie de transformaciones mientras se distribuyen a lo largo de las capas de dicho modelo. La siguiente figura muestra dos terminales intercambiando información a través de las capas o niveles que componen el modelo OSI.

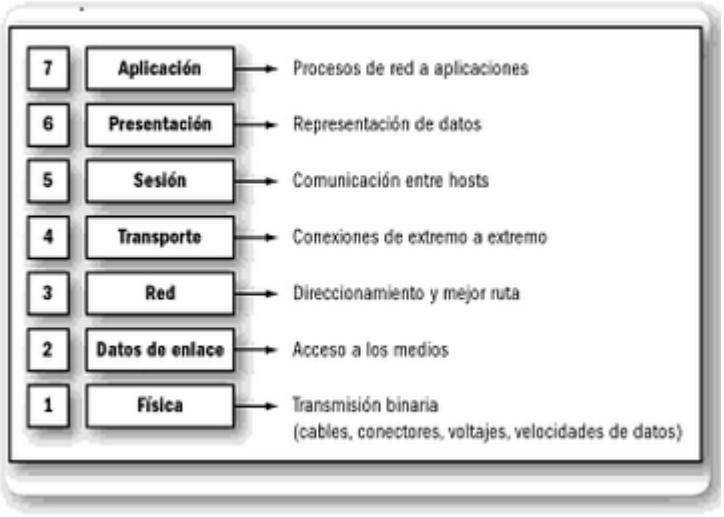

Figura 15. El modelo OSI y las funciones de las capas.
Por: Peña, C. (2000).
Fuente: *Redes la guía definitiva.*

La codificación Manchester, el protocolo Ethernet, el protocolo de Internet y el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) comprenden las cuatro capas inferiores del modelo OSI. Como se ha podido observar en la figura, en todas estas capas los datos no se presentan como datos, sino como distintos tipos de unidades, cada una de ellas apropiada para cada nivel.

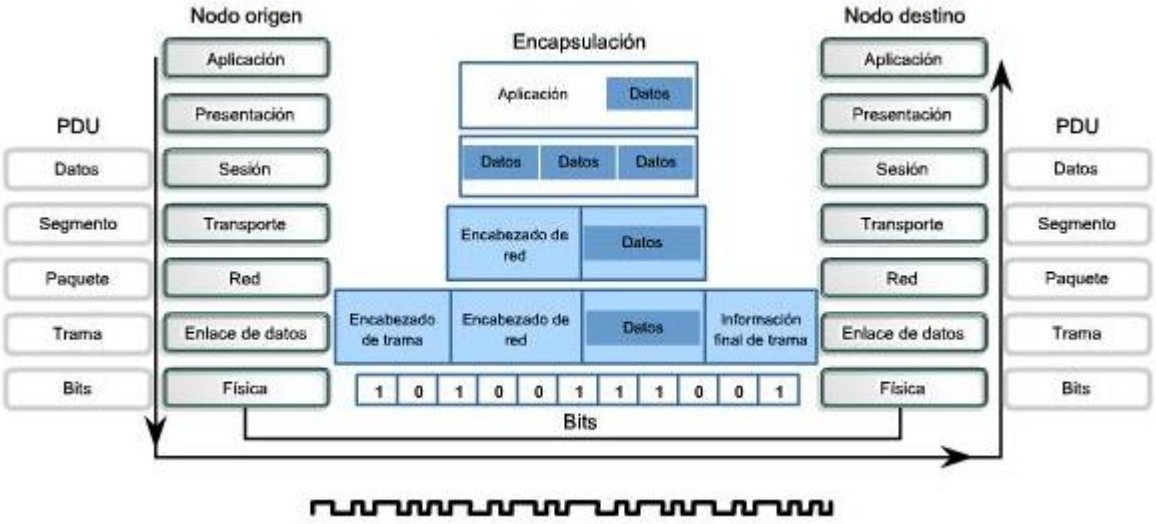

Figura 16. Segmentación de datos a través de las capas del modelo OSI.
Por: Arkoz (s.f.).
Fuente: http://arkoz84.wikispaces.com/file/view/I02.JPG/71631659/I02.JPG

La capa de aplicación corresponde a aplicaciones orientadas a red como lo son los exploradores Web, programas de manejo de correo electrónico, servicios de mensajería y similares. Esta capa muestra los caracteres e imágenes con las que el usuario se puede relacionar.

La capa de presentación le da formato a los datos para que puedan ser interpretados por el usuario final cuando dicha información está siendo recibida desde niveles inferiores, y en la transmisión hacia la red, en caracteres estándar generalmente en código ASCII[5]. En la mayoría de los casos es un intérprete ASCII.

La capa de sesión es la última del grupo que maneja datos de nivel alto. Esta asegura la interconexión entre aplicaciones de extremo a extremo en la red, es decir, relaciona los datos enviados y recibidos a una sesión específica de una aplicación.

[5]ASCII: American Standard Code for Information Interchange, el cual consiste en un formato de datos para intercambio estandarizado de los mismos

Hoy los sistemas de manejo de información han evolucionado hacia una instancia superior, residiendo datos, servicios y aplicaciones en esta red interconectada. El espacio en el que reside esta información se conoce como la Nube. Este concepto lo presenta Luis Joyanes Aguilar (2012), con la siguiente descripción:

Cloud computing es la evolución de un conjunto de tecnologías que afectan el enfoque de las organizaciones y empresas en las construcción de sus infraestructuras de TI. Al igual que ha sucedido con la evolución de la Web, con la Web 2.0 y la Web Semántica, la computación en la nube no incorpora nuevas tecnologías. Se han unido tecnologías potentes e innovadoras, para construir este nuevo modelo y arquitectura de la Web... La nube puede ser infraestructura o software, es decir, puede ser una aplicación a la que se acceda a través del escritorio y se ejecute inmediatamente tras su descarga, o bien un servidor al que se invoca cuando se necesita. En la práctica, la informática en la nube proporciona un servicio de software o hardware.

2.2.4. Aplicaciones portables.

En las capas de nivel superior del modelo OSI, se tiene las aplicaciones que corren sobre múltiples plataformas de OS. Si bien los datos de todas ellas pueden ser segmentados y enviados a través de la gran red, también es cierto que para que un par de terminales puedan intercambiar información deben tener aplicaciones en común, que hablen coherentemente el mismo tipo de lenguaje. Esto limita a muchas de las aplicaciones en el mercado a trabajar con un único tipo de OS, o bien a que las compañías desarrolladoras de software tengan que trabajar en versiones de las aplicaciones para cada uno de los OS de mayor predominancia en el ámbito tecnológico.

Existen, sin embargo, aplicaciones desarrolladas que constan de los recursos necesarios para ejecutarse en cualquier tipo de OS indistintamente. Esto lo pueden lograr gracias al uso de una máquina virtual, en la cual se ejecuta todo el juego de archivos necesarios para el funcionamiento de la aplicación en un entorno simulado, de manera que no dependa de la estructura del OS en el cual se ha descargado. Este es el caso de Java, que se caracteriza por ser independiente de la plataforma, ya que

lo único que se instala en cada tipo de OS es una máquina virtual, y dentro de ella se ejecutan los procesos que permiten funcionar a la aplicación, Groussard, T. (2012).

2.3. Lógica difusa y controles pseudo-difusos.

Generalmente los sistemas de control automático se levantan a partir de un estudio minucioso y modelado del proceso. De ahí que se establecen los parámetros de control y las funciones de transferencia que regulan el proceso de acuerdo a las consignas de operación determinadas por quienes monitorean el proceso.

Sin embargo, el proceso de modelado, configuración y ajuste fino debe ser realizado por un profesional en el área de control, limitando así al personal de operación a proceso de parametrización de controles, los cuales resultarían bastante imprecisos en caso de un cambio en la estructura misma del proceso.

Ahora, quienes realmente conocen el proceso, sus parámetros y la variabilidad son los operadores del mismo. Si bien existiera una herramienta que les permitiera modelar el proceso en función a su experiencia y conocimiento en el mismo, sería mucho más sencillo establecer un tipo de control más afín a la realidad del proceso en mención.

Este mecanismo debe llevar a un conjunto de directivas de control a partir de los ajustes manuales que el personal de operaciones realiza en la interacción diaria con el proceso. Dichos ajustes son ejecutados tras el monitoreo de los parámetros que regulan el proceso, bajo el criterio del operador, quien indicaría, por ejemplo, para el caso de un sistema de climatización industrial lo siguiente:

- Cuando el ambiente esté muy frío, ajustar flujo de acondicionador a 0%
- Cuando el ambiente esté frío, ajustar flujo de acondicionador a 22%
- Cuando el ambiente esté fresco, ajustar flujo de acondicionador a 35%
- Cuando el ambiente esté caliente, ajustar flujo de acondicionador a 98%

Este tipo de operación se realiza con mucha frecuencia en el ámbito industrial, incluso en operaciones que cuentan con controles automáticos configurados. Es muy común que las condiciones de proceso se vean alteradas por modificaciones o mejoras en el mismo, y la falta de conocimiento de la parte operativa en teoría de control y modelado de proceso resulta en la suposición que el sistema de control es deficiente o ha dejado de funcionar adecuadamente.

En la actualidad existen mecanismos que permiten portar dichas directivas lógicas, a manera de dictámenes lingüísticos, a un sistema de control compuesto por instrucciones lógicas que provocan ajustes en las variables moduladoras del proceso. Este tipo de modelado se conoce como Lógica Difusa. El creador de este concepto, Zadeh,L. (2008), explica lo que es lógica difusa de la siguiente manera:

…Básicamente, la lógica difusa es una lógica precisa de razonamiento de imprecisión y aproximación. Más específicamente, la lógica difusa puede ser vista como un intento de formalización/mecanización de dos sobresalientes capacidades humanas. Primero, la capacidad de conversar, razonar y tomar decisiones racionales en un ambiente de imprecisión, incertidumbre, información incompleta, información conflictiva, parcialidad de verdad y parcialidad de posibilidad – en síntesis, en un ambiente de información imperfecta. Y segundo, la capacidad de realizar una amplia variedad de tareas físicas y mentales sin ninguna medida y ningún cómputo. Paradójicamente, una de las principales contribuciones de la lógica difusa – una contribución que es ampliamente desconocida – es su alto poder de precisión de lo que es impreciso…

La lógica difusa, por tanto, trabaja estrechamente con las capacidades de análisis y razonamiento humano. Establece las condiciones lógicas que resolverían un problema determinado, enumerando las posibilidades ante dicho problema, y las acciones consecuentes a esos posibles escenarios.

Como en todo proceso, se debe analizar las variables y parámetros que permitirán regularlo adecuadamente.

2.3.1. Conjuntos difusos.

Como se exponía en el ejemplo del esquema lingüístico de climatización, el parámetro que indica el estado del proceso es la temperatura. En el modelo lógico de decisiones planteado, se hacía el análisis de niveles de temperatura, sin cuantificar los puntos en los que se ejecutan decisiones que modificarán el flujo del acondicionador de aire. Lo cierto es que se puede determinar que existen niveles de temperatura reflejadas en un ambiente frío, fresco y caliente.

Figura 17. Estados de ambiente en función a la temperatura.
Por: El autor

El gráfico muestra niveles lógicos de estado en función a la temperatura ambiente. En este caso se han definido puntos límite de temperatura para los estados frío, fresco, y caliente. De acuerdo con lo que se observa en la figura, cualquier valor de temperatura por debajo de 18°C para un sistema de climatización es frío. Los valores de temperatura entre 18°C y 26°C se perciben como un ambiente fresco, y ambientes con temperatura mayor a los 26°C son calientes. Estos estados de ambiente se definen como funciones binarias tipo escalón, donde el estado lógico de dicho escalón es “1” mientras la temperatura esté dentro del rango definido, caso contrario, el escalón será “0”.

Existe un conflicto en este ejemplo que se pone en evidencia casi de manera inmediata al observar los gráficos. ¿Qué ocurre en los puntos límite? En 18°C, ¿se dice que es frío o que es fresco? Resulta algo complicado determinar con exactitud el estado del ambiente con una simple función de escalón, dado que no se puede sentir frío y de repente, de forma brusca, a 1°C de diferencia, sentir el ambiente fresco. Más aún, habrá personas que discrepen con la clasificación dada, indicando quizá que a una temperatura de 20°C sigue siendo frío.

Para normalizar dichas discrepancias y conflictos en la información, la lógica difusa plantea conjuntos difusos. El modelo en un conjunto difuso responde más a la realidad en función a percepciones y razonamiento lógico, presentando los estados del ambiente como se observa en el Figura 18.

Figura 18. Conjuntos difusos para estados de ambiente.
Por: El autor

Este modelo interpreta la realidad imprecisa del estado del ambiente en función de la temperatura de una manera más acertada que la función escalón. Así, a los 18°C de temperatura se observa que el ambiente está completamente frío, pues la proporción del conjunto correspondiente al ambiente fresco está en cero. Siguiendo la pendiente de ambos conjuntos, conforme avanza la temperatura se observa que es tanto frío como fresco, disminuyendo la ponderación del ambiente frío y aumentando la del ambiente fresco. Si se evalúa este modelo en 19°C, se puede aseverar que está bastante frío, pero también un poco fresco.

El modelo final se presenta en un solo gráfico donde se pueden dividir los conjuntos difusos.

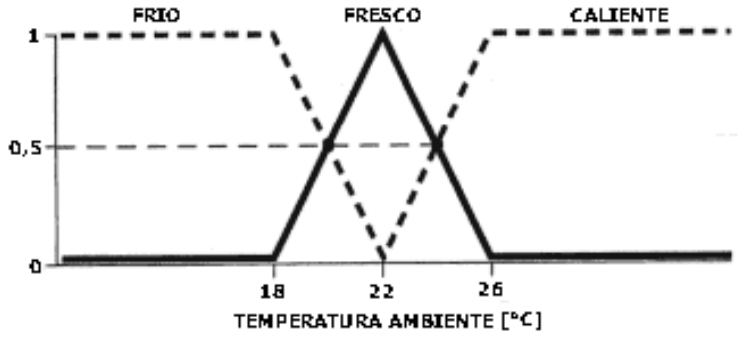

Figura 19. Modelo difuso de estado de ambiente en función a temperatura.
Por: El autor

Como se observa en el gráfico, el modelo indica que hay puntos donde el ambiente es absolutamente frío, absolutamente fresco y absolutamente caliente, pero también contempla un sinnúmero de puntos donde los estados convergen y más de una está presente en mayor o menor proporción. En la ponderación de 0,5 por ejemplo, en el intervalo entre 22°C y 26°C, se puede decir que el ambiente está medio fresco y también se puede aseverar que está medio caliente.

Dado este tipo de esquema gráfico, es posible en base al mismo, obtener funciones para delimitar los estados del ambiente. En otras palabras, se puede estimar a que estado pertenecen dichos puntos de acuerdo a la función en el gráfico.

2.3.2. Funciones de pertenencia.

Las funciones de pertenencia determinan la manera o el patrón en que los distintos puntos del universo de muestra se asocian con los conjuntos difusos. Estos dependen de cómo se modele el proceso, tomando en cuenta los puntos críticos en el modelado, trazando una curva que represente adecuadamente dicha variabilidad en el parámetro observado. El siguiente gráfico muestra el conjunto difuso de “personas altas”. En él se observan dos personas, una no muy alta y otra que es definitivamente alta.

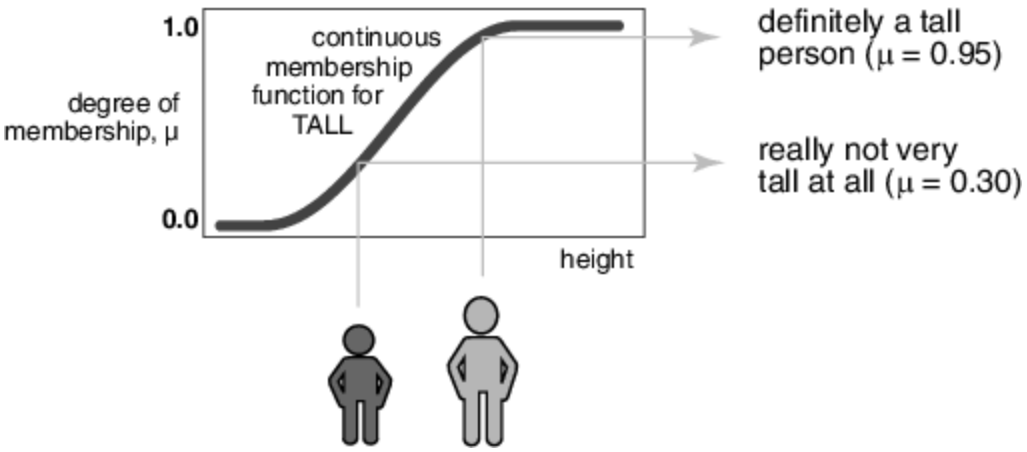

Figura 20. Función de pertenencia de altura de una persona al conjunto difuso de personas altas.
Por: Mathworks (s.f.)
Fuente: http://www.mathworks.com/help/releases/R2015a/fuzzy/fuzzy_tall.png

Ambos tienen un grado de pertenencia al conjunto de personas altas. Sin embargo, por la ponderación de la función de pertenencia, la lógica lingüística infiere los resultados de manera muy distante en función a esta escala comparativa de personas altas. Esto es lo observable, que procesa y concluye la mente humana en base a un análisis rápido del parámetro en observación.

La curva trazada define la función de pertenencia para este proceso en particular. Sin embargo, existen varios tipos de funciones de pertenencia. El uso de un tipo particular de función de pertenencia depende de la respuesta del parámetro medido en el proceso ante el modelado de los conjuntos difusos. Entre las funciones de pertenencia elementales utilizadas en lógica difusa, están las siguientes:

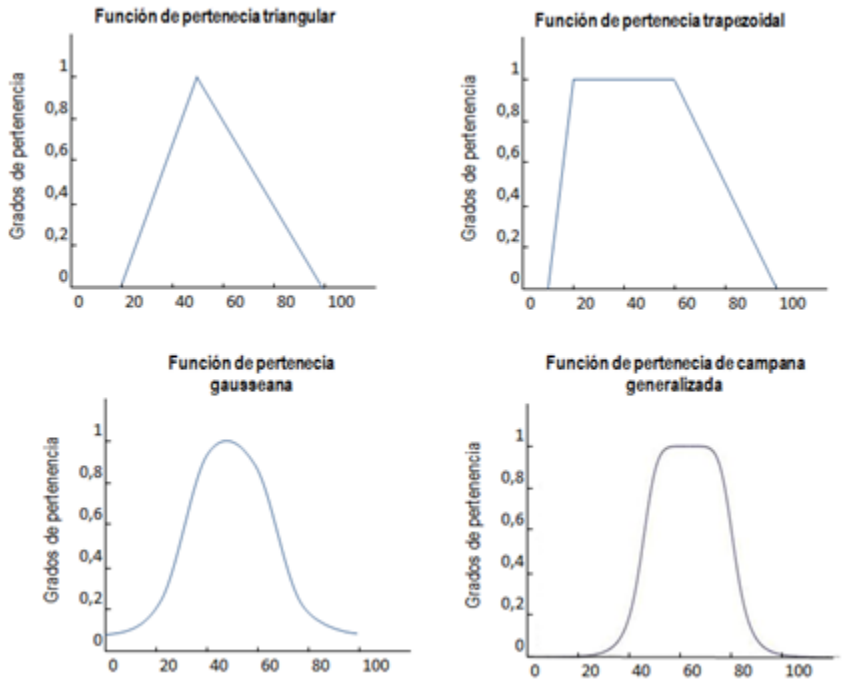

Figura 21. Tipos de funciones de pertenencia.
Por: Jang, J. S. R., & Sun, C. T. (1996).
Fuente: http://www.mathworks.com/help/releases/R2015a/fuzzy/fuzzy_tall.png

|La función de pertenencia aplicada al final de un proceso de modelado de conjuntos difusos debe responder a una maniobra de afinación de los parámetros de control del proceso. Se busca minimizar las desviaciones y errores en el control, y se elegirá el modelo e intervalos que así lo permitan.

Este modelado de valores reales de los parámetros observados hacia conjuntos difusos a través de funciones de pertenencia se denomina **fusificación**. En otras palabras, las variables reales de entrada al sistema son otorgadas grados de pertenencia a los conjuntos difusos mediante las ya mencionadas funciones de pertenencia.

Capítulo III. - Diseño y Análisis de Propuesta Técnica

3.1. Diseño de Infraestructura de red

El esquema propuesto consiste en controladores autónomos instalados en cada invernadero de la red que se comunican con un sistema de monitoreo y control central que reside en la nube. Esto permite la reducción de costos de infraestructura en términos de equipos de Interface Hombre Máquina (HMI), al no tener la necesidad de instalar un panel HMI en cada elemento de control. El gestor central conoce la topología general y puede cargar configraciones distintas a los controladores en sitio, de manera que la unidad cumpla adecuadamente con las funciones necesarias para la óptima regulación de las condiciones ambientales en cada invernadero.

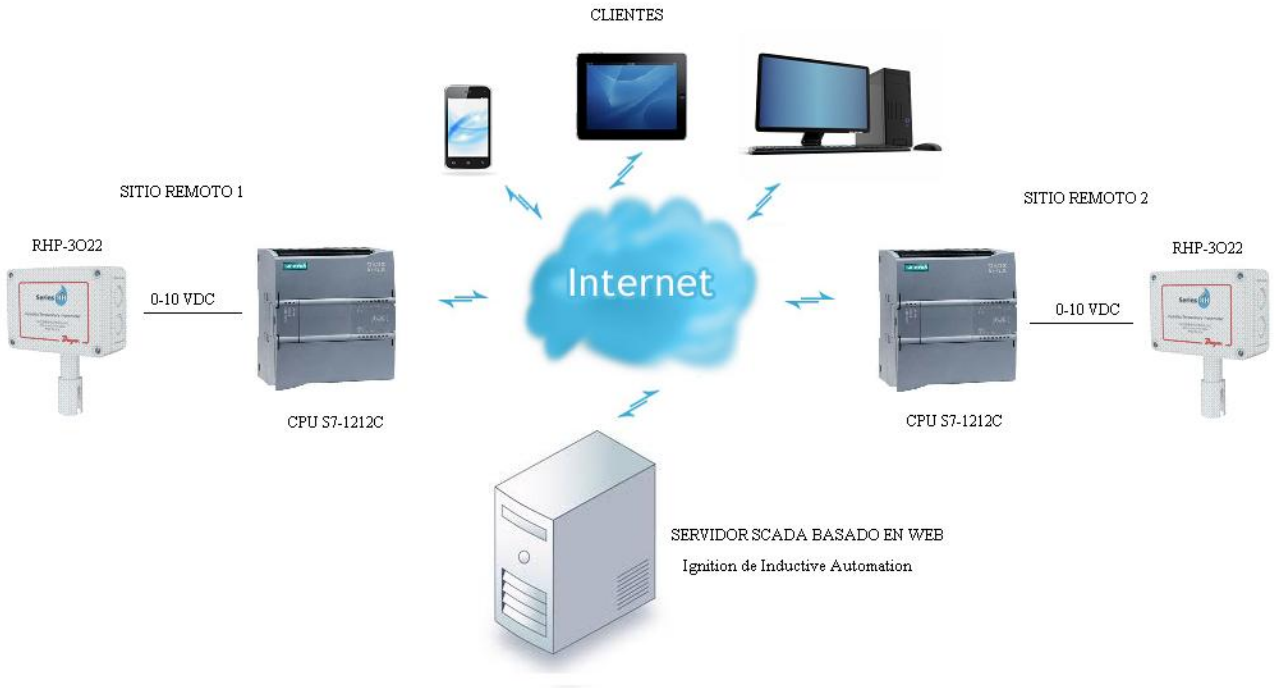

Figura 22. Topología de monitoreo y control para sistemas de Invernadero.
Por: El autor

Como ya se ha indicado en el apartado teórico, se hace uso de múltiples tecnologías para hacer posible la extensión del cable por canales virtuales, de manera que aparezca como un sistema compacto, cuando los elementos que lo componen se encuentran a kilómetros de distacia entre sí. Esto es posible bajo el supuesto de que todos los elementos que componen este sistema tienen acceso a internet y tienen manera de ser direccionados con una dirección única a través de la red global.

3.2. Diseño de unidades de control de humedad y temperatura basadas en módulos de micro-automatización S7-1212C.

En los siguientes puntos se presenta el principio de funcionamiento de los componentes que conforman el sistema de control automático propuesto para este proceso, además de su operación en conjunto para regular las condiciones operativas de dicho proceso.

3.2.1. Hardware y equipos de control.

El CPU S7-1212C está dotado de todas las herramientas necesarias para el control propuesto. Se tiene como elmentos de control lo siguiente:

- 1 sensor dual de temperatura y humedadDwyer RHP-3022, el cual posee dos canales de salida que serán configurados en un rango de 0-10 Vdc

- 1 motor de pasos bipolar marca Pololu, cuya posición se controla mediante secuencias binarias de 4 bits, con una tensión por bobina de7,5Vdc

- 1 ventilador extractor para aireación del invernadero, controlado por una señal discreta de dos estados

- 1 sistema pulstante de rociadores para compensar la humedad relativa en el ambiente, con un control pulsante de acuerdo al parámetro medido

El CPU, por lo tanto, deberá estar provisto de lo siguiente:

- 2 canales de entrada analógicos para la lectura de los valores de proceso medidos

- 4 canales de salida binarios para las secuencias de comandos de paso del motor de pasos

- 1 canal de salida digital con interface de potencia para control del ventilador de aireación

- 1 canal de salida digital con capacidad de switcheo rápido en interfase de potencia para control pulsante de rociadores humidificantes

Las características que se detallan a continuación se pueden sustentar en la ficha técnica que se anexa a la documentación de soporte. Se ha elegido utilizar la versión S7-1212C por tener la cantida de canales necesarios para la aplicación, sin resultar en una inversión altamente honerosa.

El motor modulador de la entrada de aire, sin embargo, plantea condicones especiales de control. Este motor tiene una resolución de 200 pasos por revolución, lo cual permite un nivel de modulación más fino respecto a otros equipos. Por cada cambio en la combinación de pulsos de acuerdo a una secuencia definida por el paso de bobinas, el motor dará un paso con un desplazamiento angular de 1,8°, con un torque de sostenimieno 6.5 N.cm, lo cual lo hace apto para mantener la posición del damper de ventilación en estado estacionario.

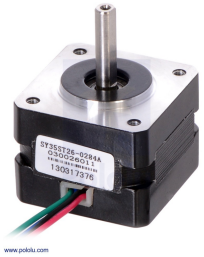

Figura 23. Motor de pasos bipolar.
Por: Pololu (s.f.)
Fuente: https://www.pololu.com/product/1207

El motor bipolar, a diferencia de los unipolares, no tiene salida de referencia a tierra en su terminales.Esto hace el control del motor algo más complejo en relación al control de un motor de pasos unipolar, dado que se debe descargar una bobina energizada con algún circuito de conmutación y absroción de carga que responda con la suficente rapidez a la frecuencia de la señal de comando de pasos. Por ello, las salidas digitales del PLC dan los comandos, pero no pueden interactuar directamente con las bobinas del motor de pasos. Para ello se requiere un dirver específico, diseñado para operar con este tipo de equipo.

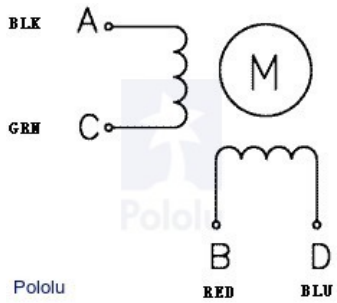

Figura 24. Esquema de bobinas de motor de pasos bipolar.
Por: Pololu (s.f.)
Fuente: https://www.pololu.com/product/1207

Como se observa en la figura, el esquema elemental del motor de pasos bipolar consta de 4 terminales para impulsarlo. Esto implica que los pasos se dan por combinacines binarias de 4 bits. Sin embaro, en el momento que se invierten las polaridades para el juego de pasos en una determinada bobina, se debe haber liberado la energía remanente del inductor, pues podría producir problemas serios en la circuitería de control asociada de no contar con aislamiento galvánico. Como ya se expresó, se necesita un dirver que logre este cometido con la suficiente rapidez. Típicamente, lo que este tipo de motor demanda es el uso de una configuración de puente H dual, donde cada juego de bobinas del motor bipolares conmutada y descargada mediante transistores de alta velocidad configurados como se muestra en la siguiente imagen.

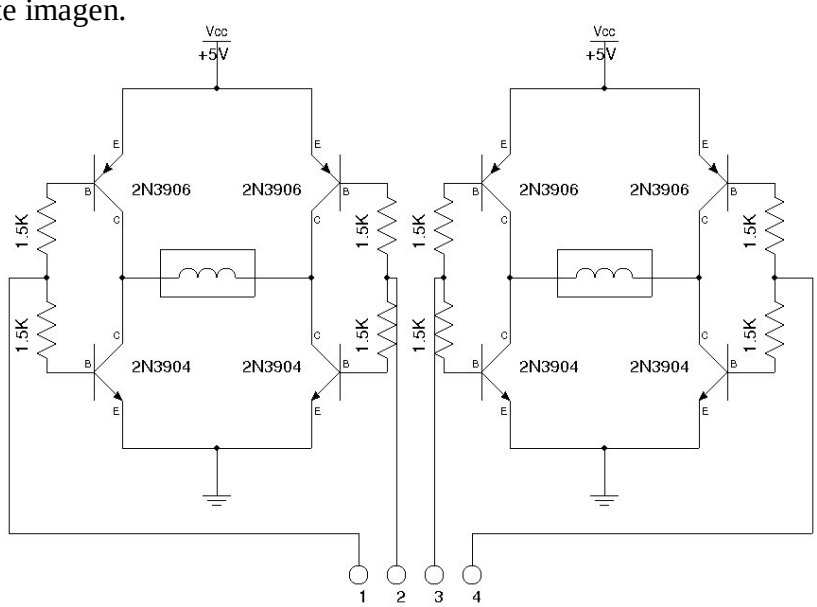

Figura 25. Circuito tipo puente H dual conmutando dos bobinas.
Por: Wong, K. (s.f.)
Fuente: A Simple Dual H-Bridge.

Como se observa en la Figura 25, de acuerdo a la combinación de señales de entrada, cada puente H energiza la bobina en un extremo y descarga a tierra en el otro. Adicionalmente, ciertas versiones de estos circuitos tienen diodos para descarga de remanencia en el indcutor que entran en funcionamiento una vez que la bobina pierde su alimentación.

En esta implementación se utiliza un driver para motores basado en una configuración de puente H dual. El L298N es un circuito de este tipo, por lo cual se ha escogido un módulo basado en este componente para la interface con el motor de pasos bipolar.

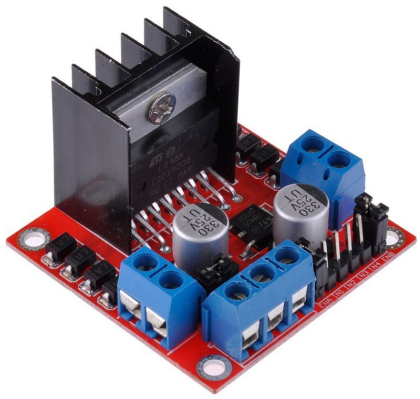

Figura 26. Modulo controlador para motores DC y de paso L298N**.**
Por: Neewer. (s.f.)
Fuente: http://www.amazon.com/Neewer-5V-35V-Stepper-Controller-Arduino/dp/B00K4MV652

El módulo L298N toma la secuencia de pasos desde el PLC a través de sus terminales de control. Este módulo se alimenta con la tensión de energizado que requieren las bobinas del motor, y sus terminales de control se manejan con niveles de voltaje TTL (+5VDC). Se muestra el esquema de pines del módulo en la Figura 27.

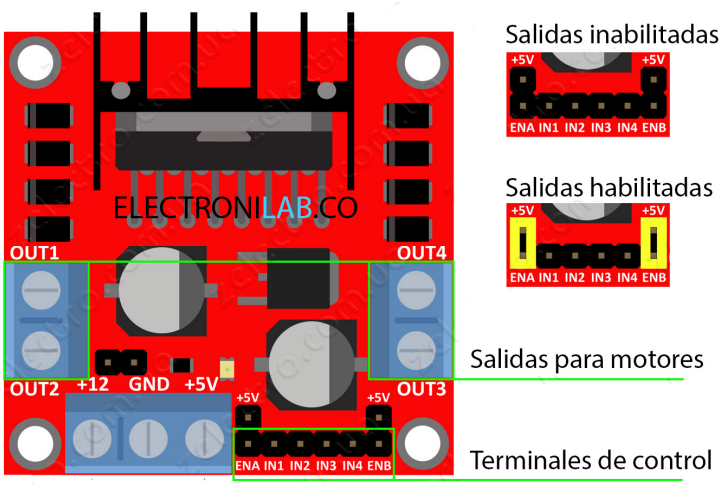

Figura 27. Pines y terminales del módulo L298N.
Por: Electronilab (s.f.)
Fuente: http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/

El módulo hace la función de interface simple, pero es un controlador externo el que realiza la secuencia de pasos del motor de pasos bipolar. Este módulo tiene la función vital de proveer el switcheo rápido que las bobinas del motor requieren para evitar problemas eléctricos en los inductores del mismo. El esquema de conexiones es muy similar al que se observa en esta imagen.

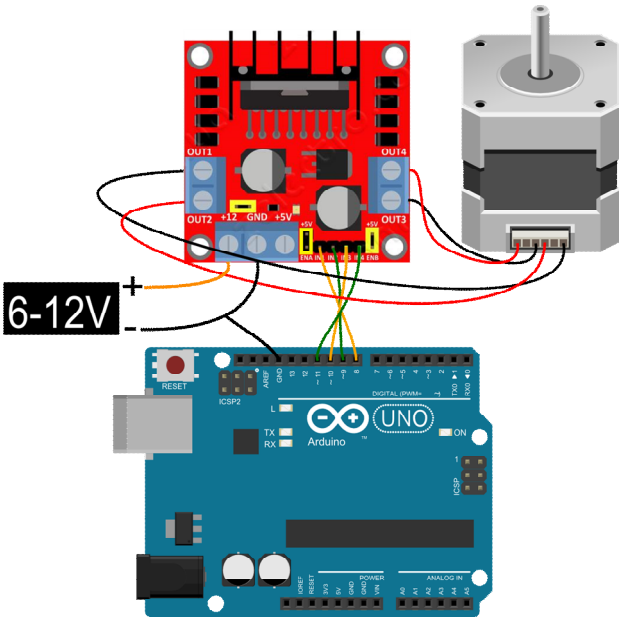

Figura 28. Módulo L298N conectado a motor de pasos bipolar y controlador externo.
Por: Electronilab (s.f.)
Fuente: http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/

Hasta este momento se ha observado las capacidades del PLC seleccionado únicamente en función de las interfase de entradas / salidas que debe manejar. No obstante, el equipo también debe poder conectarse a la nube mediante algún tipo de interfase compatible. Toda la gama de PLCs S7-1200 poseen un puerto Ethernet incorporado, el cual le permite conectrase a cualquier red LAN que le de acceso a la nube. De esta forma se logra direccionar los datos a la ubicación del servidor donde reside la instalación del sistema SCADA Web Ignition.

Es necesario tener en cuenta un factor muy importante. La interfase física Ethernet por si sola no le va a permitir al PLC de control transportar los datos hacia la ubicación del servidor Web. Estos paquetes viajarán por el Internet, y no necesariamente pasarán por el mismo circuito, dado que el flujo de datos a través de la Web en sí está orientado a conexión. En otras palabras, los datos deben ser enrutados, por lo cual se debe contar con un mecanismo que empaquete los datos para que puedan ser enrutados.

En el punto 2.2.2.2 se mencionó que existen protocolos enrutados, entre ellos el protocolo TCP. Los datos deben encapsularse con un formato que cuente con este mecanismo y a su vez sea legible en el servidor Web. El protocolo Modbus TCP hará posible que se cumpla este cometido.

Conforme lo describe Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D. (Eds.). (2011), Modbus TCP es una variante de la familia de protocolos de comunicación Modbus, sencillo, neutral al fabricante pensado para la supervisión y control de equipos de automatización. Específicamente cubre el uso de mensajería Modbus en un ambiente de “Intranet” o “Internet” usando los protocolos TCP/IP

La familia S7-1200 está provista de un juego de librerías de comunicación para todas sus posibles interfases. Para la inerfase Ethernet, cuenta con una librería para comunicaciones mediante Modbus TCP. Esta librería le permite al CPU funcionar de dos posibles formas:

- Como maestro en Modbus TCP (el CPU es un equipo tipo cliente respecto a los datos)

- Como esclavo en Modbus TCP (El CPU se convierte en un servidor de datos de acuerdo con los requerimientos de el/los clientes)

La diferencia entre maestro y esclavo radica en cual de ellos solicita la información, es decir, inicia el intercambio de datos, y cual está listo escuchando una requerimiento de información para responder. En el caso de la este sistema, el servidor Web SCADA es el que solicita la información de todas las posibles unidades de control ubicadas en los distintos invernaderos. Cada uno de ellos responde en su turno de acuerdo a las conversaciones iniciadas por el maestro Modbus.

Con estas consideraciones, el esquema de comunicaciones que debe estar configurado en cada PLC es el de esclavo o servidor Modbus. En la Figura 29 se muestra el bloque de control que debe ser parametrizado de acuerdo al esquema de red para establecer comunicaciones con el maestro Modbus.

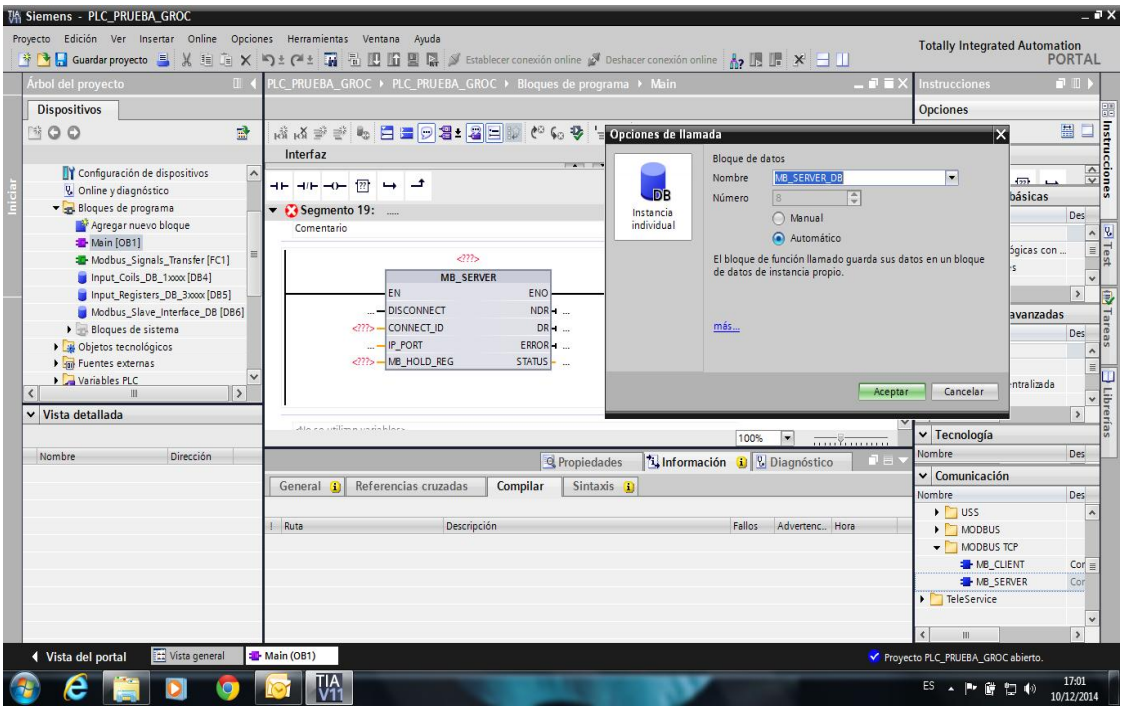

Figura 29. Bloque para servidor Modbus TCP en PLC S7-1200.
Por: El autor

El intercambio de información entre maestro y esclavo se hace a través de registros de almacenamiento. De acuerdo al esquema planteado, no resulta de mucha

utilidad acceder a entradas y salidas físicas de las unidades de control. Sin embargo, en ciertas aplicaciones donde se requiera una reprogramación completa de forma remota podría resultar bastante útil.

En el caso de los registros de almacenamiento, el bloque de control solicita definir el vector en el cual se almacenan estos datos. Estos pueden ser del tipo marcas de memoria (MW) o bloques de datos. De acuerdo al puntero base y la longitud de datos que se defina en el bloque de esclavo Modbus, el PLC comprende que para los comandos de escritura y lectura a estos registros de almacenamiento considera“n” palabras de datos a partir de dicho puntero. Este bloque permite utilizar este tipo de limitación de rango de acuerdo a la aplicación que se desarrolle, sin embargo, es el esquema de direccionamiento bajo el que funciona el protocolo Modbus reserva 9999 registros por cada tipo de dato definido por el estándar. En cuanto al rango de direcciones de la aplicación, es recomendable respetar ese rango de direcciones para el propósito asignado y evitar utilizar algún registro en este espacio para otro tipo de función.

En la implementación actual, se debe definir las direcciones Modbus en las que se recogen los datos relevantes para el control del sistema. Esto debe estar normalizado como estándar para todas las unidades de control, de manera que sean intercambiables entre sí de forma transparente, lo cual permitiría masificar la aplicación del sistema y reducir los tiempos de detección de fallas en alguna unidad que necesitase revisión. El la Figura 30 se indica el esquema de direccionamiento Modbus planteado para las unidades de control de humedad y temperatura.

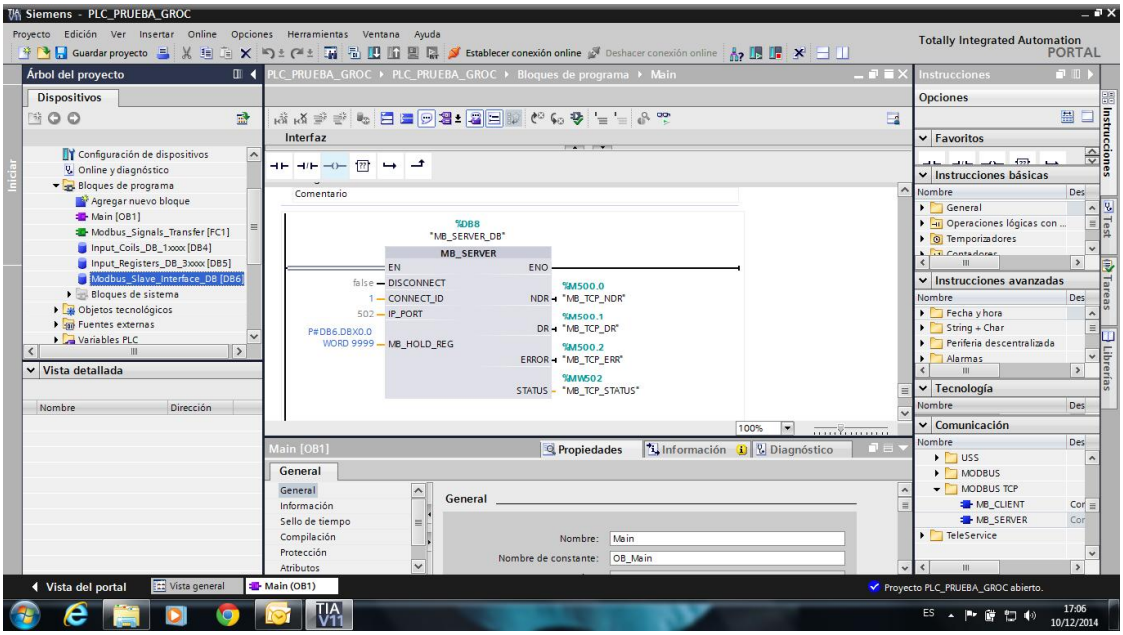

Figura 30. Bloque para servidor Modbus TCP parametrizado.
Por: El autor

Entre sus parámetros, el bloque muestra el número de puerto 502. Este es el puerto TCP típicamente asignado para comunicaciones en Modbus TCP. Sin embargo, no es el único. Se debe configurar tanto en el origen de datos como en el destino de los mismos el mismo número de puerto TCP para que el enlace pueda ser establecido.

El cliente contacta al servidor vía dirección IP, pero podría existir la posibilidad que se necesite la implementación de múltiples bloques de comnicación desde el mismo dispositivo, es decir, que todos estos bloques comparten la misma dirección IP. Por este motivo, el bloque está provisto de un identificador (ID) de conexión. El mismo equipo puede manejar hasta 255 conexiones a través del mismo puerto Ethernet, sin que ellas se afecten entre sí, dado que cada cliente invoca únicamente a la conexión que le compete.

Las señales de estado del bloque permiten diagnosticar prosibles problemas en la conexión. Estas son de gran importancia en la configuración inicial del enlace, pues con la infromación que proveen se puede hacer el análisis de fallo y tomar los correctivos necesarios. Su función se explica a continuación.

- NDR: New Data Received.- se activa ante una nueva petición de datos por parte del cliente

- DR: Data Read.- indica que los datos que han sido enviados al cliente han sido leídos en su destino

- ERROR: indica que se ha generado un error en la comunicación. El detalle del error viene dado por la señal STATUS

- STATUS: Es la palabra de estado que ofrece información más detallada respecto al error generado

Una comnicación exitosa está dada por la activación alternante de NDR y DR, mientras que la señal de ERROR debe estar siempre apagada.

3.2.2. Siemens Simatic Tia Portal V11.

El equipo de control seleccionado se configura a través del uso de esta herramienta. La plataforma de Siemens para configuración de autómatas programables constituye la base para realizar los ajustes necesarios para que el sistema operativo del equipo conozca el hardware y versión de firmware que se utiliza, la interface y direccionamiento de entradas / salidas, además del desarrollo de la lógica de control que determina la respuesta del sistema ante los distintos estímulos de entrada.

A arrancar la interface de proyecto, se debe especificar la ubicación de los archivos de programa, el nombre del proyecto y demás comentarios pertinentes que describan de que se trata esta configuración.

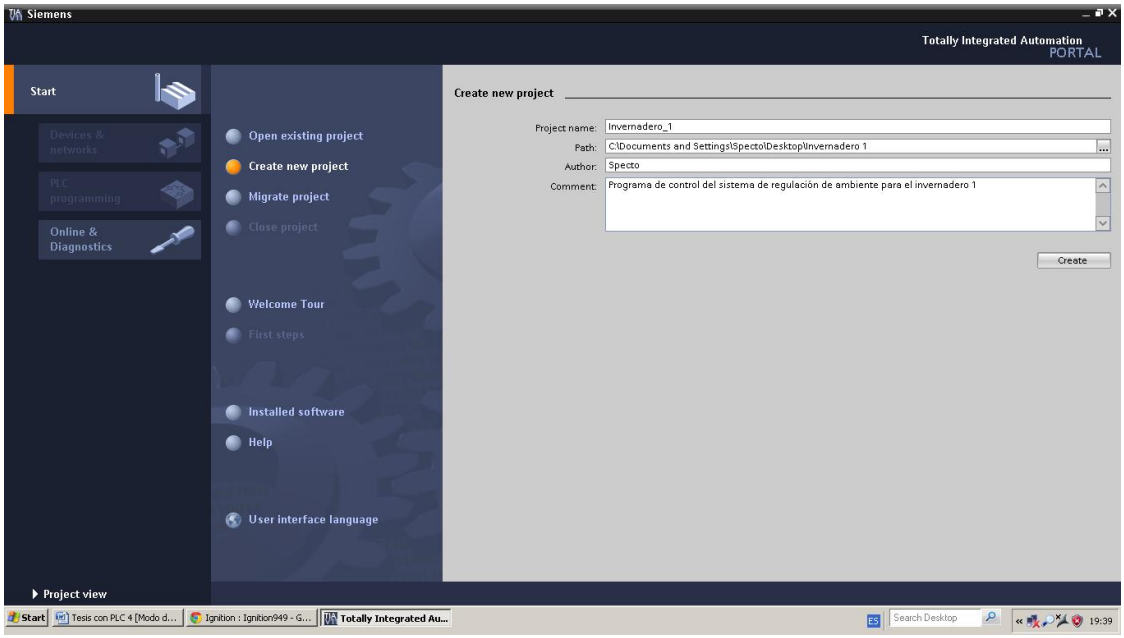

Figura 31. Nuevo proyecto en TIA Portal V11.
Por: El autor

Tras la creación de los archivos de proyecto, el TIA Portal solicita que se defina los equipos que formen parte de la presente configuración. Cada equipo definido tiene su propia configuración de hardware y su interface de conexión a red, al igual que su propio sistema de bloques de control.

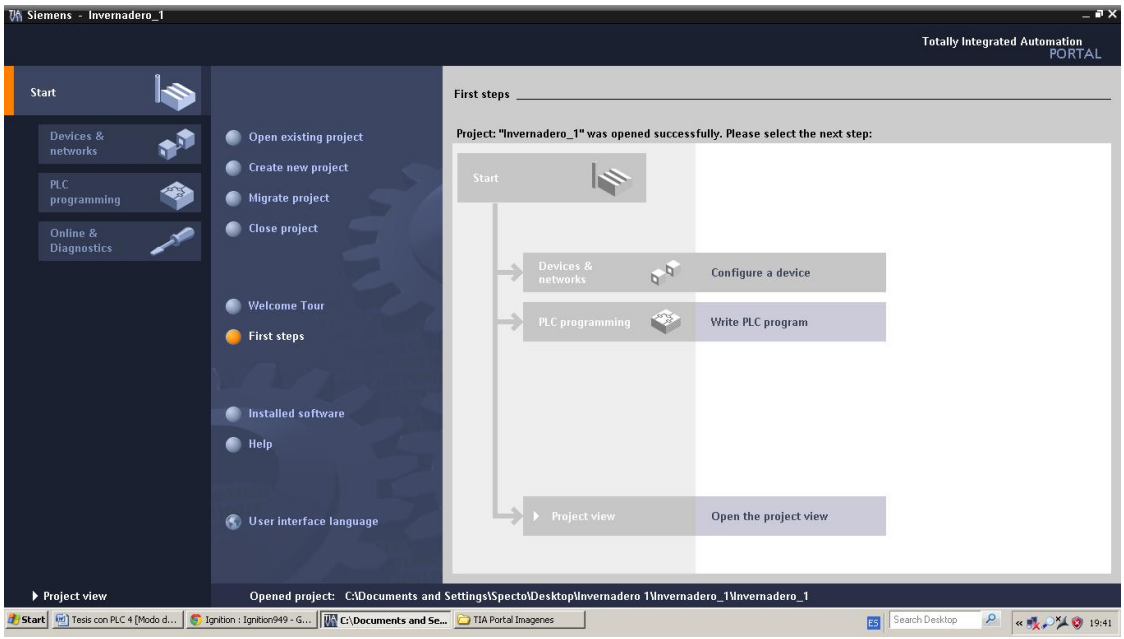

Figura 32. Primeros pasos en TIA Portal V11.
Por: El autor

El caso particular de esta implementación requiere únicamente un equipo para el control del sistema, por lo cual se define el equipo planteado en el apartado anterior. Se localiza en el menú de equipos disponibles el código pertinente para que el TIA Portal aperture los archivos de configuración, firmware y definiciones de hardware correctas para la unidad de control.

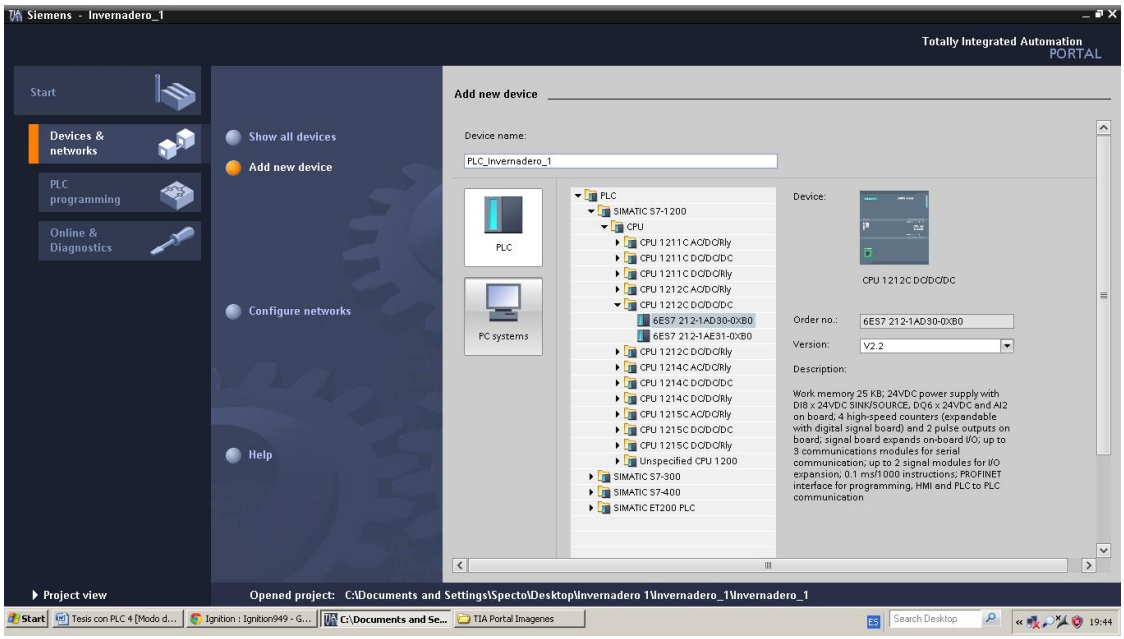

Figura 33. Nuevo dispositivo en TIA Portal V11.
Por: El autor

El equipo que consta en esta instalación es el PLC Simatic S7-1200, CPU 1212C DC/DC/DC. Este tiene un código de catálogo único, el cual debe corresponder al que está impreso físicamente en la CPU. Además, por efectos de poder contar con toda la gama de funciones para el hardware disponible, se debe seleccionar la versión de firmware adecuada, que en este caso es la v2.2.

El TIA Portal oferece además una breve descripción de las características del hardware configurado, de manera que se tenga una clara idea de todas las funcionalidades de la unidad seleccionada.

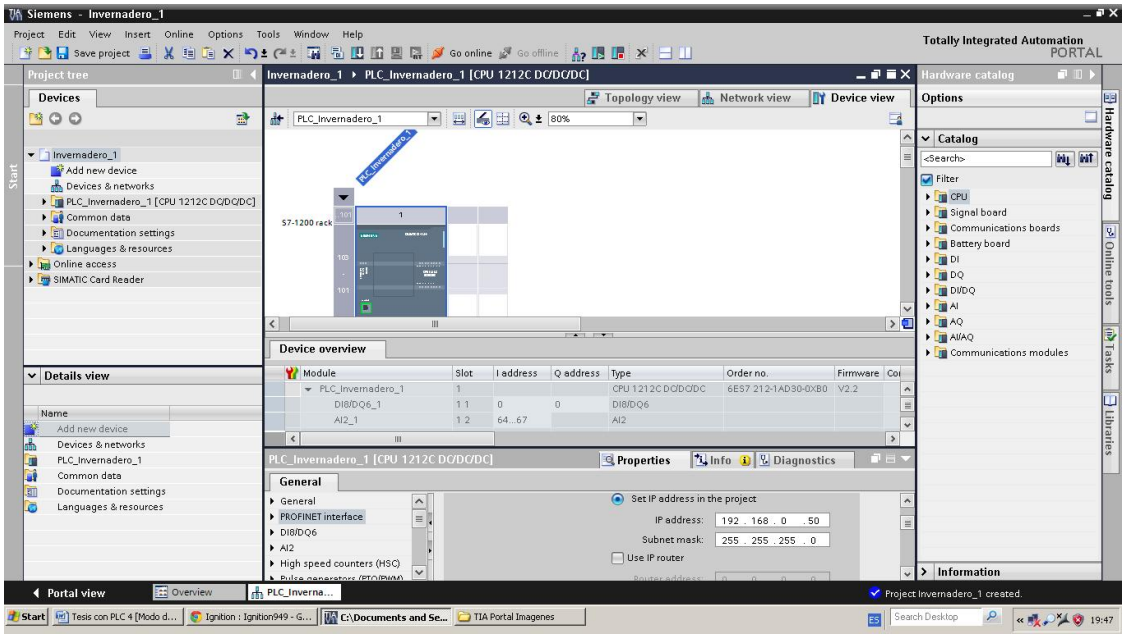

Figura 34. Configuración de hardware para dispositivo.
Por: El autor

Una vez seleccionado el hardware a ser utilizado, el TIA Portal permite revisar de manera más específica los detalles del equipamiento en el dispositivo. Como se puede apreciar en la imagen anterior, el equipo cuenta con entradas y salidas digitales, ambas con dirección base 0, además de dos entradas analógicas desde la dirección de entrada 64 hasta la dirección de entrada 67. Adicionalmente, el equipo puede ser modificado en su interface de red, mostrando en el gráfico una dirección IP privada para protocolos de carga inicial y pruebas.

En el mismo árbol de proyecto se puede acceder al resto de recursos tecnológicos que la interface de programación del TIA Portal tiene para ofrecer. El siguiente editor fundamental para arrancar cualquier proyecto es el de los bloques de programa. Se muestra en la siguiente figura la interface de programación de la lógica de control.

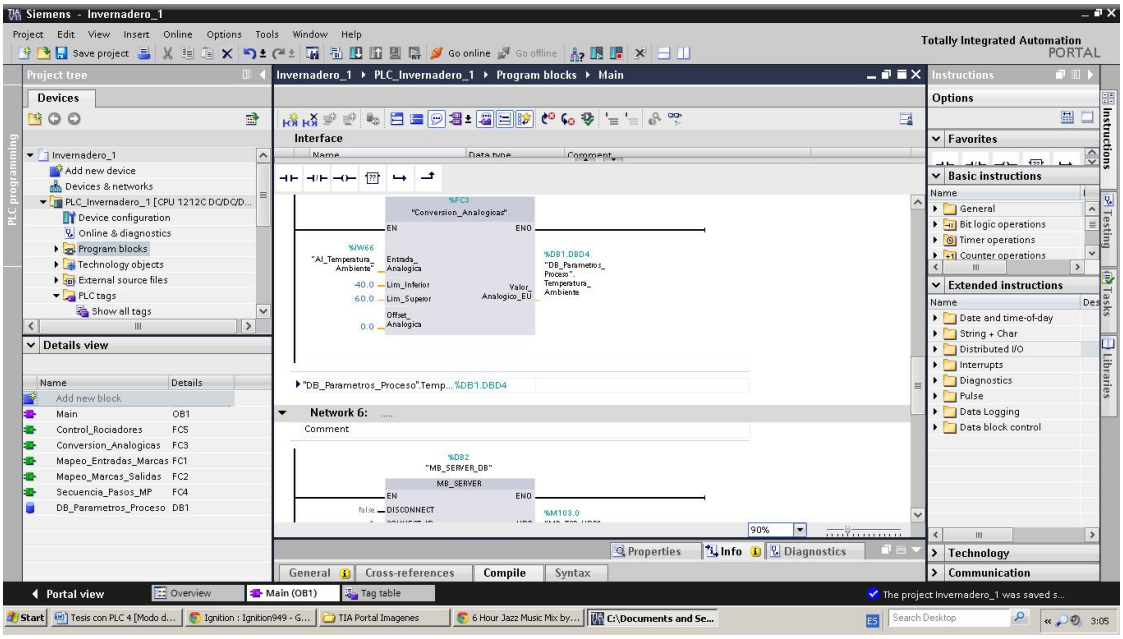

Figura 35. Interface de programación de bloques lógicos de control.
Por: El autor

Hacia el lado izquierdo se encuentran los bloques que componen el programa de control del sistema de regulación de humedad y temperatura del invernadero. Estos se han dividido en etapas funcionales definidas, de manera que la revisión del programa y tareas de diagnóstico de errores sea más sencilla al no tener bloques de programa muy extensos cuando se analiza la lógica de control ante un fallo, lo cual ciertamente facilita la detección de errores.

El sistema de control se programa en base al set point de la temperatura y la humedad ambiente. Las funciones difusas que comandan a este sistema se plantean la manera en que se modela el proceso, siendo los umbrales de cada conjunto difuso delimitados por la tolerancia del proceso a cada parámetro de control de la siguiente manera:

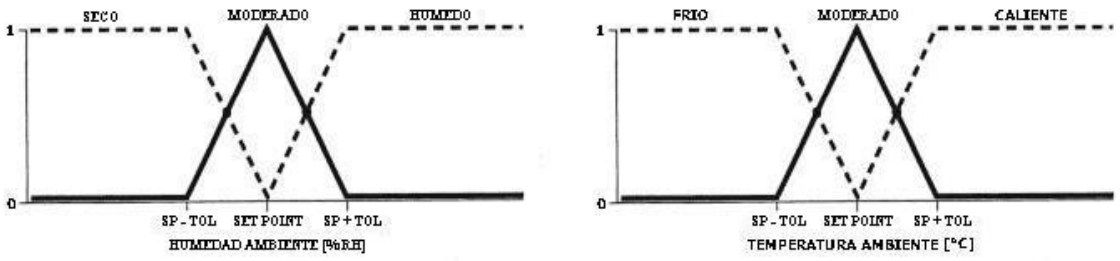

Figura 36. Funciones difusas para parámetros medidos en proceso.
Por: El autor

Los parámetros medidos determinan el conjunto difuso en que se encuentran los valores en el tiempo, lo cual se configura y monitorea mediante el Servidor SCADA, donde un experto en el proceso pueda programar los controles a través de una interface simple, mediante ensayo y error.

En base a estos conjuntos difusos y sus funciones planteadas, se estructuran las directivas de control mediante reglas IF-THEN. En el diseño del sistema de control y monitoreo se plantea este conjunto de reglas como una matriz de decisiones que puede ser evaluada y replanteada. Claramente, esto no lo puede realizar cualquier persona. Únicamente lo puede llevar a cabo el personal que cuente con las credenciales de acceso autorizado.

El PLC, por lo tanto, constituye un buffer de hardware, equipado con funciones de procesamiento y escalado de datos de proceso. Si bien es cierto, la estructura física de hardware que comanda los actuadores reside en el controlador, mas la lógica que los activa se configura a través de la nube. Esto no implica que cada proceso de activación de dispositivos actuadores deba ejecutar un ciclo de ida y vuelta a través de Internet, ya que los últimos valores cargados de las reglas de control residen en la memoria local del PLC, aunque las directivas de decisión se estén actualizando constantemente con cada ciclo de comunicación con el Servidor Web.

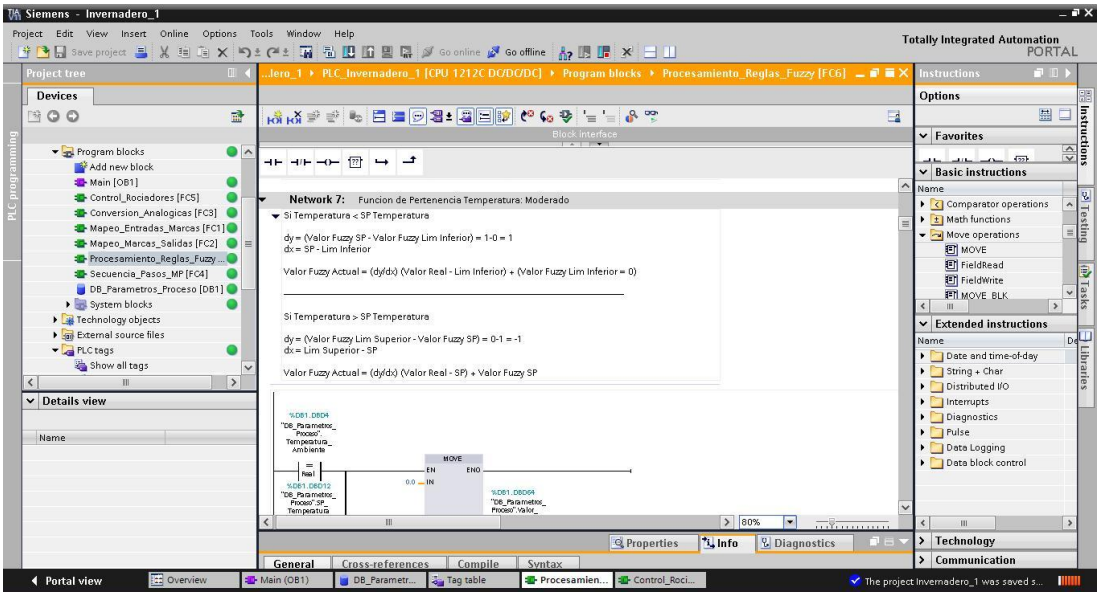

Figura 37. Procesamiento de funciones Fuzzy en PLC.
Por: El autor

3.3. Diseño de interface de monitoreo y control Web

El sistema se ha planteado como un control centralizado a través de la nube. Para ello se ha establecido un punto en la red donde reside el servidor de aplicación de monitoreo y control Web, siendo sus clientes cualquier dispositivo que tenga las credenciales de acceso correspondientes. De esta manera se evita condicionar la gestión del proceso a un equipo específico, facilitando así la accesibilidad a través de cualquier consola disponible al operador o al administrador del proceso.

3.3.1. Ignition de Inductive Automation.

Ignition es una plataforma de software SCADA desarrollada bajo Java, pensada para aplicaciones en entornos independientes de la plataforma de sistema operativo. Su estructura portable permite que todos los paquetes y componentes necesarios para correr la aplicación se carguen en el cliente al invocar el desempaquetado de la aplicación en dicho cliente. Este sistema no requiere la instalación de la aplicación ni otra plataforma base en ningún cliente. Tan solo se necesita una versión compatible de Java.

3.3.1.1 Un SCADA para la nube.

Ignition se basa en un entorno Web para sus configuraciones y la invocación de aplicaciones. Este esquema permite no solo la ejecución de aplicaciones de visualización y control en localidades remotas lejanas al servidor de aplicaciones, sino también la reprogramación y reconfiguración de dichas aplicaciones de manera remota, al igual que la inserción de nuevos dispositivos y componentes. El entorno de gestión de dispositivos, conexiones y aplicaciones arranca a través de un Web browser, sin restricción de tipo de explorador o marca de plataforma. Este es el portal o Gateway Ignition.

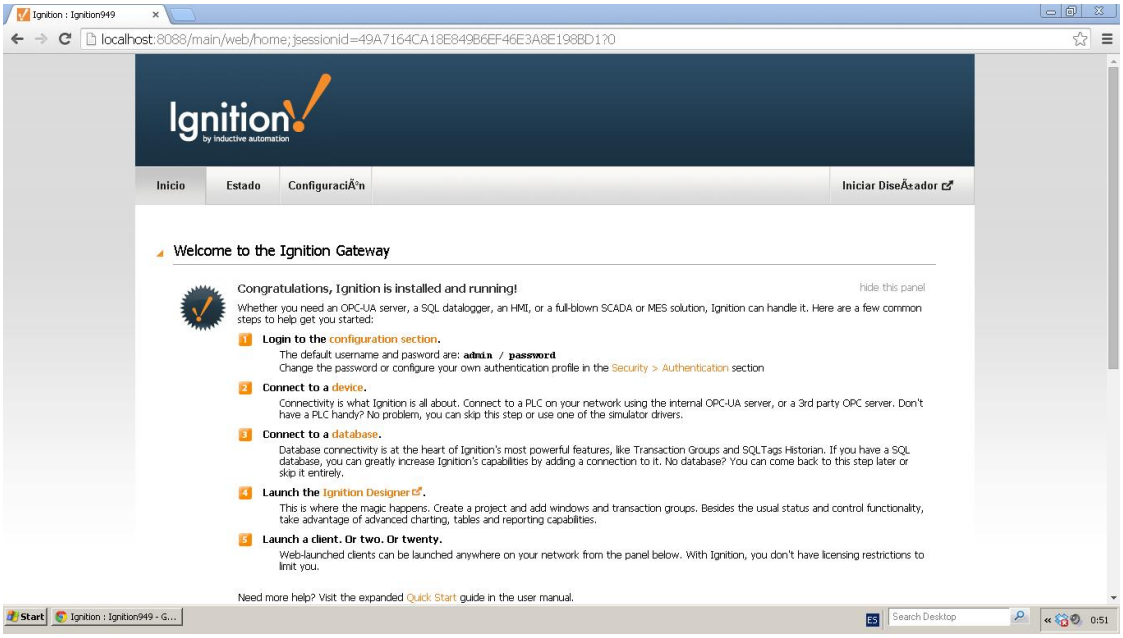

Figura 38. Entorno de gestión de aplicaciones de Ignition
Por: El autor

El gráfico expuesto muestra como Ignition se puede arrancar en cualquier explorador Web, sin necesidad de estar trabajando físicamente sobre el servidor o la máquina en la que se encuentra instalada la plataforma de software. En esta ventana se presenta una guía rápida de cómo empezar a configurar proyectos para monitoreo y control de procesos. Lo presenta en 5 pasos que se detallan a continuación:

1. Login a la sección de configuración
2. Conectarse a un dispositivo
3. Conectarse a una base de datos
4. Iniciar el Diseñador de Ignition
5. Iniciar un cliente.

3.3.1.2. Configuraciones básicas.

El ingreso a la sección de configuración permite acceder a funciones avanzadas como la carga y retiro de licencias del software instalado, restaurar o respaldar el archivo global de configuración y ejecución del servidor, entre otras.

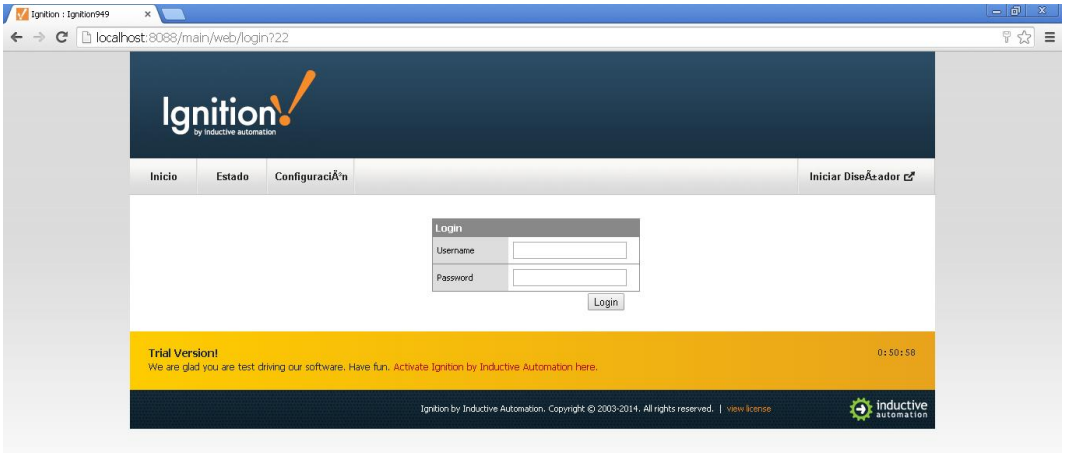

Figura 39. Pantalla de login de Ignition.
Por: El autor

Los datos de proceso se adquieren de distintos dispositivos conectados al sistema SCADA. Estos equipos se conectan de forma sencilla de acuerdo al driver de comunicación que los enlace con la aplicación. Se observa en la siguiente pantalla el menú de ingreso de dispositivos, junto con los drivers de comunicación pre-cargados en la plataforma de gestión.

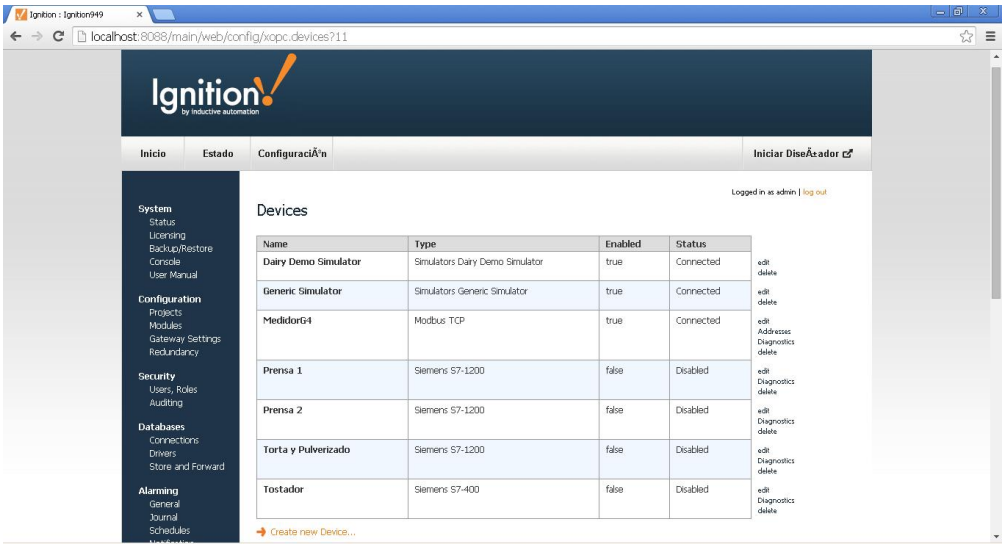

Figura 40. Dispositivos conectados a la plataforma.
Por: El autor

Para insertar un nuevo dispositivo se escoge la opción “Create new Device…” y luego el sistema muestra las opciones de drivers que se encuentran disponibles en la plataforma de configuración.

Dado que Ignition es una plataforma de software SCADA diseñada para la industria, esta posee drivers de conexión nativos de las reconocidas marcas de controladores industriales, como lo son Siemens, Allen Bradley, y toda la gama de equipos que pueden enlazarse a través del protocolo de comunicación Modbus TCP, como son Schneider Electric, ABB, Omron, GE, entre otros.

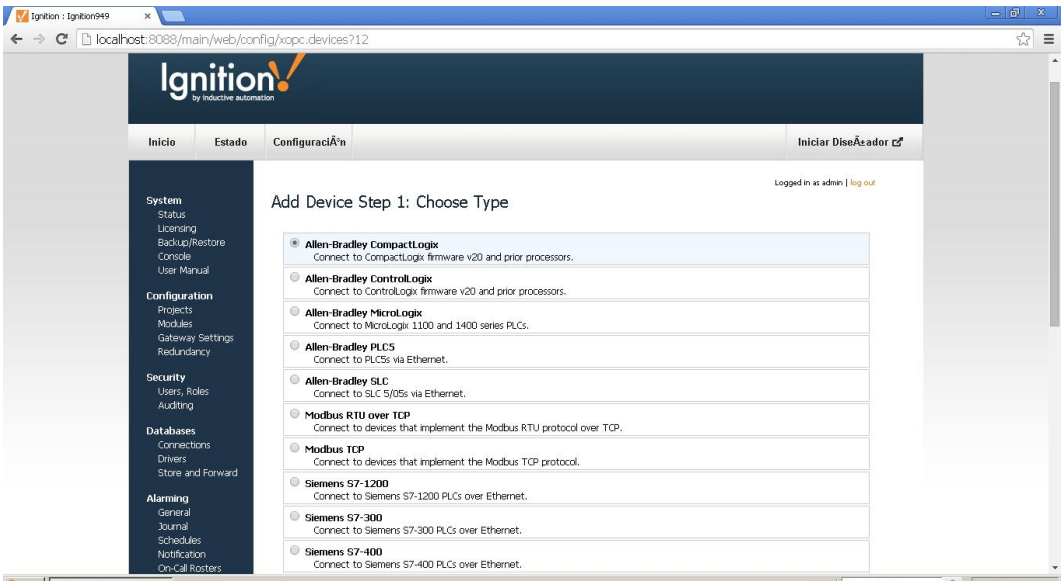

Figura 41. Drivers de conexión disponibles en Ignition.
Por: El autor

Una vez seleccionado el driver de comunicación que se desea utilizar, el enlace al mismo se levanta mediante el ingreso de los parámetros de conexión.

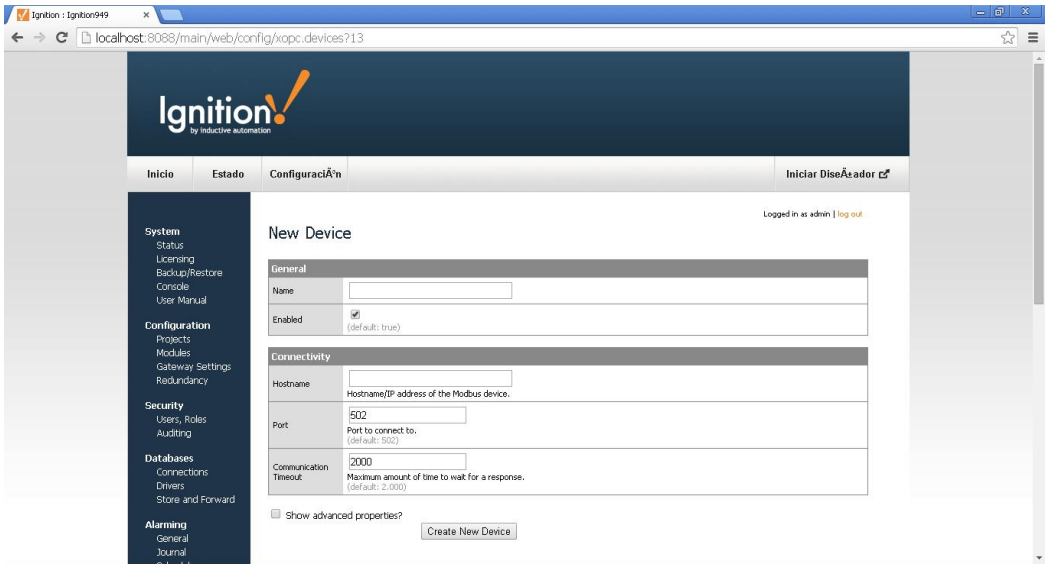

Figura 42. Parámetros de conexión para driver Modbus TCP.
Por: El autor

Al tratarse de un software SCADA para redes de computadoras, el enlace se configura mediante puertos Ethernet. En el gráfico anterior se muestra la interface de configuración de protocolo Modbus TCP para el dispositivo creado. El puerto TCP que permite la gestión de esta aplicación es el 502, el cual está anotado por defecto. Los parámetros restantes son el nombre del equipo y la dirección IP que este tendrá para este enlace configurado.

3.3.1.3. Enlace con bases de datos.

Dentro de las configuraciones básicas se encuentra la posibilidad de enlazar el servidor SCADA con gestores de bases de datos de distintas marcas. A diferencia de otros tipos de software SCADA, Ignition puede conectarse a distintas plataformas de manejo de información. El respaldo de sus archivos de variables históricas lo escribe en la o las bases de datos que se definan para este cometido, sea en el servidor local o en una ubicación remota. Esto permite una gran flexibilidad en el respaldo de archivos de datos de proceso y la facilidad de compartirlos en las localidades que sean necesarias para integrarlos a un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP).

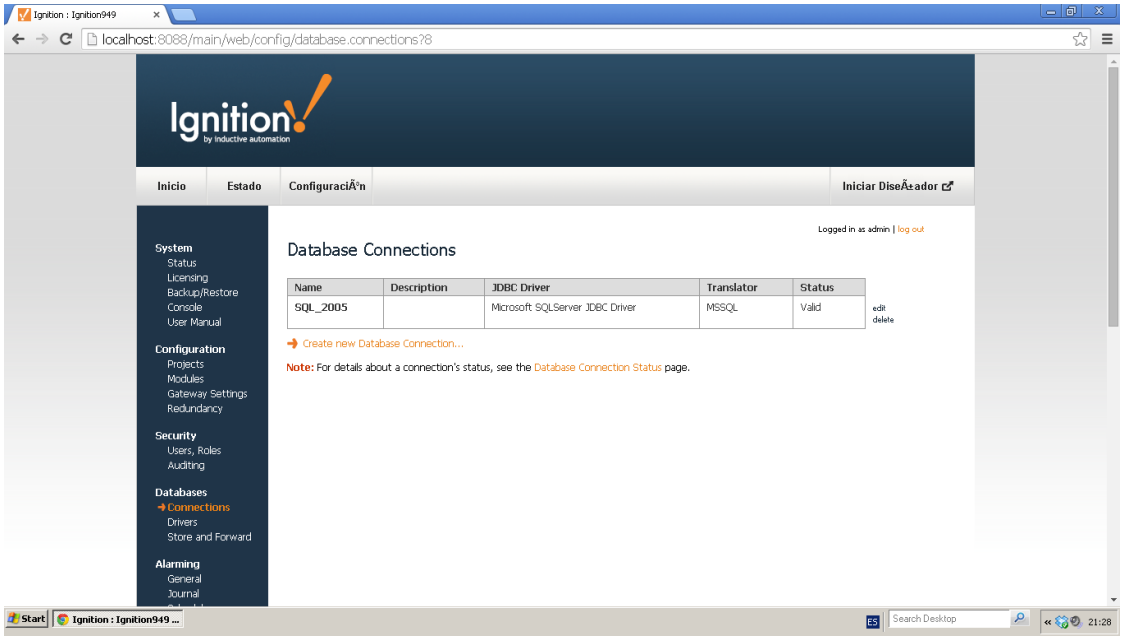

Figura 43. Conexiones de bases de datos.
Por: El autor

Al igual que el resto de las interfaces de configuración, las distintas bases de datos se pueden ver en una lista, a la cual es posible anexar más conexiones de distintos fabricantes. Esta es una de las grandes ventajas de Ignition frente a otros tipos de software SCADA industriales, ya que en la mayoría de ellos, el respaldo de archivos históricos de proceso está atado a una marca específica de gestor de bases de datos, necesitando de puentes de datos o servidores ligados que sirven de intermediarios para la publicación de información a otras plataformas de gestión de bases de datos. Esto implica más recursos de proceso en el servidor y un mayor tiempo en la ejecución de transacciones de información de una plataforma a otra. En Ignition, sin embargo, dichos datos históricos se pueden configurar y respaldar sobre cualquier plataforma de gestión de bases de datos en forma nativa, sin intermediarios ni procesos adicionales. A continuación se puede observar las opciones configurables de plataformas de gestión de bases de datos para trabajar con el sistema de archivos históricos de Ignition.

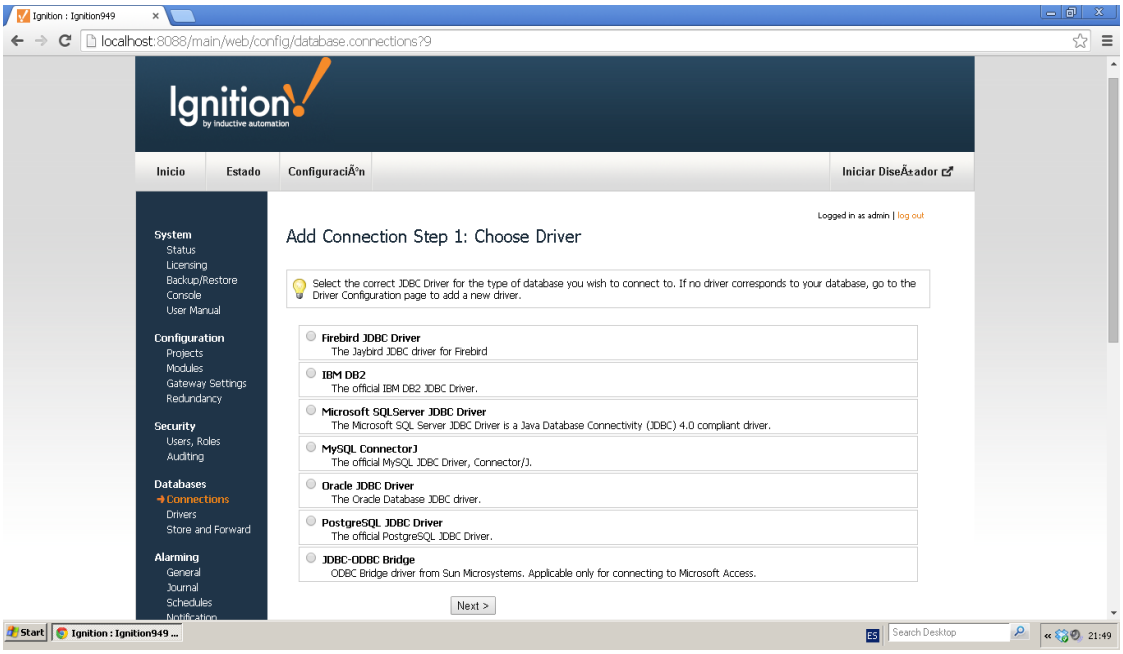

Figura 44. Opciones de plataformas de manejo de bases de datos.
Por: El autor

Cada conexión creada debe enlazarse a su respectiva base de datos, apuntando al servidor en la que reside. Si la base de datos se encuentra fuera del equipo en el que ha sido instalado Ignition, basta con definir la ruta hacia el servidor en mención.

En el siguiente gráfico se presenta la interface de configuración de la conexión a una base de datos MSSQL Server. Entre los parámetros más importantes se encuentran el nombre de la conexión, mediante el cual se enlazan las variables históricas de proceso, el Localizador Uniforme de Recursos (URL) de conexión, las credenciales de acceso para dicho enlace, y el nombre de la base de datos en la cual se respaldan los datos.

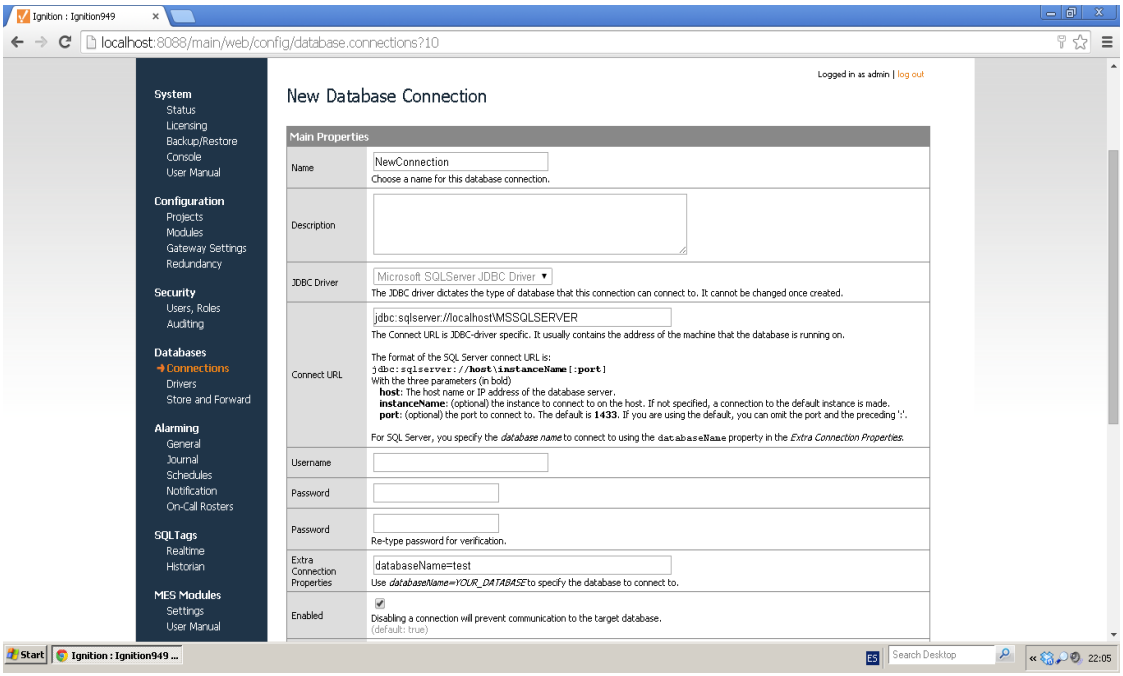

Figura 45. Menú de configuración de parámetros para MSSQL Server.
Por: El autor

Es importante establecer la ruta específica al origen de datos. La URL de conexión no solo incluye la dirección IP o nombre de host de un equipo en un dominio determinado, sino también la instancia del gestor de bases de datos, dado que puede haber múltiples instancias ejecutándose en el mismo equipo. Finalmente, en el caso de SQL Server, se debe especificar el nombre de la base de datos con que se trabaja en la instancia seleccionada.

3.3.1.4. Entorno de diseño.

El Diseñador de Ignition se inicia también a través del portal de configuración o Gateway como un servicio Web, el cual guarda un elemento de acceso a la interface de configuración gráfica e importa los paquetes necesarios para correr el Diseñador. En otras palabras, la interface de diseño no necesita ser instalada mediante configuraciones complejas, tan solo se invoca y, por su portabilidad, se desempaqueta en el ordenador que se lo invoca la primera vez que es llamado.

Dicho esto, es importante aclarar que al invocar al Diseñador en otra terminal diferente a aquella en que se encuentra instalado Ignition, no se guarda una copia de la plantilla de diseño de un proyecto, sino que se accede directamente al proyecto que reside en el servidor de Ignition. Por este motivo, no es posible acceder al mismo proyecto a través del Diseñador desde dos o más ubicaciones diferentes de forma

simultánea. Esto resulta así por motivos de integridad de cambios en el diseño, ya que Ignition lo protege de acceso cuando existe un primer ingreso a la interface en mención.

Este esquema, por supuesto, presenta una gran ventaja. No es necesario trasladarse al sitio en el que se encuentra la instalación para realizar modificaciones en la interface. Claro está, esto es posible hoy en día con cualquier tipo de plataforma gracias a herramientas basadas en RDP (Remote Desktop Protocol) como TeamViewer por ejemplo, con la diferencia que Ignition se basa en servicios Web, por lo que es posible mantener todas las seguridades de la infraestructura de red al manejar una sola aplicación con telegramas y filtros mediante puertos TCP específicos, mientras que un Escritorio Remoto abre el servidor completamente y podría resultar en un riesgo de seguridad mayor con posibles accesos no autorizados a la totalidad del sistema de archivos, directorios y aplicaciones de la estación de Ingeniería.

El Diseñador se invoca al acceder a la opción “Launch the Ignition Designer” en el Gateway, tras lo cual se descargan los mencionados paquetes para correr el entorno de configuración del Diseñador. La aplicación es del tipo JNLP, la cual escribe las directrices y configuraciones de acceso hacia el servidor para la aplicación Ignition Designer.

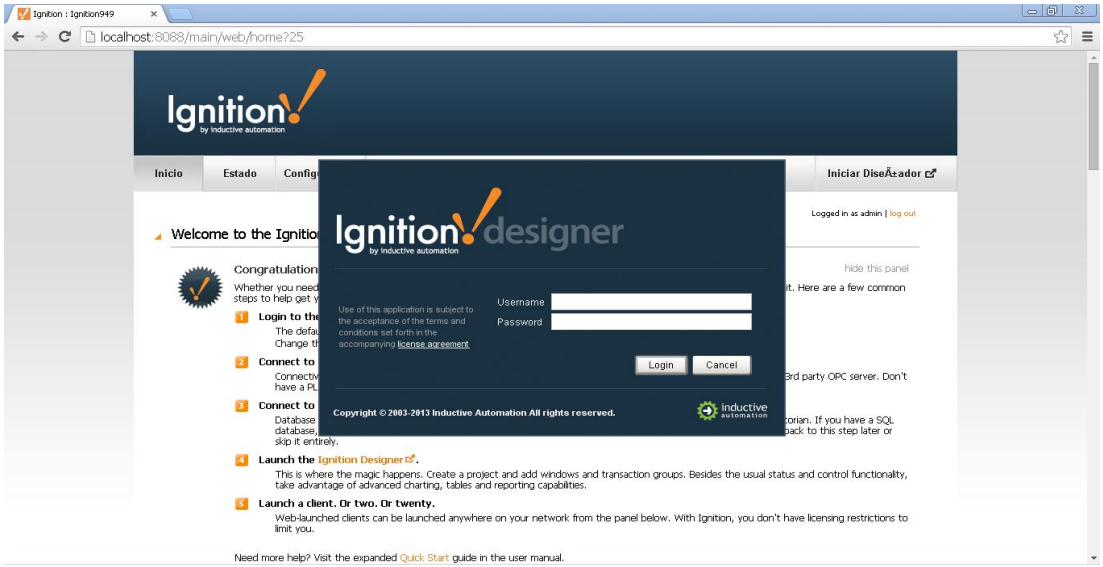

Figura 46. Login a Diseñador Ignition.
Por: El autor

Al ingresar las credenciales se muestra el menú de selección de proyectos, el cual presenta todos los archivos creados con el Diseñador para las distintas aplicaciones accesibles a través de este Gateway de Ignition.

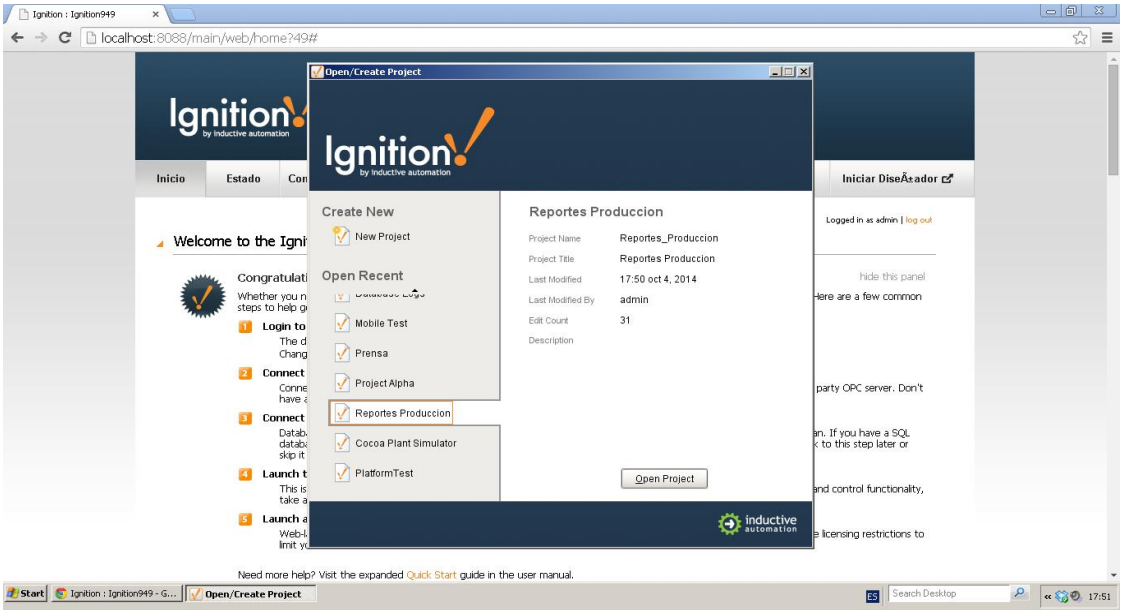

Figura 47. Apertura de proyectos en Diseñador.
Por: El autor

Una vez seleccionado un proyecto previamente creado, se muestra información relevante para identificación del proyecto, la fecha de la última modificación, el último usuario que lo modificó, el contador de ediciones, y un comentario que describa a mayor detalle al proyecto seleccionado (ingresado por el usuario al momento que crea un nuevo proyecto).

La misma interface también permite la creación de proyectos nuevos. Para ello se debe seleccionar la opción “Create New” y elegir la etiqueta “New Project”, mostrando con esto el cuadro de ingreso de parámetros del nuevo proyecto. En él se ingresa el nombre del proyecto, el cual debe tener caracteres alfanuméricos sin espacio entre ellos, con excepciones de caracteres especiales que son validados por el indicador gráfico a la derecha del cuadro. Adicionalmente, se permite el ingreso de un título de proyecto que permite espacios y a través del cual es identificado en las interfaces. Los demás parámetros son el perfil de autentificación, la base de datos por defecto, el proveedor de Tags (variables) por defecto, la plantilla gráfica que se quiere aplicar para la interface (en caso que se desee utilizar plantilla, caso contrario

se puede iniciar en blanco), y la cadena de caracteres que entrega una descripción más detallada del proyecto.

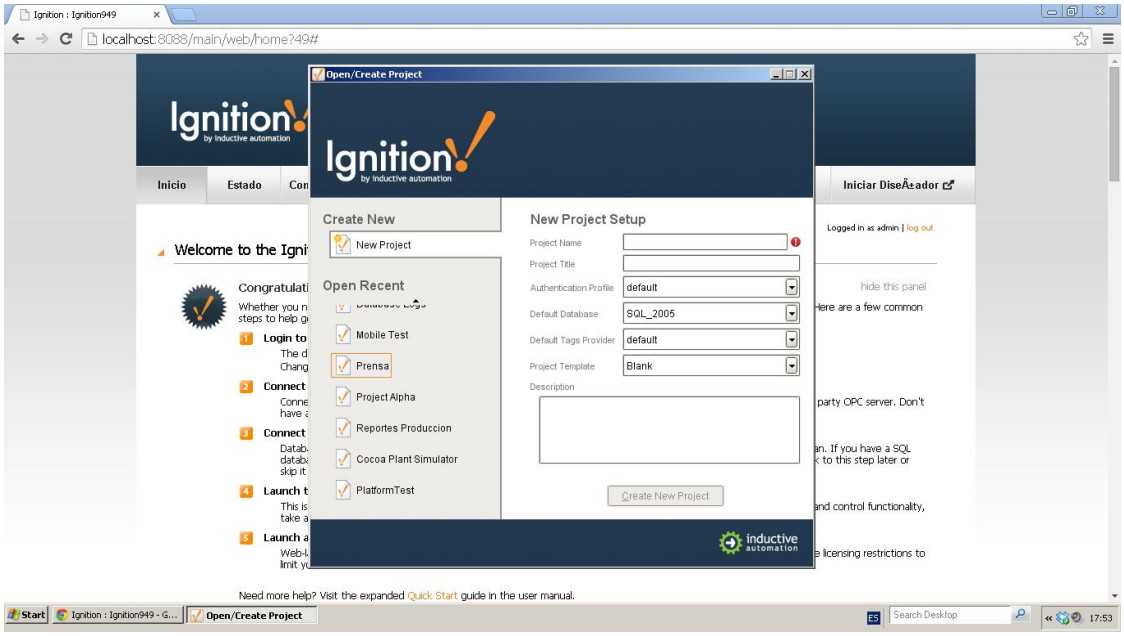

Figura 48. Opción de nuevo proyecto en Diseñador.
Por: El autor

Cuando se ingresa un nombre de proyecto, el indicador gráfico a la derecha de este campo se muestra rojo si la información ingresada es inválida y con un visto verde cuando el nombre haya sido ingresado correctamente. El gráfico a continuación muestra un proyecto nuevo que se crea con sus parámetros asociados. Este proyecto se crea para propósitos ilustrativos acerca del entorno del Diseñador.

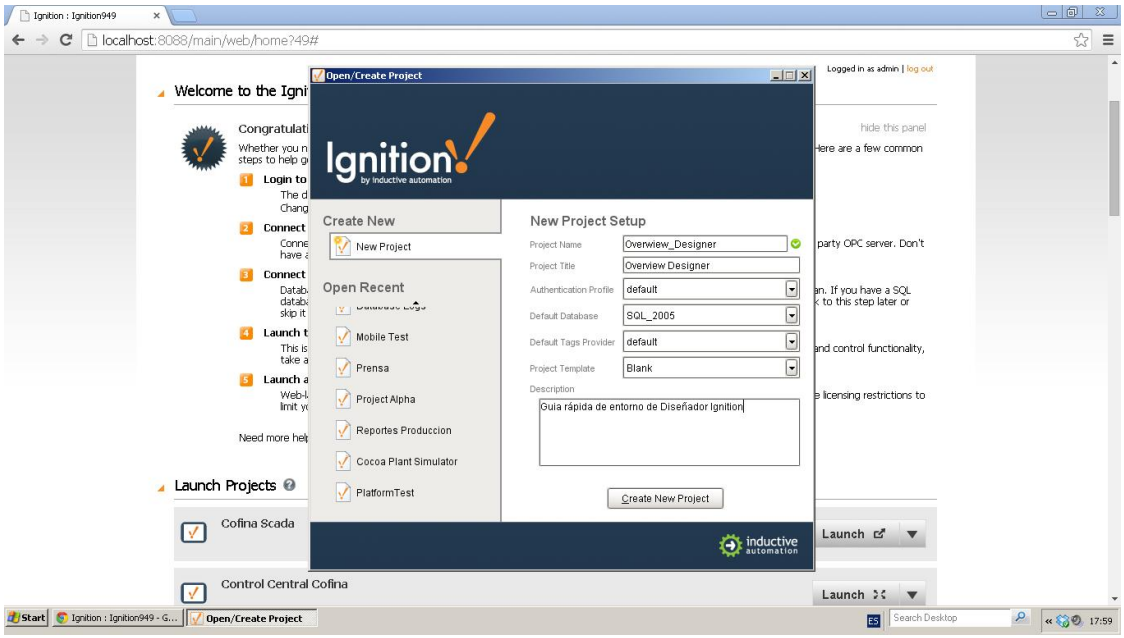

Figura 49. Configuración de nuevo proyecto en diseñador.
Por: El autor

Tras la creación o apertura de un proyecto, aparece la vista general del entorno de diseño para las aplicaciones en Ignition. Se presentan a continuación las opciones generales que sirven de base técnica para el desarrollo de la aplicación planteada en este documento.

En el siguiente gráfico se puede observar el entorno de diseño. A más del menú contextual, mediante el cual se puede acceder a todas las funciones del diseñador y las opciones presentadas en el resto de cuadros de control, la interface del diseñador se encuentra dividida en cinco áreas principales, las cuales se explican brevemente a continuación:

- **Explorador de proyecto (Project Browser)–** contiene las herramientas de gestión del proyecto, siendo las más importantes las configuraciones principales del servidor y resolución de aplicaciones cliente, grupos de transacción (para distintos tipos de operaciones con bases de datos), ventanas de proyecto, plantillas y la librería de símbolos (symbol factory).

- **Explorador de Tags SQL (SQL Tags Browser) –** en él se gestiona todas las variables de los proyectos pertenecientes a ese portal de Ignition, sean estas

de proceso, tipo memoria o temporales, expresión o función, tipo consulta SQL, y demás tipos de datos definidos por el usuario.

- **Editor de propiedades (Property Editor) –** aquí se muestran las propiedades del elemento seleccionado con el puntero. Existen filtros en esta ventana para ordenar las propiedades y mostrar o esconder por niveles de complejidad.

- **Paleta de componentes (Component Palette) –** en este juego de pestañas se encuentran todos los controles que se pueden insertar en la aplicación, entre ellos controles de entrada de datos, botones, tablas, gráficos y curvas.

- **Vista de ventana gráfica de aplicación –** es el lienzo sobre el que se implementa la aplicación. Presenta el entorno de diseño de la interface gráfica que observa el usuario final. En ella se insertan los diversos controles y gráficos que dinamizarán la aplicación. Por defecto se observa en este espacio las últimas ventanas abiertas y un asistente para crear una nueva de los tres tipos de ventana que tiene Ignition.

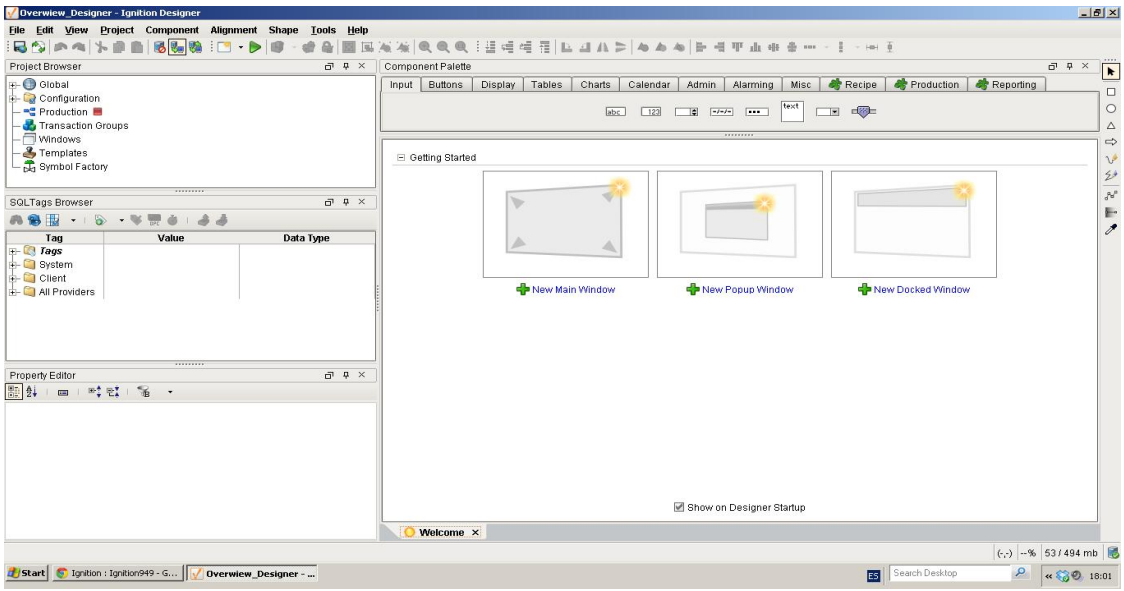

Figura 50. Interface de Diseñador Ignition.
Por: El autor

El lienzo permite la inserción dinámica de los objetos presentes en las distintas pestañas, lo cual hace posible implementar el esquema de monitoreo que necesitamos para llevar el control de los parámetros medidos. Estos poseen distintas propiedades configurables, de manera que se ajusten a los requerimientos del sistema.

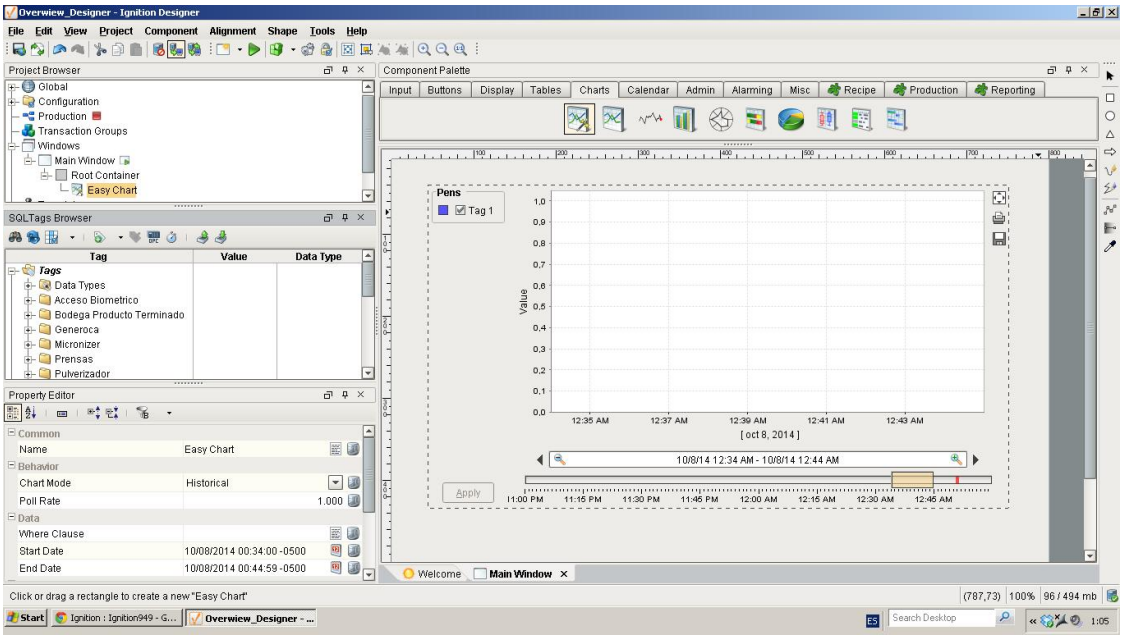

Figura 51. Inserción de objetos en ventana de imagen.
Por: El autor

Las variables que se enlazan a cada proceso se crean en este editor, con la particularidad que no resulta absolutamente necesario crear todo el juego de variables, una por una, para cada nueva implementación. Por ello existe un sistema de jerarquización de rutas y niveles de variables, de manera que en el nivel más bajo, los nombres sean exactamente los mismos, sin resultar en un conflicto de duplicidad de las variables. El gráfico muestra los múltiples niveles que puede tener la ruta hacia una variable, y que pueden existir nombres “duplicados” en distintas rutas. Esto facilita la creación de un nuevo punto de control con el simple hecho de copiar la carpeta contenedora, asignarle el nombre único a ese invernadero, y las variables las hereda con los mismos nombres y direcciones de la plantilla original. Como se puede ver, en la estandarización está la simplicidad.

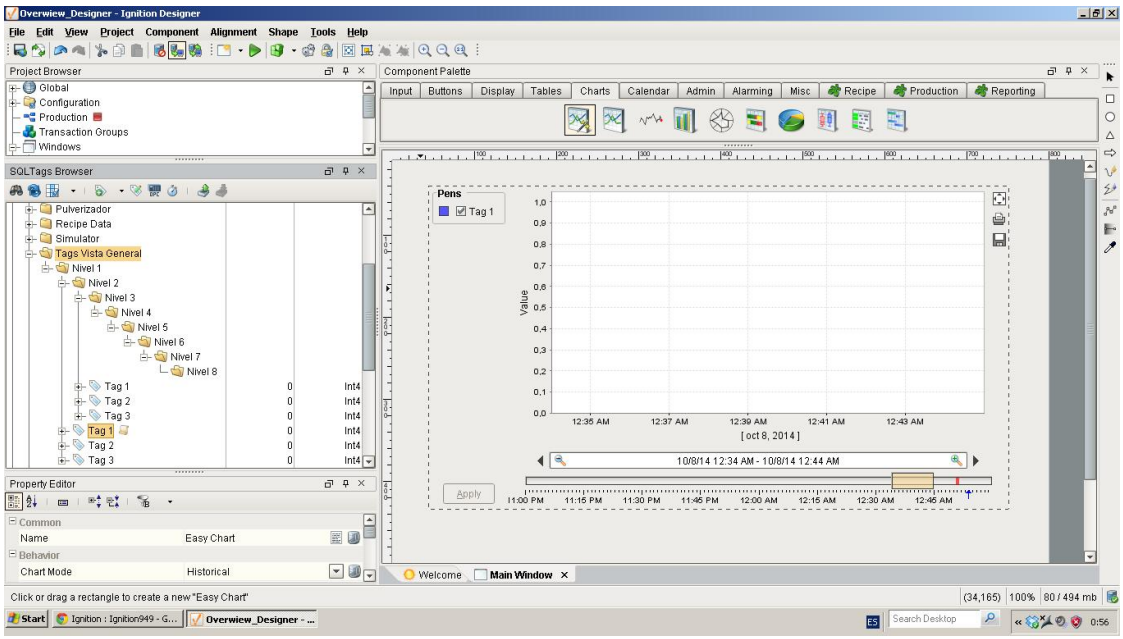

Figura 52. Tags y niveles de jerarquización de rutas.
Por: El autor

Las variables de proceso creadas tienen el nombre de tags, y poseen propiedades configurables en un editor único para cada una de ellas. En él se determina el nombre simbólico de la variable, la dirección en el sistema de control, unidades de ingeniería, formato de presentación, activación de registro histórico, entre las más relevantes.

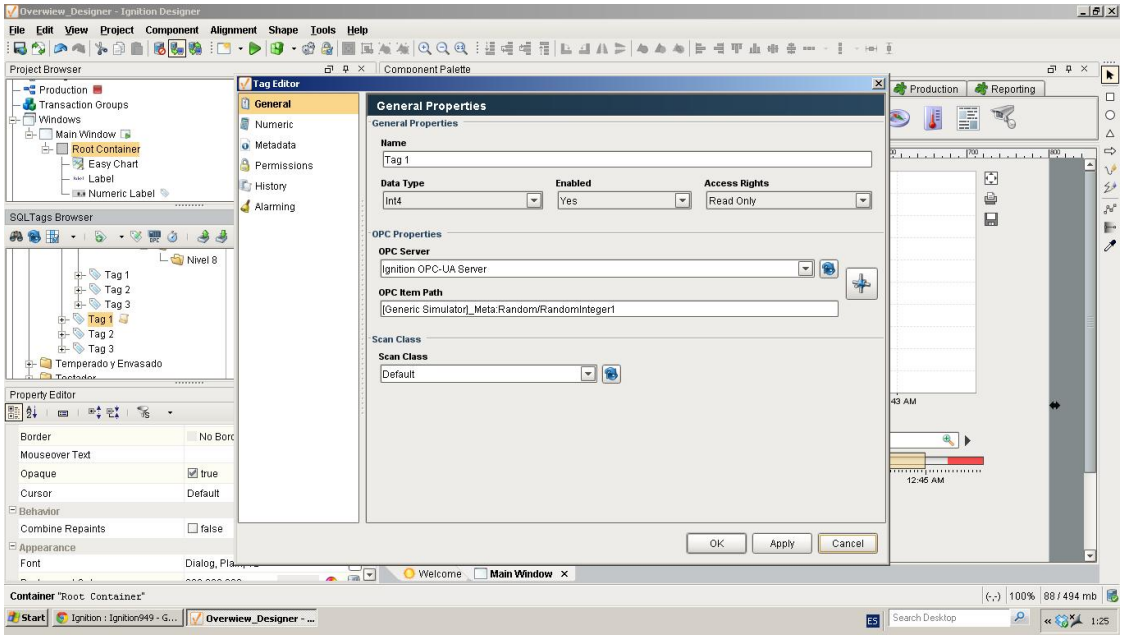

Figura 53. Vista de propiedades generales de un tag.
Por: El autor

La configuración del archivamiento de registros históricos de una variable es fundamental para los mecanismos de monitoreo de un proceso a través del tiempo, consultas de estado y generación de reportes. Esto permite determinar si los parámetros que se ajustan para un determinado proceso surten el efecto deseado en función a las metas y expectativas planteadas.

Como se indicó en un apartado anterior, los datos históricos pueden ser almacenados en distintos tipos de bases de datos, de acuerdo a las conexiones creadas en el portal web que administra todos los aspectos relevantes del servidor. Por ello se puede observar que en el cuadro de diálogo de configuración de historial de un tag se puede seleccionar entre distintos proveedores de archivos históricos.

Este detalle resulta de gran importancia cuando se requiere guardar los archivos históricos en una ubicación con mecanismos especiales de seguridad, diferente a la del servidor web, de manera que los datos históricos estén a salvo ante cualquier posible siniestro en el equipo donde reside el servidor web.

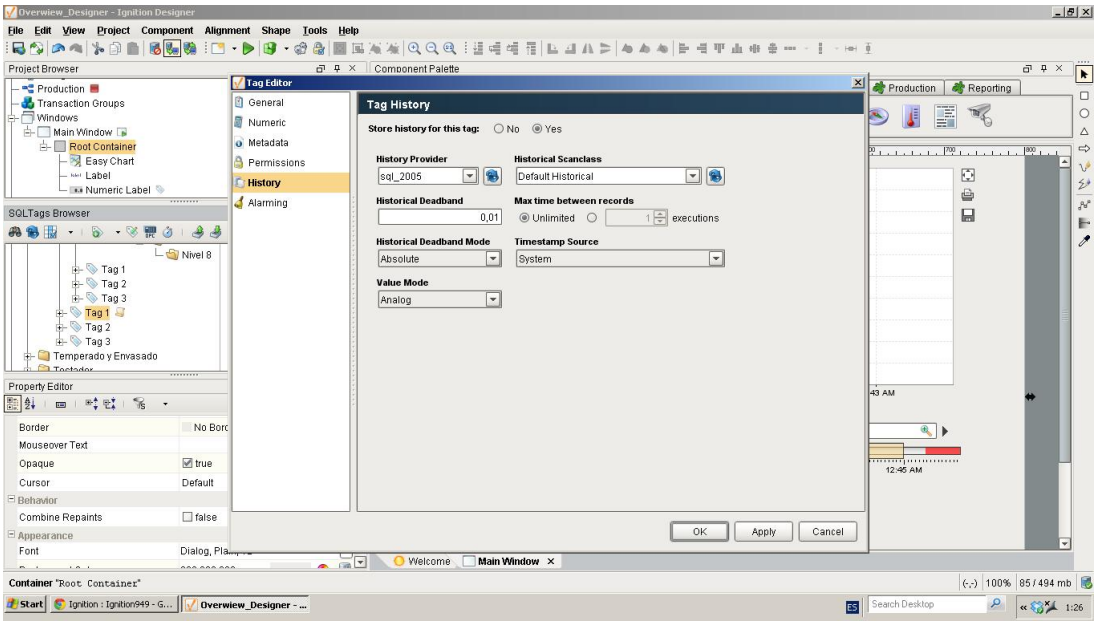

Figura 54. Vista de configuración de parámetros históricos de un tag.
Por: El autor

El ciclo de muestreo para archivar un valor del tag también puede ser definido. Las muestras pueden ser tomadas en ciclos de hasta 1ms, lo cual hace que

las posibilidades de escritura al archivo para mediciones críticas sean virtualmente ininterrumpidas en el tiempo, ventajoso especialmente para medir perturbaciones.

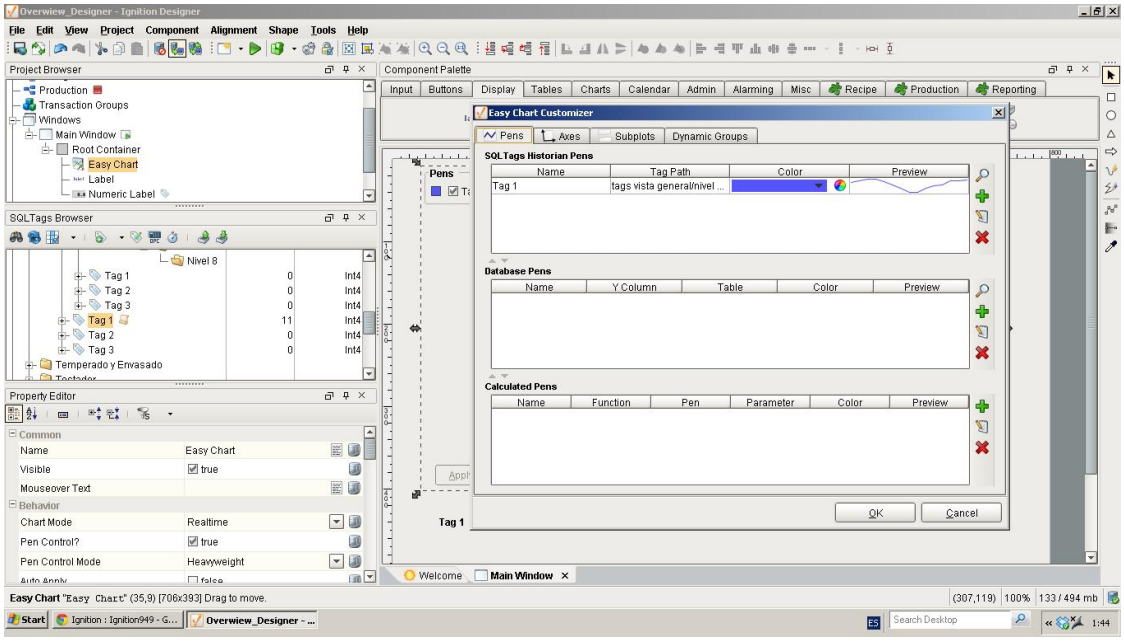

Figura 55. Asistente de configuración de control de curvas “Easy Chart”.
Por: El autor

Una vez dinamizado, este control permite trazar los valores en el tiempo de los parámetros medidos, sea en tiempo real o a manera de consulta histórica. La presentación del control de curvas puede ser configurada de manera estática o se puede programar para que el rango de la gráfica, modo de impresión, ventana de tiempo, color de fondo y demás propiedades puedan ser alteradas dinámicamente en tiempo de ejecución a través de controles externos.

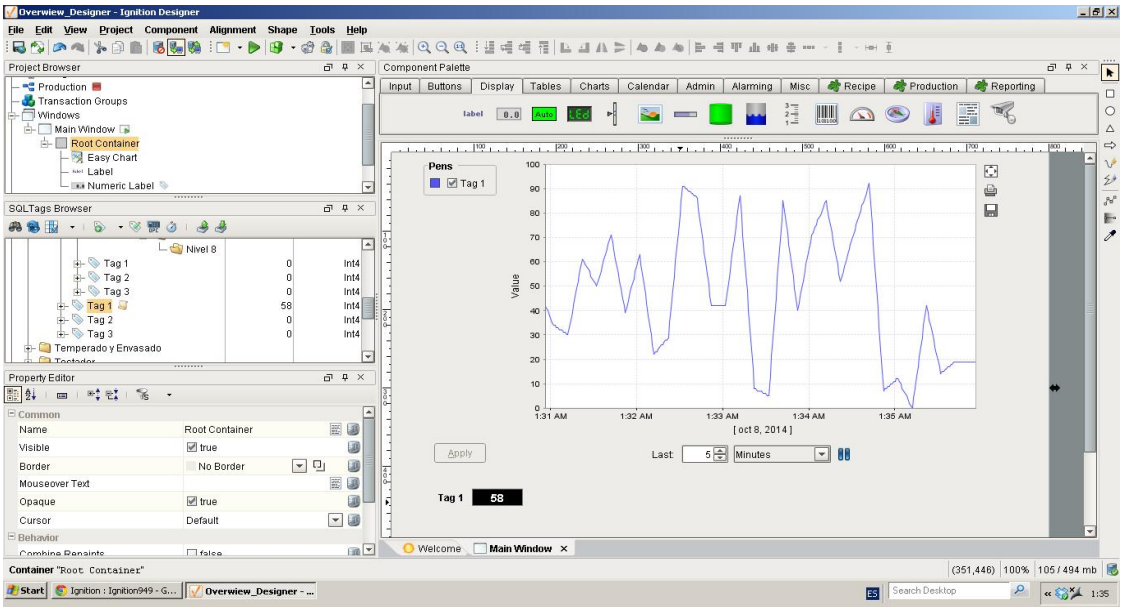

Figura 56. Control de curvas “Easy Chart” configurado para tiempo real.
Por: El autor

La forma de comunicación elemental de un sistema de monitoreo de proceso con el usuario que lo gestiona es la dinamización de objetos gráficos a través de los distintos valores de los parámetros de proceso. Esta dinamización asocia estados lógicos o valores numéricos con cambio de colores, intermitencia o visualización de textos de aviso o cuadros de diálogo. Se observa en la siguiente figura la dinamización de color de un cuadro numérico en función al valor del tag que está asociado a él. Con la configuración planteada, el cuadro se vuelve negro para valores menores a 60 y rojo para los que excedan este límite.

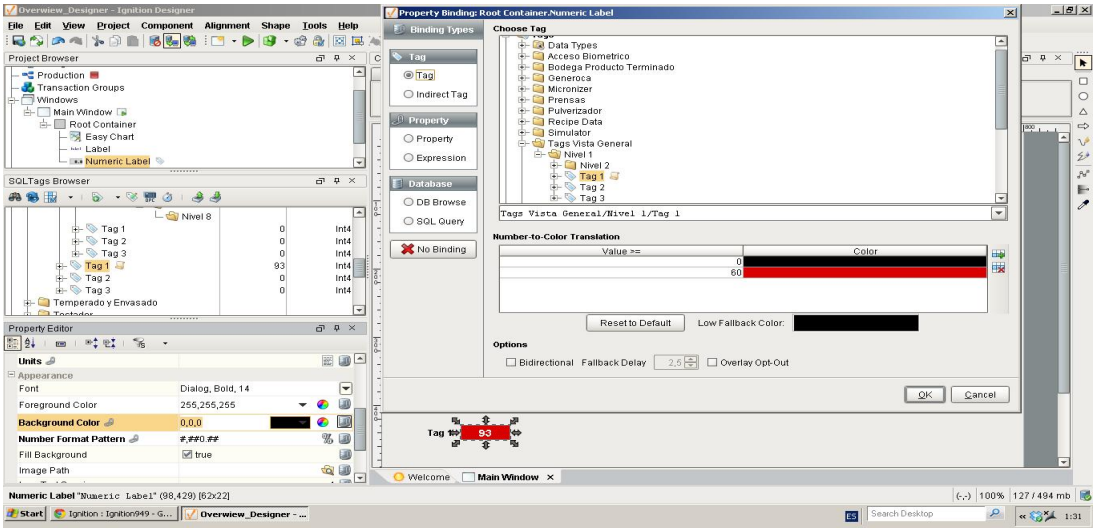

Figura 57. Dinamización de objeto a través del Editor de Propiedades.
Por: El autor

Los cambios se ejecutan dinámicamente al guardar el proyecto. Para ello se hace uso del botón “Save and Publish”, el cual guarda las configuraciones realizadas y publica los cambios en la Web.

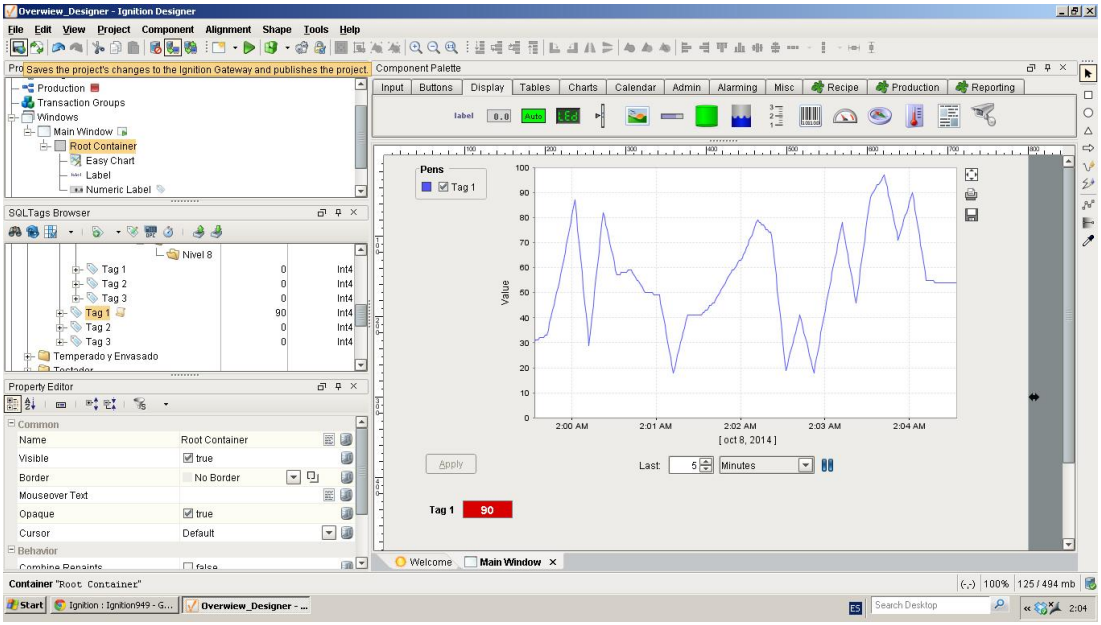

Figura 58. Grabar y publicar proyecto.
Por: El autor

Tras haber guardado y publicado el proyecto por vez primera, este se muestra en el Gateway de Ignition, donde residen todos los proyectos publicados para el servidor activo. Desde ahí se lo puede llamar en los múltiples clientes para ser ejecutado en cualquier ubicación remota que tenga acceso autorizado.

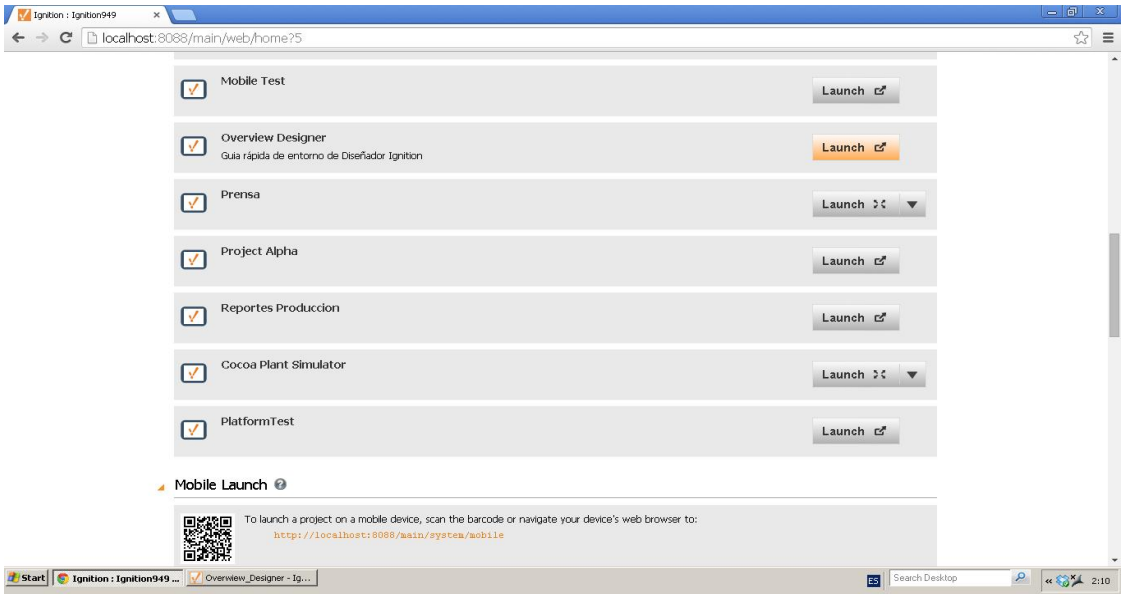

Figura 59. Proyecto publicado en Gateway.
Por: El autor

Al pulsar el botón “Launch”, se invoca a la aplicación que carga los componentes necesarios para la ejecución del proyecto en la terminal de destino. El servidor envía un paquete de instalación que se ejecuta de manera automática para configurar el arranque del entorno de ejecución de la interface gráfica, evitando al usuario final las molestias de preparar el sistema o realizar una instalación manual para poder correr el programa.

Tras la instalación de los componentes necesarios, se ejecuta la aplicación gráfica, previo un menú de ingreso de credenciales de autorización.

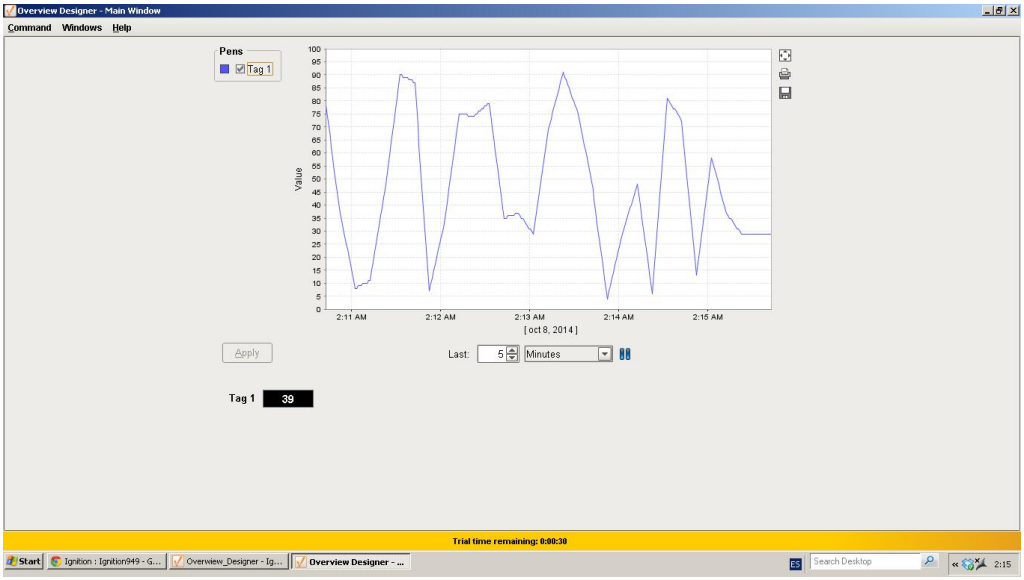

Figura 60. Ejecución de aplicación cliente en modo ventana.
Por: El autor

Existen tres maneras de lanzar una aplicación. Estas se pueden ejecutar como modo ventana, pantalla completa, o applet, la cual es una aplicación pequeña que realiza una tarea específica dentro de un entorno mayor, como una página web, por ejemplo.

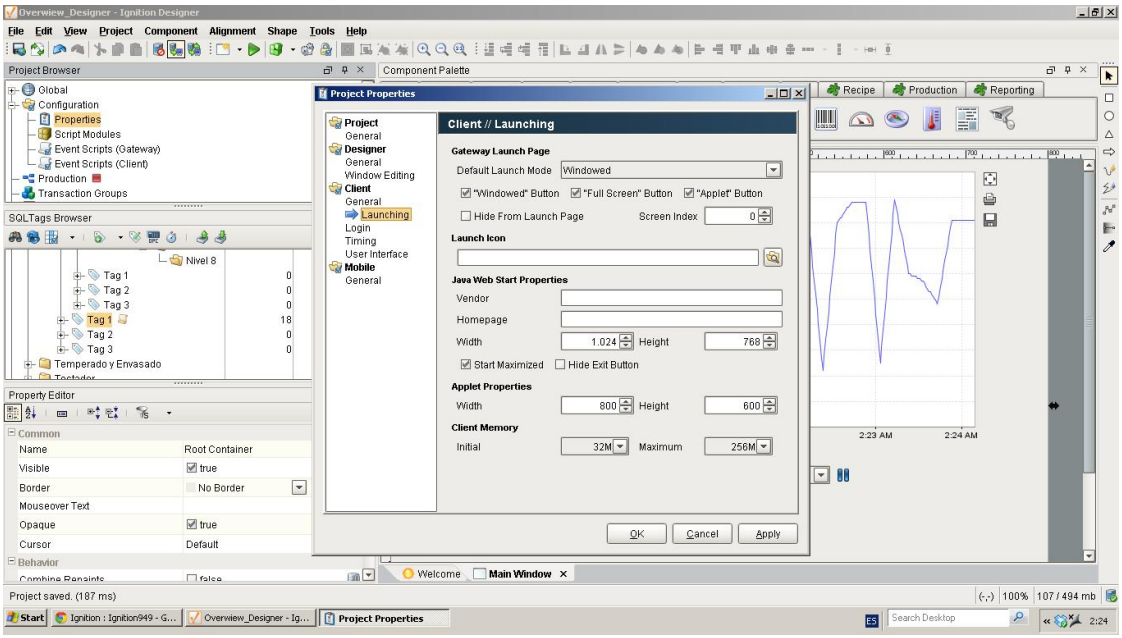

Figura 61. Configuración de propiedades generales del proyecto.
Por: El autor

En el mismo entorno de configuración de proyecto se puede activar la opción que habilite la selección del modo de ejecución de la aplicación. Así, esto se hace antes de ejecutar dicha aplicación, como se muestra en la imagen siguiente.

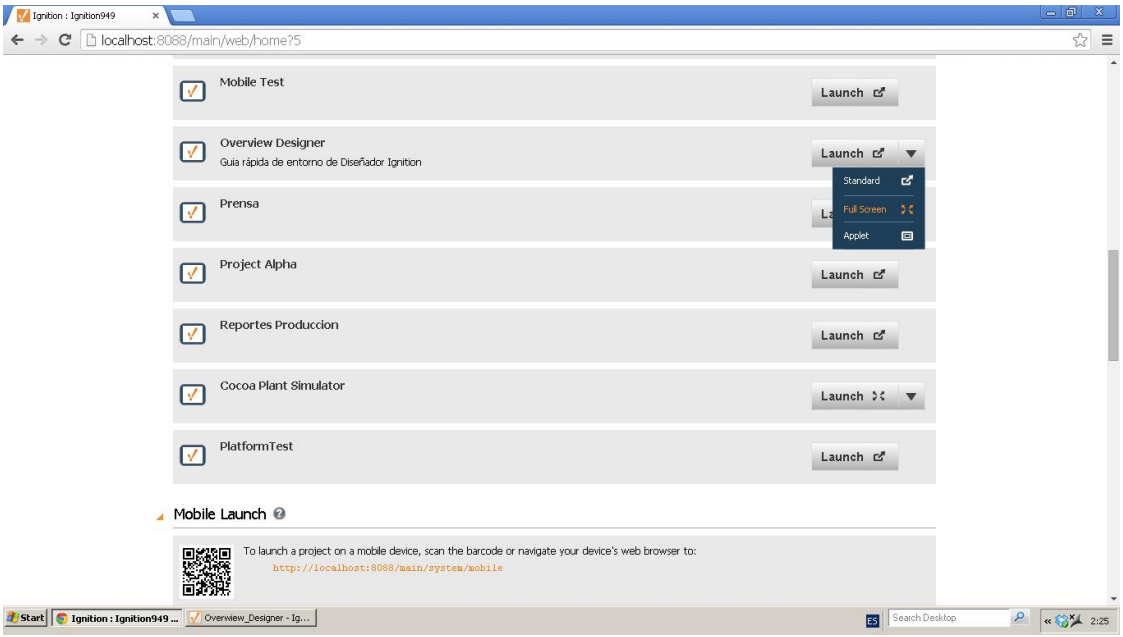

Figura 62. Opciones de ejecución de cliente tras configuración en Diseñador.
Por: El autor

Una vez invocada la ejecución de la aplicación, el servidor Web hace la transferencia de los paquetes de instalación de la aplicación, o en su defecto, la actualización de dicho conjunto de archivos si esta ya hubiese sido ejecutada por primera vez, de manera que esta se presente en la interface del cliente final como se la ha solicitado.

La ejecución típica para un cliente fijo, tipo PC, donde se ejecuta el SCADA central de la operación es el modo de pantalla completa. De esta forma, se puede observar todos los cambios de estado y fluctuación de variables sin otras aplicaciones visibles que pudieran resultar en elementos distractores para el personal operativo.

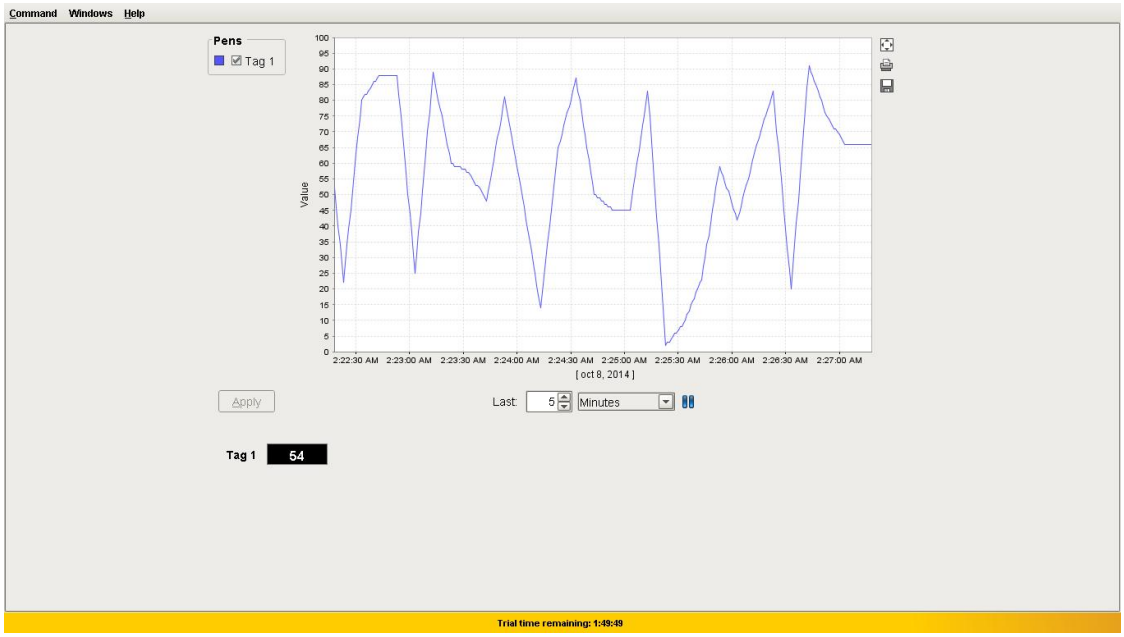

Figura 63. Ejecución de aplicación cliente en modo pantalla completa.
Por: El autor

Con su estructura Web, el sistema puede servir a una gran cantidad de clientes. El control de cambios, por tanto, podría resultar algo preocupante. Sin embargo, la plataforma publica los cambios de manera automática a todos sus clientes.

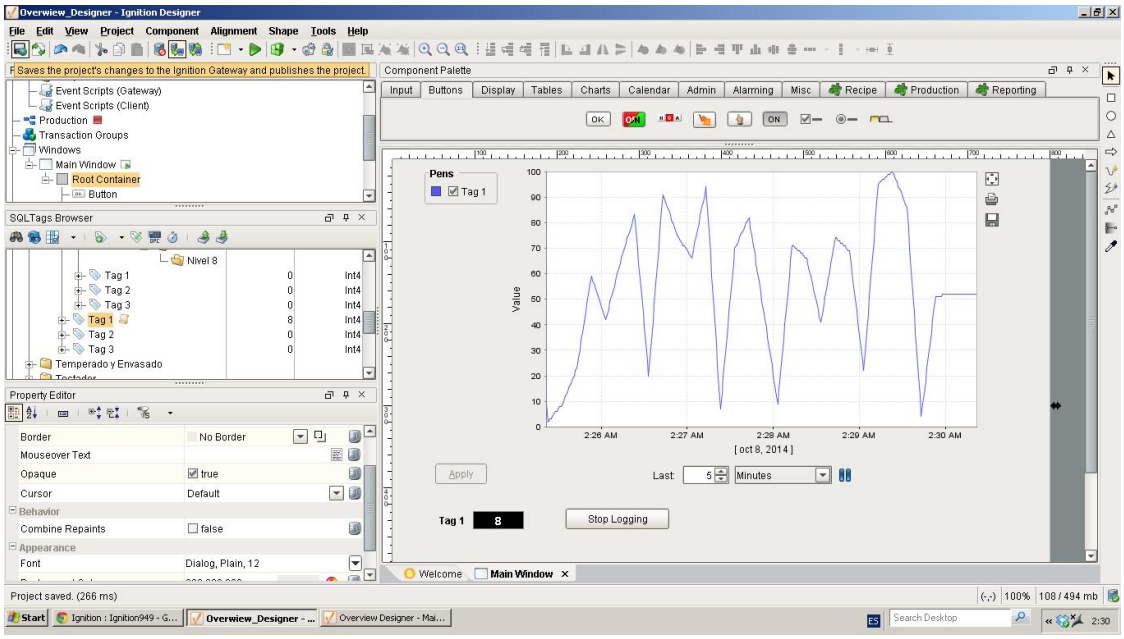

Figura 64. Modificación en interface y publicación de cambio.
Por: El autor

Una vez realizado el cambio en el entorno de diseño, se publica un aviso en todos los clientes activos indicando que existe una nueva versión de la aplicación. Tras esto, la actualización se realiza de forma muy intuitiva, con la guía de un cuadro de diálogo informativo.

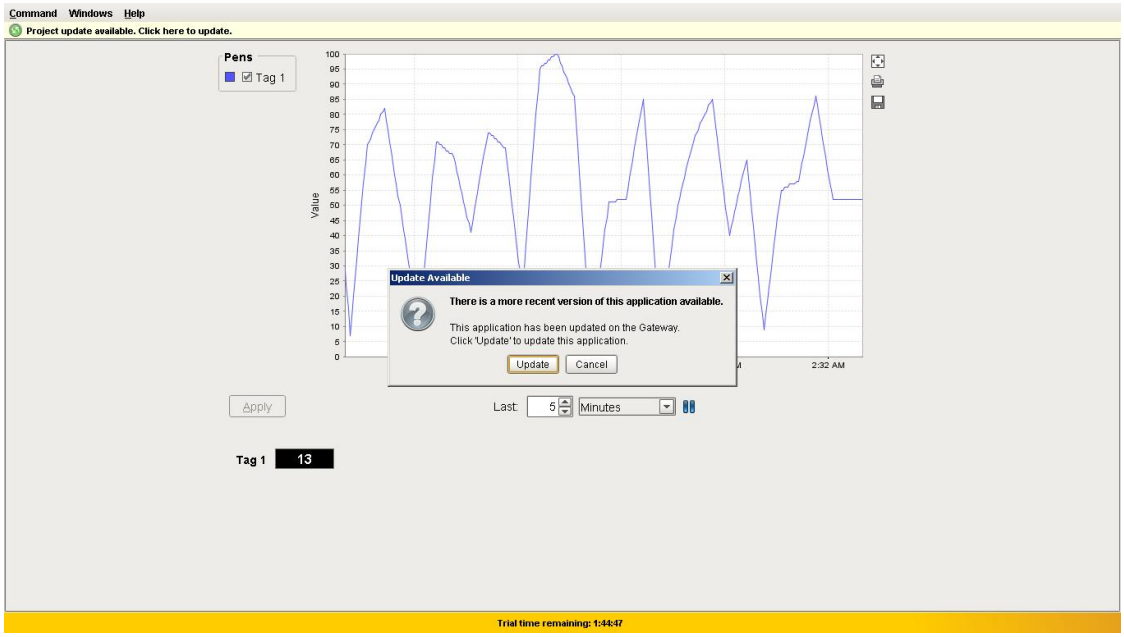

Figura 65. Solicitud automática de actualización en cliente.
Por: El autor

La interface se actualiza y carga nuevamente tras solicitar la aplicación del cambio. Todos los cambios realizados en el entorno de diseño se ven reflejados en los clientes activos de esta forma.

En cuanto a clientes nuevos respecta, al abrir a aplicación se carga el archivo más recientemente actualizado. Con ello se observa la capacidad de actualización dinámica de la plataforma, sin necesidad de cargar manualmente una nueva configuración en cada cliente.

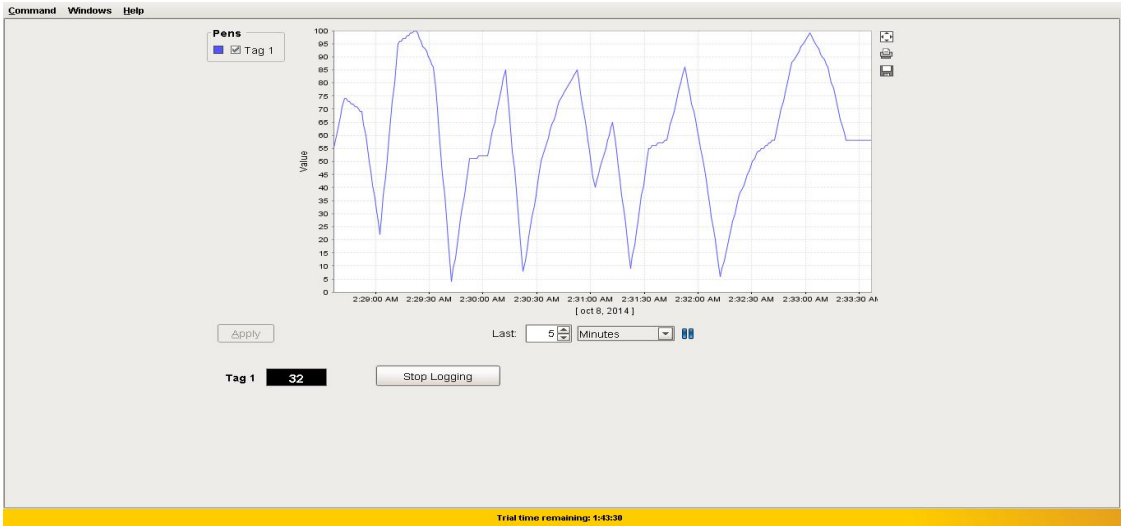

Figura 66. Cliente actualizado tras modificación en interface.
Por: El autor

Otro componente fundamental del sistema de monitoreo y control del proceso es el manejo de datos y archivos históricos. Este constituye una pieza clave para lograr una buen trazabilidad y control de anomalías, dado que ciertos eventos se pueden contrastar con las características del ambiente para determinar su incidencia en los cultivos. Se presenta el esquema de manejo de esta información histórica y el gestor de base de datos.

3.3.2. Configuración de sistema de base de datos y tablas sobre plataforma MSSQL Server 2005

Los sistemas de bases de datos consisten en grupos de información organizada en tablas de acuerdo a las necesidades del usuario. Estas se definen en función a los datos relevantes de proceso que se desee archivar en el tiempo para el posterior análisis de la información que este genere, de manera que se puedan realizar los ajustes necesarios para optimizar las condiciones operativas de dicho proceso. Por ello, los datos históricos son de gran relevancia para evaluar la eficacia y eficiencia de estos sistemas.

A esta instancia es necesario descomponer el proceso en sus variables y clasificar aquellas que proporcionen información de valor en el tiempo. Este proceso en particular debe monitorear las condiciones climáticas y la respuesta de los elementos de maniobra para un óptimo desarrollo de los cultivos que se encuentran en el entorno controlado. Para el mecanismo de control planteado, el historial de estas variables es fundamental, dado que se trata de un sistema que debe ser entrenado para encontrar su punto óptimo de operación. Estos datos históricos, por tanto, constituyen el conjunto de aprendizaje del sistema mientras se ejecute los ciclos de entrenamiento del controlador.

Una de las mayores ventajas de trabajar con manejadores de bases de datos es la posibilidad de escribir, modificar y eliminar registros de datos con rutinas y reglas automatizadas. Esto lo hacen todos los Sistemas de Control y Adquisición de Datos SCADA, pero en segundo plano, en bases de datos que se suministran con su paquete de instalación, en tablas pre-definidas con estructura cerrada. La tendencia en la actualidad es dar al Ingeniero de Control más apertura a organizar sus tablas de

datos, de manera que saque el mayor provecho de la información de los registros históricos. Así mismo, las interfaces de bases de datos deben ser compatibles con las tecnologías de archivamiento de información que poseen las empresas, de manera que los datos de proceso se encuentren disponibles para otras áreas de la empresa de forma transparente, en tiempo real y de acuerdo a la demanda de dicha información.

Dicho esto, es posible archivar datos de proceso con determinadas reglas y estructura de forma automatizada, facilitando el muestreo de información necesaria para la toma de decisiones en ajuste de procesos y sistemas de control.

El sistema de gestión de datos comprende dos fases principalmente. La primera es la fase de entrenamiento, la cual archiva el juego de parámetros que resulten de los ejercicios de ensayo y error para encontrar el punto de estabilidad en los rangos de tolerancia máxima definidos para las variables de proceso. Este juego de parámetros se obtiene filtrando los datos registrados mediante desviaciones respecto al punto de operación definido que estén dentro del margen de tolerancia. Estos puntos generan el juego de parámetros que afinan la respuesta del sistema de control ante los posibles estímulos del proceso.

La siguiente fase es de monitoreo de parámetros en tiempo real y archivamiento de datos para consultas históricas y reportes. De esta manera, el usuario final del sistema puede dar seguimiento de las condiciones climáticas de su proceso, asegurando un mejor control de calidad sobre su producto final al demostrar en el tiempo que ha sido posible suministrar las condiciones necesarias para una buena producción de cultivos en el entorno controlado.

Para el diseño, gestión y consulta del conjunto de tablas del sistema de base de datos de esta aplicación se utiliza Microsoft SQL Server 2005. Este es un gestor de base de datos de uso muy sencillo a través de una herramienta de administración provista por el mismo fabricante, la cual ha sido seleccionada como herramienta fundamental en la estructura del presente sistema de gestión de información por su simplicidad de uso. Esta plataforma y su uso se muestran en el siguiente apartado.

3.3.2.1. Microsoft SQL Server 2005 Management Studio.

El Management Studio de SQL Server 2005 permite una gestión sencilla de las bases de datos que residen en un determinado equipo, la creación y revisión de tablas, consulta de datos y diagnósticos en general del estado de rendimiento de un esquema relacional de tablas implementado en el servidor. MS SQL Server 2005 Management Studio provee una interface gráfica sencilla y muy intuitiva, lo cual permite ejecutar las revisiones de las bases de datos con gran facilidad, sin necesidad de implementar código pesado para acceder a dichas bases de datos o establecer conexiones locales o remotas.

Una vez que se arranca el MSSQL Management Studio, la aplicación solicita la instancia de SQL a la cual debe conectarse y las credenciales de acceso. Con ello, muestra toda la estructura de datos de dicha instancia una vez que se establezca la conexión.

Figura 67. Acceso a MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Tras ello se presenta el entorno de gestión de bases de datos, el cual permite, entre otras cosas, revisar el estado de conexión de una instancia de SQL Server 2005, monitorear la actividad, crear tablas y hacer consultas a las bases de datos apuntadas.

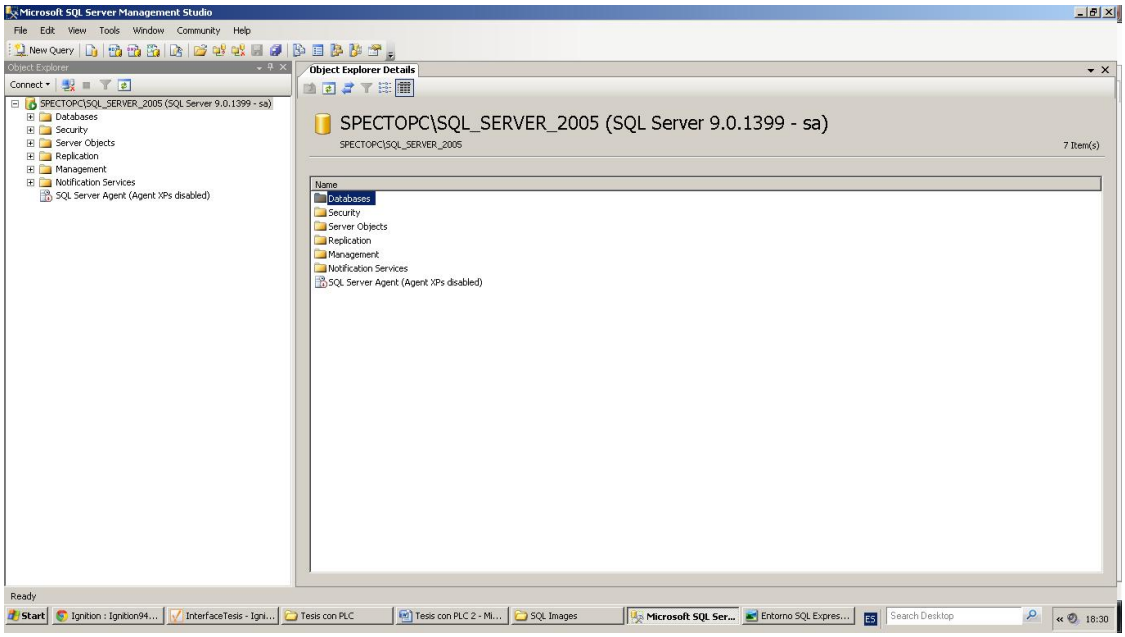

Figura 68. Entorno de MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

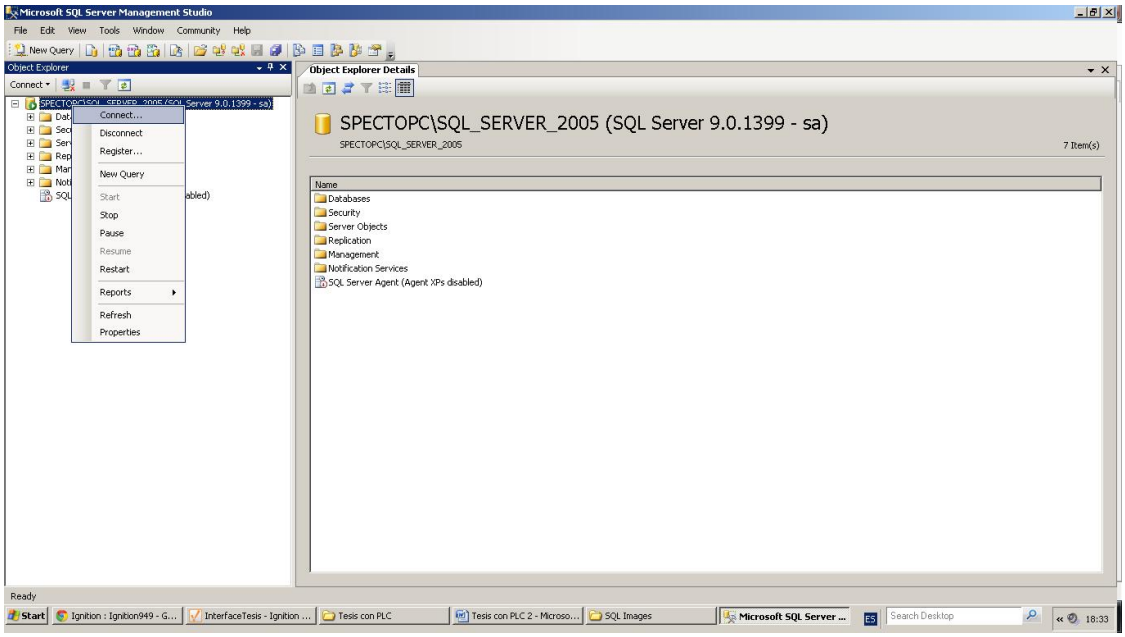

Figura 69. Opciones de servidor en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Se observa tres áreas principales en el entorno del MSSQL Server Management Studio. En la parte superior se encuentra el menú de ícono y contextual para interactuar con los objetos dentro de la base de datos. En la parte izquierda, el

árbol de navegación de los elementos que constan en el servidor conectado, y del lado derecho, la ventana de trabajo e interacción con procedimientos, consultas y funciones.

Desde esta interface se puede interactuar con todos los elementos del servidor, incluido el mismo servidor. Como se observa en la figura anterior, se puede detener, pausar y arrancar el servidor, así mismo es posible desconectarlo del entorno del MSSQL Management Studio.

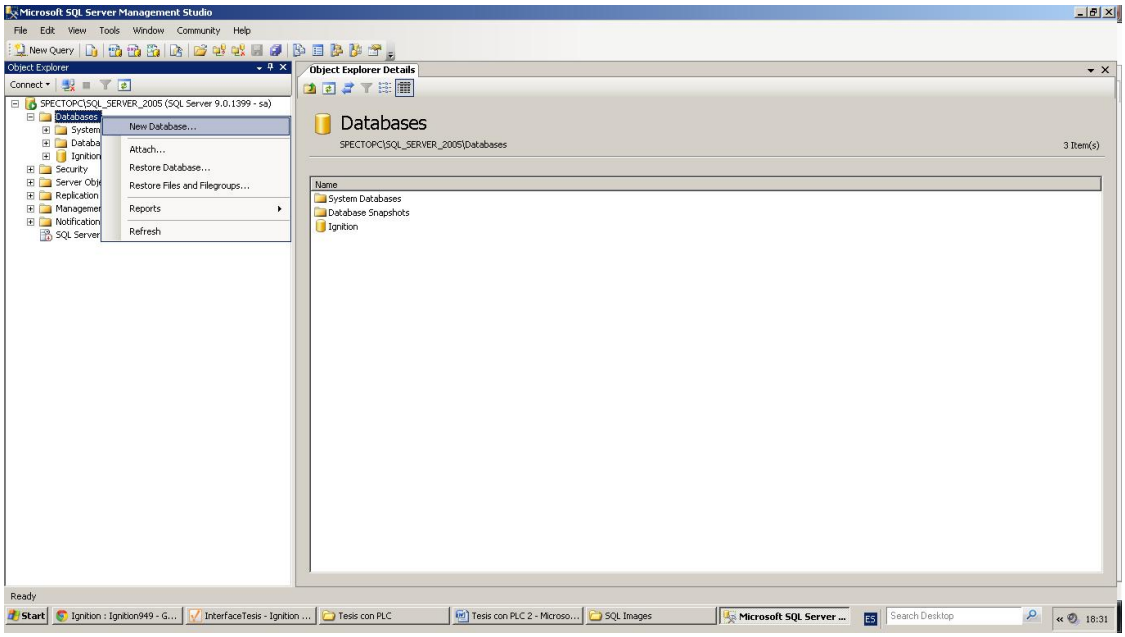

Figura 70. Opciones de bases de datos en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Dentro del servidor se encuentran las bases de datos correspondientes a esa instancia del SQL Server. En la carpeta de bases de datos residen todos los ficheros de datos creados en dicha instancia. Cada base de datos se crea con un propósito específico de almacenamiento de información, espacio reservado y ritmo de crecimiento en función a la densidad de información que va ingresando en ella.

Para crear una base de datos solo es necesario hacer click derecho sobre la carpeta databases, con lo cual se muestra un menú de opciones y acciones que pueden ser realizadas en el contexto de bases de datos. A más de crear una base de datos nueva, es posible anexar una existente a una determinada instancia de SQL

Server, restaurar una base de datos separada previamente, o actualizar los datos en ella.

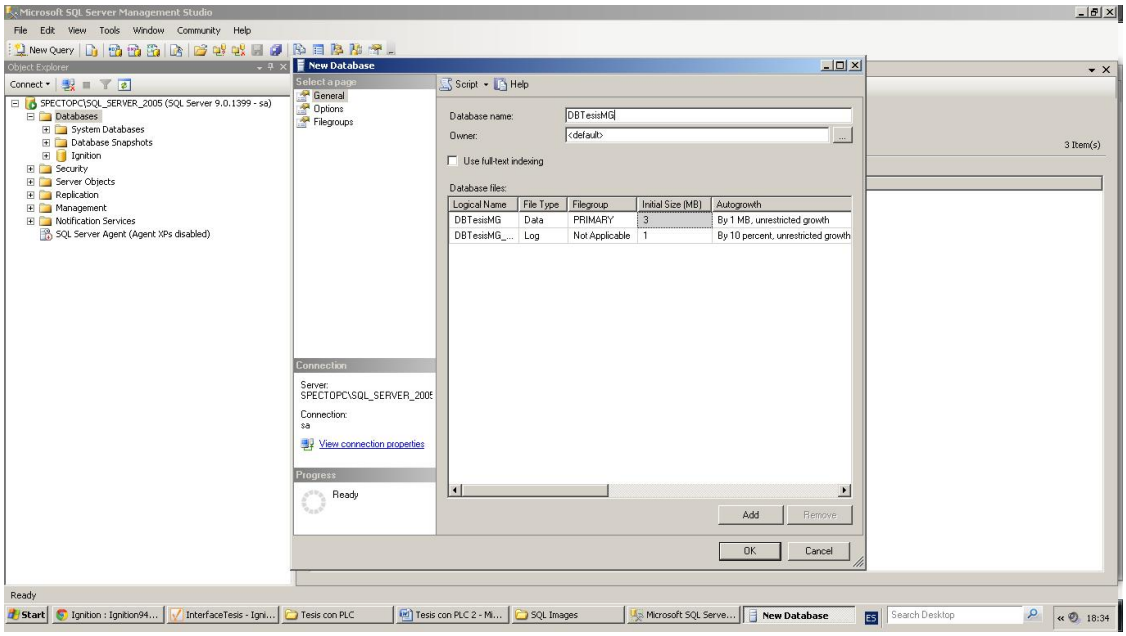

Figura 71. Creación de nueva base de datos en Management Studio.
Por: El autor

Al crear la base de datos el Management Studio solicita el nombre de la base de datos y el espacio que esta pasa a ocupar en el servidor, además de su tasa de crecimiento cada vez que se aproxime a su límite de saturación.

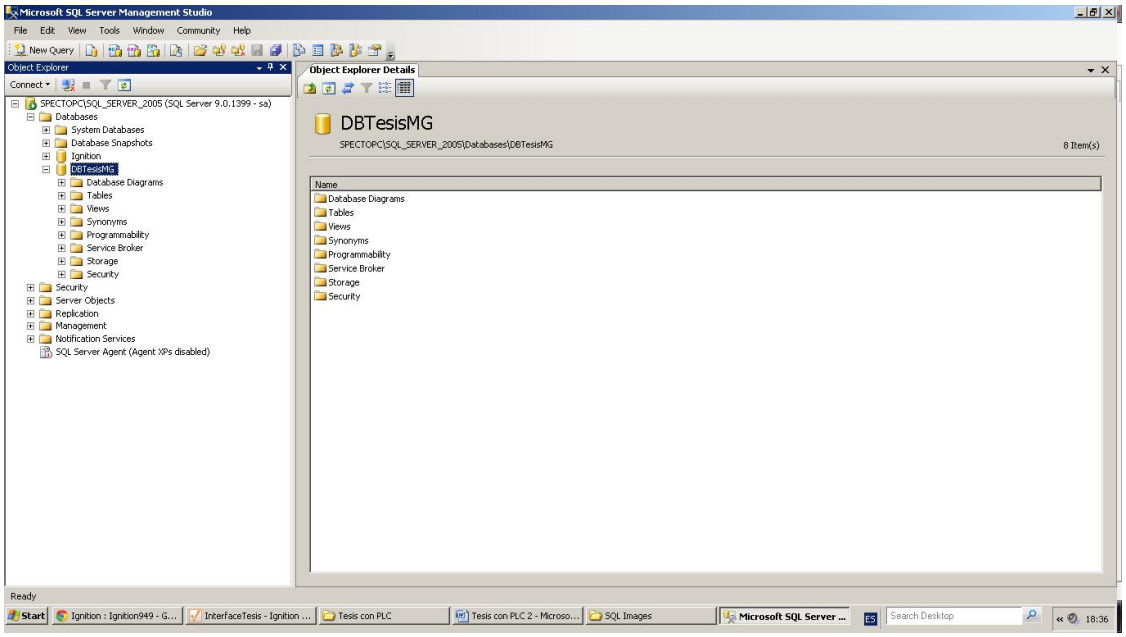

Figura 72. Menú base de datos en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Una vez creada la base de datos, cuyo nombre para esta aplicación es DBTesisMG, el sistema de archivos genera las carpetas que componen dicha base de datos. Entre los elementos más utilizados encontramos, claro está, las tablas, las cuales el usuario define de acuerdo a las necesidades del proceso, las vistas, que son matrices de presentación de datos en base a tablas existentes en el sistema, sin ser el objeto vista una tabla física real, y los procedimientos almacenados, dentro de la carpeta Programmability, los cuales realizan funciones o procedimientos de forma automatizada en de acuerdo a eventos horarios o valores de los parámetros que los disparan.

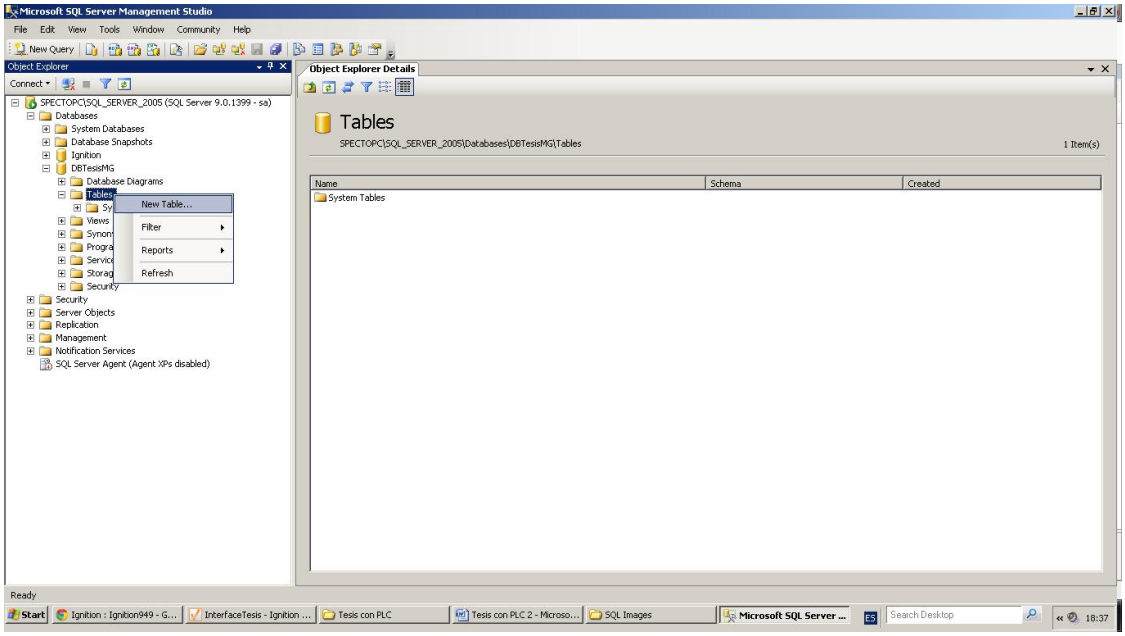

Figura 73. Creación de nueva tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

En la figura anterior se puede observar el menú para la carpeta tablas, la cual es objeto de interés para la actual implementación. Este menú se obtiene al hacer click derecho sobre dicha carpeta, y permite crear de manera sencilla las tablas que guardan los datos correspondientes al proceso en el formato que se defina en su estructura.

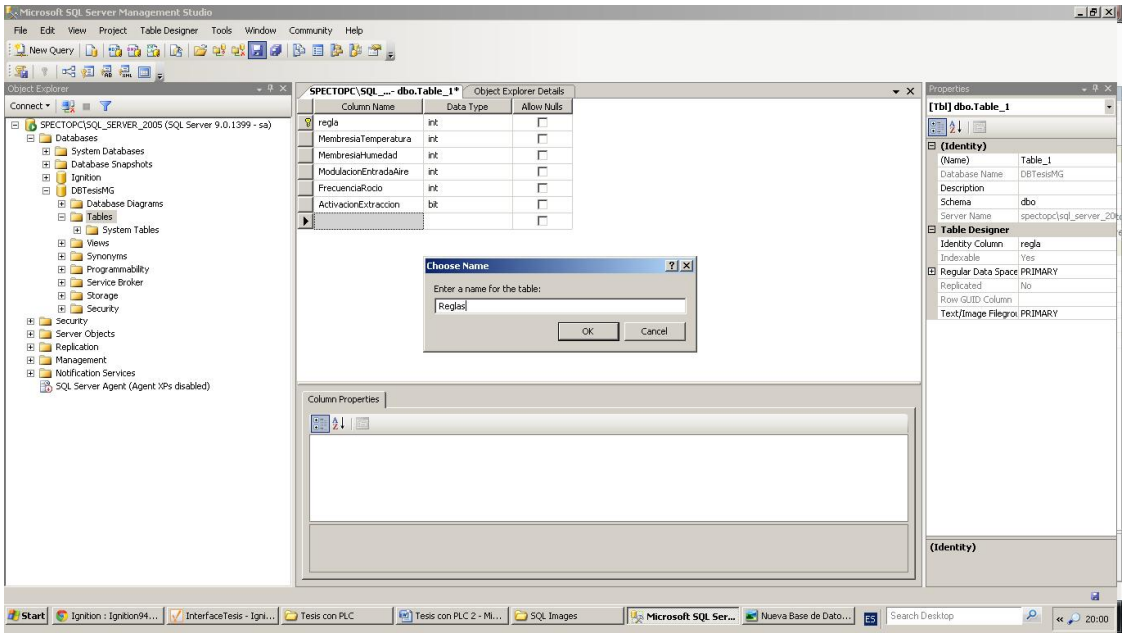

Figura 74. Creación de campos en nueva tabla en Management Studio.
Por: El autor

Al crear los campos de la tabla, se debe definir para cada uno el tipo de datos y si el campo tiene la opción de contener elementos vacíos. Esto depende del proceso en sí, pero para este en particular, no es posible admitir dichos valores.

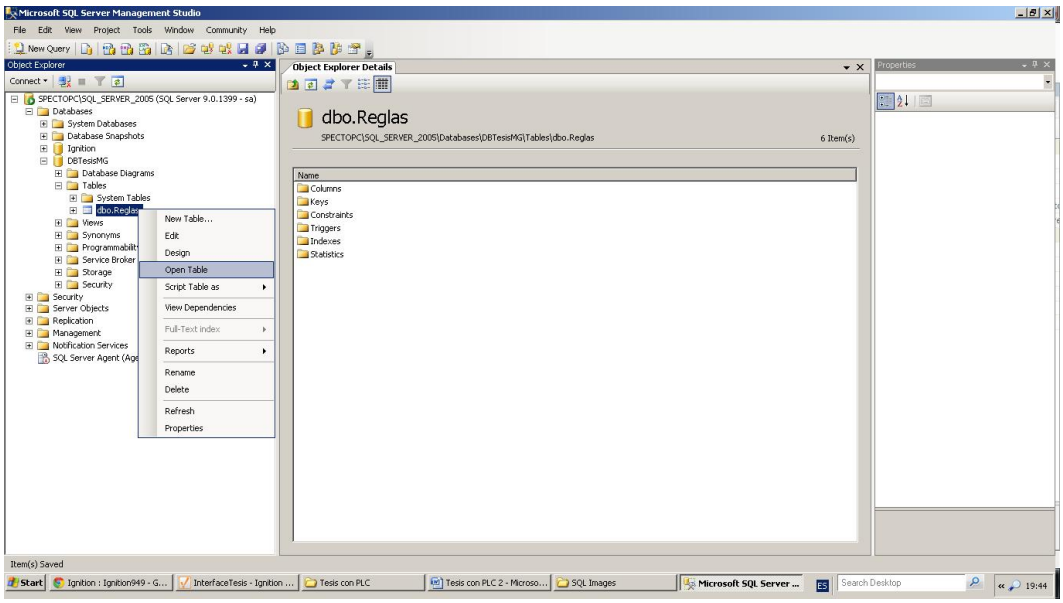

Figura 75. Comando abrir tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Como se ha podido observar, se ha creado la tabla Reglas, la cual almacena las reglas inferidas a partir de los conjuntos difusos y la respuesta esperada de los actuadores. Sin embargo, hasta ahora solo se tiene una tabla vacía sin formato. Al abrir la tabla se puede constatar que no existe ningún registro en ella.

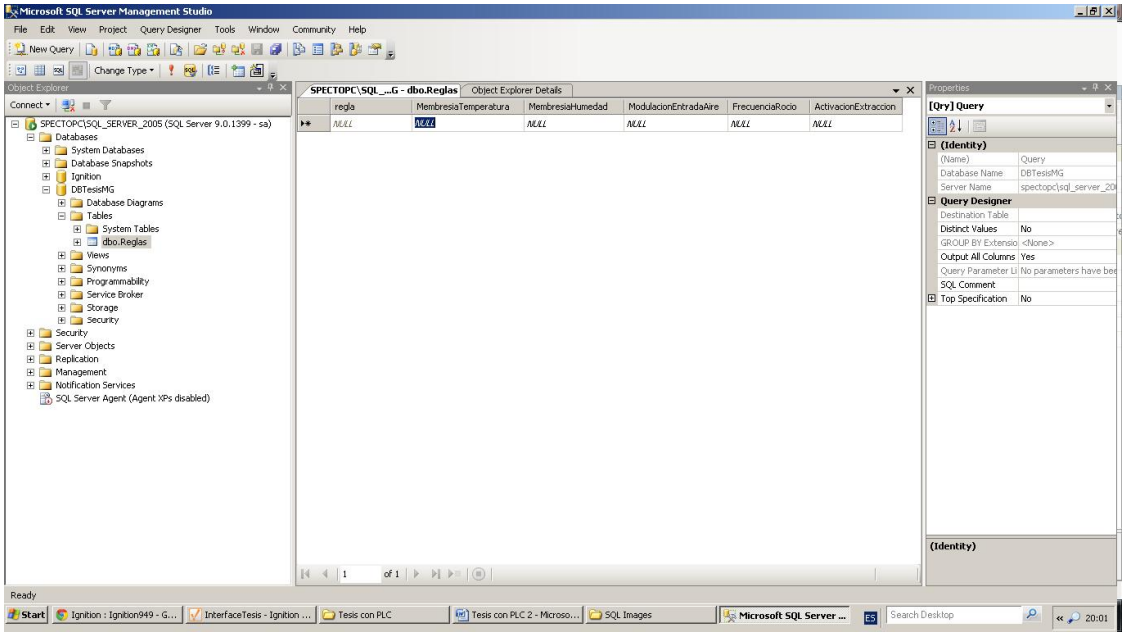

Figura 76. Modificación de datos en tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Estos datos se pueden ingresar de forma manual en este entorno. Sin embargo, no existe gráfica referencial alguna para retroalimentar que las directivas inferidas están conduciendo los actuadores de manera acertada. Por ello resulta poco aconsejable definir dichas reglas en cualquier lugar fuera de la interface de monitoreo.

En la siguiente figura se puede observar la tabla llena de manera manual, siendo un posible punto de partido para futura consideraciones. Los datos se pueden editar de manera libre, sin observar en este entorno ninguna restricción ni retroalimentación para modificar lo que se crea necesario.

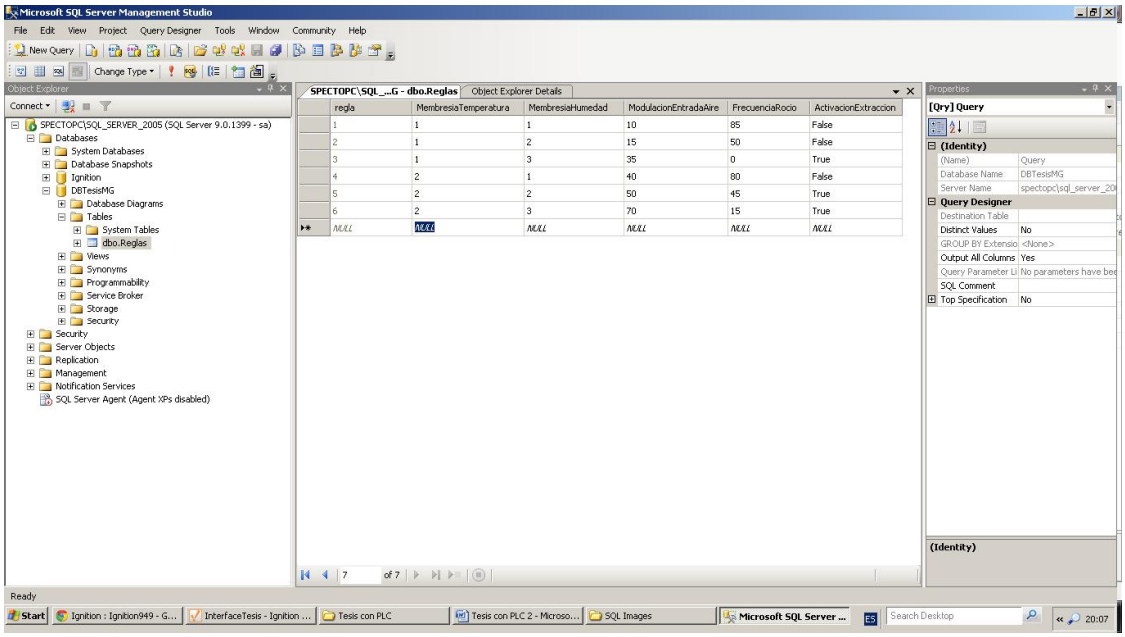

Figura 77. Tabla con datos modificados en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

Indiscutiblemente, el usuario final no puede interactuar con este tipo de esquema, resultando el acceso a las tablas de datos potencialmente riesgoso para la integridad global de la aplicación. Por ello, el SCADA posee las herramientas necesarias para llevar estas estructuras de forma sencilla y segura al usuario final.

Una de las herramientas más útiles del MSSQL Server 2005 Management Studio es el juego de comandos Query de SQL Server. Dichos comandos permiten crear registros en una tabla, insertarlos, eliminarlos o simplemente consultar la tabla por un juego de registros de acuerdo a un determinado parámetro.

La siguiente figura muestra una consulta a la tabla Reglas, solicitando que se muestren todos sus registros. Se escribe el comando en la ventana derecha, y en la misma interface se muestra el resultado de la consulta.

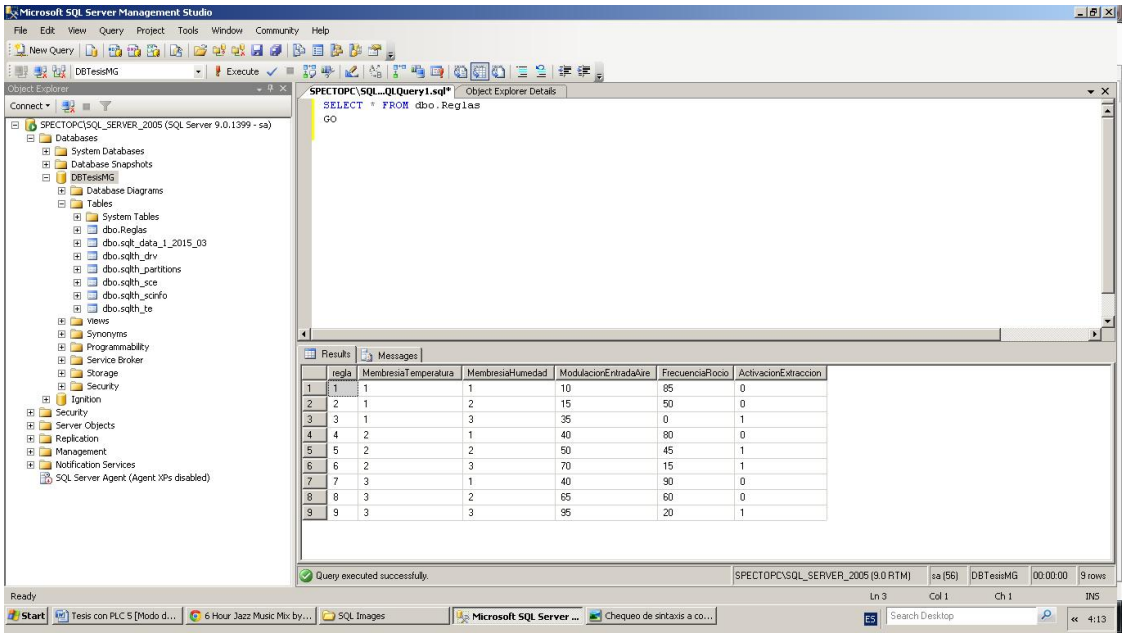

Figura 78. Consulta a tabla en MSSQL Server 2005 Management Studio.
Por: El autor

El sistema de bases de datos se enlaza dinámicamente con Ignition, con lo cual el SCADA presenta esta información sin que el usuario se vea ejecutando comandos complejos para acceder a los datos.

3.4. Diseño y construcción de estructuras de invernaderos

La estructura debe proveer la hermeticidad necesaria para reducir el impacto de las condiciones climatológicas externas, de manera que se pueda tener un buen control de los parámetros de humedad y temperatura en el clima interno generado. No obstante, la temperatura exterior, al igual que la humedad puede constituir factores de ruido que el sistema de control debe poder minimizar.

Para ello se plantea una estructura de madera curada, con láminas de vidrio entre las vigas de estructura que aislarán el viento y humedad externa, pero que permita la refracción de la luz solar y el paso de cierto nivel de calor al clima interno. El control de temperatura se encarga de regular los efectos del calor transferido, y la luz solar sirve para el desarrollo de la vegetación ubicada en el clima interno de la estructura.

A continuación se presente el esquema de soporte de la estructura, con las medidas reales en milímetros (mm) que posee el invernadero.

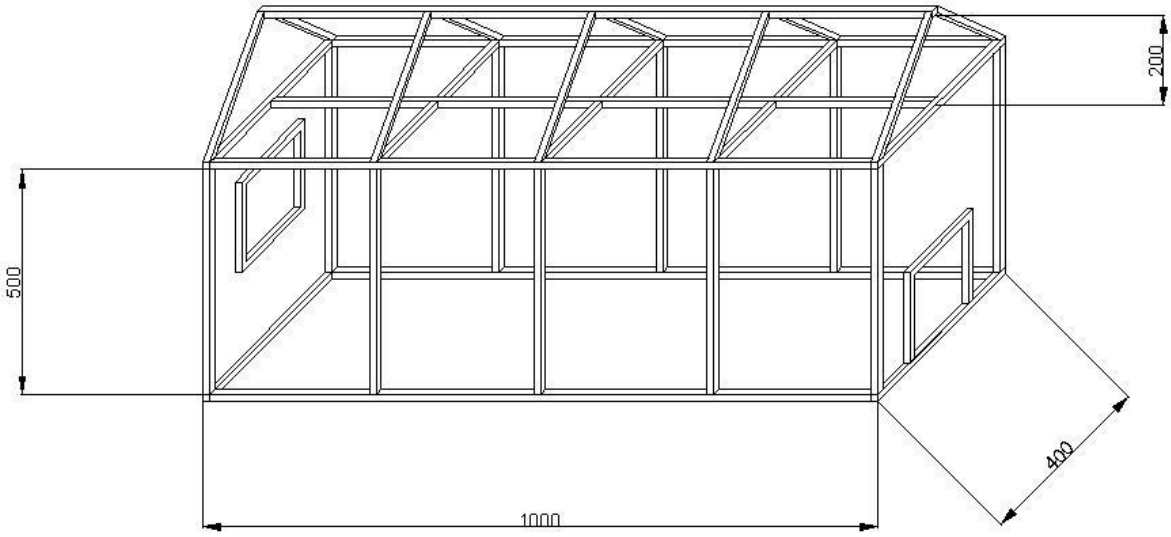

Figura 79. Estructura de soporte para invernadero.
Por: El autor

Figura 80. Estructura real de soporte para modelo a escala de invernadero.
Por: El autor

El sistema de aireación recoge aire fresco desde el nivel inferior del exterior de la estructura. El aire caliente es más ligero y tiende a subir, por lo que se supone una mejor aireación utilizando este mecanismo. En la próxima figura se muestra el invernadero cerrado, con únicamente dos aberturas.

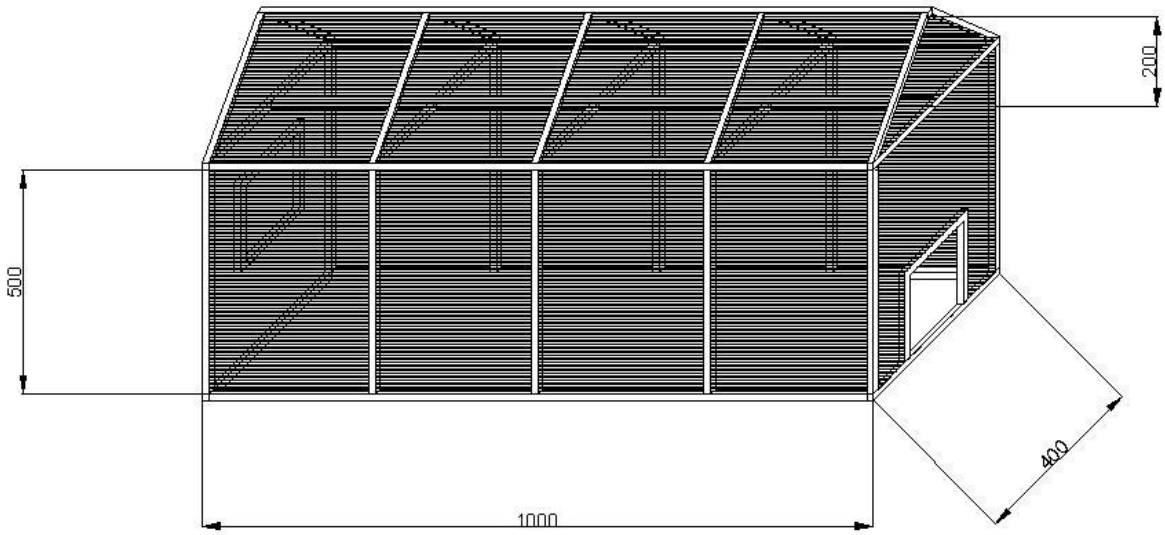

Figura 81. Invernadero con láminas de vidrio.
Por: El autor

Figura 82. Instalación de láminas de vidrio en modelo a escala de invernadero.
Por: El autor

La abertura inferior mostrada en el lado derecho sirve para la instalación del dámper de regulación de ingreso de aire. De esta forma se podrá controlar el caudal de aire que ingrese para refrescar el ambiente. La abertura superior mostrada en el lado izquierdo se utiliza para instalar el ventilador de extracción, el cual genera la fuerza de succión para el aire que debe ingresar y se lleva el aire caliente que se va elevando en el volumen interno del invernadero.

Las vigas superiores permiten la instalación de las boquillas rociadoras que inyectan pequeños volúmenes de agua para la regulación de la humedad interna del invernadero. Así, el control puede inyectar humedad en función a los parámetros configurados para el microclima interno correspondiente.

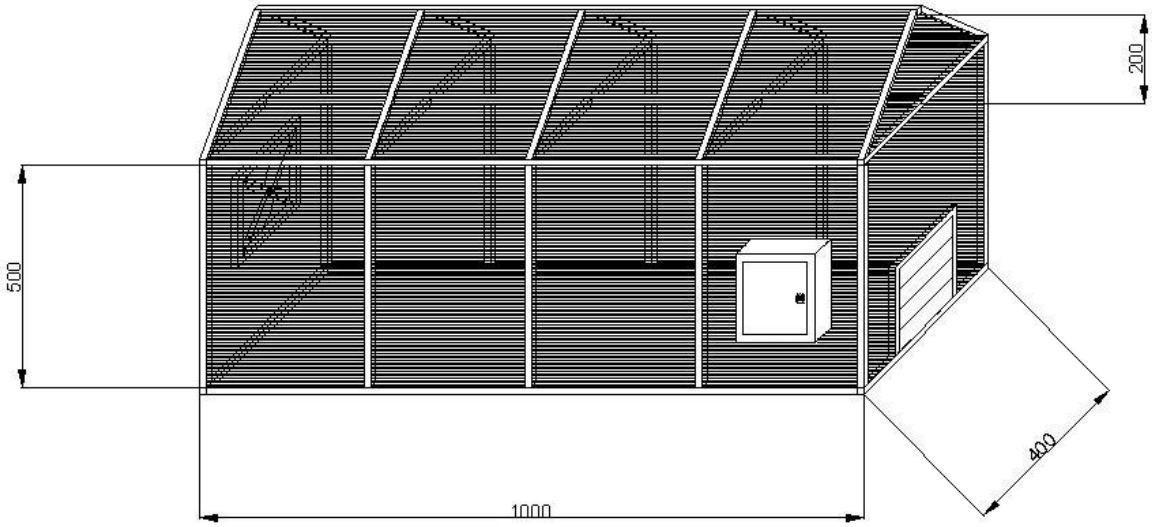

Figura 83. Invernadero con elementos de control.
Por: El autor

En las siguientes imágenes se muestra los trabajos realizados para la implementación física de este proyecto, al igual que el producto final elaborado.

Figura 84. Ajuste de brazo de dámper de regulación de entrada de aire.
Por: El autor

Figura 85. Instalación de equipos en modelo a escala de invernadero.
Por: El autor

Figura 86. Modelo a escala de invernadero terminado.
Por: El autor

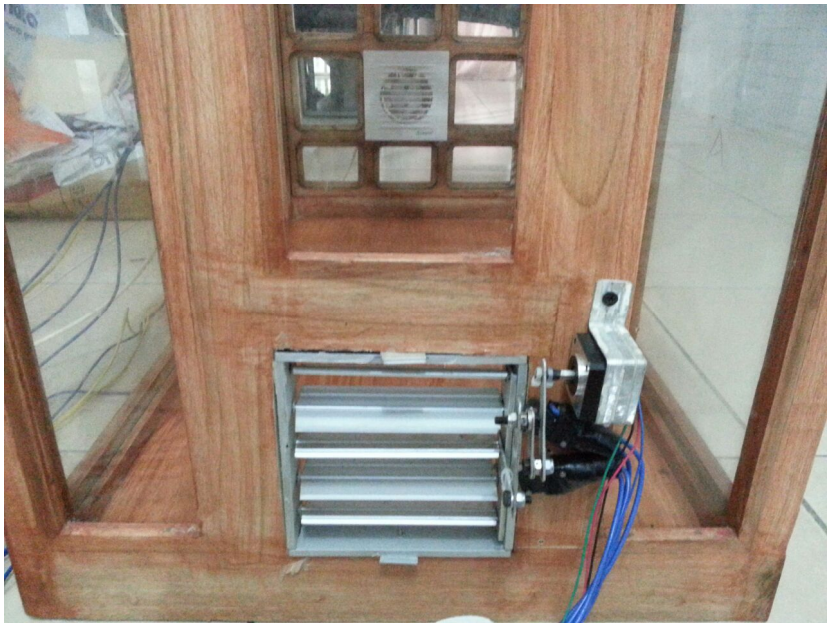

Figura 87. Vista de dámper de regulación de entrada de aire y motor de paso.
Por: El autor

Figura 88. Vista de ventilador de extracción de aire en modelo de invernadero.
Por: El autor

Figura89. Tablero de control para invernadero.
Por: El autor

3.5. Pruebas de monitoreo y registro de datos históricos

El presente apartado muestra la interface, como la verá el usuario final. Se muestran las pantallas y los elementos utilizados para dinamizarlas se explican brevemente. También

3.5.1. Interface de sistema de control SCADA.

La gestión del proceso se hará mediante la aplicación desarrollada en base a los controles presentados, a los cuales se hará referencia presentando la interface en mención. De esta forma, las configuraciones realizadas para el cometido final pueden ser claramente comprensibles en un proceso lógico y organizado.

El control principal se lleva a cabo a través de la interface gráfica de monitoreo de proceso. Esta es la pantalla principal que cuenta con todos los controles necesarios para una efectiva gestión del proceso. Consta de un control Easy Chart configurado con los parámetros que caracterizan el proceso y sus respectivos Set Point. Adicionalmente muestra todos los actuadores con la posibilidad de intervenirlos manualmente.

Figura 90. Sistema SCADA, interface de monitoreo de proceso.
Por: El autor

El proceso puede ser entrenado remotamente, bajo el análisis de la respuesta de sus parámetros ante los cambios configurados en sus variables actuadoras. Esta pantalla se denomina de ajuste de proceso, ya que cuenta con las funciones y conjuntos de pertenencia difusos, con ambos parámetros característicos del proceso, y adicionalmente la matriz de reglas de inferencia del control pseudo-difuso, la cual puede ser modificada, permitiendo alterar el comportamiento del proceso para entrenarlo a otra respuesta de control. Dicha matriz corresponde a un control de tabla, el cual está ligado directamente a la tabla “Reglas” en la base de datos creada para este proceso.

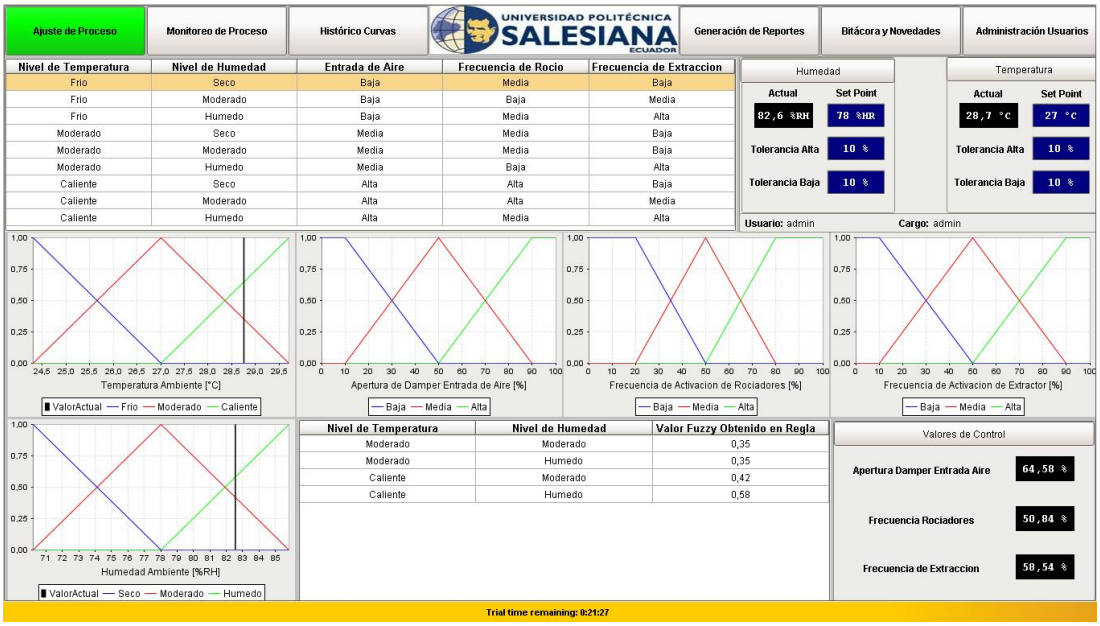

Figura 91. Sistema SCADA, interface de ajuste de proceso.
Por: El autor

Una parte fundamental de la gestión de este proceso es la trazabilidad de los factores climáticos del ambiente al interior del vivero. De esta forma es posible empatar las respuestas positivas y negativas en el crecimiento y desarrollo de los cultivos ante las condiciones ambientales en un período determinado. El histórico de curvas permite realizar consultas al archivo histórico, de manera que se pueda conocer el comportamiento del ambiente en un período específico. Así, estas curvas

retroalimentan al personal de operación del proceso información crucial que ayude a mejorar su gestión del proceso.

La pantalla consta de dos controles Easy Chart, de manera que se pueda revisar con más facilidad las variaciones de cada parámetro en el tiempo, y un menú de selección de la ventana de tiempo para el reporte de los parámetros.

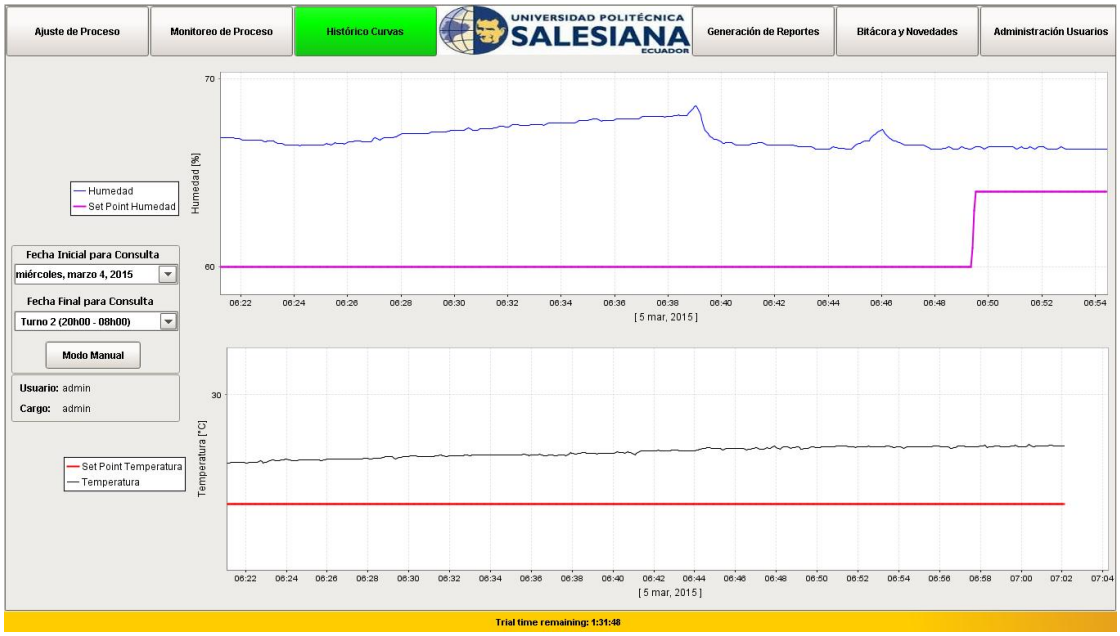

Figura 92. Sistema SCADA, interface de histórico de curvas.
Por: El autor

Para los reportes de novedades, cambios hechos en la dosificación de insumos y fertilizantes, informe de químicos faltantes o pruebas experimentales de campo normalmente se lleva un cuaderno con una bitácora en todo proceso. En este caso particular, se provee de la herramienta de forma electrónica, a través de la nube, y con un archivo histórico de entradas en la base de datos del proyecto, en una tabla específica para el control de bitácora. De esta forma se puede apuntar los responsables de los cambios transcendentales realizados en el proceso, de manera que todo quede documentado para las respectivas promociones o correcciones ante incidencias que tengan una afectación profunda en el proceso.

Esta pantalla consta del control de bitácora, donde cada cliente registrado en la aplicación tiene su propio usuario, estando ligada la entrada que haga en la

bitácora a su nombre. Así, el comentario de cada usuario queda registrado en el archivo histórico de entradas en la bitácora.

Figura 93. Sistema SCADA, interface de bitácora y novedades.
Por: El autor

3.5.2. Pruebas de aplicación de control.

Durante las pruebas llevadas a cabo, se encontró el conjunto de reglas mostrado en la siguiente figura como el comportamiento óptimo del sistema. Con ello se asegura que los parámetros siempre estén dentro de la tolerancia del proceso para el Set Point definido, que para esta aplicación corresponde a lo siguiente.

Tolerancia de humedad: +- 3 %RH

Tolerancia de temperatura: +- 2 °C

Nivel de Temperatura	Nivel de Humedad	Entrada de Aire	Frecuencia de Rocio	Frecuencia de Extraccion
Frio	Seco	Baja	Media	Baja
Frio	Moderado	Baja	Baja	Media
Frio	Humedo	Baja	Media	Alta
Moderado	Seco	Media	Media	Baja
Moderado	Moderado	Media	Media	Baja
Moderado	Humedo	Media	Baja	Alta
Caliente	Seco	Alta	Alta	Baja
Caliente	Moderado	Alta	Alta	Media
Caliente	Humedo	Alta	Media	Alta

Figura 94. Conjunto óptimo de sistema pseudo difuso.
Por: El autor

Las pruebas fueron ejecutadas simulando la energía solar mediante el uso de una lámpara con luminaria de gas halógeno, de una potencia de 500 W. Con ello fue posible generar el calor que el sistema necesitaba para provocar que el automatismo reaccione ante dicho estímulo.

Figura 95. Vista de exterior de invernadero durante pruebas de control
Por: El autor

Figura 96. Vista de elementos de control y proceso al interior de invernadero
Por: El autor

Para una configuración de datos de humedad y temperatura con Set Point de 78%RH y 30°C, respectivamente, se obtuvo los resultados mostrados en la figura 97.

Figura 97. Curvas registradas durante pruebas de proceso de sistema de control
Por: El autor

Se observa en las curvas que la regulación de los parámetros de proceso se lleva a cabo dentro de los límites de tolerancia planteados. Los datos de proceso para estas pruebas, junto con el tiempo de registro de dichos valores pueden ser consultados en el Anexo A.

Capítulo IV.- Análisis de pruebas y resultados

El presente capítulo describe brevemente las pruebas de transferencia de datos realizadas, de manera que se asegure un control adecuado del proceso a través del Internet. Se comienza con pruebas de transmisión de mensajería simple ICMP, lo cual permite determinar la accesibilidad a las interfaces y la congestión de tráfico en el enlace. De igual forma se ejecutan pruebas de monitoreo de tráfico de paquetes en formato Modbus TCP. Estas pruebas se realizan con las comunicaciones del sistema SCADA activas, de manera que sea posible establecer si estas comunicaciones a través de Internet generan tiempos de respuesta elevados o pérdidas reiterativas en la transferencia de información.

4.1. Pruebas de enlace por paquetes de mensajería simple ICMP.

El objetivo de esta prueba es determinar la disponibilidad del enlace y la congestión de tráfico en la red de acuerdo con los tiempos de respuesta de dichos datos. La prueba se ejecuta mediante comandos “ping” desde el terminal origen, donde reside el sistema SCADA, hacia el sitio remoto donde se encuentra enlazado a la red el PLC que controla el proceso.

La Figura92 muestra una prueba de mensajería simple a través del enlace definido para el Invernadero #1, el cual se encuentra en una localidad geográficamente distinta del servidor Web de aplicación, que es donde se está haciendo la consulta de entrega de paquetes.

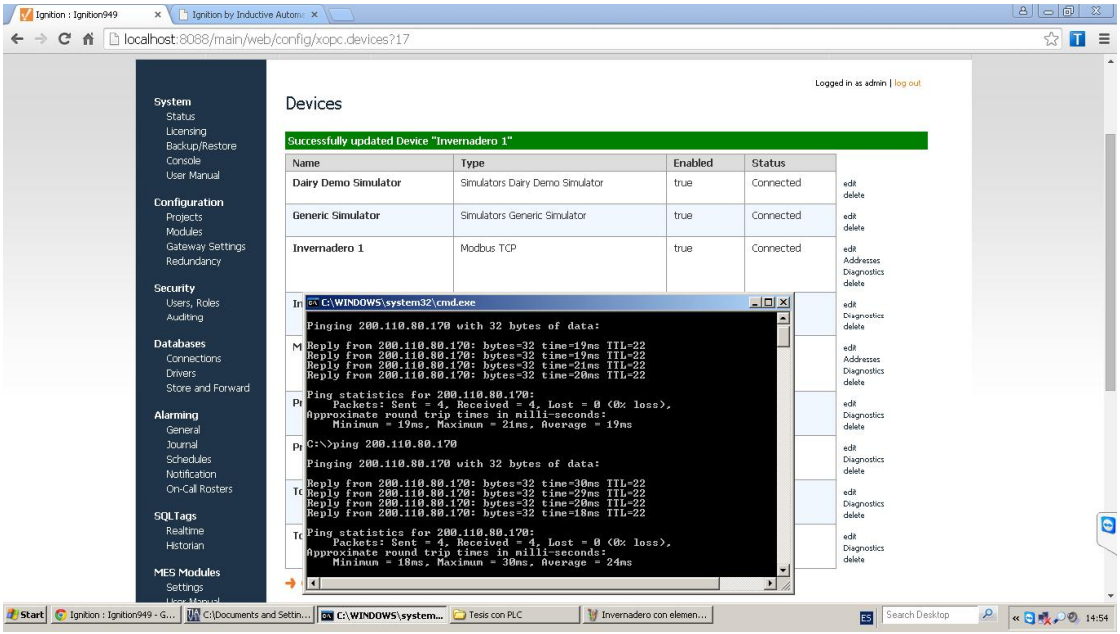

Figura 98. Prueba de entrega de paquetes ICMP a través del Internet.
Por: El autor

Se puede observar un tiempo promedio de entrega de paquetes de 22 ms. Esto mientras se da el tráfico de paquetes vía Modbus TCP a través del mismo enlace. Con esto se observa que no existe saturación en la red y que la entrega de paquetes a través del Internet es casi tan rápido como si se tuviese una conexión LAN.

Se presenta el esquema la dirección IP de la máquina en la que se está haciendo la prueba, junto con el cuadro de consola de comandos donde se está ejecutando la prueba de envío de paquetes. De esta forma queda constancia de que tanto la máquina origen como la de destino no se encuentran en la misma sub red lógica, y que adicionalmente la terminal destino, la cual es el PLC del Invernadero #1, tiene una dirección IP pública.

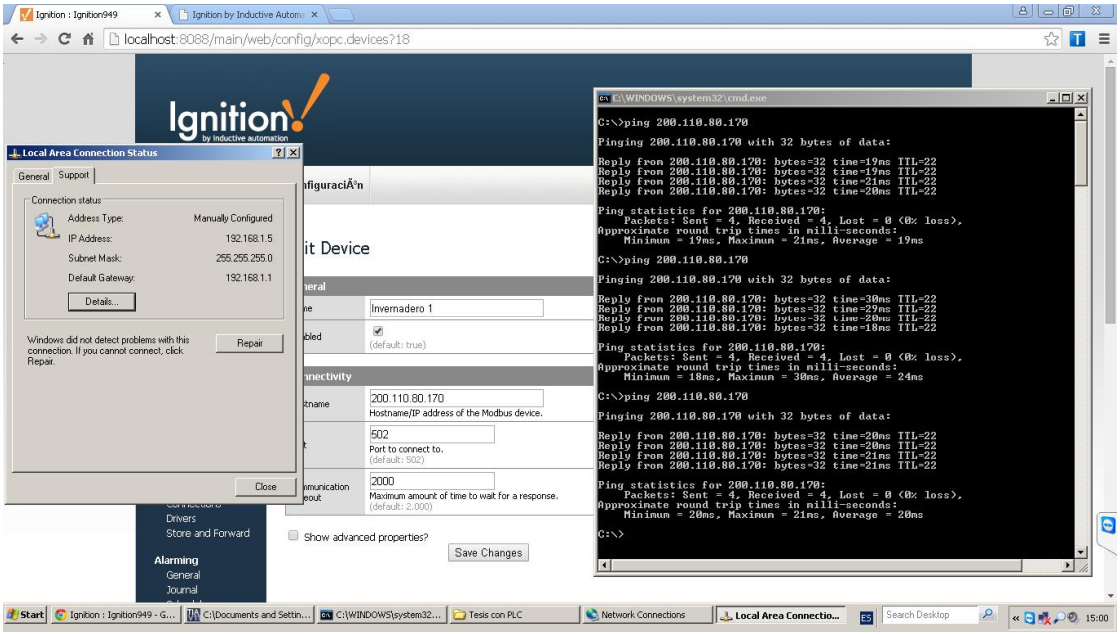

Figura 99. Evidencia de direcciones IP en distintas redes.
Por: El autor

Estas pruebas confirman dos puntos fundamentales para la transferencia de datos planteado en este sistema:

- En enlace está disponible y las interfaces en los extremos de la red pueden comunicarse físicamente

- En enlace se encuentra bastante descongestionado, siendo la densidad de datos de poca incidencia en la saturación del enlace

Tras estas pruebas se procede a realizar un seguimiento de paquetes específicos para esta aplicación, para lo cual se utiliza un software dedicado para monitoreo de tráfico de red. Se describe brevemente el procedimiento para la ejecución de dichas pruebas.

4.2. Pruebas de comunicación y monitoreo de paquetes tipo Modbus TCP.

Es posible rastrear el tráfico de red mediante el uso de una aplicación de monitoreo de diseñada para tales efectos. En el caso de esta prueba se hace uso de la aplicación Wireshark, Bajo el mismo esquema de red se abre una sesión de rastreo,

filtrando el tráfico desde la dirección del PLC de proceso. El Wireshark registra todas las transacciones entre la terminal local, donde reside la aplicación del SCADA, y el PLC remoto, el cual controla el proceso. Esto se configura mediante un filtro IP para la dirección pública que corresponde al PLC, filtro que aplica dado que las únicas transacciones configuradas entre estos dos interlocutores son las comunicaciones bajo Modbus TCP, objeto de interés de estas pruebas.

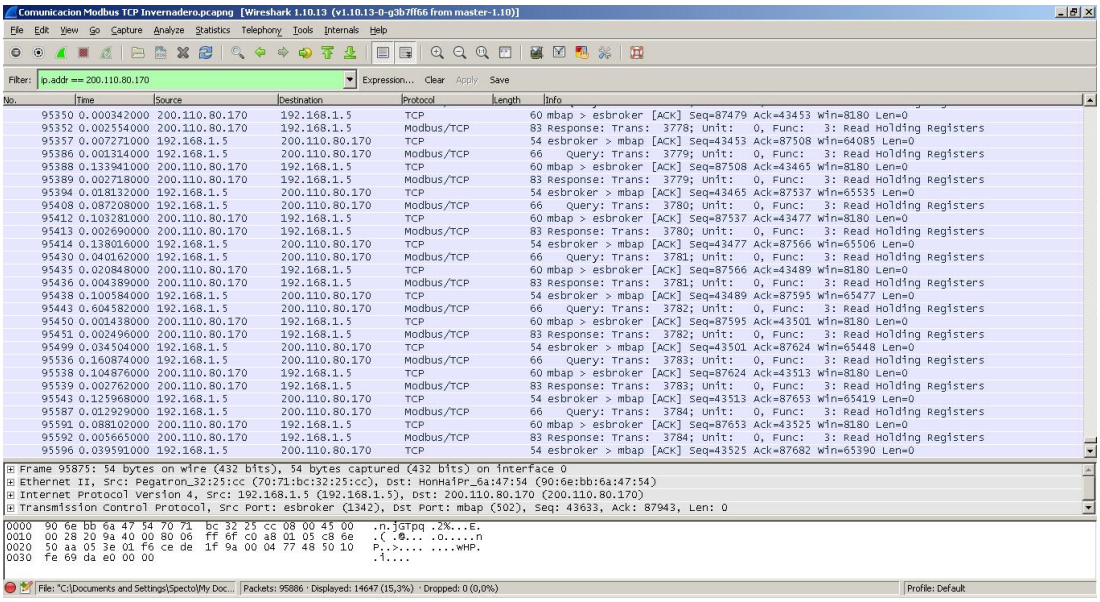

Figura 100. Transacciones TCP entre SCADA en la nube y PLC remoto.
Por: El autor

En la figura se observa las transacciones TCP y Modbus TCP y no solo transacciones tipo Modbus TCP. Esto ocurre porque el único momento en que interviene Modbus TCP en el intercambio de paquetes es en el intercambio de las variables definidas para ser utilizadas bajo este protocolo. El resto de procesos, que son básicamente la requisición de enlace, los acuses de mensajes recibidos y el control de errores y transacciones los maneja el protocolo TCP.

El control de errores del protocolo TCP se hace mediante la secuencia de identificadores de transacción. Cada trama posee su número secuencial y debe ser debidamente acusada por el interlocutor para asegurar una entrega confiable de la información. En caso de un error, el protocolo TCP apunta el número de transacción de la trama errónea y lo retransmite, descartando la primera que se considera defectuosa, reemplazándola por aquella que resulte válida. La siguiente figura ilustra

justamente una retransmisión que el protocolo TCP ejecuta durante esta sesión de captura de paquetes, evidenciando así la confiabilidad de este mecanismo de control de transacciones.

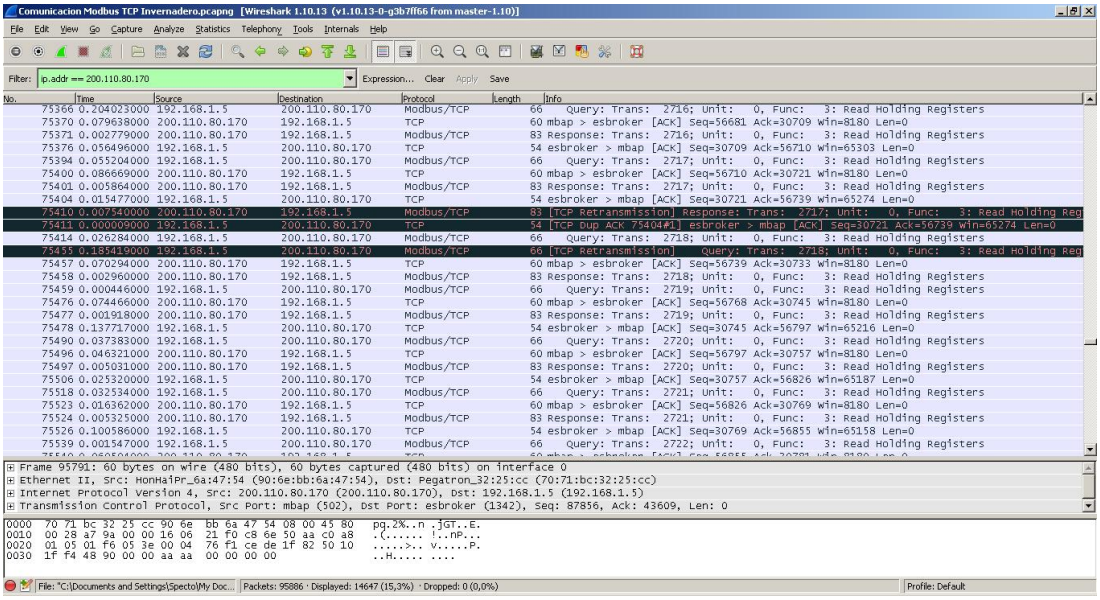

Figura 101. Retransmisión de trama TCP tras fallo de acuse de recepción.
Por: El autor

Se observa el número de registro de captura 75414, donde el SCADA solicita la entrega de registros de almacenamiento mediante comando Modbus TCP, con transacción número 2718 por parte del PLC remoto. Después de no tener respuesta durante 185ms, el protocolo TCP realiza una retransmisión de la solicitud, la cual se observa en el registro de captura 75455, donde el SCADA vuelve a solicitar la información de dichos registros de almacenamiento. En el registro de captura 75458 se observa finalmente la respuesta del PLC remoto a la solicitud del SCADA con número 2718. De esta forma el protocolo TCP evita la pérdida de tramas, asegurando que la información llegue de manera confiable a ambos extremos de la red.

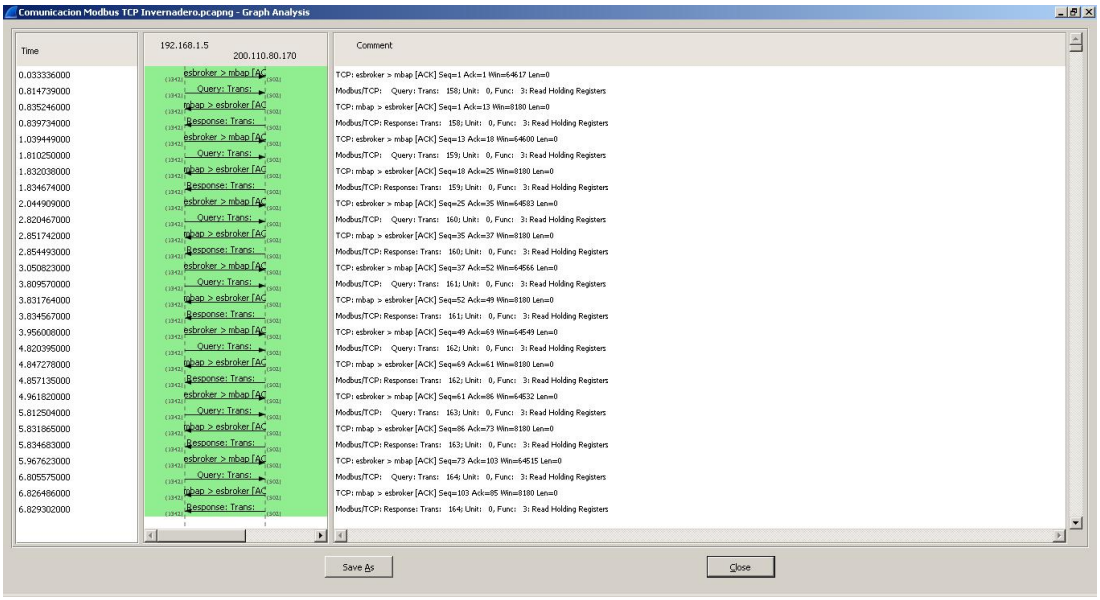

Figura 102. Esquema de ventanas deslizantes para transacciones TCP entre SCADA y PLC.
Por: El autor

El protocolo TCP se encarga de la gestión de transacciones secuenciales mediante el mecanismo de ventanas deslizantes, el cual hace uso de números de transacción secuencial para cada nueva trama transmitida. Este esquema se observa en la imagen mostrada, la cual presenta las terminales en los extremos de la red y el intercambio de mensajes TCP para coordinar la entrega adecuada de la información. El SCADA siempre empieza el diálogo con una consulta por registros de almacenamiento Modbus, siguiendo un acuse de recibo de la solicitud por parte del PLC remoto, y enseguida la respuesta mediante telegrama bajo Modbus TCP con los registros de almacenamiento solicitados. Finalmente el SCADA le indica al PLC remoto que ha recibido la información para proceder con la siguiente transacción, y así evitar retransmisiones innecesarias.

Estas transacciones gestionadas por el protocolo TCP no están ligadas únicamente al protocolo Modbus TCP. El Protocolo TCP se encarga de garantizar la entrega confiable de paquetes a través de un enlace, para cualquier enlace que se establezca entre dos terminales a los extremos de una red, sin importar los protocolos o aplicaciones que estén interactuando entre ellas. Es por esto que tanto en los identificadores de captura como en los números de transacción no se observa una

secuencia en continuo incremento de uno, pero si se observa el incremento de los valores del número secuencial de las tramas conforma avanzan las transacciones.

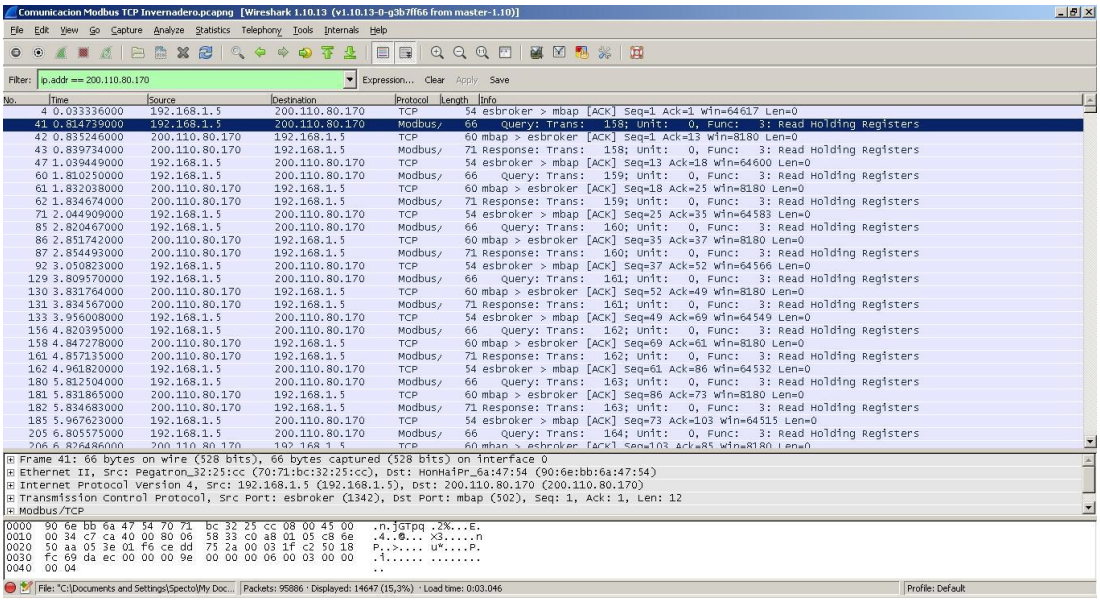

Figura 103. Registros de transacciones TCP con tiempo transcurrido desde inicio de ciclo de captura de tramas.
Por: El autor

En el caso de las comunicaciones entre el SCADA y el PLC remoto, estas se inician con la solicitud del SCADA para recibir los valores de los registros de almacenamiento localizados en el PLC remoto, los cuales corresponden a la humedad, temperatura y demás parámetros inherentes al proceso que se monitorea. Este barrido de datos es ejecutado por el SCADA en función al intervalo programado de muestreo para cada variable. En el caso de esta aplicación, todos los datos son muestreados con un ciclo de frecuencia de un segundo. Esto significa que debe existir al menos un requerimiento de datos mediante Modbus TCP y una respuesta con esta información a través de Modbus TCP una vez por segundo. La tabla en la figura muestra todas las transacciones TCP, pero no se pone en evidencia lo dicho de forma de tabla.

La siguiente figura ilustra estas transacciones de forma más clara, a manera de gráfico en el tiempo. Se observa que cada segundo existe un patrón repetido de transmisión de bytes, siendo esto comandado por el SCADA en cada solicitud de datos transmitida.

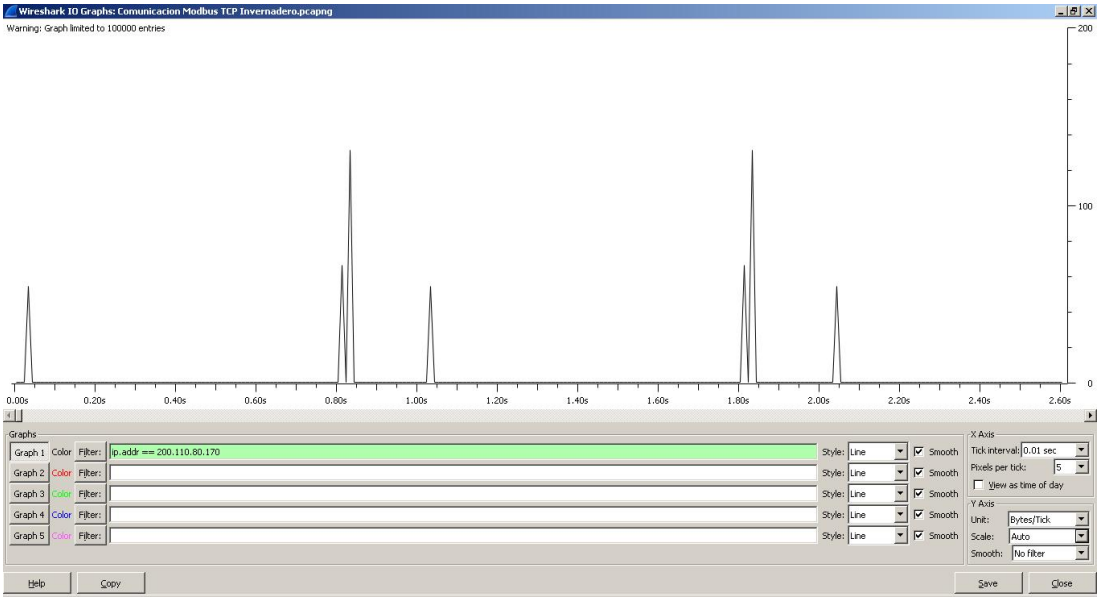

Figura 104. Gráfico de tráfico de Bytes desde inicio de ciclo de captura de transacciones TCP entre SCADA y PLC remoto.
Por: El autor

Sin embargo, los acuses de recibo TCP ocurren en un tiempo menor a las transacciones Modbus TCP. Esto es porque los acuses de recibo funcionan a una velocidad mayor al barrido cíclico configurado en el SCADA. De esta forma se observa claramente que el mecanismo de control TCP ocurre de forma independiente a las comunicaciones Modbus TCP. El protocolo Modbus TCP en cambio, de pende absolutamente del buen funcionamiento del protocolo TCP.

4.3. Determinación de latencia y configuraciones mínimas para entrega confiable de paquetes a través de la nube

Estas pruebas fueron ejecutadas sin filtros de red en los extremos, y adicionalmente sin muros de fuego. Esto permite un flujo libre de información ente los extremos de red, pero conlleva su riesgo al tener el enlace abierto a cualquier otro tipo de información que entre en el mismo.

La latencia básicamente es inexistente, siendo en el peor de los casos para paquetes ICMP de alrededor de 7 ms con respecto al tiempo promedio de entrega de paquetes en una red LAN de alta velocidad.

En cuanto a las transacciones bajo Modbus TCP, cada consulta realizada por el SCADA pudo ser atendida con una respuesta por parte del PLC remoto. El ciclo de barrido de variables se mantuvo activo con una consulta una vez por segundo, que es el ciclo estándar definido para la lectura de variables de proceso desde el SCADA. Nuevamente el comportamiento de entrega de valores de proceso fue llevado a cabo en condiciones muy similares a las que se hubiese tenido bajo la misma red LAN.

Es posible que la inclusión de elementos para filtrado de datos provoque latencia, lo cual puede ser sorteado con relativa facilidad mediante túneles VPN u otro tipo de conexión segura definida entre el servidor y el equipo de control.

Conclusiones

La implementación del sistema propuesto comprende una oportunidad interesante de integrar tecnologías y poder portarla a aplicaciones más específicas con un costo final bastante accesible. Este tipo de escenarios donde un PLC de mayor escala simplemente es demasiado robusto y costoso para ser considerado una opción, brinda la oportunidad de nuevos emprendimientos que pudieran ser redituables a gran escala en el tiempo.

Se consideró el caso específico de un invernadero, pero la realidad es que se puede monitorear cualquier tipo de proceso bajo el mismo esquema, con funcionalidades similares y utilizando los mismos recursos en lo que a TI respecta, llegando a tener la posibilidad de compartir el mismo servidor de aplicaciones para múltiples procesos.

Se ha observado además que la latencia no representa un problema en este tipo de esquema con esta carga de unidades. Sin embargo, debe considerarse pruebas más extensivas con un mayor número de controladores asociados para determinar si existe incidencia en la latencia por el aumento de carga en el canal de datos.

Recomendaciones

Se recomienda trabajar en un diseño de filtros y seguridades para este tipo de enlace, cuidando que la tasa de transferencia de datos no se vea mayormente afectada. Como mejora a la implementación realizada se sugiere establecer un esquema de enlaces vía túneles VPN para un grupo de prueba de clientes de mayor densidad, de manera que se pueda evaluar el rendimiento de las comunicaciones en la red ante dichas condiciones.

De igual forma, se observa la posibilidad de portar esta aplicación a otros procesos, dado que la unidad de control es genérica y reprogramable. Cualquier tipo de proceso que comprenda grandes extensiones geográficas entre sus dependencias de proceso puede ser controlado de manera efectiva con este tipo de tecnología.

Cronograma de actividades.

TAREAS	SEMANAS																											
	AÑO 2014																			AÑO 2015								
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conceptualización y Denuncia																												
Órdenes de compra e Importación																												
Desarrollo de Software SCADA																												
Pruebas de Comunicación en Red																												
Implementación de Sistemas Electrónicos																												
Pruebas con Tarjetas Ensambladas																												
Prueba de Plataforma																												
Revisón de Borrador de Documento																												
Implementación de Correcciones																												
Revisión Final																												
Entrega de Documento Final																												

Tabla 1: Cronograma de actividades durante proceso de titulación

Elaboración: El Autor

Presupuesto de proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
A	PLC Simatic S7-1200 CPU 1212C	2	$ 350,00	$ 700,00
B	Senor de Humedad Dwyer RHP-3O22	2	$ 110,00	$ 220,00
C	Ventilador de extracción	2	$ 20,00	$ 40,00
D	Motor de pasos	2	$ 25,00	$ 50,00
E	Estructura Damper	2	$ 40,00	$ 80,00
F	Invernadero a escala	2	$ 120,00	$ 240,00
G	Tableros eléctricos, dispositivos y accesorios	2	$ 200,00	$ 400,00
H	Componentes y accesorios electrónicos	GLB	-	$ 100,00
I	Diseño, desarrollo y pruebas de sistema [dias]	120	$ 15,00	$ 1.800,00
TOTAL PRESUPUESTO			USD	$ 3.630,00

Tabla 2: Lista de materiales y costos de insumos de implementación

Elaboración: El Autor

Bibliografía.

Arkoz (s.f.), Recuperado de http://arkoz84.wikispaces.com/file/view/I02.JPG/71631659/I02.JPG

Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (2004), Diseño, construcción y mantenimiento de invernaderos de madera, p. 25 – 49

Castro, S. G. (1998). *Teoría de control: diseño electrónico* (Vol. 72). Univ. Politèc. de Catalunya. Pags 15-17.

CSMA (s.f.), Recuperado de http://azulazuluz.blogspot.com/2013/10/tarea-de-csma.html

Dantu, R., O' Connell, P. (2003), *System and method for packet level distributed routing in fiber optic rings*, U.S. Patent No. 6,532,088 B1

Electronilab (s.f.), Recuperado de http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/

Formato de la trama IEEE 802.3 (s.f.), Recuperado de http://www.mailxmail.com/curso-red-instalacion-fisica/trama-ethernet

Foundations of Fuzzy Logic (s.f.), Recuperado de http://www.mathworks.com/help/releases/R2015a/fuzzy/fuzzy_tall.png

Gabari, U. (s.f.), El café orgánico motiva a 200 productores, *UNGERER*, Recuperado de http://www.ungerer.com.ec/agrocalidad-inicio-campana-contra-fiebre-aftosa-2.html

Gauger, M. (2010). *Integration of Wireless Sensor Networks in Pervasive Computing Scenarios*. Logos Verlag Berlin GmbH.

Gopalan, N. P., & Selvan, B. S. (2008). *TCP/IP ILLUSTRATED*. PHI Learning Pvt. Ltd..

Groussard, T. (2012). *JAVA 7: Los fundamentos del lenguaje Java*. Ediciones ENI. Pag 19. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=JaPTzKZxbN4C&printsec=frontcover&dq=java&hl=es&sa=X&ei=TNMYVauNAbaOsQTOxoGoCg&ved=0CCkQ6AEwAg#v=onepage&q=java&f=false

Hortelana (s.f.), Recuperado de http://www.hortelana.com/imagpps/s1.jpg

Interempresas (s.f.), Recuperado de http://img.interempresas.net/fotos/80365.jpeg

Jang, J. S. R., & Sun, C. T. (1996). *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*. Prentice-Hall, Inc..

Joyanes, L. (2012), Computación en la nube – Notas para una estrategia Española en Cloud Computing, *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, (0), p. 92 – 93, ISSN-e 2255-3479

Liptak, B. G. (Ed.). (2005). *Instrument Engineers' Handbook, Volume Two: Process Control and Optimization* (Vol. 2). CRC press.Pag 797.

Manchester encoding (s.f.), Recuperado de http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3435

Martinez, A., Burpee, L., Waltz, C. (2012), Daños Abioticos y Anomalías de Céspedes en Georgia, *The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, College of Family and Cnsumer Sciences, Boletín 1258-SP*, p. 6

Mathworks (s.f.), Recuperado de http://www.mathworks.com/help/releases/R2015a/fuzzy/fuzzy_tall.png

Miller, P. (2009). *TCP/IP: The Ultimate Protocol Guide* (Vol. 2). Universal-Publishers.

Miranda, C. V. (1999). *Sistemas informáticos y redes locales*. Thomson-Paraninfo.

Neewer(s.f.), Recuperado de http://www.amazon.com/Neewer-5V-35V-Stepper-Controller-Arduino/dp/B00K4MV652

Odom, W. (2011). *CCNA ICND2 640-816 official cert guide*. Cisco Press.

Peña, C. (2000). *Redes la guía definitiva.*Usershop.

Pérez, E. H. (2003). *Tecnologías y redes de transmisión de datos.* Editorial Limusa.

Pololu (s.f.), Recuperado de https://www.pololu.com/product/1207

Protocolo TCP (s.f.), Recuperado de http://www.saulo.net/pub/tcpip/b.htm

Siemens (s.f.), Recuperado de http://cache.automation.siemens.com/dnl/jU/jUyNzI0OQAA_49313233_HB/hmi_comfort_panels_operating_instructions_en-US_en-US.pdf

Segmentación de datos en modelo OSI (s.f.), Recuperado de http://arkoz84.wikispaces.com/redes_8

Spurgeon, C. (2000). *Ethernet: the definitive guide*. " O'Reilly Media, Inc.".

Swales, A. (1999). Open Modbus TCP Specification, Rev 1.0, p. 3

Técnica Internacional (s.f.), Recuperado de http://tecnicainternational.com/manejodeaguas/wp-content/uploads/2013/04/006.jpg

Transfer-Agro (s.f.), Recuperado de http://www.transferagro.com/images/tipotunel.jpg

Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D. (Eds.). (2011). *Industrial communication systems*. CRC Press.Pag 12. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=gJbLBQAAQBAJ&pg=SA36-PA12&dq=Modbus+TCP&hl=es&sa=X&ei=pE4YVbP5Lrj_sATrtIHQDA&ved=0CD0Q6AEwAg#v=onepage&q=Modbus%20TCP&f=false

Wong, K. (s.f.), A Simple Dual H-Bridge. Recuperado de http://www.kerrywong.com/2010/03/22/a-simple-dual-h-bridge/

Zadeh, L. (2008), Is there a need for fuzzy logic?, *Information Sciences*, (178), p. 2751, doi: 10.1016/j.ins.2008.02.012

Anexos.

Anexo A. Datos de prueba de proceso

DATOS DE PRUEBA CONTROL INVERNADERO		
Fecha y Hora	**Temperatura [°C]**	**Humedad [%RH]**
2015-04-20 05:10:14.000	33,61110687	89,34100342
2015-04-20 05:10:24.000	33,58579254	89,442276
2015-04-20 05:10:44.000	33,65089417	89,35185242
2015-04-20 05:10:54.000	33,61472321	89,36631775
2015-04-20 05:11:04.000	33,65812683	89,24334717
2015-04-20 05:11:54.000	33,67621613	89,16738892
2015-04-20 05:12:04.000	33,69791412	89,05888367
2015-04-20 05:12:34.000	33,75578308	88,93590546
2015-04-20 05:12:44.000	33,79918671	89,06611633
2015-04-20 05:12:54.000	33,75939941	88,84548187
2015-04-20 05:13:14.000	33,79195404	89,06611633
2015-04-20 05:13:24.000	33,838974	88,95761108
2015-04-20 05:13:34.000	33,82089233	88,95761108
2015-04-20 05:13:44.000	33,84259033	88,8563385
2015-04-20 05:13:54.000	33,90769196	88,87080383
2015-04-20 05:14:04.000	33,90769196	88,83824921
2015-04-20 05:14:14.000	33,95109558	88,84186554
2015-04-20 05:14:24.000	33,89322662	88,73697662
2015-04-20 05:14:34.000	33,88961029	88,74420929
2015-04-20 05:14:44.000	33,94747925	88,61762238
2015-04-20 05:14:54.000	33,87876129	88,72974396
2015-04-20 05:15:14.000	33,94386292	88,52719879
2015-04-20 05:15:24.000	34,02705383	88,51634979
2015-04-20 05:15:54.000	33,99088287	88,41145325
2015-04-20 05:16:14.000	34,04151917	88,43315887
2015-04-20 05:16:24.000	33,98365021	88,32826996
2015-04-20 05:16:54.000	34,05960846	88,313797
2015-04-20 05:17:14.000	34,11747742	88,22699738
2015-04-20 05:17:44.000	34,12471008	88,24146271
2015-04-20 05:17:54.000	34,17173004	88,24146271
2015-04-20 05:18:54.000	34,23683167	88,01721191
2015-04-20 05:19:04.000	34,27661896	87,91593933
2015-04-20 05:19:24.000	34,25130463	87,82189941
2015-04-20 05:20:04.000	34,28023529	87,80020142
2015-04-20 05:20:14.000	34,36704254	87,72062683
2015-04-20 05:20:54.000	34,36704254	87,60488892

2015-04-20 05:21:24.000	34,36342621	87,60850525
2015-04-20 05:21:34.000	34,43937683	87,50361633
2015-04-20 05:22:04.000	34,4249115	87,53617096
2015-04-20 05:22:14.000	34,42852783	85,3407135
2015-04-20 05:22:34.000	34,34172058	74,24406433
2015-04-20 05:22:44.000	34,34172058	69,86038971
2015-04-20 05:22:54.000	34,29470062	67,33579254
2015-04-20 05:23:04.000	34,33448792	64,88353729
2015-04-20 05:23:14.000	34,26215363	65,34649658
2015-04-20 05:23:34.000	34,28746796	63,66463852
2015-04-20 05:23:54.000	34,17173004	62,3770256
2015-04-20 05:24:04.000	34,19704437	62,19979477
2015-04-20 05:24:24.000	34,07769012	61,16536331
2015-04-20 05:24:34.000	34,12109375	61,22685242
2015-04-20 05:24:44.000	34,00173187	60,66623306
2015-04-20 05:24:54.000	33,91854858	60,69516754
2015-04-20 05:25:34.000	33,71237946	61,59215927
2015-04-20 05:25:44.000	33,62557983	61,67896271
2015-04-20 05:25:54.000	33,61472321	61,97193146
2015-04-20 05:26:14.000	33,43026733	61,65364456
2015-04-20 05:26:24.000	33,42303467	61,96831512
2015-04-20 05:26:34.000	33,34707642	62,08405685
2015-04-20 05:26:54.000	33,28920746	62,67722702
2015-04-20 05:27:14.000	33,16622925	62,48191452
2015-04-20 05:27:34.000	33,057724	62,86530685
2015-04-20 05:27:44.000	32,97091675	63,27039719
2015-04-20 05:27:54.000	32,97091675	63,58506775
2015-04-20 05:28:04.000	32,87687683	63,3644371
2015-04-20 05:28:14.000	32,8732605	63,48017883
2015-04-20 05:28:24.000	32,80092621	63,95760727
2015-04-20 05:28:34.000	32,8515625	63,73697662
2015-04-20 05:28:44.000	32,74667358	63,83463287
2015-04-20 05:28:54.000	32,72496796	64,35546875
2015-04-20 05:29:04.000	32,63816071	64,43503571
2015-04-20 05:29:14.000	32,62007904	64,37355042
2015-04-20 05:29:24.000	32,55136108	64,65205383
2015-04-20 05:29:44.000	32,50072479	64,6375885
2015-04-20 05:29:54.000	32,40668488	64,74971008
2015-04-20 05:30:34.000	32,38497925	67,96513367
2015-04-20 05:30:44.000	32,28370667	68,64149475
2015-04-20 05:30:54.000	32,32349396	69,140625
2015-04-20 05:31:04.000	32,29455566	69,57103729
2015-04-20 05:31:24.000	32,26924133	71,04311371
2015-04-20 05:31:44.000	32,22222137	72,23307037

2015-04-20 05:32:04.000	32,26924133	74,05960846
2015-04-20 05:32:14.000	32,25839233	74,71788025
2015-04-20 05:32:24.000	32,30179596	75,24594879
2015-04-20 05:32:54.000	32,287323	76,66377258
2015-04-20 05:33:04.000	32,35243225	76,86631775
2015-04-20 05:33:24.000	32,287323	77,45948792
2015-04-20 05:33:34.000	32,38497925	77,85011292
2015-04-20 05:33:54.000	32,35604858	78,23712158
2015-04-20 05:34:04.000	32,34157562	78,42158508
2015-04-20 05:34:14.000	32,40668488	78,53370667
2015-04-20 05:34:54.000	32,4500885	79,23176575
2015-04-20 05:35:04.000	32,40306854	79,39453125
2015-04-20 05:35:24.000	32,50795746	79,65132904
2015-04-20 05:35:44.000	32,48986816	79,93344879
2015-04-20 05:36:14.000	32,54050446	80,45066071
2015-04-20 05:36:24.000	32,60199738	80,55555725
2015-04-20 05:36:34.000	32,60199738	80,62065887
2015-04-20 05:36:54.000	32,645401	80,83405304
2015-04-20 05:37:04.000	32,64178467	81,01851654
2015-04-20 05:37:14.000	32,70326996	81,03298187
2015-04-20 05:37:44.000	32,74305725	81,43084717
2015-04-20 05:37:54.000	32,73944092	81,42722321
2015-04-20 05:38:14.000	32,80454254	81,64785767
2015-04-20 05:38:24.000	32,79730988	81,86125183
2015-04-20 05:38:44.000	32,90943146	82,020401
2015-04-20 05:39:14.000	32,96730042	82,22822571
2015-04-20 05:39:44.000	32,99262238	82,47612762
2015-04-20 05:40:24.000	33,09751129	82,6171875
2015-04-20 05:40:34.000	33,08304596	82,70037842
2015-04-20 05:40:44.000	33,15538025	82,73654175
2015-04-20 05:40:54.000	33,11920929	82,823349
2015-04-20 05:41:14.000	33,20963287	83,02589417
2015-04-20 05:41:54.000	33,33261108	83,25014496
2015-04-20 05:42:04.000	33,24580383	83,26822662
2015-04-20 05:42:24.000	33,34707642	83,23205566
2015-04-20 05:43:04.000	33,44111633	83,23205566
2015-04-20 05:43:14.000	33,44111633	83,32609558
2015-04-20 05:43:24.000	33,49175262	83,37311554
2015-04-20 05:43:34.000	33,49175262	83,34780121
2015-04-20 05:43:44.000	33,54600525	83,41651917
2015-04-20 05:44:04.000	33,56047058	83,46715546
2015-04-20 05:44:14.000	33,62919617	83,43460846
2015-04-20 05:44:24.000	33,60387421	83,52864075
2015-04-20 05:44:34.000	33,52430725	83,53588104

2015-04-20 05:44:44.000	33,57494354	83,44545746
2015-04-20 05:45:04.000	33,61834717	83,51055908
2015-04-20 05:45:24.000	33,58217621	83,74565887
2015-04-20 05:45:54.000	33,60025787	83,84331512
2015-04-20 05:46:04.000	33,56408691	84,07841492
2015-04-20 05:46:14.000	33,56047058	84,04224396
2015-04-20 05:46:24.000	33,49536896	84,13266754
2015-04-20 05:46:54.000	33,44111633	84,15798187
2015-04-20 05:47:14.000	33,45558167	84,33882904
2015-04-20 05:47:24.000	33,41217804	84,34606171
2015-04-20 05:47:44.000	33,42303467	84,54137421
2015-04-20 05:48:14.000	33,34707642	84,77285767
2015-04-20 05:48:34.000	33,29282379	84,84881592
2015-04-20 05:48:44.000	33,30728912	84,92476654
2015-04-20 05:49:14.000	33,23857117	85,25028992
2015-04-20 05:49:54.000	33,15538025	85,51793671
2015-04-20 05:50:44.000	33,07942963	85,82175446
2015-04-20 05:51:14.000	32,98177338	86,04962158
2015-04-20 05:51:44.000	32,97814941	86,20876312
2015-04-20 05:52:14.000	32,88049316	86,44024658
2015-04-20 05:52:34.000	32,86602783	85,94473267
2015-04-20 05:52:54.000	32,75752258	76,37080383
2015-04-20 05:53:14.000	32,66348267	71,54947662
2015-04-20 05:53:34.000	32,60199738	69,25997925
2015-04-20 05:54:17.000	32,44647217	67,7734375
2015-04-20 05:54:27.000	32,38859558	67,75534821
2015-04-20 05:54:37.000	32,40668488	68,08448792
2015-04-20 05:54:47.000	32,31626129	68,07725525
2015-04-20 05:55:07.000	32,27285767	68,45341492
2015-04-20 05:55:27.000	32,16073608	68,359375
2015-04-20 05:55:57.000	32,06669617	68,78617096
2015-04-20 05:56:17.000	31,92925262	69,151474
2015-04-20 05:56:27.000	31,95819092	69,65783691
2015-04-20 05:56:37.000	31,92201996	70,27271271
2015-04-20 05:57:07.000	31,79180908	71,35778046
2015-04-20 05:57:47.000	31,65798187	72,76837158
2015-04-20 05:57:57.000	31,59649658	73,07580566
2015-04-20 05:58:17.000	31,58926392	73,66898346
2015-04-20 05:58:27.000	31,506073	74,07045746
2015-04-20 05:58:47.000	31,47714233	74,76128387
2015-04-20 05:58:57.000	31,43012238	75,01446533
2015-04-20 05:59:07.000	31,46628571	75,38700867
2015-04-20 05:59:17.000	31,39756775	75,63657379
2015-04-20 05:59:27.000	31,40118408	76,08145142

2015-04-20 05:59:37.000	31,35054779	76,46122742
2015-04-20 05:59:47.000	31,35778046	76,97843933
2015-04-20 05:59:57.000	31,30714417	77,1701355
2015-04-20 06:00:07.000	31,2890625	77,5716095
2015-04-20 06:00:17.000	31,31437683	78,05627441
2015-04-20 06:00:27.000	31,23842621	78,35648346
2015-04-20 06:00:37.000	31,25289154	78,55179596
2015-04-20 06:00:57.000	31,20225525	79,24985504
2015-04-20 06:01:17.000	31,22757721	79,75983429
2015-04-20 06:01:27.000	31,22033691	80,03833771
2015-04-20 06:01:47.000	31,10098267	80,53385162
2015-04-20 06:01:57.000	31,13715363	80,84128571
2015-04-20 06:02:47.000	31,03226471	82,042099
2015-04-20 06:03:07.000	31,02864838	82,42549133
2015-04-20 06:03:47.000	30,99971008	82,95355988
2015-04-20 06:03:57.000	30,99609375	83,13439941
2015-04-20 06:04:07.000	30,93460846	83,36588287
2015-04-20 06:04:27.000	30,96353912	83,45992279
2015-04-20 06:04:47.000	30,96353912	83,62992096
2015-04-20 06:04:57.000	30,8984375	83,85416412
2015-04-20 06:05:07.000	30,86949921	83,85778046
2015-04-20 06:05:17.000	30,90205383	84,06032562
2015-04-20 06:05:27.000	30,90205383	84,04586029
2015-04-20 06:05:37.000	30,86226654	84,15436554
2015-04-20 06:06:07.000	30,83695221	84,53775787
2015-04-20 06:06:27.000	30,85865021	84,754776
2015-04-20 06:06:47.000	30,86226654	85,02965546
2015-04-20 06:07:37.000	30,79716492	85,536026
2015-04-20 06:08:07.000	30,74652863	81,54296875
2015-04-20 06:08:27.000	30,65248871	76,37442017
2015-04-20 06:08:57.000	30,60908508	74,25853729
2015-04-20 06:09:27.000	30,62716675	73,65089417
2015-04-20 06:09:37.000	30,55844879	73,45196533
2015-04-20 06:10:07.000	30,52227783	72,98177338
2015-04-20 06:10:17.000	30,53312683	72,75390625
2015-04-20 06:10:27.000	30,45717621	72,75752258
2015-04-20 06:10:47.000	30,41015625	72,55497742
2015-04-20 06:10:57.000	30,43547058	72,37413025
2015-04-20 06:11:07.000	30,37398529	72,35966492
2015-04-20 06:11:17.000	30,37036896	72,0594635
2015-04-20 06:11:27.000	30,30526733	72,05584717
2015-04-20 06:11:47.000	30,31973267	72,265625
2015-04-20 06:11:57.000	30,22930908	72,254776
2015-04-20 06:12:07.000	30,26186371	72,36328125

2015-04-20 06:12:17.000	30,21122742	72,35604858
2015-04-20 06:12:27.000	30,21846008	72,38497925
2015-04-20 06:12:57.000	30,0030365	72,53327179
2015-04-20 06:13:07.000	30,14974213	72,54412842
2015-04-20 06:13:27.000	30,08463287	72,76837158
2015-04-20 06:13:37.000	29,99420929	72,75028992
2015-04-20 06:13:47.000	30,02676392	72,83347321
2015-04-20 06:14:17.000	29,921875	73,26026917
2015-04-20 06:14:47.000	29,95442963	73,67259979

Anexo B. Catálogos técnicos