

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE MATEMÁTICA, FÍSICA Y COMPUTACIÓN
LICENCIATURA EN CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN**



TRABAJO DE DIPLOMA

**Diseño e implementación de un Sistema
de Supervisión y Control.**

Aplicación en la Producción de Tubos Capilares.

Autora

Claudia Cruz Lorenzo

Tutores

Ing. Julio Cesar Rodríguez Cruz

Lic. Isel del Carmen Grau García

Consultante

Ing. Jorge Félix Cruz Martín

Santa Clara, 2012

DICTAMEN

La que subscribe, Claudia Cruz Lorenzo, hago constar que el trabajo titulado “Diseño e implementación de un Sistema de Supervisión y Control. Aplicación en la Producción de Tubos Capilares.” fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Ciencia de la Computación, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Lic. Isel Grau García

Firma del Tutor

Ing. Julio C. Rodríguez Cruz

Firma del Jefe de Seminario

Dr. Daniel Gálvez Lío

Fecha

DEDICATORIA

A mis abuelas y mis padres.

*Toda mi familia,
incluyo a mi novio y mis amigos,
todos lo merecen,
otras muchas tesis harían falta para dedicarlas a tanta gente linda.*

AGRADECIMIENTOS

- A mis tutores Cesar, Jorge Félix e Isel. A Cesar por trasmitirme un mundo de conocimiento y un estilo de vida diferente y mejor. A mi tío por demostrarme que no hay nada en el mundo imposible, que lo importante es darse cuenta del problema y luego buscar la solución. A los dos por darme la oportunidad de trabajar a su lado. A Isel por su importante tarea de enderezar metodológicamente mi tesis.
- A mis padres, más que padres, ejemplo de todo, por su amor, por estar a mi lado en todos los momentos de mi vida y por participar en ella como los protagonistas. A mi papá por ser el tutor *honoris causa* y a mi mamá por sufrir cada letra de las que están escritas aquí. Los adoro con la vida y no sé vivir sin ustedes.
- A mi tía y a Orly por quererme y mantenerme los 5 años de carrera, a ustedes les debo mi título.
- A mi abu por el amor y la ternura que me ofrece todos los días y por resistirme, sé que no es fácil.
- A Baby, por haber supervisado mi tesis y ser mi mamá en La Habana, y a los maminos por ayudarme en todo lo que necesité, si Baby es mi mamá ustedes saben lo que les toca.
- A Winda por ser cardióloga y joyera a la vez, tienes un corazón de oro. Ojala y mi primo no te pierda nunca.
- A Titico por preocuparse por todas y cada una de mis pruebas durante los 5 años de carrera y por casi vivir conmigo la realización de la tesis aunque estuviera lejos.
- A Laury, tío, Lisy y Sofy. Ustedes me son imprescindibles, especialmente Lauryn por estar siempre a mi lado.
- A Tato quien puso en mis manos mi primera computadora que posibilitó mis primeros años de estudio.
- A mi familia de la biblioteca, Espe, Zoecita, Clary, Mary y José (mi bibliotecario) que estuvieron conmigo en todos los malos momentos de mi carrera para ayudarme y apoyarme. A Amed, Manuel Osvaldo y a Mirian por cada minuto que le dedicaron a mi tesis. A todos los demás trabajadores pues a les debo mucho, pero no crean que están acabando, en los próximos años le cobraré el haberlos puesto en esta página.
- A mis amigos Mercy, Frank y Yaisel que cada uno por separado me ayudó en todo lo que pudo, no solo ahora, sino siempre.
- A mi padrino Freisman que tanto mortifico y constantemente.
- To Sae y Anibal, to have been transformed into my family and to always serve me as support. Espero que lo haya escrito bien.
- A tia Iris, Mirta y Leu por ayudarme como pudieron, haciendo sus mayores esfuerzos.
- A Mility, mi bebé perrito, que estuvo en la cabeza de mi cama, echadita a mi lado mientras escribía la tesis.
- A cada uno de los profesores que tomaron parte en mi formación a: Rosalía, Bernal, María Matilde, Guille, el Chino, Leonardo (Yurién), Carlos García, Amílkar y Gálvez que me ayudaron cada uno en su momento. Y otros, que aunque no sean profesores lo hicieron del mismo modo, Frank, Marilincita, Luis, Denis, Samuel, Manuel y Álvaro.
- A Maribi y Ernesto que tanto se han preocupado por mi defensa.
- A mis compañeros de Aula.
- Por último al amor de mi vida Carly por esperarme el tiempo que estuve lejos, por su paciencia cuando estuve irresistible y por su amor en todo momento. Te Amooooo.

*“Lo que importa no es la tecnología en sí
Sino su relación con nosotros”*
Mark Weiser, (1952-1999)

RESUMEN

Se diseñó e implementó *IS-ubicuo*, un sistema de supervisión y control para la empresa *TecnoLab*. El mismo contempla el control de actuadores y sensores necesarios en la medición y accionamiento de las variables involucradas en el correcto funcionamiento de las líneas de estiramiento y corte automatizado de tubos de cristal. Se configuraron varios dispositivos de *hardware* a través del software X-CTU garantizando la correcta comunicación con el sistema. Para los módulos de comunicación se utilizó tecnología inalámbrica, específicamente el protocolo IEEE 802.15.4, implementando estos con el lenguaje de programación Python. El sistema es visualizado a través de una aplicación web con un diseño gráfico amigable, brindando la posibilidad de analizar gráficos del comportamiento histórico de las variables y sus valores en tiempo real, un control organizado de todos los elementos del sistema y un sitio de administración de la base de datos. Esta aplicación fue desarrollada con el marco de trabajo Django, apoyándose también en lenguajes como AJAX, Python, HTML, CSS y JavaScript. *IS-ubicuo* posee la flexibilidad requerida para su aplicación en disímiles campos como la agricultura, transporte, inmótica y domótica. El sistema se evaluó mediante el criterio de expertos obtenido a través del procesamiento de encuestas, quedando demostrada la pertinencia, propiedad, robustez y confiabilidad de *IS-ubicuo*.

ABSTRACT

IS-ubicuo is a supervising and controlling system designed and implemented for *TecnoLab* enterprise. It controls the actuators and sensors needed while measuring and putting into action the involved variables for the correct function of the stretching and cutting lines of glass pipes. Through X-CTU software has been configured several hardware devices which keep a correct and understanding communication between them. For communicative modules we have used wireless technology, specifically with the IEEE 802.15.4 protocol and implemented using the programming language Python. The system is visualized through a web application with a friendly graphic design, allowing us to access and analyze the historical graphics of the variables behaviors and their value in real time; it also organizes the elements of the system in an administration database site. This application was developed with Django framework and supplied by languages such as AJAX, Python, HTML, CSS and JavaScript. *IS-ubicuo* has the required flexibility for its appliance in different and dissimilar fields such as agriculture, transportation, inmotoc and domotic. The system has been evaluated by expert's criteria using a survey methodology, demonstrating the pertinence, property, strength and reliability of *IS-ubicuo*.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO DE SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL	5
1.1 Sistemas de supervisión y control	5
1.1.1 Características y tipos de sistemas de control y supervisión	6
1.1.2 Componentes de un sistema de supervisión y control	7
1.2 Sistemas de comunicación	9
1.2.1 Redes inalámbricas	9
1.2.2 Protocolos de comunicación	10
1.2.3 Protocolo IEEE 802.15.4	12
1.3 Computación Ubicua.....	13
1.4 Sistemas SCADA	14
1.5 Aplicaciones de los sistemas de supervisión y control	17
1.6 Consideraciones finales del capítulo.....	21
Capítulo 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA LA PRODUCCIÓN DE TUBOS CAPILARES.	22
2.1 Fundamentación de las herramientas de desarrollo.....	22
2.1.1 Lenguaje de programación Python	22
2.1.2 Marco de trabajo Django	23
2.1.3 Gestor de bases de datos SQLite.....	25
2.2 Diseño del sistema IS-ubicuo.....	26
2.2.1 Diagrama de casos de uso	26
2.2.2 Diagramas de actividades	27
2.2.3 Diagrama de clases	32
2.2.4 Diagrama de despliegue y componentes.....	35
2.3 Implementación de los módulos de comunicación inalámbrica.....	36
2.3.1 Configuración de los dispositivos.....	36
2.3.2 Especificaciones de las tramas de comunicación bajo el estándar IEEE 802.15.4.	38
2.4 Aspectos sobre la interfaz gráfica de usuario.....	42
2.5 Conclusiones parciales del capítulo	43
Capítulo 3. MANUAL DE USUARIO Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA IS-UBICUO.....	44
3.1 Evaluación del sistema IS-Ubicuo	44
3.1.1 Técnica de validación empleada	45
3.1.2 Resultados de la encuesta.....	49
3.1.3 Análisis de los resultados de las encuestas a expertos	51
3.2 Manual de usuario	55
3.2.1 Principales funcionalidades	56
3.2.2 Formato para la lectura de los archivos variable.log.	61
3.3 Conclusiones parciales	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA	65

ANEXOS	68
Anexo 1: Sensor Movimiento “IS-ubicuo Mov 01-02-12”	68
Anexo 2: Sensor Temperatura “IS-ubicuo Temp 01-02-12”	69
Anexo 3: Actuador 1 Salida Digital “IS-ubicuo Act 1NO 02-02-12”	70
Anexo 4: Encuesta a expertos	71

INTRODUCCIÓN

La automatización industrial, según (Salazar Izaguirre *et al.*, 2003), es la tecnología que trata la aplicación de sistemas mecánicos y electrónicos con base computacional para operar y controlar la producción. Esta consta, por lo general, de un *software* para el control del proceso productivo. En su desarrollo la ciencia aplicada ha evolucionado hacia la creación sistemas y arquitecturas para el control, la supervisión y la adquisición de datos en todo tipo de industrias o procesos y tales sistemas, en los últimos años, han alcanzado un alto nivel de perfeccionamiento, hasta convertirse en parte indispensable de las empresas, tanto para el control de procesos, como para la gestión empresarial. Por lo que estos se han diversificado dependiendo generalmente del tipo de aplicación y de la rama de la producción para la cual se desarrollan.

Una de las tecnologías de comunicación más actuales es la inalámbrica, surgida como resultado de la modernización de las técnicas de automatización, la cual se ha extendido compitiendo con la conexión por cables que hasta ahora es fundamental en la mayoría de los dispositivos. Los avances en comunicaciones inalámbricas han llevado a la creación de un nuevo campo en la computación, denominado computación ubicua. Este nuevo sector de la computación, según (Los Santos Aransay, 2009; Salazar Izaguirre *et al.*, 2003) pretende incorporar a los equipos de uso cotidiano la capacidad de cómputo, de comunicaciones inalámbricas y de interacción entre ellos, con vista crear un nuevo modelo de la realidad que facilite la realización de las tareas a las personas. Estos elementos pueden ser aplicados, además, en la modernización de los procesos productivos de las empresas.

Desde el año 2007 en la empresa *TecnoLab* funcionan cuatro plantas de estiramiento de tubos de cristal, para la fabricación de capilares destinados a la industria médico-farmacéutica del país. Los ajustes de las velocidades del motor de tracción, motor de alimentación y la temperatura en el horno de ablandamiento se realizan manualmente, con el objetivo de lograr precisiones de diámetro de $\pm 0,05$ mm sobre una medida previamente ajustada. Los operadores deben introducir estos parámetros con un bajo nivel de certidumbre, lo que provoca rendimientos por debajo de las potencialidades de las plantas, o que en ocasiones se altere el diámetro del tubo capilar. El operador debe realizar mediciones periódicas al tubo de vidrio, reajustando los parámetros de configuración de la planta si es necesario. Esta modificación se lleva a cabo

cuando la influencia de factores ambientales o mecánicos afecta el correcto estiramiento de los tubos capilares.

Las plantas de estiramiento brindan como resultado un tubo de vidrio con el diámetro deseado y una longitud de aproximadamente un metro, el cual debe ser cortado para convertirse en el producto final. El proceso de corte se realiza manualmente, ralentizando la producción y provocando gran cantidad de desechos por la falta de precisión.

Esta situación existente en la empresa *TecnoLab* nos conduce al planteamiento del problema de nuestra investigación:

Problema de Investigación

¿Cómo automatizar los procesos de supervisión y control de las plantas para elevar la eficiencia en la producción de tubos capilares?

Consecuentemente, el sentido de este trabajo es el diseño e implementación de un sistema de supervisión y control para la empresa *TecnoLab*, que contemple el control de los actuadores y sensores con vistas a lograr la medición y el accionamiento de las variables que garanticen el correcto funcionamiento de las líneas de estiramiento y de corte de tubos de cristal de forma automatizada. El desarrollo de este sistema incluye la configuración de varios dispositivos de *hardware* para garantizar la correcta comunicación con el sistema. Los módulos de comunicación se implementan utilizando tecnología inalámbrica, específicamente el protocolo IEEE 802.15.4. Además, es deseable que este sistema se visualice a través de una aplicación web con diseño gráfico amigable, desarrollada utilizando tecnologías de *software* libre, que brinde la posibilidad de analizar gráficos del comportamiento histórico de las variables y sus valores en tiempo real, así como un control organizado de todos los elementos utilizando un sitio de administración de la base de datos. Es por esto que se ha propuesto el siguiente:

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de supervisión y control de variables para el proceso de producción de tubos capilares en la empresa *TecnoLab*, desarrollado en Python y con la utilización protocolos de comunicación inalámbrica.

Objetivos Específicos

1. Configurar los dispositivos de *hardware* que intervienen en el proceso de supervisión y control.
2. Implementar los módulos de comunicación inalámbrica para la supervisión y control de las variables del sistema.
3. Diseñar e implementar una aplicación web para la visualización amigable y el manejo de las variables del sistema de supervisión y control.
4. Evaluar el sistema de supervisión y control para proceso de producción de tubos capilares.

Para dar cumplimiento a estos objetivos se proponen las siguientes:

Tareas de Investigación

1. Examinar los referentes teóricos y metodológicos que sustentan los sistemas automatizados de supervisión y control.
2. Configurar los chips XBee de los dispositivos de hardware para lograr la correcta comunicación con el sistema de supervisión y control.
3. Implementar módulos de comunicación del sistema de supervisión y control de variables utilizando el lenguaje de programación Python y las normas del protocolo de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4.
4. Diseñar e implementar una aplicación web utilizando el marco de trabajo Django para la visualización de sistema.
5. Evaluar mediante criterio de expertos el sistema de supervisión y control de variables para el proceso de producción de tubos capilares en la empresa *TecnoLab*.
6. Elaborar un manual de usuario para facilitar la utilización del sistema.

Justificación de la Investigación

La creación del sistema *IS-ubicuo* de supervisión y control para la producción de tubos capilares, desarrollado en este trabajo:

- Ayudará a aumentar la calidad de la producción de tubos capilares mediante la constante supervisión del diámetro de dichos tubos, así como el largo del mismo, tratando de obtenerlos con la mayor precisión posible.

- Permitirá la reducción del rechazo, evitando así las pérdidas de tiempo y recursos, mediante la detección de fallos ambientales y/o mecánicos.
- Disminuirá el tiempo de salida del producto a la industria médico-farmacéutica del país, ya que facilita la automatización del corte.
- Disminuye los costos de producción ya que, además de reducir el rechazo, sustituye el empleo de mano de obra en el corte.

Una vez elaborado el marco teórico, se plantean las siguientes:

Hipótesis de Investigación

El diseño e implementación del sistema *IS-ubicuo* permitirá supervisar y controlar las variables relacionadas con el proceso de producción de tubos capilares en la empresa *TecnoLab*.

Diseño de la Tesis

Después de esta Introducción, la tesis se estructura en tres capítulos. En el primer capítulo de ellos se desarrolla el marco teórico, relacionado fundamentalmente con el diseño de sistemas virtuales de supervisión y control. En el segundo capítulo se describe el diseño e implementación del sistema *IS-ubicuo* de supervisión y control para el proceso de producción de tubos capilares. En el tercer capítulo se realiza la evaluación del sistema y se presenta el manual de usuario del mismo. Finalmente se formulan las conclusiones y recomendaciones, se listan las referencias bibliográficas y se incluyen algunos Anexos, con detalles que no necesariamente tienen que estar en el cuerpo de la tesis para su comprensión.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO DE SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

En este capítulo se presenta un conjunto de conceptos básicos imprescindibles para la comprensión y el análisis de los sistemas de supervisión y control, así como un análisis de las posibles técnicas para su realización. Además se incluyen numerosas aplicaciones internacionales que permiten ver a los sistemas de supervisión y control como un creciente avance tecnológico.

1.1 Sistemas de supervisión y control

Muchas son las definiciones que abordan el tema de los sistemas de supervisión. Los enfoques más actualizados se encuentran en los trabajos de (Zhou *et al.*, 2011, Bari *et al.*, 2012, Carcano *et al.*, 2011, Duerrenmatt and Gujer, 2012, Karimi *et al.*, 2012); estos autores citan la definición enunciada en (Mathews *et al.*, 2012), donde se enfatiza que: “*los sistemas de control son entes que se aplican a los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones*”. Uno de los primeros desarrolladores de este tipo de sistemas fue Norbert Wiener (He and Zhu, 2005), quien en su texto *Cibernética y Sociedad* define los sistemas de control como un cúmulo de componentes capaces de regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado; de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

En la actualidad los procesos de control son típicos de la modernización industrial. Estos sistemas se utilizan generalmente para sustituir uno o varios trabajadores pasivos que controlan uno o varios sistema determinados (eléctricos, mecánicos, etc.), garantizando una posibilidad nula o casi nula de error y un grado de eficiencia mucho mayor. Los sistemas de control más modernos reciben el nombre de Controladores de Automatización Programables (PAC) y automatizan diversos procesos orientados al marco donde van a ser aplicados.

1.1.1 Características y tipos de sistemas de control y supervisión

Las características de los Sistemas de Control así como sus limitaciones aparecen declaradas en (Buiu *et al.*, 2012, Carcano *et al.*, 2011, Chen *et al.*, 2011), quienes conciben los sistemas de control como modelos que posean:

- Estabilidad y robustez para enfrentar a perturbaciones y errores en los modelos.
- Eficiencia de acuerdo con un comportamiento patrón que evite perturbaciones.

Otros autores como (Duerrenmatt and Gujer, 2012), expertos en esta área, prefieren enunciar las necesidades de estos sistemas para el desarrollo de diversos procesos desde el punto de vista de la supervisión:

- Limitaciones de la visualización de los sistemas de adquisición y control.
- Control vs. Monitorización
- Control *software*. Cierre de lazo de control.
- Recoger, almacenar y visualizar información.
- Minería de datos.

Son diversos los sistemas de control reportados en la literatura de la especialidad, existen varias clasificaciones según el lazo de control y las operaciones que realiza en concreto. En este trabajo se utiliza el criterio de (Yu and Lu, 2007), donde se apuesta por la postura del control y sus lazos, teniendo en cuenta esta clasificación se especifican dos tipos de sistemas de control:

Sistema de control de lazo abierto: Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera (He and Zhu, 2005).

Las características esenciales de estos sistemas según (Duerrenmatt and Gujer, 2012) son las siguientes:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.

- Son afectados por las perturbaciones, las cuales pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

Sistema de control de lazo cerrado: Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida (Carcano *et al.*, 2011). Generalmente los sistemas de lazo cerrado utilizan la retroalimentación desde un resultado final, para ajustar la acción de control en consonancia con la entrada. Según (Carcano *et al.*, 2011) la aplicación de los sistemas de control en lazo cerrado es imprescindible cuando se dan algunas de las siguientes circunstancias:

- Un proceso que no es posible regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente duro en algunos casos, requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio, desconcentración o distracción, con los consiguientes riesgos que ello puede ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus principales características son:

- Alta complejidad y amplitud en cantidad de parámetros.
- Existe comparación entre la salida y la entrada, por tanto estos parámetros inciden en el control del sistema.
- Su propiedad esencial es la retroalimentación.
- Es más estable ante la presencia a perturbaciones y variaciones internas.

Para garantizar las funcionalidades generales enunciadas anteriormente son necesarios varios componentes que también caracterizan estos sistemas.

1.1.2 Componentes de un sistema de supervisión y control

En un sistema inteligente existen diferentes tipos de elementos encargados de controlar y emitir órdenes, así como de detectar y llevar a cabo las órdenes impartidas por una central o por el mismo elemento que puede poseer “inteligencia” propia. Estos componentes son conocidos como controladores, repetidores, actuadores o sensores y están sujetos a constantes cambios a causa del desarrollo de estas tecnologías (Bicakci *et al.*, 2012, Deng *et al.*, 2012).

Controladores: Son los encargados de procesar toda la información que llega a ellos y emitir las acciones a ejecutar por los actuadores para modificar las variables sensadas.

Actuadores: Son los encargados de activar los elementos finales, a partir de la orden del controlador, modificando el estado de un determinado equipo o instalación. Existen tres tipos de actuadores: hidráulicos, neumáticos y eléctricos; estos últimos son, generalmente, los utilizados en los sistemas de domótica y son los más aplicados en la industria robótica.

Repetidor: Dispositivo electrónico que recibe una señal débil o de bajo nivel y la retransmite a una potencia o nivel más alto, de tal modo que se puedan cubrir distancias más largas sin degradación o con una degradación tolerable.

Sensores: Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, para facilitar su medida. Pueden ser de indicación directa (un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano. Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se utiliza un circuito de acondicionamiento, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados.

Existen sensores de temperatura (termopar, termistor), de deformación, de acidez, de luz (fotodiodo, fotorresistencia, fototransistor), de sonido (micrófono), de contacto, de imagen digital (fotografía), de proximidad, de presencia, de gases, de humedad, de presión, de posición, de velocidad, de caudal, de nivel, de corriente, etc. Según (Behdani *et al.*, 2012) se utilizan diferentes tipos de sensores en dependencia de la variable física que se desee tratar:

- **Inductivos:** Es un bobinado donde pasa corriente. Detecta variaciones de flujo magnético.
- **Capacitivos:** Son dos placas metálicas formadas por una especie de condensador para detectar variaciones de capacidad.
- **Fotoeléctricos:** Son dispositivos sensibles a la luz. Hay fotorresistencias, fotodiodos, fototransistores y algunos más. Cuando reciben luz se activan.

- **Ultrasonidos:** Se suelen usar para detección de obstáculos. Alcanzan mucho más que los fotoeléctricos, inductivos y capacitivos. Se basan en emitir un sonido (ultrasonido) y, si el receptor lo recibe es que hay un objeto.
- **Fotoeléctricos de barrera:** son sensores que detectan si un cuerpo atraviesa el haz de luz; el emisor y el receptor deben estar a una distancia y enfocados el uno al otro.
- **De proximidad:** Éstos tienen el emisor y el receptor de lado y, al acercarse a un cuerpo, la luz se refleja en él y llega al receptor.

1.2 Sistemas de comunicación

1.2.1 Redes inalámbricas

La red inalámbrica es, como su nombre indica, aquella en la que dos o más terminales, por ejemplo, ordenadores portátiles, agendas electrónicas u otros dispositivos se pueden comunicar sin la necesidad de conexión por cable. El enlace en estos casos se logra mediante ondas electromagnéticas, como ondas de radio, micro-ondas e infrarrojo, que sustituyen el cableado estándar. Muchas tecnologías con este tipo de enlace se diferencian por la frecuencia que utilizan, el alcance y la velocidad.

Según (Stallings, 2001), este tipo de red se centra en las transmisiones no guiadas, que utilizan como medio la atmósfera y el espacio exterior, de señales analógicas (variación electromagnética continua de ondas que pueden ser propagadas sobre una diversidad de medios dependiendo de la frecuencia) y digitales (secuencia de pulsos de voltaje, que pueden ser representados mediante matemática binaria, o sea ceros y unos).

Las redes inalámbricas permiten que los dispositivos puedan mantenerse conectados entre sí cuando se desplazan dentro de una determinada área geográfica. Por esta razón, a veces se utiliza el término "movilidad" cuando se trata este tema. Otras de sus ventajas consiste en que permiten que los dispositivos remotos se conecten sin dificultad, se encuentren a unos metros de distancia o a varios kilómetros y que su instalación no requiere de ningún cambio significativo en la infraestructura existente, a diferencia de las redes cableadas; lo que justifica que el uso de esta tecnología se extienda con gran rapidez.

1.2.2 Protocolos de comunicación

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas utilizadas por las computadoras y otros dispositivos para comunicarse a través de una red por medio del intercambio de mensajes. Los protocolos están constituidos por reglas o estándares que controlan o permiten la comunicación en su forma más simple, pueden ser caracterizados por las reglas que dominan la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación. Su implementación puede ser a través de *hardware*, *software*, o una combinación de ambos. A su más bajo nivel, un protocolo define el comportamiento de una conexión de *hardware*.

Hoy día existe una amplia gama de protocolos de comunicación, con características muy particulares que ofertan diversos productos en el mercado internacional, como son los que a continuación se presentan:

Protocolo LonWorks (1990): LonWorks es un protocolo propietario, desarrollado por la empresa norteamericana Echelon, el cual ha sido utilizado por numerosas empresas para desarrollar sistemas propietarios de automatización. Esta tecnología contempla varios medios de transmisión (cable, radio, ondas portadoras, fibra óptica, etc.). La utilización de LonWorks por más de 1 000 fabricantes y el éxito que ha tenido en instalaciones en las que impera la fiabilidad y robustez, se debe a que desde su origen ofrece una solución con arquitectura descentralizada extremo-a-extremo más conocida como *peer to peer*, que permite distribuir la inteligencia entre los sensores y los actuadores instalados y que cubre desde el nivel físico al nivel de aplicación de la mayoría de los proyectos de redes de control.

Protocolo Bluetooth: La tecnología Bluetooth es una especificación abierta para comunicaciones inalámbricas de datos y voz; este protocolo se caracteriza por la transmisión de paquetes de datos de pequeña longitud y alta frecuencia, lo que reduce el efecto de interferencias con otros dispositivos y mejora la transmisión en entornos ruidosos, características que le garantizan mayor robustez. Una de sus limitaciones principales radica en que el precio unitario de los circuitos integrados que implementan el protocolo todavía no resulta razonable como para su empleo a escala masiva y, por otra parte, los terminales fabricados por distintas empresas tienen problemas de interoperabilidad.

Protocolo Wi-Fi : Nokia y *Symbol Technologies* crearon en 1997 una asociación conocida como WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*); después de 6 años en proceso de creación esta asociación pasó a denominarse Wi-Fi Alliance (*Wireless Fidelity*) en 2003. Su objetivo fue crear una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad de equipos.

En abril de 2000 WECA certifica la inter-operatividad de equipos según la norma IEEE 802.11 bajo la marca Wi-Fi. Esto quiere decir que el usuario tiene la garantía de que todos los equipos que tengan el sello Wi-Fi pueden trabajar juntos sin problemas, independientemente del fabricante de cada uno de ellos. Este tipo de conexión permite conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.

Una de las desventajas que tiene el sistema Wi-Fi es una menor velocidad en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear; pero la desventaja fundamental de esta red es el alto consumo de energía y que su ancho de banda es diseñado para las transmisiones máquina-máquina.

Protocolo EIB o EIBus: En el año 1999, con el objetivo de aunar los esfuerzos de todos los fabricantes de sistemas domóticos del mercado europeo, se unieron nueve compañías para fundar EIB (*European Installation Bus*). La misión de la asociación es promover la creación de un único estándar denominado KNX (Konnex). En la actualidad la asociación Konnex representa a más de 200 compañías en el mundo.

Se puede definir como un sistema descentralizado en el que cada uno de los dispositivos conectados tiene control propio. Estos dispositivos se pueden clasificar en sensores, que son los responsables de detectar actividad, y en actuadores, que son capaces de modificar el entorno. (Fernández Valdivielso *et al.*, 2000) expone que este protocolo fue pensado para ser utilizado como un sistema de gestión de la instalación eléctrica. Las instalaciones que existen en la actualidad están implementadas sobre par trenzado y en menor medida sobre red eléctrica, pudiendo tener elementos que se comunican mediante infrarrojos o radio frecuencia.

Protocolo ZigBee: Según (Ortega *et al.*, 2001), es un estándar de comunicaciones inalámbricas que define un protocolo abierto con el objetivo de lograr el intercambio de datos en sistemas de automatización y monitoreo, diseñado por la asociación de decenas de empresas, nombrada

ZigBee Alliance. Este protocolo permite grandes tasas de transferencia para aplicaciones tales como: la transmisión de audio, video y datos, así como la implementación de varias tipologías de redes. Su desventaja radica en que es implementado sobre el estándar IEEE 802.15.4, lo cual limita sus cualidades, ya que solo permite componentes ZeeBee no dotados de inteligencia.

NFC/RFID: NFC (*Near Field Communication*) o RFID (*Radio Frequency Identification*) son protocolos que implementan tecnologías basadas en estándares de conexión inalámbrica sin contacto. Esta solución desarrollada por Nokia, no necesita licencia para su uso y se puede utilizar para configurar o iniciar otras conexiones inalámbricas como Bluetooth y Wi-Fi, entre los componentes que utiliza se encuentran una tarjeta, conocida como etiqueta, y un lector de las mismas. Al encenderse el lector, emite una señal de radio de corto alcance que activa el microchip de la etiqueta, lo que permite la lectura de pequeños volúmenes de información almacenada en ella, con tan sólo acercar un dispositivo a otro.

1.2.3 Protocolo IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 es definido por (Minnetonka, 2009) como una capa de comunicación en el nivel 2 de la OSI (Open System Interconnection). Su principal objetivo es permitir la comunicación entre dos dispositivos. Fue creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), entidad cuya tarea principal es establecer las normas para que los desarrollos tecnológicos puedan contar con una plataforma común. Los principales dispositivos que se ajustan a este protocolo son los XBee 802.15.4, módulos fabricados por Digi.

El propósito del estándar es definir los niveles de red básicos para dar servicio a un tipo específico de red inalámbrica de área personal (WPAN), centrada en la habilitación de comunicación entre dispositivos ubicuos con bajo coste y velocidad (en contraste con esfuerzos más orientados directamente a los usuarios medios, como WiFi). Se enfatiza el bajo costo de comunicación con nodos cercanos y sin infraestructura (o con muy poca), para favorecer aún más el bajo consumo.

En su forma básica se concibe un área de comunicación de 30 metros con una tasa de transferencia de 250 kbps. Se pueden realizar compromisos que favorezcan aproximaciones más radicales a los sistemas embebidos con requerimientos de consumo aún menores. Para ello se definen no uno, sino varios niveles físicos. Se definieron inicialmente tasas alternativas de 20 y

40 kbps; la versión actual añade una tasa adicional de 100 kbps. Se pueden lograr tasas aún menores con la consiguiente reducción de consumo de energía. Como se ha indicado, la característica fundamental de 802.15.4 entre las WPAN's es la obtención de costes de fabricación excepcionalmente bajos por medio de la sencillez tecnológica, sin perjuicio de la generalidad o la adaptabilidad.

1.3 Computación Ubicua

La Computación Ubicua fue descrita por primera vez por (Weiser, 1991) como la integración de la informática en el entorno de la persona, de forma que los ordenadores no se perciban como objetos diferenciados. Esta disciplina se conoce en inglés por otros términos como *pervasive computing*, *calm technology*, *things that think* o *every ware*; desde hace unos años también se denomina inteligencia ambiental. Sus promotores propugnan la integración de dispositivos alrededor de escenarios donde se encuentre localizado el ser humano, en el que éste puede interactuar de manera natural con sus dispositivos y realizar cualquier tarea diaria de manera completamente transparente con respecto a sus computadoras (Zhou *et al.*, 2011). Con la creación del entorno ubicuo, los objetos a los que se integra esta tecnología experimentan una transformación cualitativa de sus propiedades como pueden ser:

- **Capacidad de comunicación inalámbrica:** Para el logro de esta propiedad, los objetos seleccionados deben ser dotados de capacidad de comunicación con usuarios, computadoras, y/o con otros dispositivos integrados que existan a su alrededor.
- **Capacidad de memoria:** Estos dispositivos deben poseer capacidad de memoria y utilizarla para lograr una mejor interacción con el resto de los entes con que se comunique.
- **Sensibilidad al contexto:** Los objetos a los que se integra esta tecnología deben ser sensibles al contexto, es decir, tener capacidad de adaptación a posibles situaciones como: ubicación geográfica, dispositivos que existan a su alrededor y preferencias de los usuarios.
- **Reactividad:** Estos entes deben reaccionar al ocurrir determinados eventos que puedan percibir en su entorno mediante sensores o a través de la interacción con otros dispositivos.

Un ejemplo de computación ubicua es un dispositivo doméstico para interconectar los sistemas de iluminación y calefacción con un control ambiente, de manera que en función de la evolución del momento del día y sus características, el sistema reaccione y pueda variar la temperatura y condiciones de luz en una vivienda o edificio de manera continua e imperceptible (Zhou *et al.*, 2011). Una aplicación frecuente es en frigoríficos que son conscientes de su contenido cuando ha sido convenientemente etiquetado, siendo capaces de planificar menús saludables para toda la semana en función de las necesidades de cada miembro de la familia, y de advertir a los usuarios de la comida rancia o en mal estado.

Otro ejemplo de la aplicación de la computación ubicua son los sistemas de supervisión y control que utilizan métodos de comunicación inalámbrica otorgando capacidad de cómputo a equipos que intervienen en procesos productivos, lo cual facilita el trabajo humano.

1.4 Sistemas SCADA

SCADA es el acrónimo de Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Un SCADA es un sistema basado en computadoras, que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. A diferencia de los sistemas de control distribuido, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Actualmente es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador (D' Sousa, 1997).

Los sistemas SCADA consisten en un *software* de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores y destinados al control de la producción, los cuales proporcionan comunicación con los dispositivos de campo como controladores digitales autónomos, autómatas programables, e instrumentación inteligente y controlan el proceso de forma automática desde la pantalla. Además permiten realizar operaciones de control a distancia, supervisión y registro de datos del proceso industrial; de esta manera provee de toda la información que se genera en el proceso productivo para diversos usuarios, tanto desde el propio nivel de campo como de otros niveles supervisores superiores que pueden llegar hasta el nivel de empresa. Abarca aspectos tan importantes como el control de la calidad, la supervisión, el mantenimiento, entre otros (Sole, 1999).

La mayoría de los sistemas SCADA que son instalados hoy día, constituyen parte integral de la estructura de dirección y gerencia de cualquier industria. Estos sistemas ya no son vistos como una simple herramienta operacional para la supervisión y el control automático, sino como un recurso importante de información corporativa, sin el cual sería imposible dirigir una empresa. Jugando este importante papel, los sistemas SCADA continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, proporcionando también datos importantes a los sistemas y usuarios que fuera del ambiente de control, dependen de dicha oportuna información para tomar sus decisiones económicas cotidianas (Izaguirre, 2008).

Particularmente, nuestro país está en una etapa de desarrollo de los sistemas SCADA y aunque no se cuenta con una gran cantidad, existen algunos vinculados con la industria como son Titan, Eros y Sipro, los cuales no constituyen grandes sistemas pero presentan un buen desempeño en cuanto a sus funciones. Estos sistemas son aplicables a una gran variedad de industrias, debido a su carácter genérico, lo que contribuye a mejorar el control, la supervisión y la adquisición de los datos, tareas que son fundamentales para la productividad de la misma.

Con el objetivo de ejemplificar la amplia variedad y la magnitud de estos sistemas, seguidamente hacemos mención a algunas características de sistemas SCADA existentes en el mundo, así como datos de sus desarrolladores:

CitectSCADA: Este es uno de los principales paquetes de *software* de automatización del mundo que garantiza a los usuarios incrementar la tasa de retorno de sus inversiones (ROI), gracias a un sistema de monitorización y control altamente escalable y extraordinariamente fiable, que permite reducir los costes de operación y mejorar la productividad y calidad del producto. Las herramientas de configuración son fáciles de usar y las potentes prestaciones que incorpora CitectSCADA, permiten a los usuarios e integradores de sistemas desarrollar y poner en servicio, rápidamente, sistemas de cualquier tamaño y para cualquier tipo de industria. CitectSCADA dispone de más de 100 drivers de conectividad.

SIMATIC WinCC: Es un sistema de manejo y observación ejecutable para Windows. Con el SCADA SIMATIC WinCC se pueden realizar una multitud de posibilidades de soluciones de automatización como: estructuras cliente/servidor, ampliación de función sin límites por

implementación de elementos ActiveX, configuración rápida y sencilla, funciones compatibles con ambiente industrial, etc.

SINAUT Telecontrol: Es un sistema SCADA basado en SIMATIC S7 para la supervisión y el control automáticos de estaciones de proceso que intercambian datos a través de una WAN o Ethernet (TCP/IP) entre sí, y con una o varias centrales de control. SINAUT consta de dos sistemas independientes entre sí, el SINAUT MICRO y SINAUT ST7.

Wonderware: Ofrece una plataforma de *software* SCADA, dotada de una impresionante flexibilidad, fácil mantenimiento y gran fiabilidad. Las soluciones *wonderware* están construidas e integradas con una arquitectura de *software* sencilla, abierta y escalable que permite la conexión prácticamente con todos los sistemas de automatización, unidades terminales remotas (RTU), servidores de medición de campo electrónico (EFM), PLC, bases de datos, o sistemas históricos o empresariales que se utilizan hoy día. Esto permite a los usuarios expandir sus sistemas SCADA sin necesidad de comprar nuevos *hardware* o sistemas de control. Basado en la tecnología y los sistemas operativos de Microsoft, y mejorando los estándares existentes en la industria, el *software wonderware* es excepcionalmente fácil de utilizar y es compatible con una amplia gama de dispositivos industriales del mercado.

InTouch HMI: Ofrece una sobresaliente facilidad de uso, creación y configuración de gráficos para monitorización y control de procesos industriales. Permite a los usuarios la creación y puesta en marcha de aplicaciones para la captura de información a tiempo real mediante potentes asistentes y sus nuevos *SmartSymbols*. Las aplicaciones creadas con InTouch son lo suficientemente flexibles para cubrir las necesidades y permitir su ampliación para el acondicionamiento a futuros requerimientos y están preparadas para el acceso desde dispositivos móviles, *Thin Clients*, estaciones de red o a través de Internet. Además, el concepto abierto y ampliable de InTouch HMI (*Human Machine Interface*) ofrece una conectividad sin igual al más amplio conjunto de dispositivos de automatización industriales. InTouch permite configurar y establecer rápidamente hasta 999 prioridades diferentes de alarmas, cambios de color de acuerdo con el estado de la alarma y hasta 8 niveles de jerarquía entre grupos de alarma con posibilidad de hasta 16 subgrupos para cada uno de ellos.

Los sistemas SCADA, a pesar de sus numerosas cualidades analizadas durante este epígrafe, también poseen limitaciones, ya que la gran mayoría de estos sistemas son software propietario,

lo que requiere de la compra del mismo y en ocasiones su comercialización está bloqueada en nuestro país. Otra desventaja es la alta complejidad del sistema, lo que requiere la contratación de mano de obra altamente calificada y con avanzados conocimientos automáticos. Además, los SCADA solo utilizan sistemas de comunicación de uso generalizado y carecen de otros sistemas modernos como IEEE 802.15.4. Estas limitaciones motivan a la búsqueda de alternativas más viables, económicas y por tanto que garanticen eficiencia.

1.5 Aplicaciones de los sistemas de supervisión y control

La domótica (Bari *et al.*, 2012) busca la integración de todos los equipos del hogar, de forma que funcionen en perfecta armonía, con la máxima utilidad y con la mínima intervención por parte del usuario. El comportamiento de estos sistemas se puede definir en tres pasos: los sensores recogen los datos referentes a los parámetros físicos, diversos dispositivos relacionan los datos con un programa establecido, y los actuadores ejecutan las órdenes del programa (Deng *et al.*, 2012).

Por otro lado, la inmótica posibilita gestionar desde un mismo dispositivo la climatización, la seguridad, la iluminación y el control de accesos a inmobiliarias o edificaciones (Behdani *et al.*, 2012). Con esta unificación se consigue un ahorro de recursos humanos, ya que solo hará falta una persona para ocuparse de todos los servicios dentro de un edificio. Así también se evita que se cometan errores por el manejo de múltiples redes funcionando al mismo tiempo y se promueve el respeto por el medio ambiente, reduciendo el consumo energético y en similares proporciones las emisiones de CO₂.

Algunos ejemplos de la utilización de la domótica y la inmótica se relacionan a continuación:

Chalet El Malecom: Posee un sistema que se destaca por la gestión de la climatización y la iluminación. También se destaca su servidor web que permite interactuar con la vivienda vía Internet, móvil o mando (Zhou *et al.*, 2011). El control de este sistema en la instalación se realiza mediante pantallas táctiles distribuidas en cada estancia de la vivienda para el control total de la instalación desde cada una de ellas. Se garantiza el control de luces en toda la vivienda, tanto encendido y apagado como regulación de intensidad, control de la iluminación exterior de la vivienda así como focos de alta potencia para ser utilizados de alarmas, control de todas las persianas de la vivienda, control de riego, control de la climatización, gestión de estación

meteorológica para la adaptación de la vivienda en función de la meteorología, alarmas de intrusión, humo, fuego e inundación, sistema de video vigilancia con cámaras domo y placas solares para generación de energía.

Cenit Plaza Arquímedes, Argentina: Ubicado en la colonia de Polanco, Distrito Federal, el edificio Plaza Arquímedes fue terminado en 1994. Según el arquitecto José Pixiotto, el objetivo de este tipo de construcciones es volver más eficientes sus instalaciones. Plaza Arquímedes cuenta con un centro de control desde donde se manejan y supervisan todas las instalaciones del edificio y los espacios a que éstas sirven. Dentro de este control están el sistema central de aire acondicionado, iluminación, sistemas de alarma y contra incendio, control de monóxido de carbono, telefonía, escaleras y espacios presurizados. El sistema contra incendio posee con sensores térmicos, de humo y fotoeléctricos y cuenta con sus propias plantas de abastecimiento, con las plantas de agua tratada y pluvial, y las plantas de agua potable en caso de que el agua del sistema se agote. La iluminación también cuenta con sensores que registran la presencia y activan el porcentaje necesario de luces logrando hasta un ahorro del 30% de la energía (Yaguara, 2000).

World Trade Center (WTC), México: El conjunto suma alrededor de 630 826 metros cuadrados. El sistema inteligente del WTC agrupa a todos los sistemas e instalaciones del edificio, tales como el de aire acondicionado, el hidráulico, el eléctrico, el de seguridad y protección contra incendio y el control de los accesos. Cuenta con un circuito cerrado de televisión y monitoreo de los tanques de almacenamiento, alarmas y elevadores; acciona y detiene equipos, enciende y apaga alumbrados, y modera el trabajo de los equipos en cuanto a temperaturas, horarios e iluminación de áreas comunes. Para garantizar el ahorro de energía, se colocaron en todas las luminarias del edificio lámparas ahorradoras de bajo voltaje. En el caso del aire acondicionado, no solamente se consideraron torres de enfriamiento, sino también una planta de almacenamiento de hielo que opera durante las noches (Pan *et al.*, 2012).

Además, la creciente preocupación medioambiental y la necesidad de producir alimentos de calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno, ubican al sector agroalimentario en el punto de mira de la sociedad. El empleo de las tecnologías de automatización, entre las que se encuentran los sistemas de supervisión y control, han fomentado el surgimiento de nuevas fuentes de desarrollo, como por ejemplo la Agricultura de Precisión (sistemas de sensado y

mapeo, mediante el empleo de la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global, que permiten la elaboración de mapas de rendimiento de suelos) y los Sistemas de riego (sistemas para el conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos, que no sólo permiten aumentar la producción y la calidad de las cosechas, sino que contribuyen también al ahorro de considerables volúmenes de agua); esto posibilita eficiencia y calidad en los productos y facilita también el trabajo del hombre ofreciéndole datos que por su naturaleza no puede adquirir por otras vías.

Irrigation: es un Sistema Automatizado de riego para el cultivo de flores que está conformado por dos módulos independientes que interactúan entres sí, con el objetivo de lograr controlar y supervisar el proceso de riego por goteo de un invernadero. Cada uno de los módulos está conformado por subsistemas que cumplen con características mínimas para lograr la funcionalidad del proceso de riego. En el módulo de control es donde se encuentran los dispositivos de bajo nivel y en la estación remota reside principalmente el *software* para la programación de los horarios de riego y se supervisa el estado de las válvulas teniendo en cuenta la humedad de los suelos.

Campus Montecillo: Es un sistema de riego automatizado en tiempo real que determina el momento oportuno y la cantidad de riego necesitada, monitoreado por medio de tecnologías de información, lo cual permite un consumo de agua más reducido. Dicho sistema controla de manera automática el encendido y apagado de válvulas de acuerdo con criterios preestablecidos, así como la aplicación de la fertilización de manera simultánea o separada con el riego.

Ag Leader SMS: Es un sistema de visualización y procesamiento de información georreferenciada, que permite al usuario ordenar mapas, de forma fácil y práctica, a partir de los diferentes monitores de rendimiento existentes en el mercado, con el empleo de una secuencia de ramas donde se acumula la información por agricultor, granja, cultivo, operación y año. También se puede incorporar información a partir de mapas de contorno, imágenes satelitales, archivos Shape y múltiples formatos existentes, lo que amplía las utilidades del sistema. A partir de la edición de los mapas se puede eliminar errores, filtrar información, dividir lotes, superponer mapas de diferentes atributos, efectuar consultas de zonas de interés, prescribir mapas de aplicación de insumos, originar mapas de muestreo de suelo entre otras funciones.

Trimble EZ – Office: Es una aplicación de oficina especialmente diseñada para los agricultores y los negocios agropecuarios que buscan archivar y manejar la información de sus trabajos en el campo. Mantiene registros de campo y se comunica con otros usuarios que se benefician de dicho sistema. Genera mapas de rendimiento, tipos de suelos, resultados de ensayos del suelo, líneas de drenaje y los superpone entre sí, soporta mapas de Google para trazar los límites de los campos o para visualizarlos como mapas de fondo. Es actualizable a la versión EZ-Office Pro, creada para profesionales que se dediquen a la consultoría de múltiples clientes u operaciones más complejas.

Trimble EZ-Steer: Sistema de guía automática asistida para tractores, pulverizadoras y cosechadoras, compatible con banderilleros satelitales EZ-Guide 250 y EZ-Guide 500. Optimiza y mejora la precisión de conducción del vehículo, ya que elimina errores humanos de manejo. Es un sistema de compensación de alta tecnología, fácil de instalar y trasladar de máquina. Reduce las labores forzosas del operario y permite que éste se enfoque en la calidad del trabajo en cuestión. Además, presenta diferentes niveles de precisión según su uso específico.

Por otra parte, los avances en la automoción han traído consigo multitud de ventajas derivadas del aumento de la movilidad y de la autonomía de los medios. Sin embargo, como muchos de los avances en cualquier área, el progreso en el transporte por carretera ha acarreado a la vez una serie de problemas: congestión del tráfico en grandes núcleos urbanos, contaminación asociada al mayor uso de los vehículos, aumento de los accidentes del tránsito. Con el objeto de ayudar a solventar los problemas derivados de este aumento de la movilidad nacen los Sistemas Inteligentes de Transporte, desarrollados también como consecuencia del avance en las tecnologías de la información, la electrónica y las comunicaciones.

Sistema ATMS: Sistema de Gestión de Tráfico que corresponde a la integración de tecnologías, antiguas y emergentes, de gestión y control de tráfico, con el objetivo principal de manejar y gestionar de forma dinámica las condiciones del tráfico en una región. Los sistemas avanzados de gestión del tráfico permiten recolectar la información del tráfico en tiempo real. Esta información es capturada por diferentes medios (sensores) y enviada a través de sistemas de comunicación a los centros de gestión, donde se procesa y se actúa en consecuencia, mediante la aplicación de medidas de control y regulación del tráfico.

Sistema ATIS: Es un sistema de Información al Viajero que proporciona información para programar viajes multimodales, guiar al viajero en ruta, elegir la hora de partida y estimar la duración del viaje. Este sistema, con información al viajero previa al viaje entrega información sobre la red de carreteras y sobre recorridos, itinerario y tarifas del transporte público, con el objeto de que el usuario pueda planificar de manera óptima su viaje. Puede incluir la elección de una determinada ruta para evitar un posible atasco, qué modo de transporte utilizar, y a qué hora comenzar el viaje. Particularmente, en nuestro país se han realizado discretos avances en la aplicación de estos sistemas. Por ejemplo, en el Hotel Meliá Habana, ubicado en el municipio de Playa, se encuentra en funcionamiento un prototipo del sistema automático be-energy. El sistema Hotel Control System constituye un sistema de control de accesos, supervisión y gestión de toda la estructura hotelera, en aras de ofrecer máxima seguridad y operatividad. La instalación se llevó a cabo en 10 habitaciones no continuas, de forma tal que la dirección del hotel está comparando las prestaciones y ahorros obtenidos en habitaciones seguidas. Así, se reportan ahorros de energía de aproximadamente 30% cuando existe ocupación, lo que se corresponde con los reportes internacionales para este tipo de aplicación.

1.6 Consideraciones finales del capítulo

A lo largo del capítulo se han abordado diferentes posiciones teóricas sobre los sistemas de supervisión y control, definidos como el conjunto de componentes capaces de regular y supervisar su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado. También se analiza, la tecnología inalámbrica como un soporte válido para lograr la comunicación de dichos componentes, particularmente el protocolo IEEE 802.15.4. El desarrollo de esta tecnología ha dado lugar a la creación de un nuevo campo computacional: la computación ubicua.

Se profundiza además, sobre los sistemas SCADA como referentes fundamentales para lograr la supervisión y control de los procesos productivos. Sin embargo, su condición de *software* propietario y su complejidad obligan a la búsqueda de alternativas más viables, económicas y que por tanto garanticen eficiencia y pertinencia. Finalmente, se ejemplifica el amplio espectro de utilidad de estas tecnologías mediante la enumeración de varias aplicaciones de sistemas de supervisión y control.

CAPÍTULO 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA LA PRODUCCIÓN DE TUBOS CAPILARES.

En este capítulo se describe el diseño e implementación del sistema de supervisión y control propuesto para la producción de tubos capilares en la empresa *TecnoLab*. Se incluye la fundamentación de las herramientas de desarrollo seguida del diseño del sistema *IS-Ubicuo* con la utilización de UML. Además se especifican los requisitos de las tramas de comunicación utilizadas bajo la norma de la IEEE 802.15.4 y se abordan aspectos importantes en la configuración de los dispositivos y de la interfaz web.

2.1 Fundamentación de las herramientas de desarrollo

En este epígrafe se describen las herramientas y lenguajes de programación utilizados en la realización del sistema de supervisión y control propuesto. La selección de estas herramientas se basó en varios criterios, fundamentalmente: uso de *software* libre, disponibilidad, requisitos exigidos por el cliente, independencia de la plataforma, etc.

2.1.1 Lenguaje de programación Python

Python es un lenguaje script de elevada eficacia en la programación que promueve la disminución de la repetición de códigos. Se ha convertido en una herramienta útil para el desarrollo de diversas aplicaciones y sistemas, téngase en cuenta que se utiliza en todos los sistemas Unix actuales como: GNU/Linux, familia BSD, Solaris, y otros; y en casi todos los sistemas operativos que son utilizados en la actualidad. Python se destaca entre los lenguajes orientados a objetos por su gran dinamismo. Este lenguaje posee varias características que lo hacen elegible en este proyecto:

- Lenguaje script que solo necesita de un intérprete alojado en el sistema para su ejecución, cualidad que minimiza el proceso de llamada del programa desde el programador de tareas.

- Bibliotecas autóctonas y facilidades de conexión con otras desarrolladas en otros lenguajes.
- Facilita la interacción del sistema con otras bibliotecas.

Se trata de un lenguaje muy expresivo y compacto, lo que hace que se requieran menos rutinas que con otros lenguajes. La sintaxis empleada en Python es fácilmente legible, es además un mecanismo dual, al poder usarse como lenguaje imperativo procedural o como lenguaje orientado a objetos, lo que le confiere una elevada flexibilidad. Entre otras ventajas emplea por defecto listas, diccionarios, tuplas; soporta la herencia múltiple no implementada en Java; se puede trabajar con una gran cantidad de módulos que amplían las opciones de trabajo y permite ejecutar procesos en paralelo, algo fundamental en este proyecto para no ralentizar el sistema.

Python está provisto de tipado dinámico, gestor de memoria y gran cantidad de librerías disponibles. Es multiparadigma ya que soporta la orientación a objetos, la programación imperativa y en cierta medida la programación funcional. El intérprete de Python está disponible en multitud de plataformas como UNIX, Solaris, Linux, DOS, Windows, OS/2, Mac OS entre otros, lo que permite caracterizarlo como multiplataforma.

2.1.2 Marco de trabajo Django

Django es un marco de trabajo para desarrollo web de código abierto, escrito en Python, que cumple en cierta medida el paradigma del Modelo Vista Controlador. La meta fundamental de Django es facilitar la creación de sitios web complejos. Django pone énfasis en la reutilización, la conectividad y extensibilidad de componentes, el desarrollo rápido y el principio no te repitas, DRY, del inglés *Don't Repeat Yourself*. Python es usado en todas las partes del marco de trabajo, incluso en configuraciones, archivos, y en los modelos de datos.

Los orígenes de Django en la administración de páginas de noticias son evidentes en su diseño, ya que proporciona una serie de características que facilitan el desarrollo rápido de páginas orientadas a contenidos. Así brinda una aplicación incorporada para administrar los contenidos, que puede incluirse como parte de cualquier página hecha con Django; la aplicación administrativa permite la creación, actualización y eliminación de objetos de contenido, llevando

un registro de todas las acciones realizadas, y proporciona una interfaz para administrar los usuarios y los grupos de usuarios, incluyendo una asignación detallada de permisos.

La distribución principal de Django también aglutina aplicaciones que proporcionan un sistema de comentarios, herramientas para indicar contenido, páginas planas que permiten gestionar otras páginas de contenido sin necesidad de escribir controladores o vistas para esas páginas, y un sistema de redirección de URLs.

Otras características de Django son:

- Posee facilidades para convertir del modelo orientado a objetos al modelo relacional utilizando ORM.
- Provee aplicaciones que pueden instalarse en cualquier página gestionada con Django.
- Posee una API de base de datos robusta.
- Incluye un sistema incorporado de vistas genéricas que ahorra la escritura de la lógica de ciertas tareas comunes.
- Un sistema extensible de plantillas basado en etiquetas, con herencia de plantillas.
- Un despachador de URLs basado en expresiones regulares.
- Soporte de internacionalización, incluyendo traducciones incorporadas de la interfaz de administración.
- Documentación incorporada accesible a través de la aplicación administrativa, incluyendo la documentación generada automáticamente de los modelos y las bibliotecas de plantillas añadidas por las aplicaciones.

Es válido resaltar que el mapeo objeto-relacional, más conocido por su nombre en inglés Object-Relational Mapping (ORM) es una técnica de programación para convertir datos entre el sistema de tipos utilizado en un lenguaje de programación orientado a objetos y el utilizado en una base de datos relacional, usando un motor de persistencia. En la práctica esto crea una base de datos orientada a objetos virtuales sobre la base de datos relacional, lo que posibilita el uso de las características propias de la orientación a objetos, esencialmente herencia y polimorfismo.

2.1.3 Gestor de bases de datos SQLite

SQLite es un gestor de base de datos ágil y robusto que en los últimos años ha sido muy aceptado y utilizado. Por la forma en que fue creado y diseñado no necesita ser instalado; ni prender, reiniciar o apagar un servidor, incluso no requiere ser configurado. Este gestor puede ser ejecutado en diferentes sistemas operativos, como Windows, Linux, BSD, Mac OS X, Solaris, HPUX, AIX o estar embebido en muchos otros como QNX, VxWorks, Symbian, Palm OS, Windows CE. Se puede notar que muchos de ellos trabajan a 16, 32 y 64 Bits.

La portabilidad no está dada en sí por el *software*, sino por la base de datos condensada en un solo fichero, que puede estar situado en cualquier directorio, trayendo como ventaja que la base de datos puede ser fácilmente copiada a algún dispositivo USB o ser enviada vía correo electrónico. A continuación se exponen razones para escoger SQLite como una de las herramientas de desarrollo:

- **Tamaño:** SQLite tiene una pequeña memoria y solo se necesita una única biblioteca para acceder a bases de datos, lo que lo hace ideal para aplicaciones de bases de datos incorporadas.
- **Rendimiento de base de datos:** SQLite realiza operaciones de manera eficiente y es más rápido que MySQL y PostgreSQL.
- **Portabilidad:** se ejecuta en muchas plataformas y sus bases de datos pueden ser fácilmente portadas sin ninguna configuración o administración.
- **Estabilidad:** SQLite es compatible con ACID, reúne los cuatro criterios de Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad.
- **SQL:** implementa un gran subconjunto de la ANSI-92 SQL estándar, incluyendo subconsultas, generación de usuarios, vistas y triggers.
- **Interfaces:** cuenta con diferentes interfaces del API, las cuales permiten trabajar con C++, PHP, Perl, Python, Ruby, Tcl, groovy, y otros.
- **Costo:** SQLite es de dominio público, y por tanto, es libre de utilizar para cualquier propósito sin costo; se puede redistribuir libremente.

Debido a las ventajas expuestas anteriormente estas herramientas se seleccionaron para la implementación del sistema propuesto.

2.2 Diseño del sistema IS-ubicuo

Para la fase del diseño del *software* se utilizó UML como lenguaje para modelar los diferentes procesos que conforman el sistema. El UML está constituido por un conjunto de diagramas y proporciona un estándar que permite al analista de sistemas generar un anteproyecto de varias facetas que sean comprensibles para los clientes, desarrolladores y todos aquellos que están involucrados en el proceso de desarrollo.

Se diseñó un sistema de supervisión y control, llamado *IS-ubicuo*, con módulos para la implementación del protocolo IEEE802.15.4 desarrollado con el lenguaje de programación Python. Además, una aplicación web con diseño gráfico amigable, desarrollada con marco de trabajo Django, que brindó la posibilidad de analizar gráficos del comportamiento histórico de las variables y los valores en tiempo real con la utilización además de lenguaje como HTML, CCS y AJAX.

2.2.1 Diagrama de casos de uso

En el siguiente diagrama (Fig. 2.1) se muestran los casos de uso del sistema *IS-ubicuo* y se identifican los tres actores del sistema. El administrador es el encargado de adicionar nuevos equipos en la base de datos en el caso de que se incluya alguno en la red, así como eliminarlo o modificarlo. También administra las variables que son medidas por los dispositivos, los filtros que necesitan y los gráficos para mostrarlos. El segundo actor agrupa a los usuarios comunes, los cuales solo podrán cambiar el valor de las variables de escritura, supervisar el valor de las variables en tiempo real, así como tener acceso a gráficos de comportamiento de las variables en el tiempo. El tercer actor del sistema son los dispositivos que se encargarán constantemente de enviar los datos de las variables que midan y de recibir valores de variables para cambiar el estado en que se encuentran.

A continuación se muestran cuatro diagramas de actividades de los casos de uso mencionados con anterioridad, donde se representa detalladamente cada una de las actividades que debe realizarse para la completa implementación de los casos de uso. Todos los diagramas están divididos en dos calles, en los dos primeros, la primera calle representa las acciones que debe hacer el usuario y la segunda las que corresponden al sistema, mientras que en el resto de los diagramas la primera calle corresponde a las acciones del sistema y la segunda a las acciones de los dispositivos.

El diagrama de actividad para la introducción de variables de escritura (Fig 2.2), describe las actividades que deben realizar, tanto el sistema como los usuarios, para este caso de uso. Las variables de escritura son aquellas que pueden ser modificadas por el usuario (“set point de temperatura”, “histéresis de temperatura”, “tiempo de presencia” y “automático”) y que serán explicadas a lo largo de este capítulo. La variable corriente es también de escritura pero tiene la peculiaridad de ser una variable que pertenece a un dispositivo y para que esta pueda ser modificada por el usuario la variable “automático” debe tener valor Manual o 0.

Otro diagrama de actividad es el de supervisión del gráfico de valores históricos de las variables (Fig 2.3), el cual describe las actividades que el usuario y el sistema deben realizar para la revisión de gráficos de comportamiento de variables, en una fecha determinada o, en caso de no existir, los gráficos del día actual.

Los diagramas de actividades restantes detallan con exactitud las actividades relativas a la recepción y envío de tramas utilizadas para lograr la comunicación entre el sistema y los dispositivos. Es válido resaltar que en el diagrama de actividad de recepción (Fig. 2.4), luego de recibir una trama se realizan las acciones imprescindibles para el procesamiento, mientras que en paralelo se queda en espera de la llegada de otras tramas. Esta funcionalidad debe ser implementada mediante la utilización de hilos; el hilo debe estar siempre corriendo ya que el sistema tiene que estar en constante espera de comunicación. El diagrama de envío (Fig. 2.5) también debe activar un hilo para la comunicación y desactivarlo cuando termine.

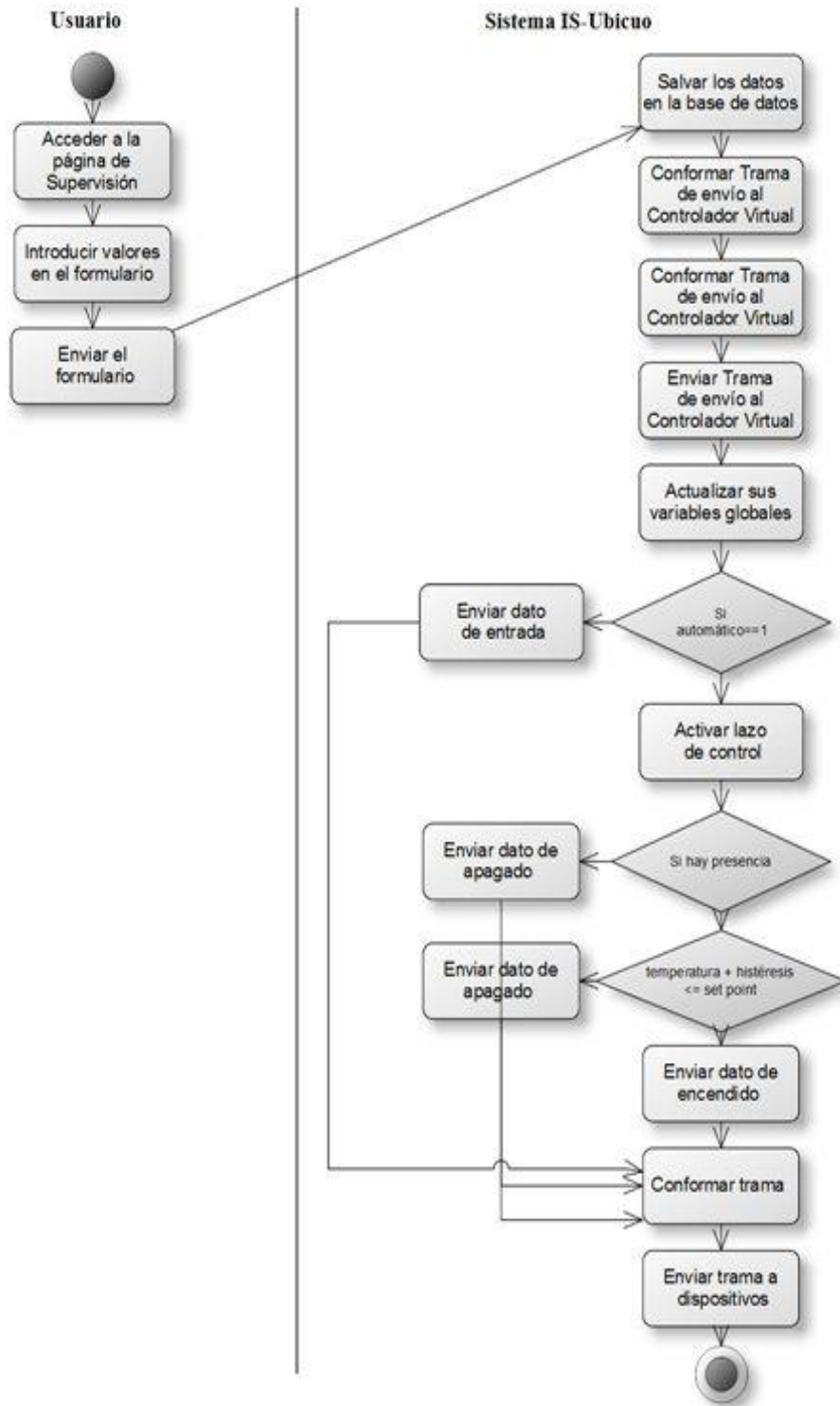


Figura 2.2 Diagrama de actividad para la introducción de variables de escritura.

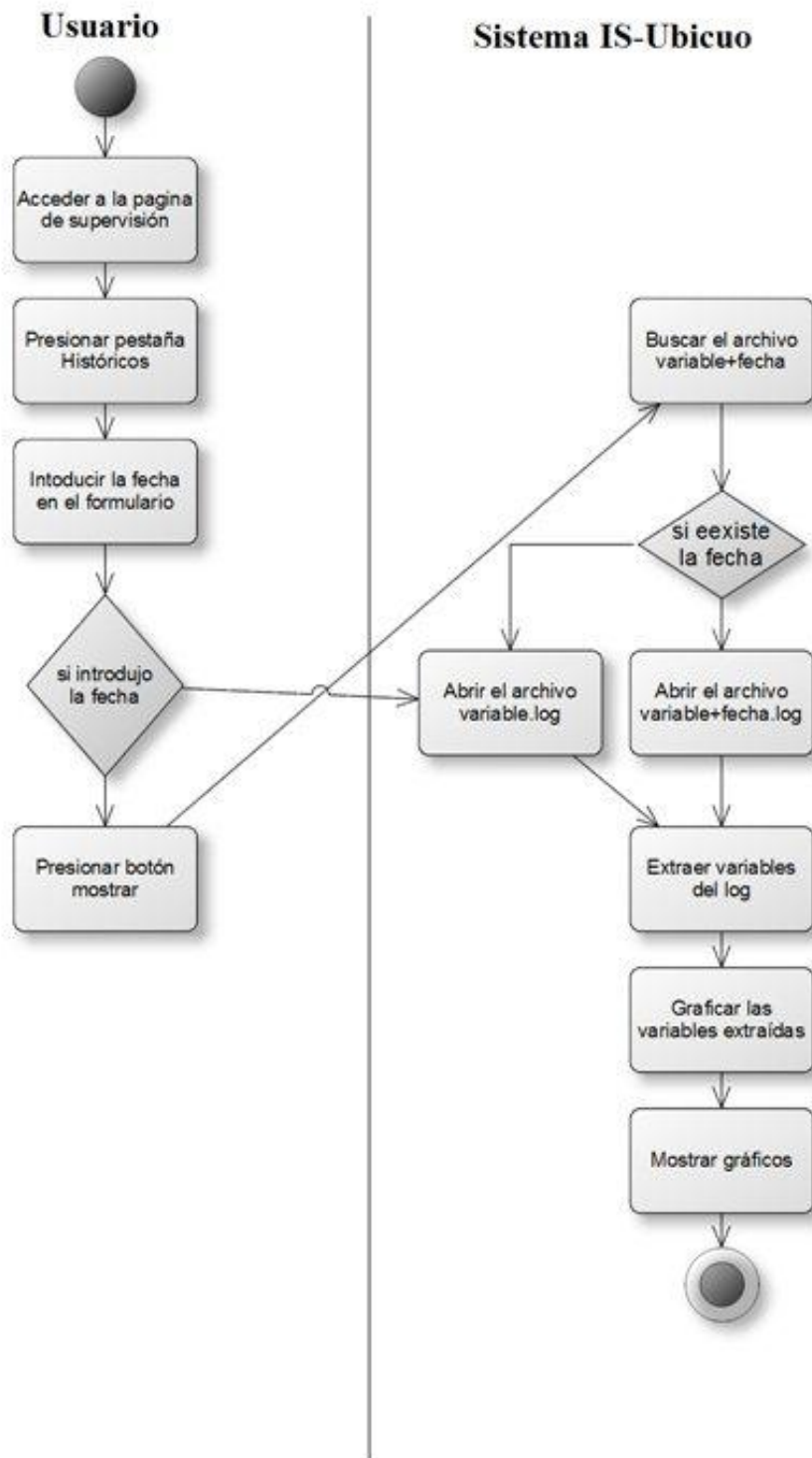


Figura 2.3 Diagrama de actividad para supervisar el gráfico de valores históricos de las variables.

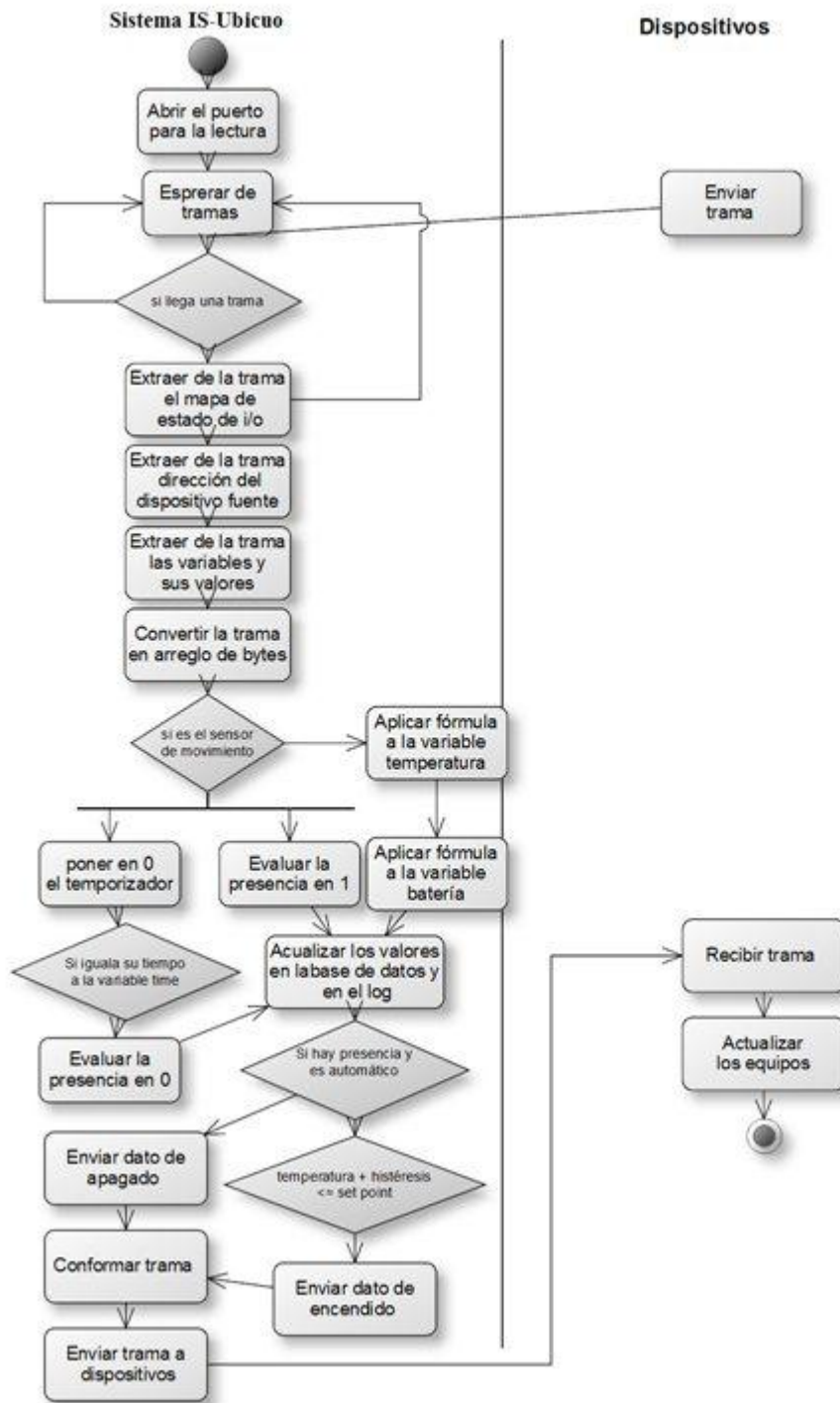


Figura 2.4 Diagrama de actividad de recepción de tramas de comunicación.

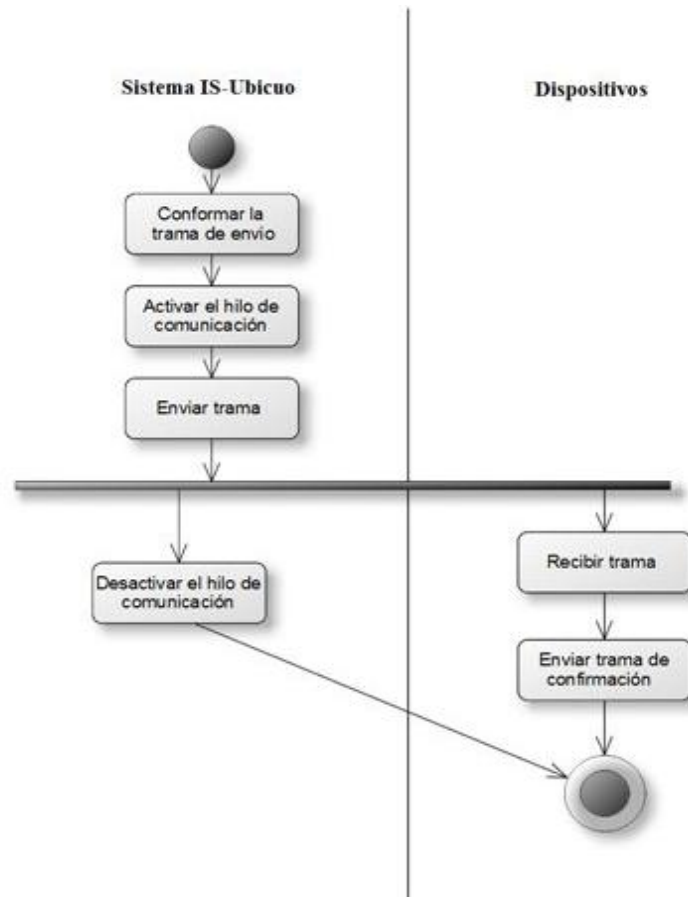


Figura 2.5 Diagrama de actividad de envío de tramas de comunicación.

2.2.3 Diagrama de clases

El diagrama de clases que se muestra a continuación, en la Fig. 2.6, representa las clases más utilizadas del sistema. Seguidamente se brinda una descripción general de los paquetes y clases para el correcto entendimiento del diagrama; además se argumenta el comportamiento de algunos de los métodos implementados.

IS-ubicuo se divide en tres paquetes fundamentales: **protocol**, **showrun** y **logger**. El paquete **protocol** está constituido por los módulos fundamentales para la implementación del protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 y además el módulo **network**, el cual simula un controlador de espacio, encargándose de la lógica del sistema. El término lógica del sistema se refiere a la toma de decisiones a partir de la lectura realizada de las variables, así como la aplicación de filtros para hacer legibles los valores de las variables al usuario, las cuales llegan como valores

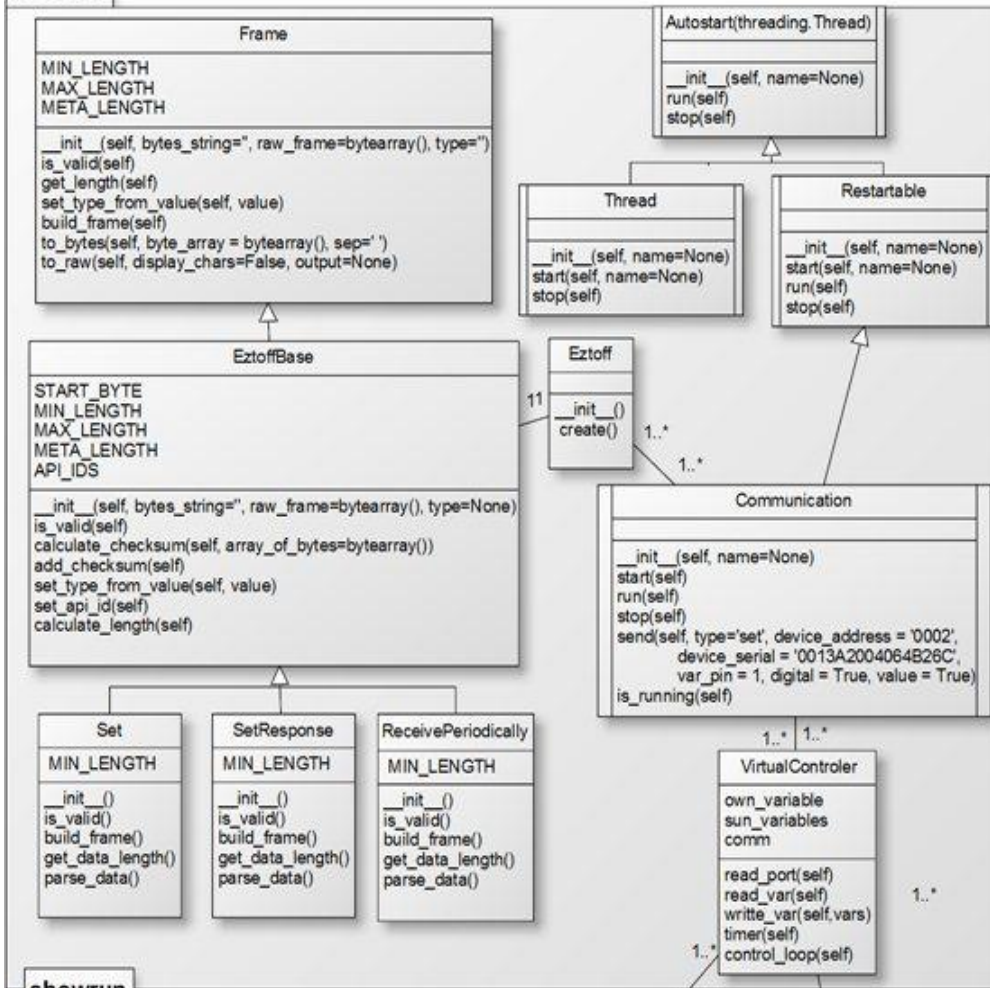
hexadecimales. La entrada y salida de datos se implementan en la clase **Communication** a través de hilos que se encargan de escribir y leer del puerto de comunicación.

En este paquete se encuentran también los módulos **eztoff** y **frames**, encargados de la construcción y extracción de información de las tramas de comunicación. El módulo **network** anteriormente mencionado, es el que contiene la clase **VirtualControler**, y tiene como atributos dos diccionarios: uno con las variables que le pertenecen y otro con las de los dispositivos. Por cada una de estas variables los diccionarios almacenan también la dirección del dispositivo al que pertenecen, el pin y su valor. Otro atributo importante de la clase **VirtualControler** es el puerto por el que se establecerá la comunicación. Una vez filtradas y almacenadas cada una de las variables, se ejecuta el método **control_loop** donde lo primero que se verifica es si la variable “automático” tiene valor uno, lo que significa que se puede ejecutar el lazo de control; luego verifica si hay presencia, si no la hay manda a apagar el actuador; en caso contrario chequea las variables “set point de temperatura” e “histéresis de temperatura”, si la “temperatura” sumada al valor de “histéresis de temperatura” está por encima del “set point de temperatura” entonces enciende el actuador y en caso contrario lo apaga.

Otro paquete es **logger**, el cual es el encargado del almacenamiento de variables en archivos logs, que son utilizados en la vista de históricos para graficar el comportamiento de las variables en el tiempo.

Showrun es el paquete que contiene la aplicación Django y en el cual se encuentra el módulo **models** que implementa ORM, exportando la base de datos en SQLite. Un modelo de Django brinda una descripción del contenido base de datos, en forma de código Python. Esta capa de datos es equivalente a la sentencia SQL CREATE TABLE, excepto que está programada utilizando el paradigma orientado a objetos. Django usa un modelo para ejecutar código SQL detrás de las escenas y retornar estructuras de datos convenientes en Python, representando las tablas de la base de datos. En el módulo models se encuentran las clases: **Dispositivo**, **Magnitud**, **Variable** (identificada por una magnitud en un dispositivo), **Chart** (contiene una lista de objetos **VarPlot**) y **VarPlot** (contiene una lista de variables con un color asociado para ser graficada). Todas estas clases heredan de la clase **Models** de Django.

protocol



showrun

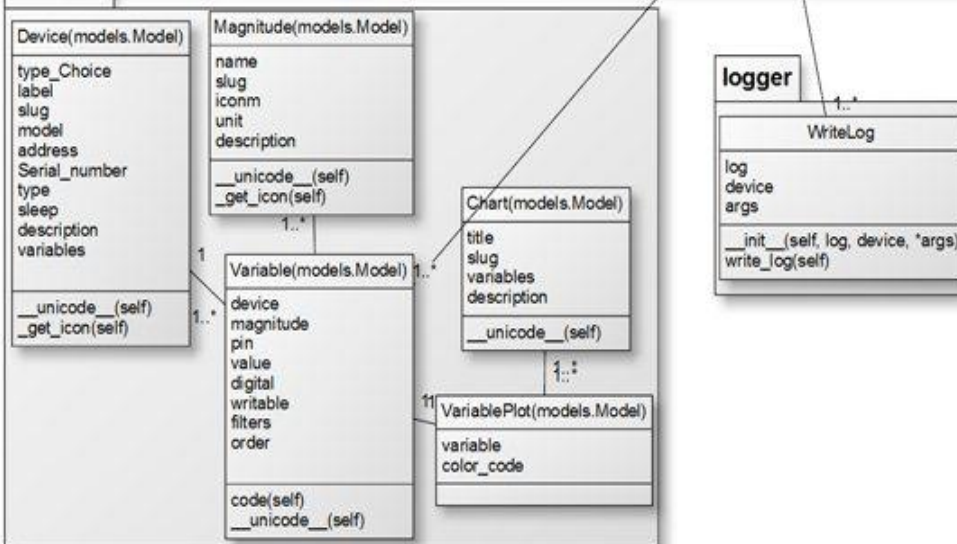


Figura 2.6 Diagrama de clases del sistema *IS-ubicuo*.

2.2.4 Diagrama de despliegue y componentes

En el diagrama de despliegue y componentes se muestra la disposición física y los componentes que interactúan en el sistema *IS-ubicuo*. En la Fig. 2.7 se representan los tres dispositivos configurados, cuyas especificidades serán expuestas en el próximo epígrafe. Estos dispositivos se comunican con la computadora mediante el protocolo IEEE 802.15.4 utilizando el puerto COM7. Dentro de la computadora se ejecuta una aplicación web la cual lee los datos de la base de datos y de los archivos logs, que son también componentes del sistema. El controlador virtual recibe del componente protocolo valores de las variables, los cuales son almacenados y mostrados en la aplicación web. Además, las tramas son escritas y leídas del puerto de comunicación utilizando la biblioteca de Python **pySerial**.

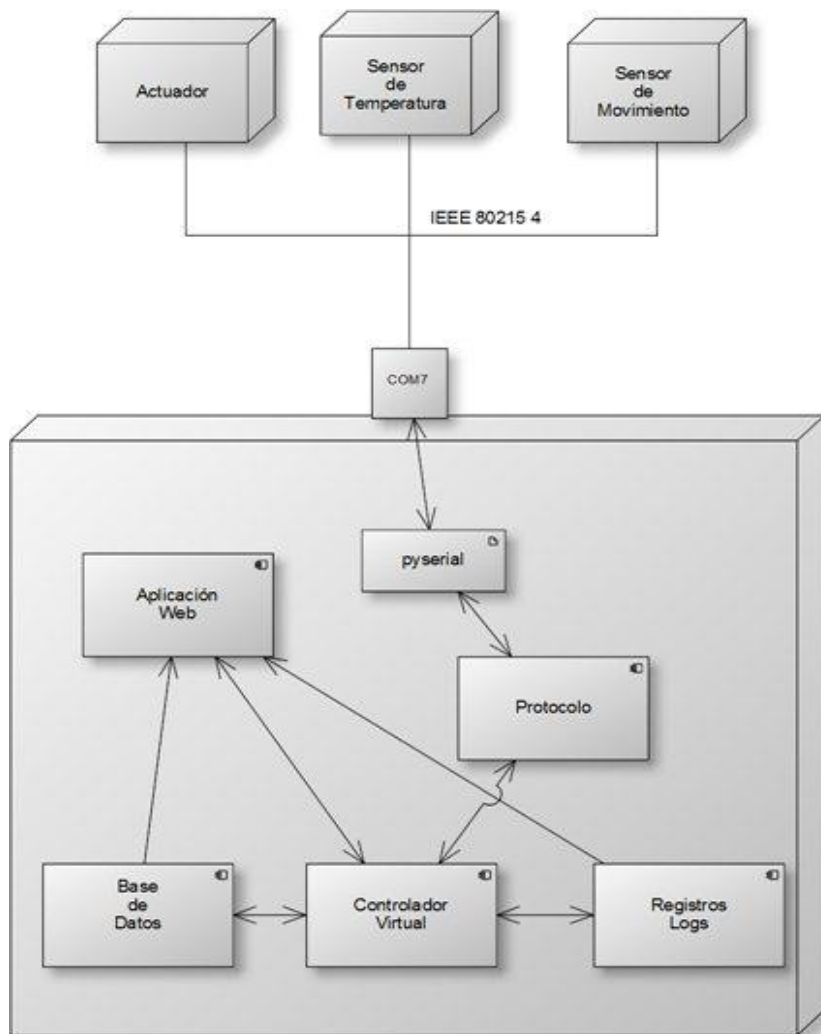


Figura 2.7 Diagrama de despliegue y componentes.

2.3 Implementación de los módulos de comunicación inalámbrica

En la actualidad se dispone de un gran número de estándares inalámbricos: Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Max, entre otros; sin embargo, todos se caracterizan por un gran consumo de energía y ancho de banda. Mientras que el protocolo IEEE 802.15.4, nace en respuesta a la necesidad de contar con una tecnología de bajo consumo y bajo rango de transferencia, lo cual motivó la selección de este estándar para su implementación en los módulos de comunicación inalámbrica del sistema.

2.3.1 Configuración de los dispositivos

Para la presente investigación fueron construidos y configurados tres tipos diferentes de dispositivos: un actuador de corriente, un sensor de movimiento y un sensor de temperatura. El actuador solo tendrá la variable digital que describe el encendido y apagado, la cual le será enviada para lograr un cambio de estado. El sensor de temperatura tendrá asociadas dos variables analógicas: “temperatura” y “estado de la batería”, lo cual garantiza que el usuario pueda estar al tanto de su estado para, de ser necesario, cambiarlas. El sensor de movimiento, como su nombre indica detecta movimiento, pero la variable que está asociada a este dispositivo es “presencia”, la cual es calculada a partir de la detección o no de movimiento en un tiempo previamente configurado por el usuario. Es común para los dos sensores que una vez recibida una trama se envíen dos: una para encender un diodo emisor de luz (más conocido como LED) y otra para apagarlo, lo que garantiza que hubo una correcta comunicación.

Otro dispositivo de mucha importancia es el *XBee USB Adapter* modelo *XBEE PRO 802.15.4 (XBP24)* el cual va conectado al puerto USB, y se le asigna el puerto de comunicación COM7. Por tanto, este dispositivo es el encargado de recibir y enviar las tramas de comunicación desde la computadora.

Para lograr la correcta comunicación de los dispositivos en cuestión con la computadora se les debe instalar y configurar a cada dispositivo un módulo XBee fabricado por la firma Digi. Los módulos XBee son una especie de chip que está compuesto por un microcontrolador, un emisor y un receptor de radiofrecuencia. Una de las principales características de estos módulos es que pueden utilizarse para transmitir datos inalámbricamente de un puerto serie, el cual dispone de 8 pines de entrada/salida digitales y 6 pines adicionales que se utilizan como canal analógico. Estas

características se deben configurar mediante una computadora con una placa adecuada para esto o mediante un microcontrolador conectado al módulo.

El programa X-CTU es una herramienta excelente para configurar los módulos XBee, ya que es distribuido junto al chip con ese objetivo, además de ser de libre acceso. Este *software* es el que permite configurar el puerto de comunicación así como darle a los dispositivos una dirección física única, además de la activación de los pines de entrada/salida para cada una de las variables. Para la configuración de los XBee se utilizó una placa XBIB-R-DEV REV.4 donde se instaló el módulo y el *XBee USB Adapter* con los datos de configuración que se muestran en la Tabla 2.1:

Dispositivo	XBee USB Adapter	Tarjeta de prueba XBIB-R-DEV REV.4
Módulo XBee	XBEE PRO 802.15.4 (XBP24)	XBEE 802.15.4 (XB24)
Versión	14E8	10E8
Serial	00 13 A2 00 40 63 0B B4	00 13 A2 00 40 64 B2 6C
Dirección 16 bits	00 01	00 03
Puerto serial	COM7	COM4

Tabla 2.1 Datos de los equipos utilizados para la configuración de XBee.

Las configuraciones en cada uno de los equipos quedaron de la manera siguiente:

- **Actuador de corriente “IS-ubicuo Act 1NO 02-02-12”:** Se le configuró como dirección de 16 bits del dispositivo 0004, como dirección destino 0001. Además se le configuró la entrada digital D1 para el cambio de estado de la corriente (Anexo 3).
- **Sensor de movimiento “IS-ubicuo Mov 01-02-12”:** A este dispositivo se le asignó como dirección de 16 bits 0003 y de dirección destino 0001. Para la variable de movimiento se le configuró la canal D1 y para el encendido y apagado LED de confirmación de comunicación el D2. Se configuró también para que descubriera los cambios con la detección de modificaciones en su entrada (Anexo 1).
- **Sensor de temperatura “IS-ubicuo Temp 01-02-12”:** Fue configurado de forma tal que su dirección fue de 16 bits 0002 y la de destino 0001. A la variable de temperatura se le asignó el canal analógico A3 y para el estado de la batería el A4 y para el LED se confirmación el canal digital D1. Además, se le configuró el modo *sleep* con un tiempo de cinco segundos y el tiempo antes de entrar al estado *sleep* de dos segundos, lo cual tiene como ventaja el ahorro de la batería (Anexo 2).

Existe un cuarto equipo que tiene dado un tratamiento diferente por su condición de virtual. El controlador virtual es un módulo del sistema que es tratado como un dispositivo ya que este simula el comportamiento de un controlador de espacio real, al cual se le asignó la dirección de 16 bits 0000. A este dispositivo virtual están asociadas las variables nombradas: “set point de temperatura” (variable que indica el valor a fijar de la variable “temperatura” para ser controlada en el proceso, expresada en grados Celsius), “histéresis de temperatura” (rango en que puede oscilar el valor de la “temperatura” alrededor del “set point de temperatura”, expresada en grados Celsius), “tiempo de presencia” (se utiliza para el cálculo de la “presencia”) y la variable “automático” (cuando toma valor 0 el actuador es controlado desde la aplicación, de lo contrario lo hará el controlador mediante la ejecución del método llamado control_loop descrito en el epígrafe anterior).

2.3.2 Especificaciones de las tramas de comunicación bajo el estándar IEEE

802.15.4

Para enviar sus datos a la computadora, los sensores, emiten tramas periódicamente con un ciclo configurable en los dispositivos, utilizando un comando llamado Api83 y a la vez, ellos y los actuadores, reciben datos para cambios de estado de las variables mediante la recepción de tramas con un comando Api17. Una vez llegada la trama envían una trama de confirmación utilizando un comando Api97. A continuación se muestran tablas con los requerimientos de esas tramas que son las que serán utilizadas por los dispositivos anteriormente mencionados.

En las Tablas 2.2, 2.3 y 2.4 se describen las especificaciones de las tramas de comunicación más utilizadas por el sistema, explicadas byte a byte. Cada byte de estas tramas es un valor hexadecimal. El valor indeterminado significa que puede tomar un valor hexadecimal en dependencia de la configuración de los dispositivos. Otro aspecto a resaltar es el Checksum, el cual permite verificar que los datos entregados no se hayan corrompido. El Checksum se calcula sustrayendo de 0xFF la suma del valor de los bytes de la trama, exceptuando el carácter de inicio y los dos bytes de tamaño de la trama, y se queda solamente con el byte más bajo del resultado.

Es importante aclarar que en la Tabla 2.2 los bytes 11 y 12 convertidos a valores binarios muestran un mapa de estado del canal de entrada/salida de variables, que permite analizar si las variables son analógicas y/o digitales y el orden en que aparecerán, tomando valor uno si está

activada y cero en caso contrario. A continuación se muestra cómo quedarían distribuidos los canales analógico-digitales en la Fig 2.8:

	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Figura 2.8 Mapa binario de los canales de entrada/salida.

Después del byte 12 aparecen de forma ordenada los valores de las variables, primero las digitales con longitud de dos bytes, y luego las analógicas, de cuatro bytes, en orden decreciente.

Numero de Byte	Posible Valor	Descripción
1	7e	Carácter de inicio de trama
2	indeterminado	Longitud de la trama Byte más significativo (msb)
3	indeterminado	Longitud de la trama Byte menos significativo (lsb)
4	0x83	Identificador API
5	indeterminado	Dirección Fuente de 16 bits, Byte más significativo (msb)
6	indeterminado	Dirección Fuente de 16 bits, Byte menos significativo (lsb)
7	indeterminado	Indicador de fortaleza de la señal de Recibida –Valor Hex equivalente al valor de –dbm. (Por ejemplo: Si la fortaleza de la señal RX = -40 dBm, “0x28” (40 decimal) es retornado.
8	indeterminado	Bit 0 [reserved], bit 1 = Address broadcast, bit 2 = PAN broadcast, bits 3-7 [reserved].
9	0x01	Byte de N° de muestra. (1 bytes). Siempre llega 01 puesto que solo se toma una muestra.
10	indeterminado	Estado DI/O. Cada variable tiene asociada un pin de entrada salida.
11	indeterminado	Estado DI/O. Cada variable tiene asociada un pin de entrada salida.
12	indeterminado	Valor de las variables analógicas. (este byte es solo para los Senores)
13	indeterminado	Checksum

Tabla 2.2 Requisitos de las tramas de recepción.

Numero de Byte	Posible Valor	Descripción
1	7e	Carácter de inicio de trama
2	indeterminado	longitud de la trama Byte más significativo (msb)
3	indeterminado	longitud de la trama Byte menos significativo (lsb)
4	0x17	Identificador API
5	indeterminado	Identifica la trama de datos UART que el “host” debe relacionar con un siguiente ACK (reconocimiento). Si es establecido en ' 0 ', ninguna respuesta se ha enviado.
6-13	indeterminado	Establece comparación de dirección de 64 bits del elemento. Primero msb y por último el lsb. Broadcast con dirección = 000000000000FFFF. Número de serie único del dispositivo.
14	indeterminado	Dirección Fuente de 16 bits, Byte más significativo (msb)
15	indeterminado	Dirección Fuente de 16 bits, Byte más significativo (lsb)
16	0x02	Comando Opción. 0x02 – Aplica los cambios de forma remota. (Si no es establecido, el comando AC tiene que enviarse antes, para que los cambios tengan efecto). Todos los otros bits se establecen en “0”.
17	0x0D	Nombre del Comando AT.
18	0x01-0x09	Número del pin
19	0x04 o 0x05	Datos del Comando. 4 pone en 0 y 5 pone en 1
20	indeterminado	Checksum

Tabla 2.3 Requisitos de las tramas de transmisión de comandos AT.

Numero de Byte	Posible Valor	Descripción
1	7e	Carácter de inicio de trama.
2	indeterminado	longitud de la trama Byte más significativo (msb).
3	indeterminado	longitud de la trama Byte menos significativo (lsb).
4	0x97	Identificador API.
5	indeterminado	Identifica la trama de datos UART que el “host” debe relacionar con un siguiente ACK (reconocimiento). Si es establecido en ' 0 ', ninguna respuesta se ha enviado.
6-13	indeterminado	Establece comparación de dirección de 64 bits del elemento. Primero msb y por último el lsb. Broadcast con dirección = 000000000000FFFF. Número de serie único del dispositivo.
14	indeterminado	Dirección Fuente de 16 bits, que responde. Byte más significativo (msb).
15	indeterminado	Dirección Fuente de 16 bits, que responde Byte más significativo (lsb).
16	0x0D	Nombre del Comando AT.
17	0x01-0x09	Número del pin.
18	0x00-0x03	Byte Status. Si es 0 fue éxito y error en otro caso.
19	0x04 o 0x05	Datos del Comando. 4 pone en 0 y 5 pone en 1.
20	indeterminado	Checksum.

Tabla 2.4 Requisitos de las tramas de respuesta de transmisión de comandos AT.

2.4 Aspectos sobre la interfaz gráfica de usuario

Los usuarios interactúan con el sistema mediante una interfaz web, compuesta por las páginas de operación y las páginas de administración. Para la creación de la interfaz se utilizaron las funcionalidades y la filosofía que provee el marco de trabajo para desarrollo web Django. Django utiliza el patrón de arquitectura de software MTV (modelo, plantilla y vista) para desacoplar los componentes del sistema en capas:

- **Modelo:** Capa de acceso a datos. Es donde se describen las tablas de la base de datos, representadas por clases en Python, sus relaciones y el comportamiento de los datos en general. Estas clases son llamadas modelos y se utilizan para crear, obtener, editar y eliminar registros de la base de datos sin necesidad de usar código específico de las bases de datos como SQL.
- **Vista:** Capa que contiene la lógica del sistema, actúa como un puente entre el modelo y la plantilla, a través de ella se acceden a los modelos para obtener los datos, transformarlos y suministrárselos a la plantilla apropiada.
- **Plantilla:** Capa de presentación de los datos; en esta capa se define cómo serán mostrados los datos al usuario, ya sea mediante una página web u otro formato de documento.

La operación del sistema se hace desde dos páginas web: Supervisión e Históricos. En la página de Supervisión se muestra el estado de las variables del sistema con indicadores gráficos o mímicos del sistema; actualizando los valores de las variables cada 10 segundos, mediante tecnología AJAX. Además aparece un formulario para especificar los parámetros del Controlador y otros datos para la operación del sistema. La página de Históricos es para mostrar el comportamiento en el tiempo de las variables mediante curvas en un gráfico, generado con las bibliotecas **jqplot** y **jquery**.

Para las páginas de operación se creó una plantilla base, que contiene el código HTML, CSS y Javascript, para el diseño del marco de las páginas. En esta plantilla base se especifican los elementos comunes como el fondo, encabezado, menús, llamadas a recursos de hojas de estilos, ficheros javascript, etc., y es la raíz en la herencia de plantillas para las diferentes páginas. Las páginas de Supervisión e Históricos heredan de la plantilla base y solo agregan el contenido que

es propio de las mismas. Los ficheros html de las plantillas se encuentran en la carpeta “templates”.

Se programaron dos vistas (Supervisión e Histórico) para manejar la lógica de las páginas con igual nombre. La vista Supervisión es una función para seleccionar los datos de las variables a ser mostrados en la plantilla, procesar los datos del formulario y realizar otras acciones como enviar datos a los dispositivos para el proceso de control. La vista Históricos obtiene los datos de los ficheros de registro **logs** y los procesa para ser mostrados en el gráfico mediante la plantilla Históricos.

2.5 Conclusiones parciales del capítulo

En este capítulo se describe el diseño e implementación del sistema *IS-ubicuo* de supervisión y control propuesto para la producción de tubos capilares en la empresa *TecnoLab*. Se incluye la fundamentación de las herramientas de desarrollo la cual fue concebida de la manera siguiente:

- Lenguaje de programación Python para la implementación de los módulos referentes al protocolo de comunicación IEEE 802.15.4.
- Marco de trabajo para desarrollo Django para la realización de la aplicación web.
- ORM como técnica de programación para la creación de la base de datos.
- Gestor de base de datos SQLite para el manejo de la base de datos.

El diseño del sistema *IS-ubicuo* fue realizado con técnicas de ingeniería de software, mediante los diagramas de casos de uso, actividades, clases y despliegue y componentes, utilizando el lenguaje UML. Además se especifican los requisitos de las tramas de comunicación utilizadas bajo la norma del estándar IEEE 802.15.4 y se abordan aspectos importantes en la configuración de los dispositivos.

CAPÍTULO 3. MANUAL DE USUARIO Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA IS-UBICUO.

El capítulo tres está dividido en dos partes fundamentales, que son a su vez imprescindibles para la correcta utilización del sistema propuesto. La primera parte es la validación del sistema utilizando el criterio de expertos. La segunda parte es un manual de usuario que facilita la utilización de la herramienta.

3.1 Evaluación del sistema IS-Ubicuo

El objetivo de la evaluación fue comprobar que el sistema *IS-ubicuo* de supervisión y control que se propone, presenta un diseño adecuado y que las variables controladas tengan posibilidades razonables de éxito en dar respuesta a las necesidades y circunstancias que la originaron. Como muestra se consideró a un grupo de profesionales de las ciencias de la computación, ingenieros y técnicos de alto nivel de experiencia, así como directivos de la fábrica de tubos capilares que se seleccionaron teniendo en cuenta el principio de la voluntariedad y que tuviesen al menos cinco años de trabajo en la empresa, se tomaron entre ellos los de mayor experiencia y nivel científico.

El diseño del sistema se evaluó a partir de las siguientes variables:

Pertinencia: Medida en que resulta oportuno y apropiada la aplicación del el sistema *IS-ubicuo* de supervisión y control con los fines propuestos.

Propiedad: Variable dicotómica que evalúa la capacidad real que tiene del sistema *IS-ubicuo* para modificar la situación problemática que lo originó.

Robustez: “Confiabilidad” en que las variables controladas van a lograr alcanzar los objetivos propuestos.

Confiabilidad: Exactitud de los resultados.

Las variables “pertinencia”, “robustez” y “confiabilidad” se dividieron en cinco niveles, los cuales fueron: mucha, bastante, aceptable, poca y muy poca, a los cuales se les asignó valores del 5 al 1 respectivamente. La variable “propiedad” se le dio valores de 1 y 0 correspondiente a niveles sí y no.

3.1.1 Técnica de validación empleada

La técnica empleada para la validación del sistema *IS-ubicuo* de supervisión y control fue el criterio de expertos (Hurtado de Mendoza, 2003). En este método la selección de los expertos se realiza mediante la aplicación de un procedimiento cuyas etapas se describen a continuación:

Etapas 1: Elaboración de una lista de candidatos a expertos que cumplan con los requisitos necesarios para el estudio.

Teniendo en consideración estos requisitos se reúnen un conjunto de candidatos que se ubican en una tabla como la que se muestra a continuación (Tabla 3.1).

No.	Nombre	Ocupación	Años de Experiencia	Especialidad
...

Tabla 3.1 Tabla de requisitos utilizada para la selección de expertos.

Etapas 2: Determinación del coeficiente de competencia de cada candidato.

Se aplica un instrumento, en el cual el candidato expresa el grado de conocimiento sobre el tema y las fuentes de dicho conocimiento. Este método de autoevaluación es totalmente anónimo y se explica detalladamente a continuación:

En un primer momento se aplica a cada uno de los expertos la encuesta siguiente:

1. Marque con una (x), en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tiene sobre el tema (Tabla 3.2).

Nombre de experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabla 3.2 Tabla de grado de conocimiento de los expertos.

2. Marque con una (x), en nivel que usted cree que corresponde a cada uno de los aspectos reflejados en la tabla 3.3:

No	Fuentes de conocimiento	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted			
2	Experiencia práctica			
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales			
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros			
5	Intuición			

Tabla 3.2 Tabla de fuente de conocimiento de los expertos.

El coeficiente de competencia de cada experto se calcula a partir de la ecuación (1), tomando los valores de “Ka” y “Kc” de las preguntas 1 y 2 respectivamente.

$$K_{comp} = \frac{K_c + K_a}{2} \quad (1)$$

Donde:

- **Kcomp:** Coeficiente de competencia.
- **Kc:** Coeficiente de conocimiento: Resulta del promedio de los valores que cada candidato le otorga a cada una de las preguntas, según el conocimiento que considere tenga al respecto.
- **Ka:** Coeficiente de argumentación. Es el resultado de la suma de los valores del grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación.

Etapla 3: Selección de los expertos.

Para seleccionar los expertos se toman los siguientes criterios:

- Competencia del experto Alta (A) si $K_{comp} > 0.8$
- Competencia del experto Media (M) si $0.5 < K_{comp} \leq 0.8$
- Competencia del experto Baja (B) si $K_{comp} \leq 0.5$

El cálculo del número de expertos necesarios para el análisis (M), se realiza a través de la expresión siguiente:

$$M = \frac{p(1-p)k}{i^2} \quad (2)$$

De acuerdo con el número de expertos resultante del cálculo, se seleccionan aquellos de mayor competencia según el coeficiente “Kcomp” determinado en el etapa dos.

Utilizando esta metodología y con vistas a formar el equipo de trabajo que apoyara la investigación, se procedió a calcular el número de expertos necesarios para obtener resultados confiables. La aplicación del procedimiento utilizado para seleccionar las personas que contribuyeran con la investigación se puede observar a continuación:

1. Elaboración de una lista de candidatos a expertos que cumplan los requisitos siguientes: especialistas de diversas disciplinas vinculados directamente la producción de tubos capilares como automáticos, cibernéticos y técnicos de ramas afines.

Los datos candidatos que reunían estos requisitos fueron recogidos en la Tabla 3.3:

Nº	Nombre	Ocupación	Años de exp.	Nivel
1	Ramón Salazar hernandez	Ing. Cont. automático	21	Profesional
2	Daima Villa Días	Informática	8	Profesional
3	Lázaro R. Gramadge Hdez.	Lic. Ciencias de la computación	20	Profesional
4	Rafael O. Padilla García	Operador de maquinarias	18	Técnico
5	José Noval Cabrerías	Jefe de planta	28	Técnico
6	Belisario Ramírez Sedeño	Ing. Electrónico	19	Profesional
7	Osmar Leiva Carbajal	Jefe de turno	23	Técnico
8	José L. Gozalez Treto	Operador de maquinarias	16	Técnico
9	Lietty Alfonso Ledesma	informática	5	Profesional
10	Dailin Rodriguez Días	Cibernética	11	Profesional
11	Mario Ruiz Echemendía	Jefe de producción	20	Profesional

Tabla 3.3 Candidatos a expertos para la evaluación del diseño.

2. Determinación del coeficiente de competencia de cada candidato y selección de los expertos, lo cual es mostrado en la Tabla 3.4:

Nº	Coeficiente de Conocimiento (K_c)	Coeficiente de Argumentación (K_a)	Coeficiente de Competencia (K_{comp})	Nivel de competencia
1	1	0.85	0.925	Alto
2	0.7	0.65	0.675	Medio
3	0.6	0.55	0.575	Medio
4	0.6	0.45	0.525	Medio
5	0.9	0.75	0.825	Alto
6	0.8	0.75	0.775	Medio
7	0.6	0.65	0.625	Medio
8	0.4	0.35	0.375	Bajo
9	0.6	0.45	0.525	Medio
10	0.65	0.7	0.675	Medio
11	0.9	0.60	0.75	Medio

Tabla 3.4 Coeficiente de competencia de los candidatos.

3. Cálculo del número de expertos necesarios en la investigación:

$p = 0.02$ (proporción estimada de error de los expertos).

$\alpha = 0.05$ (nivel de confianza deseado).

$k = 3.8416$ (constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza elegido).

$i = 0.1$ (nivel de precisión deseado).

Cálculo del número de expertos:

$$M = \frac{0.02*(1-0.02)*3.8416}{(0.1)^2} = 7.529 \approx 8 \quad (3)$$

Teniendo en cuenta el coeficiente de competencia calculado anteriormente, se seleccionan 8 expertos (los de mayor K_{comp}). Los datos de los expertos seleccionados finalmente se muestran a continuación:

Nº	Nombre	Ocupación	Años de exp.	Nivel
1	Ramón Salazar hernandez	Ing. Cont. automático	21	Profesional
2	Daima Villa Días	Informática	8	Profesional
3	Lázaro R. Gramadge Hdez.	Cibernético	20	Profesional
4	José Noval Cabrerías	Jefe de planta	28	Técnico
5	Belisario Ramírez Sedeño	Ing. Electrónico	19	Profesional
6	Osmar Leiva Carbajal	Jefe de turno	23	Técnico
7	Dailin Rodríguez Días	Cibernética	11	Profesional
8	Mario Ruiz Echemendía	Jefe de producción	20	Profesional

Tabla 3.5 Información relativa a los expertos seleccionados.

3.1.2 Resultados de la encuesta

Se confeccionó una encuesta (Anexo 4) para evaluar por los expertos el sistema *IS-ubicuo* con relación a las cuatro variables declaradas. Esta encuesta quedó conformada por 10 preguntas, donde las variables “pertinencia” y “confiabilidad” fueron evaluadas con tres preguntas para cada una. Para las dos restantes variables se elaboraron dos preguntas, la variable “propiedad” fue evaluada de forma dicotómica por lo que su análisis se realiza de forma independiente. Se aplicaron pruebas estadísticas descriptivas utilizando el paquete SPSS 18, expresando los resultados en tablas y gráficos.

Una vez realizada la encuesta, se elaboraron las Tablas 3.6 y 3.7 con los resultados por cada pregunta. En cada fila de las tablas se especifica la pregunta y el cantidad de respuestas que corresponden a cada calificación, así como el % que representan del total. En las tablas, los

números de las preguntas están agrupados por la variable que miden. En la primera tabla se muestra las variable “pertinencia”, “robustez” y “confiabilidad”; en la segunda se presenta la variable “propiedad”.

Variables		Valores de las Variables									
		5		4		3		2		1	
		Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%
pertinencia	1	8	100								
	2	7	87.5	1	12.5						
	3	8	100								
robustez	6	5	62.5	2	25	1	15.5				
	7	6	75			2	25				
confiabilidad	8	8	100								
	9	7	87.5	1	12.5						
	10	4	50	1	12.5	1	12.5	2	25		

Tabla 3.6 Resultados de las encuestas según las variables “pertinencia”, “robustez” y “confiabilidad”.

Variables		Valores de las Variables			
		2		1	
		Cant.	%	Cant.	%
propiedad	4	8	100		
	5	8	100		

Tabla 3.7 Resultados de las encuestas según la variable “propiedad”.

3.1.3 Análisis de los resultados de las encuestas a expertos

Los expertos seleccionados evaluaron el sistema IS-ubicuo de manera positiva en todos los ítems de la encuesta, en seis de las preguntas (1, 3, 4, 5 y 8) el 100% dio la respuesta de mayor valor. Esto significa que existe un consenso referente a que es muy acertada la aplicación de un *software* de supervisión y control de amplio espectro en el proceso productivo. Los expertos además concuerdan en que es muy ventajosa la utilización de *software* libre, consideran que se logra la comunicación inalámbrica entre los equipos configurados a través del uso de los módulos de comunicación implementados en el sistema *IS-Ubicuo* y que la utilización del sistema puede mejorar el proceso productivo de tubos capilares. El sistema *IS-Ubicuo* garantiza, según el criterio general, objetividad en la medición de las variables.

En correspondencia con lo anterior, el 100 % coincide otorgar el mayor nivel de “propiedad” a la estrategia, en cuanto a la “pertinencia” todas las respuestas se agrupan en valores entre 4 y 5, debiendo señalarse que solo una de 24 respuestas posibles apareció en el nivel cuatro. Lo anterior nos permite considerar que a partir del criterio de los expertos *IS-ubicuo* presenta un muy alto nivel de “propiedad” y “pertinencia”.

En cuanto a la “robustez” se evidencia una mayor dispersión en las respuestas, 11 de las 16 posibles califican al sistema en el mayor nivel, lo que sumado a dos calificaciones de 4 resultan trece respuestas en los niveles superiores, ubicándose tres respuestas en nivel medio y ninguna en niveles bajos, a pesar de esta dispersión el 81,25% de las respuestas califican el sistema en niveles altos de “robustez”.

Las peores calificaciones, los expertos las otorgan a la variable “confiabilidad”, especialmente en lo referente al control histórico de variables del sistema *IS-Ubicuo*, si satisface o no las necesidades de información. En este aspecto, aunque el 50 % de los expertos lo califican en el nivel más alto, un sujeto lo califica en el nivel medio y dos de ellos plantean que responde poco a las necesidades de información. En los restantes dos parámetros de evaluación de la variable, las calificaciones obtenidas no corresponden con lo anterior: el primero es evaluado en el nivel superior unánimemente y para el segundo, siete de los ocho expertos otorgan igual calificación. Obteniendo que de 24 posibles respuestas sobre la “confiabilidad”, 20 sean de la mayor calificación lo que representa el 83% y lo que representa un resultado alto en la evaluación de la variable.

Análisis estadístico de los resultados

Una vez realizado un análisis cualitativo de los datos obtenidos en las encuestas se procedió a su valoración estadística, para lo cual se utilizó el *software* SPSS versión 18. Para la medición de las cuatro variables, se tuvo en cuenta los promedios de los resultados de las preguntas que corresponden a cada una de ellas, para cada uno de los expertos.

En la Tabla 3.8 se puede observar que solo existieron dos criterios diferentes de la variable “pertinencia”: 4.66 que apareció una vez representando el 12.5 % de la muestra, y el valor 5 con frecuencia 7 que representa el 87.5 % de los expertos. En la Fig. 3.1 se muestra un gráfico representativo de los datos anteriormente explicados.

Tabla de frecuencia

Pertinencia					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	4,66	1	12,5	12,5	12,5
	5,00	7	87,5	87,5	100,0
	Total	8	100,0	100,0	

Tabla 3.8 Valores de frecuencia de la variable de “pertinencia”.

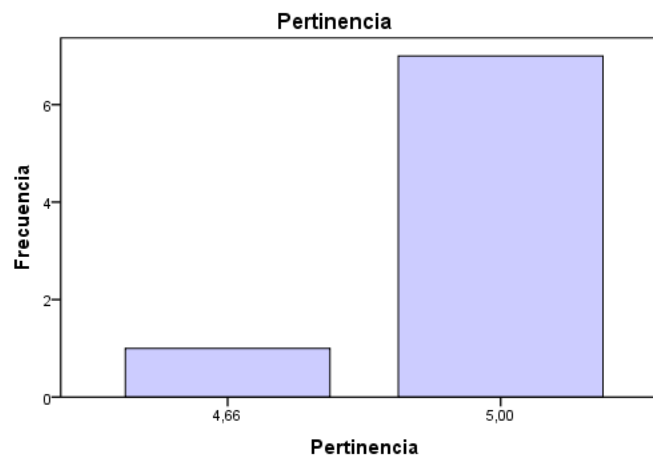


Figura 3.1 Gráfico de frecuencia de la variable “pertinencia”.

Mientras para la variable “robustez” aparecen tres promedios diferentes otorgados por los expertos. Los valores 4 y 5 se repitieron 3 veces, lo que representa el 37.5 % del total en cada caso, el

valor 4.50 fue otorgado por dos usuarios, equivalentes al 25 % de la muestra. Este comportamiento se observa graficado en la Fig. 3.2.

Robustez					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	4,00	3	37,5	37,5	37,5
	4,50	2	25,0	25,0	62,5
	5,00	3	37,5	37,5	100,0
	Total	8	100,0	100,0	

Tabla 3.9 Valores de frecuencia de la variable “robustez”.

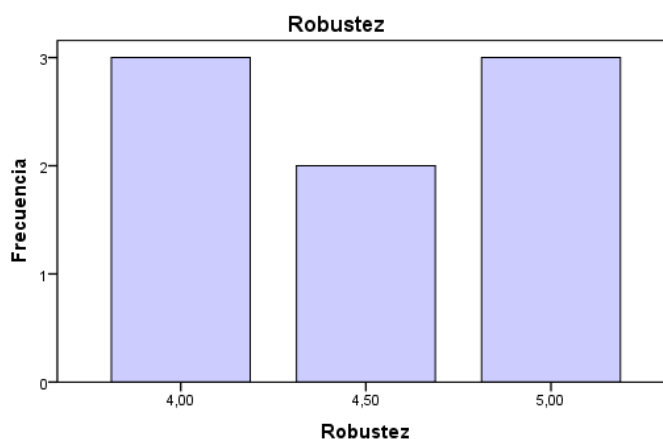


Figura 3.2 Gráfico de frecuencia de la variable “robustez”.

En la tabla valores de frecuencia de la variable “confiabilidad” (Tabla 3.10) es donde más variaciones se muestran. Los valores 4 y 4.3 tienen frecuencia de aparición 2 lo que representa el 25 % respectivamente. El valor 4.6 tuvo solo una aparición mientras que el valor 5 se repite tres veces representando el 37.5 %. El gráfico de frecuencia de la variable “confiabilidad” es mostrado en la Fig. 3.3.

Confiabilidad					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	4,00	2	25,0	25,0	25,0
	4,30	2	25,0	25,0	50,0
	4,60	1	12,5	12,5	62,5
	5,00	3	37,5	37,5	100,0
	Total	8	100,0	100,0	

Tabla 3.10 Valores de frecuencia de la variable de “confiabilidad”.

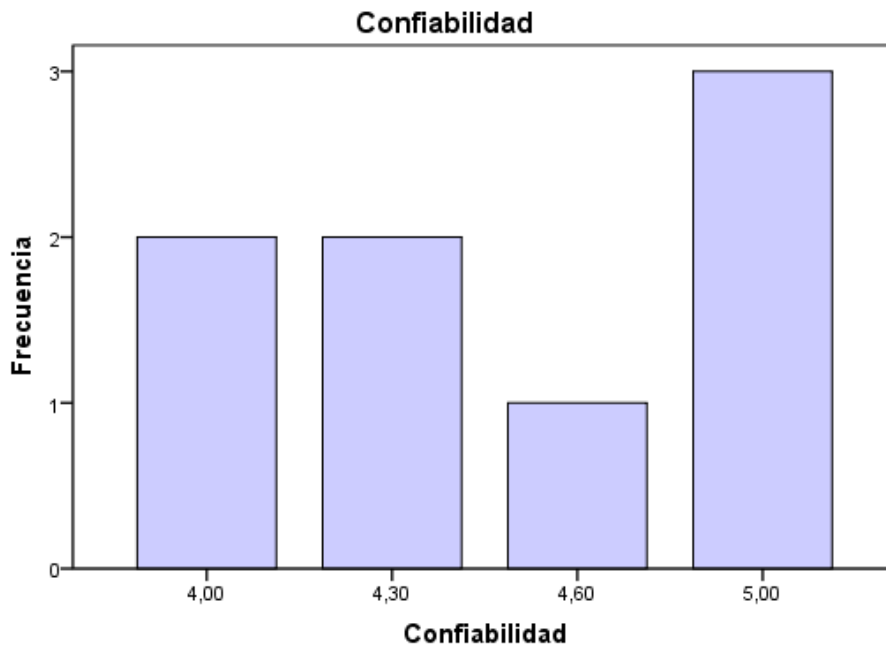


Figura 3.3 Gráfico de frecuencia de la variable “confiabilidad”.

En la Tabla 3.11 se hace evidente que todas las respuestas fueron de valor 1 lo que representa el 100 % y es expresado en el gráfico de frecuencia de la Fig. 3.4.

Propiedad					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1,00	8	100,0	100,0	100,0

Tabla 3.11 Valores de frecuencia de la variable “propiedad”.

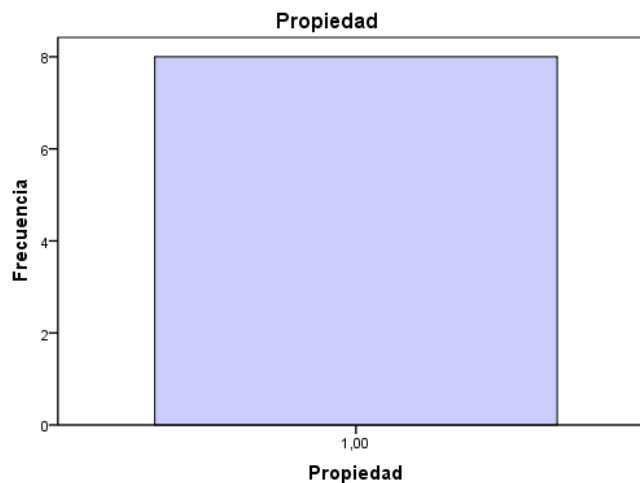


Figura 3.4 Gráfico de frecuencia de la variable propiedad.

En la tabla resumen de la prueba (Tabla 3.12) se muestra que no hubo datos perdidos para ninguna de las variables en cuestión. Además, se presenta promedio de los resultados de cada una de las variables notándose que en las variables “pertinencia”, “robustez”, y “confiabilidad”, los promedios fueron superiores a 4.5; las medianas superiores a 4.45 y las modas en la “pertinencia” y “confiabilidad” fueron de 5 mientras que en la “robustez” existieron varias modas mostrándose en la tabla la de menor valor. Los valores de la desviación típica y la varianza indican que no existe gran dispersión en los datos. La variable dicotómica “propiedad” obtuvo valor 1 para la media, la moda y la mediana, sin dispersión en los datos ni variabilidad en los mismos.

Frecuencias

		Estadísticos			
		Pertinencia	Robustez	Confiabilidad	Propiedad
N	Válidos	8	8	8	8
	Perdidos	0	0	0	0
Media		4,9575	4,5000	4,5250	1,0000
Mediana		5,0000	4,5000	4,4500	1,0000
Moda		5,00	4,00 ^a	5,00	1,00
Desv. típ.		,12021	,46291	,43671	,00000
Varianza		,014	,214	,191	,000

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

Tabla 3.8 Estadísticos de frecuencia.

Teniendo en cuenta tanto el análisis cualitativo como el estadístico de las respuestas de los expertos, se puede concluir que el sistema *IS-ubicuo* tiene niveles de pertinencia, confiabilidad, robustez y propiedad significativamente altos.

3.2 Manual de usuario

IS-ubicuo es un sistema multiplataforma y ha sido desarrollado con *software* libre en su totalidad. Este sistema provee una interfaz web desarrollada utilizando el marco de trabajo *Django* y el resto de sus módulos fueron desarrollados con el lenguaje de programación *Python*.

Para acceder al sistema se debe abrir el navegador de internet preferido por el usuario (aunque se recomienda Mozilla Firefox para una visualización óptima) y visitar la URL del servidor web

donde se esté ejecutando el sistema. Una vez cargada la página, que luce como en la Fig 3.5, se podrá acceder a las diferentes funcionalidades que brinda el sistema, cuyo logotipo y nombre aparecen en la parte superior izquierda.



Figura 3.5 Apariencia inicial de *IS-ubicuo*.

3.2.1 Principales funcionalidades

Puede navegar por las principales funcionalidades (Supervisión e Históricos) desde las pestañas que se encuentran en la parte superior derecha como se ilustra en la Fig 3.6:



Figura 3.6 Pestañas de acceso rápido.

La página de Supervisión está dividida en 2 secciones principales: a la izquierda se muestra un formulario para la introducción de los valores de las variables de escritura, que son las variables que pueden ser modificadas por los usuarios. A la derecha se muestra los valores en tiempo real de las variables asociadas al dispositivo al que pertenecen.

El formulario (Fig 3.7) es el que permite modificar, como anteriormente se explicó, las variables de escritura. Estas variables deben ser configuradas por el usuario. A continuación se presentan dichas variables con el tipo de valores que se les puede pasar como parámetro:

Corriente: valor binario 0 ó 1.

Automático: valor binario 0 ó 1.

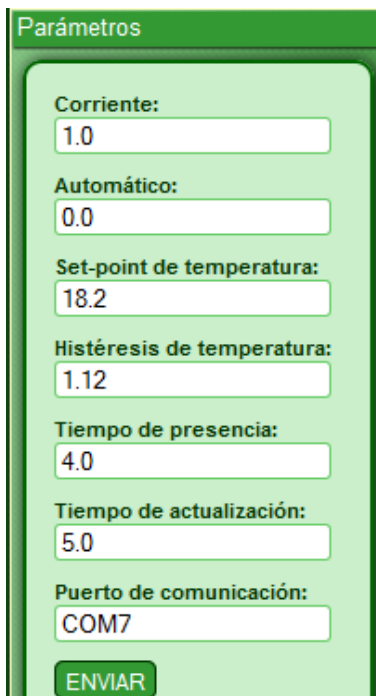
Set-point de temperatura: valor real medido en grados Celsius.

Histéresis de temperatura: valor real medido en grados Celsius.

Tiempo de presencia: valor real medido en segundos.

Tiempo de actualización: valor real medido en segundos.

Puerto de Comunicación: COM#, donde # varia en dependencia de la computadora.



Variable	Valor
Corriente	1.0
Automático	0.0
Set-point de temperatura	18.2
Histéresis de temperatura	1.12
Tiempo de presencia	4.0
Tiempo de actualización	5.0
Puerto de comunicación	COM7

Figura 3.7 Formulario de introducción de valores de las variables de escritura.

En la parte derecha de la página de supervisión se encuentran los íconos y se muestran las variables con su valor en tiempo real, asociados a cada uno de los dispositivos. En la página se muestran en orden descendente: el tipo de dispositivo (sensor, actuador o controlador), el nombre del dispositivo, una breve descripción del mismo, el ícono asociado y la lista de valores en tiempo real de las variables que le pertenecen.

El sensor de presencia es el primero de los dispositivos que se muestra, su ícono asociado es el rostro de un hombre que toma sus colores cuando se detecta “presencia” y se apaga en caso contrario (Fig. 3.8). La variable asociada a este sensor es la de presencia que muestra con valores de sí o no.



Figura 3.8 Existencia o no de presencia.

El actuador de corriente tiene como ícono un interruptor que es utilizado para mostrar el estado actual de un dispositivo final. La variable que está asociada a este dispositivo es la de estado del actuador, es decir si está encendido o apagado (Fig. 3.9).



Figura 3.9 Actuador encendido/apagado.

El controlador virtual a pesar de ser un módulo del sistema es tratado como un dispositivo más, y por este motivo el ícono que lo representa es una computadora (Figura 3.10). Este dispositivo tiene cuatro variables ordenadas descendientemente:

Tiempo asociado a la presencia: Valor de tiempo medido en minutos mediante el cual se determina la presencia.

Histéresis de temperatura: Es el rango en que puede oscilar el valor de la VP alrededor del Set-point, expresada en grados Celsius.

Set point de temperatura: Variable que indica el valor a fijar de la variable temperatura para ser controlada en el proceso, expresada en grados Celsius.

Automático: Variable que indica si el actuador es controlado de forma manual o automática.

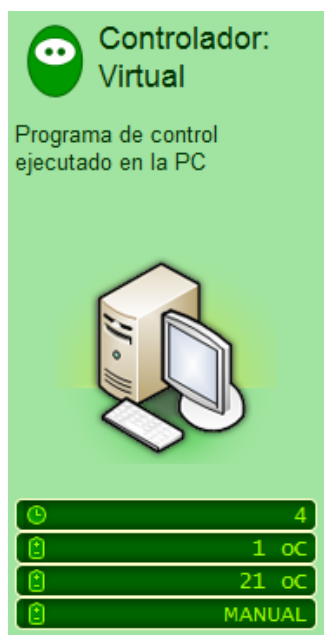


Figura 3.10 Controlador virtual.

El sensor de temperatura tiene asociada dos variables, “temperatura” y “estado de la batería” (Fig. 3.11).



Figura 3.11 Sensor de temperatura.

En la parte superior de la página de supervisión aparece un indicador de actualización que es mostrado cuando se establece comunicación con el servidor para actualizar los datos o para ejecutar una acción del usuario. Esta actualización ocurre cada 12 segundos. Además muestra la fecha y hora de la última actualización (Fig. 3.12).

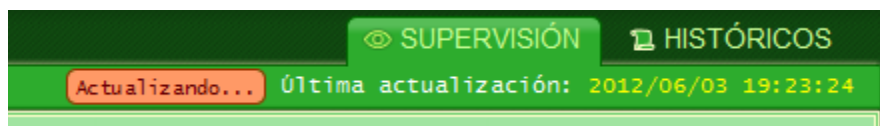


Figura 3.12 Etiqueta de actualización.

Para acceder a la página de Históricos se presiona la pestaña Históricos en la parte superior derecha de la página de supervisión. Esta página también está dividida, en la parte izquierda aparece un formulario para elegir la fecha de la cual se desea ver el gráfico de las variables. Esta fecha requiere ser escrita con el formato yyyy-mm-dd (Fig. 3.13).

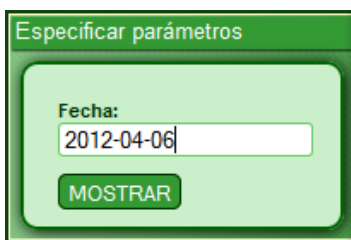


Figura 3.13 Formulario de introducción de fecha.

En la parte derecha de la página Históricos aparece al gráfico de las variables y al pie la leyenda que indica el color que le corresponde a cada una de ellas (Fig 3.14).

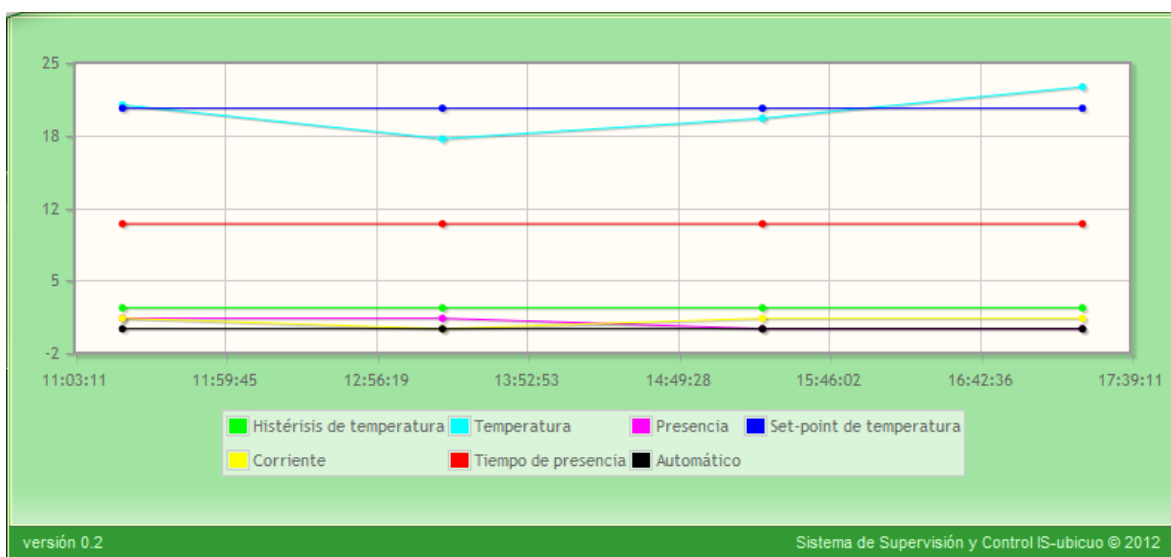


Figura 3.14 Formulario de introducción de fecha.

3.2.2 Formato para la lectura de los archivos `variable.log`.

En el archivo `variable.log` se va almacenando, cada vez que se reciben, las tramas de comunicación. Estos archivos son muy importantes para el sistema ya que a partir de ellos es que se construyen los gráficos históricos de las variables. Otra de las utilidades es que el usuario que lo desee, puede acceder a ellos para supervisar el comportamiento de las variables en caso de no poder ver el gráfico de las variables o si lo desea por algún otro motivo.

En el archivo se encuentra primero la fecha y hora con el formato `yyyy-mm-dd hh:mm:ss`, luego la dirección del dispositivo y por último las variables de este. A continuación en la Fig. 3.15, se presenta un ejemplo de la información contenida en dicho archivo:

```
2012-05-29 11:21:11,0000,0,21.00,2.00,10
2012-05-29 11:21:11,0002,21.32
2012-05-29 11:21:11,0003,1
2012-05-29 11:21:11,0004,1
2012-05-29 13:21:11,0000,0,21.00,2.00,10
2012-05-29 13:21:11,0002,18.09
2012-05-29 13:21:11,0003,1
2012-05-29 13:21:11,0004,0
2012-05-29 15:21:11,0000,0,21.00,2.00,10
2012-05-29 15:21:11,0002,20.04
```

Figura 3.15 Apariencia del archivo `variable.log`.

3.3 Conclusiones parciales

En este capítulo se realiza una evaluación del sistema utilizando los criterios de expertos, obtenidos a través de una encuesta aplicada. Se tuvieron en cuenta varios requisitos para la selección de estos expertos. La evaluación realizada nos permitió concluir que el sistema *IS-ubicuo* posee gran aceptación entre los expertos encuestados pertenecientes a la empresa *TecnoLab*, en cuanto a “pertinencia” y “propiedad”. Además constituye un sistema robusto y

confiable que cuenta con un control histórico de variables, satisfaciendo las necesidades de información aun cuando pueda ser mejorado.

Por otra parte, en este capítulo también se describe el manual de usuario del sistema de supervisión y control *IS-ubicuo*. Este manual se basa en explicaciones con apoyo en imágenes visuales, de las principales funcionalidades del *software* así como la estructura de ficheros adicionales. De esta manera se brinda al usuario un documento detallado y de fácil comprensión para su utilización final.

CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó el sistema IS-ubicuo como un sistema de supervisión y control de variables para el proceso de producción de tubos capilares en la empresa *TecnoLab*. Para su desarrollo se utilizó el lenguaje Python y se implementaron protocolos de comunicación inalámbrica.

Además fueron configurados los dispositivos: sensor de temperatura, sensor de presencia y actuador de corriente; utilizando una tarjeta de prueba XBIB-R-DEV REV.4 y el software X-CTU. Estos dispositivos permiten la medición y el control de las variables que intervienen en el proceso productivo y constituyen una parte imprescindible de un sistema de supervisión y control.

Fueron implementados los módulos de comunicación inalámbrica entre los dispositivos configurados y el sistema, mostrando las ventajas de este tipo de comunicación. Se utilizó el estándar IEEE 802.15.4 desarrollado con el lenguaje de programación Python.

Se diseñó e implementó una aplicación web utilizando el marco de trabajo Django, apoyándose también en otros lenguajes como HTML, CSS, AJAX y JavaScript. Esta interfaz de usuario fue concebida para la visualización amigable y el manejo de las variables del sistema. Además se utilizó la técnica de programación ORM para obtener una base de datos relacional, a partir del modelo orientado a objetos implementado y fue exportada a SQLite para su manejo.

Mediante criterios de expertos obtenidos a través de una encuesta se observó que el sistema *IS-ubicuo* presenta altos niveles de “propiedad” y “pertinencia”, así como de “robustez” y “confiabilidad”, lo que demuestra que cumple con los objetivos para los que fue concebido.

RECOMENDACIONES

1. Perfeccionar el nivel de información del sistema para que brinde otros datos sobre control como por ejemplo un gráfico de comportamiento de la planta de estiramiento en tiempo real.
2. Agregar un módulo de seguridad para el control de las acciones de los diferentes usuarios sobre el sistema.
3. Aplicar el sistema diseñado a otras finalidades en inmótica y domótica, así como en otros procesos productivos.

BIBLIOGRAFÍA

2000. *Inmuebles* [Online]. Available: <http://www.g2v.com/isdearagon/> [Accessed consultado 7 de febrero 2012].
- BARI, A., JAEKEL, A., JIANG, J. & XU, Y. 2012. Design of fault tolerant wireless sensor networks satisfying survivability and lifetime requirements. *Computer Communications*, 35, 320-333.
- BEAZLEY, D. M. 2009. Python Essential Reference. In: TABER, M. (ed.) Fourth ed. New York: Vanessa Evans.
- BEHDANI, B., YUN, Y. S., SMITH, J. & XIA, Y. 2012. Decomposition algorithms for maximizing the lifetime of wireless sensor networks with mobile sinks. *Computers & Operations Research*, 39, 1054-1061.
- BICAKCI, K., BAGCI, I. E. & TAVLI, B. 2012. Communication/computation tradeoffs for prolonging network lifetime in wireless sensor networks: The case of digital signatures. *Information Sciences*, 188, 44-63.
- BUIU, C., VASILE, C. & ARSENE, O. 2012. Development of membrane controllers for mobile robots. *Information Sciences*, 187, 33-51.
- CARCANO, A., COLETTA, A., GUGLIELMI, M., MASERA, M., FOVINO, N. & TROMBETTA, A. 2011. A Multidimensional Critical State Analysis for Detecting Intrusions in SCADA Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7, 179-186.
- CHEN, X., SUSILO, W., ZHANG, F., TIAN, H. & LI, J. 2011. Identity-based trapdoor mercurial commitments and applications. *Theoretical Computer Science*, 412, 5498-5512.
- DENG, Z., ZHANG, P., QI, W., LIU, J. & GAO, Y. 2012. Sequential covariance intersection fusion Kalman filter. *Information Sciences*, 189, 293-309.
- DUERRENMATT, D. J. & GUJER, W. 2012. Data-driven modeling approaches to support wastewater treatment plant operation. *Environmental Modelling & Software*, 30, 47-56.
- FERNÁNDEZ VALDIVIELSO, C., CASTELLS, I., GUTIÉRREZ, M. A., MATÍAS, R. & LÓPEZ AMO, M. 2000. Herramienta Software para el Control Remoto de Instalaciones Domóticas con Bus EIB. *XV Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, 13-15.
- HE, M.-B. & ZHU, J.-J. 2005. Applying of Programmable Controller in the Winding Engines. *Meikuang Jixie (Coal Mine Machinery)*, 112-114.
- HOLOVATY, A. & KAPLAN-MOSS, J. 2009. The Definitive Guide to Django. In: PARKES, D. (ed.) *Web Development Done Right*. Second ed.

- KARIMI, N., FAROKHNIA, A., KARIMI, L., EFTEKHARI, M. & GHALKHANI, H. 2012. Combining optical and thermal remote sensing data for mapping debris-covered glaciers (Alamkouh Glaciers, Iran). *Cold Regions Science and Technology*, 71, 73-83.
- LOS SANTOS ARANSAY, A. 2009. Diseño de interacción centrada en el usuario. *Journal of Automatic Machine*.
- LUTZ, M. 2009. Learning Python. In: STEELE, J. (ed.) Fourth ed. Cambridge: Sumita Mukherji.
- MATHEWS, Z., I BADIA, S. B. & VERSCHURE, P. F. M. J. 2012. PASAR: An integrated model of prediction, anticipation, sensation, attention and response for artificial sensorimotor systems. *Information Sciences*, 186, 1-19.
- MINNETONKA, J. 2009. IEEE 802.15.4 RF Modules by Digi International. *Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol*. U.S.A. Canada.
- ORTEGA, M., REDONDO, M. A., PAREDES, M., BRAVO, C. & BRAVO, J. 2001. Nuevos paradigmas de interacción en el aula del siglo XXI. *Interacción Persona-Ordenador*, 22, 161-171.
- PAN, Z., POLDEN, J., LARKIN, N., VAN DUIN, S. & NORRISH, J. 2012. Recent progress on programming methods for industrial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28, 87-94.
- ROMAN, R., NAJERA, P. & LOPEZ, J. 2011. Securing the Internet of Things. *Computer*, 44, 51-58.
- SALAZAR IZAGUIRRE , A. B., GARCÍA, A., BAHENA FRANCO, C. & SÁNCHEZ ÁVILA, H. 2003. Sistemas en la Función Productiva de las Organizaciones. *Revista UMAN*, 13, 2.
- SAMPIERI, J. C. 2006. Metodología de la Investigación, México, DF., McGrawHill.
- SCHLECHTINGEN, M. & SANTOS, I. F. 2011. Comparative analysis of neural network and regression based condition monitoring approaches for wind turbine fault detection. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25, 1849-1875.
- STALLINGS, W. 2001. Wireless Communications and Networks. *Information Sciences*, 267, 35-51.
- VEVERKA, J. 1987. Mercurial Flights of Mariner 10. *Nature*, 329, 496-496.
- WARD, C. & DOWDESWELL, J. A. 2006. On the Meteorological Instruments and Observations Made during the 19th Century Exploration of the Canadian Northwest Passage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 38, 454-464.
- WEISER, M. 1991. The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 265, 66-75.
- YAGUARA, L. M. 2000. *Domótica vs computación ubicua*. [Online]. Available: <http://www.domotica.com/> [Accessed consultado 6 de enero 2012].
- YU, F., ZHANG, P., XIAO, W. & CHOUDHURY, P. 2011. Communication systems for grid integration of renewable energy resources. *IEEE Network*, 25, 22-29.

- YU, X. & LU, Y. 2007. Research and design of the advanced aircraft's electrical distribution system. *Jisuanji Celiang yu Kongzhi/Computer Measurement & Control*, 15, 1534-1536.
- ZHANG, S., DING, Y., HAO, K. & ZHANG, D. 2012. An efficient two-step solution for vision-based pose determination of a parallel manipulator. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28, 182-189.
- ZHOU, Y., QU, W., LU, Y., ZHANG, Y., WANG, X., ZHAO, D., YANG, Y. & ZHANG, C. 2011. VizPrimer: a web server for visualized PCR primer design based on known gene structure. *Bioinformatics*, 27, 3432-3434.

ANEXOS

Anexo 1: Sensor Movimiento “IS-ubicuo Mov 01-02-12”

Especificaciones	Sensor de Movimiento
General	
Frecuencia RF	2.4 GHz (ISM).
antena	Interna.
Funcionamiento	
Alcance en ciudades	300 ft (100 m).
Alcance a campo abierto	Por encima de 1 milla (1.6 km).
Potencia de transmisión de salida	10 mW (+10 dBm) .
RF data rate	250,000 bps.
Receive sensitivity	-102 dBm .
Seguridad	
Topologías de red	Point-to-Point, Point-to-Multipoint.
Número de canales	16 - 5 MHz canales .
Opciones de filtraje	PAN ID, Canales, 2 ⁶⁴ (64-bit) direcciones.
LEDs	
Led rojo Indicación de mov.	Parpadeo cada vez que detecta movimiento.
Interface	
Protocolo	IEEE 802.15.4
Sensor PIR	
Detección Estándar	5m 16.404ft (Max.).
Rango de detección	Horizontal: 100°, Vertical: 82°.
Tiempo de estabilización después de energizado.	7 seg. a 30 seg.
Requerimientos de Alimentación	
Voltaje	220v/110v (selección por hardware interno)
Potencia de Consumo	2 VA max

Anexo 2: Sensor Temperatura “IS-ubicuo Temp 01-02-12”

Especificaciones	Sensor de Temperatura
General	
Frecuencia RF	2.4 GHz .
antena	Interna.
Funcionamiento	
Alcance en ciudades	300 ft (100 m).
Alcance a campo abierto	Por encima de 1 milla (1.6 km).
Potencia de transmisión de salida	10 mW (+10 dBm) .
RF data rate	250,000 bps.
Receive sensitivity	-102 dBm .
Seguridad	
Topologías de red	Point-to-Point, Point-to-Multipoint.
Número de canales	16 - 5 MHz canales .
Opciones de filtraje	PAN ID, Canales, 2 ⁶⁴ (64-bit) direcciones.
LEDs	
Led verde confirmación de comunicación.	Parpadeo cada vez que se confirma comunicación con controlador de espacio.
Interface	
Protocolo	IEEE 802.15.4
Sensor PIR	
Presición	+/- 0.2 °C (max).
Rango de detección	Desde -40 °C hasta +125 °C.
Requerimientos de Alimentación	
Batería Litio modelo	CPR2
Voltaje	6v DC
Tiempo de vida de batería	
1 año	1 lectura cada 30 seg.
2 años	1 lectura por minute.
5 años	1 lectura por hora o con menos frecuencia.

Anexo 3: Actuador 1 Salida Digital “IS-ubicuo Act 1NO 02-02-12”

Especificaciones	Sensor de Temperatura
General	
Frecuencia RF	2.4 GHz .
antena	Interna.
Funcionamiento	
Alcance en ciudades	300 ft (100 m).
Alcance a campo abierto	Por encima de 1 milla (1.6 km).
Potencia de transmisión de salida	10 mW (+10 dBm) .
RF data rate	250,000 bps.
Receive sensitivity	-102 dBm .
Seguridad	
Topologías de red	Point-to-Point, Point-to-Multipoint.
Número de canales	16 - 5 MHz canales .
Opciones de filtraje	PAN ID, Canales, 2^64 (64-bit) direcciones.
LEDs	
Led verde.	Indicación de accionamiento.
Interface	
protocolo	802.15.4
Salida Digital	
Salida contacto	NO (contacto normalmente abierto)
Voltaje Max	250 VAC
Corriente Max	5 A
Requerimientos de Alimentación	
Voltaje	220v/110v (selección por hardware interno)
Potencia de Consumo	2 VA max

Anexo 4: Encuesta a expertos

A continuación le presentamos un conjunto de 10 preguntas para que a partir de su criterio evalúe las variables “propiedad”, “pertinencia”, “robustez” y “confiabilidad” del sistema *IS-ubicuo*. La encuesta es totalmente anónima y sus resultados confidenciales. Le agradeceremos la objetividad de sus análisis.

1. ¿Considera usted acertada la realización de un software de supervisión y control de un espectro amplio de aplicación en el proceso productivo?

Muy acertado Acertado No sé Poco acertado No es acertado

2. ¿En qué medida considera que es adecuado el uso de la comunicación inalámbrica para el diseño del protocolo de comunicación propuesto?

Muy adecuado Bastante adecuado Adecuado Poco adecuado No es adecuado

3. ¿En qué medida cree usted que el uso de software libre represente ventajas para su empresa en el sistema de comunicación que se propone?

Muy ventajoso Ventajoso No sé Poco ventajoso No es ventajoso

4. ¿Usted considera que se logra la comunicación inalámbrica entre los equipos configurados a través del uso de los módulos de comunicación implementados en el sistema *IS-Ubicuo*?

Sí No

5. ¿Usted considera que el sistema *IS-Ubicuo* puede mejorar el proceso productivo de tubos capilares?

Sí No

6. ¿En qué medida cree usted que la supervisión y control automática de las variables: temperatura del horno, presencia de tubos en la planta, diámetro del tubo, largo del tubo y velocidad de tracción aumentaría la productividad de TecnoLab?

Aumentaría mucho Aumentaría bastante Aumentaría Aumentaría Poco
 No Aumentaría

7. ¿Opina usted que la supervisión y control automática disminuirían las pérdidas por rechazo?

Disminuirían mucho Disminuirían bastante Disminuirían Disminuirían Poco
 No Disminuirían

8. ¿Según su criterio, el sistema IS-Ubicuo garantiza objetividad en la medición de las variables?

Muy Objetivo Bastante Objetivo Medianamente Objetivo Poco Objetivo_ No es Objetivo.

9. ¿Considera necesario que el sistema de supervisión y control que se aplica cuente con un control histórico de variables?

Muy Necesario Bastante Necesario Medianamente Necesario Poco Necesario No es Necesario

10. ¿En qué medida el control histórico de variables del sistema IS-Ubicuo satisface las necesidades de información?

Totalmente Bastante Medianamente Poco No