

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema de Automatización de Biorreactores de Inmersión Temporal

Autor: Yandi Luis Llámez de Varona

Tutor: MSc. Alberto Gómez Abreu

Dr. Boris Luis Martínez Jiménez

Santa Clara

2009

"Año del 50 aniversario del triunfo de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema de Automatización de Biorreactores de Inmersión Temporal

Autor: Yandi Luis Llámez de Varona

yllamez@uclv.edu.cu

Tutor: M Sc. Alberto Gómez Abreu

agomez@bioplantass.cu

Dr. Boris Luis Martínez Jiménez

Consultante: M Sc. Dibet García Gonzáles

Santa Clara

2009

“Año del 50 aniversario del triunfo de la Revolución ”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, 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 publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo 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 Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

*Solo hay dos cosas infinitas, la estupidez humana y el universo y de la última no estoy
tan seguro.*

Albert Einstein

DEDICATORIA

A toda mi familia que siempre me ha dado su apoyo incondicional y es la principal inspiradora de todos mis logros, especialmente mi mamá y mis abuelos. A mis amigos de siempre, que nunca me han dado la espalda en los momentos más duros.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, amigos y todos los que me han ayudado de una forma u otra.

A mis tutores Alberto Gómez Abreu y Boris Luis Martines Jiménez y mi consultante Dibet García González por su paciencia y su apoyo.

TAREA TÉCNICA

Con el propósito de desarrollar el presente trabajo y confeccionar el informe final, fue necesario realizar las siguientes tareas:

- Implementación de la programación del autómata erosPLC.
- Desarrollo de una aplicación del SCADA EROS para la supervisión, control y adquisición de datos del proceso de inmersión temporal.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

El Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT), patente del Centro de Bioplantas, es uno de los sistemas de inmersión temporal que proporciona positivos efectos en la micropropagación de plantas. Es ampliamente utilizado en Cuba para la investigación, la producción y la comercialización. El Centro de Bioplantas de la Universidad de Ciego de Ávila está interesado en desarrollar un sistema automatizado totalmente cubano que sustituya la versión existente (SmartBIT v1.0) que es muy costosa, y que también permita a los investigadores biólogos y productores, realizar el monitoreo en tiempo real del proceso en los BIT® así como la parametrización de los autómatas de forma sencilla, eficiente y según la variedad del cultivo que se desee. Para ello se diseñó y desarrolla un proyecto a partir del empleo de la automatización, con un software de monitoreo y programación, desde una computadora. Se utilizaron autómatas erosPLC, una computadora personal Pentium III y los otros elementos que componen los BIT tradicionales, se realizó la programación del autómata sobre la plataforma erosPG y la de la PC sobre EROS. Se obtuvo finalmente una versión totalmente cubana de automatización de biorreactores de inmersión temporal, flexible y amigable que reduce los costos de la anterior y con las mismas prestaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA.....	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. AUTOMATIZACIÓN DE BIT	5
1.1 Los sistemas de inmersión temporal.....	5
1.1.1 Principio de funcionamiento y evolución de los BIT	6
1.2 Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT®).	8
1.2.1 Generaciones de los BIT.....	8
1.2.2 Ventajas, deficiencias y necesidades	10
1.3 Sistema de Automatización	11
1.3.1 Autómatas programables (PLC's)	12
1.3.2 Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).....	14
1.3.3 Comunicaciones en entornos industriales.....	17
1.3.4 Nivel de comunicación (Redes de comunicaciones)	19
1.3.5 Comunicaciones en la industria	20

1.4	Eros versión 5.5.5.0	21
CAPÍTULO 2. SmartBIT VERSIÓN 2.0. BIORREACTOR DE 4ta GENERACIÓN.....		24
2.1	Automatización.....	24
2.1.1	Diseño del sistema automatizado.....	26
2.2	Autómata erosPLC. Programación de bajo nivel.....	27
2.2.1	Sistema erosPG.....	28
2.2.2	Herramienta de programación ISaGRAF	31
2.2.3	Descripción del algoritmo para el PLC.....	33
2.3	Configuración del Software de Supervisión y Control EROS.....	36
2.3.1	Configuración de la comunicación erosPLC-EROS (Supervisor).....	37
2.3.2	Configuración de los mímicos	38
2.3.3	Configuración de las alarmas y las recetas	42
2.3.4	Configuración de los registros históricos y los gráficos de perfiles y de pastel	43
2.3.5	Configuración de los Scripts.....	44
2.4	Convertidor de Norma EROS485	44
CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SmartBIT VERSIÓN 2.0		46
3.1	Validación del SmartBIT versión 2.0	46
3.1.1	Criterio de especialistas	48
3.2	Estudio de factibilidad	50
3.2.1	Análisis de costos y beneficios	52
CONCLUSIONES		56
RECOMENDACIONES.....		57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		58

Anexo I	Todas las variables del Cultivo 1	61
Anexo II	Todas las variables del Cultivo 1	62
Anexo III	Presiones, pesos y flujos	63
Anexo IV	Gráfico de inmersiones del proceso.....	64
Anexo V	Reporte de alarmas en períodos de tiempo en que ocurrió inestabilidad neumática 65	
Anexo VI	Encuesta realizada a especialistas biólogos	66
Anexo VII	Encuesta aplicada a especialistas en informática.....	68

INTRODUCCIÓN

La micropropagación de plantas es el sector de mercado más atractivo para los laboratorios comerciales que aplican las tecnologías del cultivo *in vitro* de especies vegetales. Esta requiere la transferencia periódica del cultivo a medio fresco debido al agotamiento y/o alteración de los nutrientes, así como al crecimiento o proliferación continuado del tejido (Chávez 2003; Balmaseda 2007). El uso del medio líquido para la propagación *in vitro* tiene algunas ventajas y se considera una técnica ideal para la propagación masiva de plantas, porque reduce la manipulación y es un requisito indispensable para la automatización del proceso (Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995).

En Cuba, a partir del desarrollo del primer sistema semiautomatizado de inmersión temporal (BIT®) en 1997, por investigadores del Centro de Bioplantitas, se han realizado investigaciones sobre la aplicación de esta técnica en: la proliferación de meristemos de varias especies de interés agrícola, ornamental y forestal, como caña de azúcar; para la producción de micro tubérculos de papa; la micro propagación de piña, entre otros. El BIT, específicamente, tiene dos posibilidades de aplicación: para la obtención de explantes y su ulterior proliferación en frascos convencionales de la micro propagación o para la obtención de brotes aptos para el enraizamiento *ex vitro* y la aclimatización (Escalona 1999; Escalona, Lorenzo et al. 1999).

A lo largo de la evolución de los experimentos con los biorreactores ha sido una constante preocupación la dependencia del conocimiento de la tecnología de automatización por parte de los investigadores, su falta de flexibilidad, de escalabilidad, así como la no amigable interfaz de programación de los autómatas (PLC, *Programmable Logia Computer*), incluso para especialistas en la materia, la que ha limitado la realización de nuevos, más complejos y completos experimentos (Balmaseda 2007).

En el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila se utiliza el SmartBIT versión 1.0 que es un Sistema de Control de Lazo Abierto de BIT, el mismo se basa en la utilización del PLC Master-K 120S de LG y el Software de Supervisión y Control Movicon X. Con la utilización del mismo se ha logrado que los investigadores biólogos se familiaricen más con el proceso de automatización de BIT, ya que su interfaz es amigable con el usuario y permite la parametrización del proceso de forma más sencilla.

La desventaja principal del SmartBIT versión 1.0 es que los costos elevados del Movicon X así como del PLC Master-K 120S hacen que la propagación de este sistema de control sea más difícil, por lo que se da la tarea de buscar un autómatas menos costoso que cumpla con los requerimientos del proceso, así como otro software de supervisión y control que se pueda adquirir su licencia en Cuba y a la vez brinde las mismas prestaciones que el Movicon X para realizar el proceso de control de BIT.

Con las características anteriormente señaladas se buscaron algunas variantes, como autómatas importados de marcas como Omron, Siemens, entre otros. También se valoró la posibilidad de implementar el control con una tarjeta de adquisición de datos, pero esta resultaba menos robusta y muy costosa, con el software de supervisión control se deseaba uno que se distribuyera su licencia en nuestro país y fuera rentable. Después de estos análisis resultaron elegidos para la automatización del proceso el erosPLC y el Sistema de Supervisión y Control EROS, ambos de producción cubana, con las mismas prestaciones y además con un módulo analógico incluido que permite mejoras en cuanto a la versión anterior, también ofrece servicios de post venta y se puede consultar con esta empresa fácilmente ante cualquier dificultad que pueda presentarse.

Objetivo general:

- A partir de la situación anterior se establece como objetivo general de este trabajo desarrollar una versión del Smart BIT, totalmente cubana mediante la utilización del Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) EROS y el autómatas erosPLC para el control de todo el proceso de los BIT, de forma sencilla y eficiente.

Objetivos específicos:

Para lograr cumplir el objetivo general se, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Programar el autómatas erosPLC mediante el sistema erosPG.
- Configurar el Software de Supervisión y Control EROS.
- Establecer la comunicación autómatas – supervisor mediante el protocolo Modbus, utilizando RS-485.

Organización del informe:

El informe queda estructurado de la siguiente forma, después de la introducción consta de tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos. En resumen los capítulos muestran lo siguiente:

Capítulo 1

En el primer capítulo se realiza una revisión bibliográfica de los Sistemas de Inmersión Temporal (SIT), fundamentalmente de los Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT) y sus aplicaciones. Se explica el principio de funcionamiento y la evolución de estos y se pone de manifiesto las ventajas que brinda la automatización del proceso de inmersión temporal en biorreactores, así como las deficiencias y necesidades en los mismos actualmente. Dentro de la automatización se hace una breve introducción a los autómatas programables PLC, a los Sistemas de Supervisión y Control y a los protocolos de comunicación más usados en la industria. De igual forma se explica cuales son las ventajas que brinda el SmartBIT versión 1.0 y que se desea con el SmartBIT versión 2.0.

Capítulo 2

En el segundo capítulo se describe detalladamente que es el objetivo del sistema automatizado para el control de BIT, se muestran partes del código del programa del PLC y se explican. También se hace una descripción del erosPLC, así como los programas usados en su programación, como el sistema erosPG versión 5.0 y el ISaGRAF versión 5.0. En este capítulo también se explica la configuración de las pantallas del Sistema de Supervisión y Control EROS versión 5.5.5.0 que se utilizan.

Capítulo 3

En el tercer capítulo se realiza la validación y el análisis económico del SmartBIT versión 2.0. Para realizar estas tareas se procede a la etapa de pruebas y puesta en marcha del sistema, se logra la comunicación autómeta-supervisor y se pone a consideración de especialistas en biología, informática y automática, que brindan sus criterios mediante una encuesta cuyos resultados son mostrados. También se realiza el análisis de factibilidad donde se demuestra que el SmartBIT versión 2.0 es mucho menos costoso que su predecesor.

CAPÍTULO 1. AUTOMATIZACIÓN DE BIT

En los últimos años el ser humano ha contado con las herramientas necesarias para sustituirle de aquellas tareas que resulten repetitivas, peligrosas o que requieran de un mínimo de manipulación, por sistemas automatizados que permitan alcanzar un mayor rendimiento, aumentan la productividad y ofrecen mayor seguridad. Uno de esos ejemplos son los Biorreactores de Inmersión Temporal.

1.1 Los sistemas de inmersión temporal

Es en 1983 cuando se describe por primera vez una máquina de inclinación, esta lograba someter los tejidos a un periodo de inmersión en el líquido y otro al aire, logrando una mejoría significativa en el peso final de los explantes. A partir de ahí aparecieron otros tipos de máquinas para lograr el propósito de airear la materia vegetal (Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995).

Los sistemas posteriormente desarrollados, son muy utilizados hoy para la producción *in vitro* durante las etapas de la micropropagación, específicamente en la proliferación de raíces y la micro división, la embriogénesis somática y otras (Balmaseda 2007).

La frecuencia de inmersión es el parámetro que más peso tiene en el funcionamiento eficiente del sistema, y su control evita el fenómeno de la hiperhidricidad que es frecuente y afecta seriamente el cultivo en medios líquidos (Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995; Escalona 1999; Escalona, Lorenzo et al. 1999; Chávez 2003).

Por último, la drástica reducción de la cantidad de trabajo manual, del área de cultivo y de la cantidad de frascos, son parámetros que demuestran la reducción en los costos de producción utilizando sistemas de inmersión temporal (Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995).

1.1.1 Principio de funcionamiento y evolución de los BIT

El funcionamiento básico de los sistemas de inmersión temporal, sea cual fuere la forma de lograrlo, es la combinación del cultivo del material de la planta en medio líquido con un periodo de aireación del mismo (Tisserat and Vandercook 1985; Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995).

Harris y Mason en 1983, fueron los primeros en lograr un sistema de este tipo con su máquina de inclinación de frascos(Harris and Mason 1983), más tarde Tisserat y Vandercook en 1985 desarrollaron el Sistema de Cultivo de Plantas Automatizado (APCS, por sus siglas en inglés) (Tisserat and Vandercook 1985).

Aitken Christie y Jones en 1987 y Aitken Christie y Davies en 1988 utilizaron un sistema, en el cual, basándose en bombas peristálticas, agregaron y extrajeron periódicamente el líquido(Aitken-Crhisrie and Jones 1987; Aitken-Crhisrie and Davies 1988), también Simonton y otros en 1991 utilizaron un sistema muy parecido con bombas controladas por computadora para establecer la frecuencia de baño(Simonton, Robacker et al. 1991).

Teisson y Alvard desarrollaron uno de los más actuales sistemas de inmersión temporal, el recipiente para Inmersión Temporal Automatizada (RITA®) y más reciente en 1998, Escalona y otros, desarrollaron el más actual que conocemos, el Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT®)(Teisson and Alvard 1995; Escalona, Lorenzo et al. 1999; Teisson and Alvard 1999).

Los sistemas de inmersión temporal se pueden agrupar en cuatro categorías fundamentales teniendo en cuenta su modo de operación:

- Máquinas de inclinación y mecedoras.
- Inmersión completa con mecanismo de renovación del medio nutriente.
- Inmersión parcial con mecanismo de renovación del líquido nutriente.
- Inmersión completa con transferencia neumática del líquido nutriente y sin reposición del medio.

En el caso de las máquinas de inclinación y mecedoras, se han descrito dos tipos fundamentales la de inclinación que, con una determinada cantidad de frascos, los inclina

en un ángulo de 30 grados hacia lados opuestos y la otra los mece o los ladea, también 30 o 40 grados, cada 30 segundos.

En la inmersión completa con mecanismo de renovación del medio nutriente, se trata de una cámara elevada que se vacía periódicamente y luego se rellena con medio fresco (Castro and Olmedo 2000; Etienne and Berthouly 2002; Dufour and Guérinm 2003).

Para el funcionamiento del sistema de inmersión parcial con mecanismo de renovación del líquido nutriente, los tejidos se colocan en un medio de soporte y se le aplica frecuentemente un medio líquido, que después se retira, con la característica de que solo se sumerge la base de las plántulas (Aitken-Crhisrie and Jones 1987; Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995).

La inmersión completa con transferencia neumática del líquido nutriente y sin reposición del medio tiene dos formas sobresalientes; el Recipiente para Inmersión Temporal Automatizada (RITA®), que se muestra en la figura 1.1 y consiste en un frasco con dos cavidades que se comunican, en la parte superior se colocan los explantes y en la inferior el medio líquido, que será subido a la cámara superior con aire a presión y ahí se mantendrá burbujeando hasta que cese el bombeo, y el Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT®) que lo forman dos frascos interconectados, por mangueras, donde el aire a presión hace pasar el medio líquido de un frasco al otro donde están las plántulas y luego es retirado nuevamente al frasco anterior (Escalona 1999; Escalona, Lorenzo et al. 1999).

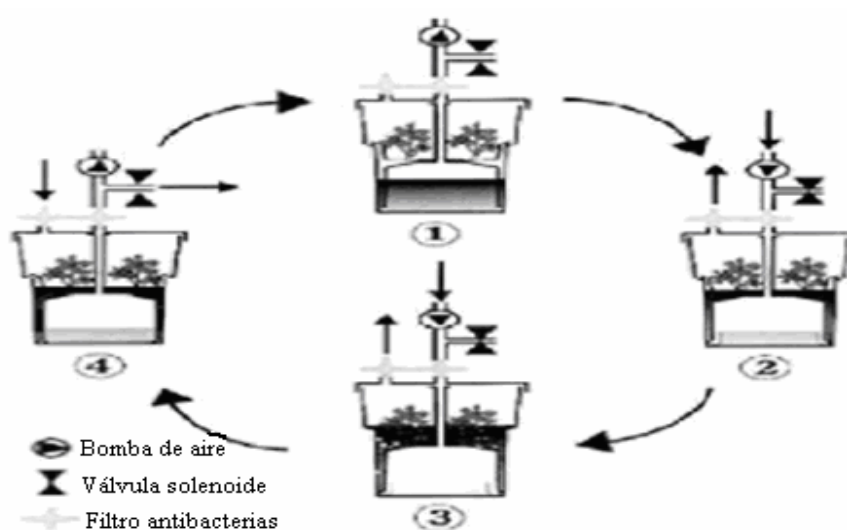


Figura 1.1 Recipiente para inmersión temporal automatizada (RITA®).

1.2 Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT®).

Un BIT, invariablemente, estará compuesto de dos frascos gemelos, conectados por mangueras de silicona, con válvulas de solenoide que posibilitan el paso del aire a presión y con filtros antibacterianos intercalados (Escalona 1999; Escalona, Lorenzo et al. 1999; Texeira 2002), como se muestra en la figura 1.2.

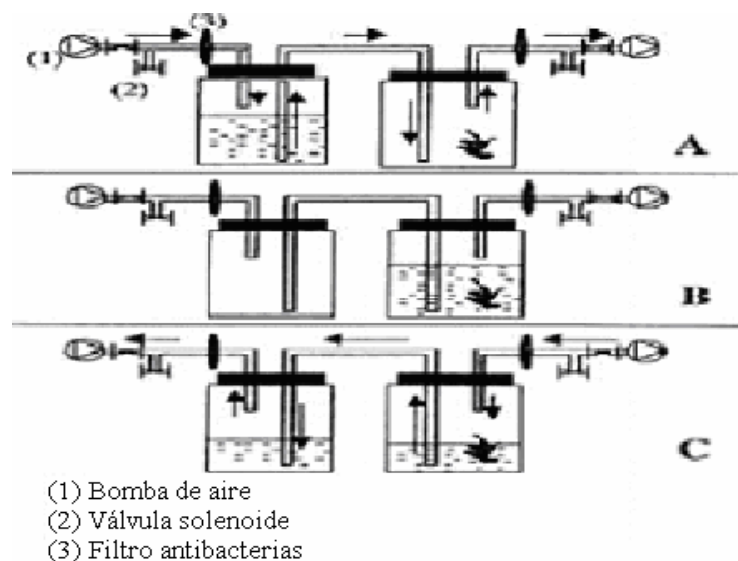


Figura 1.2 Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT®) desarrollado en el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, por Maritza Escalona y otros.

1.2.1 Generaciones de los BIT

En solo 10 años de desarrollo investigativo, referente a los BIT, ya existen elementos suficientes para considerar que se han realizado cuatro generaciones de los mismos.

Los primeros experimentos que se hicieron, ni siquiera estuvieron basados en la inmersión completa con transferencia neumática, manualmente se transfería el medio. Más tarde, amparados en los resultados obtenidos, se comenzó a experimentar con formas neumáticas de transferencia y diferentes variantes de frascos e interconexión entre ellos.

En 1997-98 se logra desarrollar lo que constituye la tercera generación de BIT con dos frascos perfectamente interconectados y transferencia de medio por un sistema de aire comprimido instalado al efecto, esta variante es patentada e internacionalmente reconocida,

utilizada en numerosos experimentos y plantaciones a gran escala en otros países como Costa Rica, Brasil, México y España.

- Generaciones anteriores de los BIT (Escalona 2007):

1ra Generación: El control del proceso era totalmente manual y empleando bombas de vacío. Los frascos eran de vidrio y mangueras plásticas.

2da Generación: El control se realiza a través de un temporizador diseñado para este propósito que empleaba un microprocesador Zilog Z-80, lo cual representaba un salto considerable en la fiabilidad del sistema. De esta generación se intentaron nuevas versiones empleando otros sistemas temporizadores con microprocesador. Se introducen los frascos plásticos y mangueras de silicona.

3ra Generación: Se emplean por primera vez autómatas comerciales, muy sencillos, el cual permitía programación por parte del investigador y la parametrización del mismo era sumamente complicada. Otro salto significativo fue la inclusión del Dióxido de Carbono (CO₂) (González 2004).

4ta Generación: El SmartBIT versión 1.0 es un Sistema de Supervisión y Control de BIT desarrollado en el Centro de Bioplantas de la Universidad de Ciego de Ávila. En este sistema se aplica una configuración con una interfaz amigable para con el usuario, como se muestra en la figura 1.2 que le permite a los investigadores biólogos realizar tareas de control y adquisición de datos del proceso, de forma sencilla y eficiente. El mismo está basado en un autómata Master-K 120S de fabricación coreana, y utiliza como Sistema de Supervisión y Control el Movicon X. Esta configuración del sistema de control ha alcanzado éxitos, por lo que se desea mantener la misma por sus ventajas, pero su principal desventaja es que el software Movicon X tiene un alto precio en el mercado, así como los módulos analógicos del autómata Master-K 120S que tienen un costo elevado.

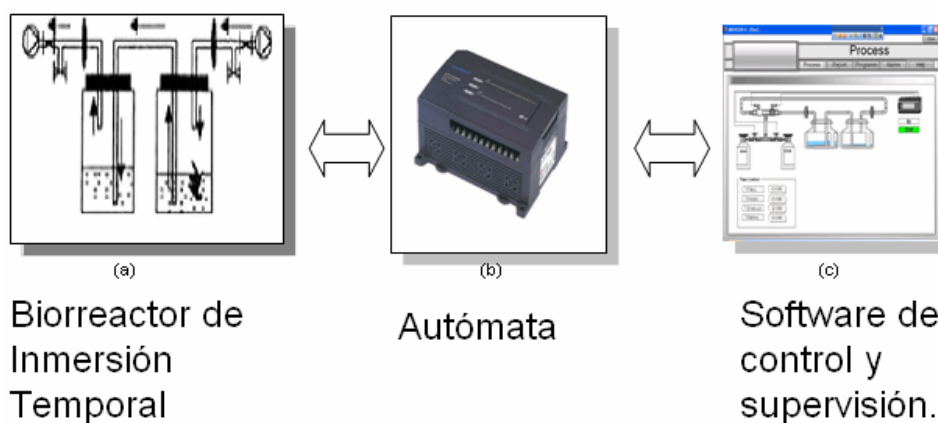


Figura 1.2 Configuración del SmartBIT versión 1.0.

Por estos motivos surge la tarea de buscar un software que brinde las mismas prestaciones que el Movicon X, que sea menos costoso y comercializado en Cuba, así como un autómata que presente una mayor cantidad de entradas y salidas digitales, y los módulos analógicos necesarios para que el proceso sea más barato y brinde las mismas facilidades que el SmartBIT versión 1.0.

1.2.2 Ventajas, deficiencias y necesidades

Las numerosas ventajas que presentan los Biorreactores de Inmersión Temporal con respecto a los métodos convencionales de la micropropagación son reconocidas a nivel mundial. Con este método se logra utilizar un medio líquido, reduciendo así los costos de producción y mejorando la automatización (Debergh 1988; Aitken-Crhisrie, Kozai et al. 1995; Murch, Chunzhao et al. 2004) se reduce el área de trabajo, se disminuye la cantidad de trabajo manual, se utiliza menor cantidad de vasijas, se obtiene más rendimiento.

Algunas de las deficiencias más notables en los BIT® son: los investigadores biólogos o productores necesitan conocimientos de programación de autómatas o un especialista cada vez que necesiten modificarla o se necesite reemplazar el autómata por otro diferente; no se puede desatender el funcionamiento del sistema; no se puede parar una sola sección o experimento (Balmaseda 2007).

Las necesidades principales son lograr un sistema más flexible y amigable que independice al investigador del autómata y su parametrización a la hora de programar un experimento. Aumentar las funcionalidades y capacidad de trabajo autónomo del sistema a partir de la

inclusión de elementos de toma de decisiones por parte de las estaciones de trabajo. También incrementar el número de experimentos independientes (cultivos o estantes), por estaciones de trabajo, así como de estaciones de trabajo conectadas al sistema de monitoreo y control.

Es necesario lograr un sistema más comercial, capaz de funcionar sobre múltiples sistemas operativos, ser monitoreado y controlado a distancia e incluir de manera preprogramada, la parametrización de los cultivos ya experimentados por investigadores del Centro de Bioplantillas (Balmaseda 2007). Se desea lograr un sistema de control de BIT totalmente cubano que permita la comercialización del mismo tanto a escala nacional como internacional, abaratar los costos del mismo y lograr mayores prestaciones en cuanto a la medición de parámetros.

1.3 Sistema de Automatización

La automatización de procesos, en la actualidad, se realiza a partir del empleo de Sistemas de Control (SC) (Sousa 2007), el cual consiste en un conjunto de subsistemas que deben trabajar de forma coordinada. Estos subsistemas se encuentran distribuidos físicamente en las instalaciones del sistema de control. La responsabilidad del SC es el control, adquisición de datos y monitorización de estos subsistemas y proporcionar una interfaz de usuario homogénea. La arquitectura física del sistema de control consiste en una serie de computadores, equipos electrónicos, PLC, sensores y actuadores interconectados. Estos elementos son responsables del control directo de los diferentes subsistemas del SC. El sistema de control es responsable de otras tareas (planificación de observaciones, archivo de los datos, análisis de la calidad de los datos) para lo cual existe un número de estaciones de trabajo conectadas a través de una o más redes de área local, las cuales proveen acceso a un grupo de servicios centralizados (catálogos, archivos).

Una arquitectura de software abierta, flexible, distribuida y orientada a objetos es utilizada con el objetivo de proveer acceso independiente de la localización a los diferentes servicios distribuidos. Además, estos servicios son requeridos para garantizar un nivel de calidad de servicio. La implementación de esta arquitectura se simplifica mediante el uso de *middleware* (software que conecta dos aplicaciones diferentes) distribuido. Este *middleware* asegura, mediante una política de planificación correcta, que todas las tareas

tengan los recursos necesarios. Suministra un esqueleto "*plug & play*" donde los diferentes componentes del software de control son conectados. Esta arquitectura suministra un entorno homogéneo tal que el tiempo y costo de desarrollo de los diferentes componentes sea reducido.

1.3.1 Autómatas programables (PLC's)

Los PLC's se introdujeron por primera vez en la industria en la década del 60 y hoy en día continúa su desenfrenado desarrollo. La razón principal del nacimiento de los autómatas fue la necesidad de eliminar el alto costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relés y contactores que caracterizaban los procesos industriales hasta ese momento (Valdivia 2007).

El problema de los relés era que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control. Esto comenzó a resultar bastante caro cuando los cambios fueron frecuentes. Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada, se requería un mantenimiento planificado. Por otra parte, a veces se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento. Los nuevos controladores debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. Finalmente se imponía que trabajaran sin problemas en entornos industriales adversos. La solución fue el empleo de una técnica de programación familiar y reemplazar los relés mecánicos por relés de estado sólido (Valdivia 2007).

A finales de los años 60, la industria demandaba cada vez más un sistema de control económico, robusto, flexible y fácilmente modificable. En 1968 nacieron los primeros autómatas programables (APIs o PLC's). La compañía Bedford Associates propuso algo denominado Controlador Digital Modular (MODICON, *Modular Digital Controller*) a una empresa automotriz. Otras compañías propusieron esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8 (primera mini computadora, presentada el 22 de marzo de 1965 por *Digital Equipment Corporation*). El MODICON 084 resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido comercialmente (Valdivia 2007).

A mediados de los 70 las tecnologías dominantes de los PLC eran máquinas de estado secuencial y CPU basadas en desplazamiento de bit. Los AMD 2901 y 2903 fueron muy

populares. Los microprocesadores convencionales suministraron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLC's. Por cada modelo de microprocesador había un modelo de PLC basado en el mismo. No obstante, el 2903 fue de los más utilizados.

La capacidad de comunicación comenzó a aparecer en 1973 aproximadamente. El primer sistema fue el bus Modicon (Modbus). El PLC podía ahora dialogar con otros PLC y ubicarse alejado de las máquinas que controlaba. También se introdujeron en el mundo analógico al poder enviar y recibir señales de tensión. Desafortunadamente, la falta de un estándar, acompañado de un continuo cambio tecnológico, ha hecho que la comunicación de PLC sea un cúmulo inconexo de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí.

En los años 80 se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motor's. También se redujeron las dimensiones del PLC y se pasó a programar con lenguajes simbólicos a través de ordenadores personales en vez de los clásicos terminales de programación (Ver figura 1.3).



Figura 1.3 Terminal de programación portátil.

En la década del 80 se mejoran sus prestaciones, es decir, velocidad de respuesta, reducción de las dimensiones, mayor concentración de número de entradas/salidas en los módulos respectivos, desarrollo de módulos de control continuo, PID, servo controladores, y control inteligente, difuso, etc. (Valdivia 2007).

Los años 90 mostraron una gradual reducción en el número de nuevos protocolos de comunicación, y en la modernización de las capas físicas de los protocolos más populares que sobrevivieron a los 80. El estándar IEC 1131-3 intenta unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. Ahora disponemos de PLC's que pueden ser programados en diagramas de bloques, lista de instrucciones, C y

diagrama de contacto al mismo tiempo. Las PC están comenzando a reemplazar al PLC en algunas aplicaciones, incluso la compañía que introdujo el Modicon 084 ha cambiado al control basado en PC.

Debido al desarrollo de la electrónica, hoy en día hay distintas variedades de autómatas que van desde Microautómatas y Nanoautómatas que se utilizan en apertura y cierre de puertas, domótica, control de iluminación, control de riego de jardines, etc. hasta autómatas de gama alta con prestaciones de un pequeño ordenador.

La principal virtud de un PLC es su robustez y facilidad de interconexión con el proceso. La tendencia actual es dotarlo de funciones específicas de control y de canales de comunicación para que puedan conectarse entre sí y con ordenadores en red.

1.3.2 Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)

SCADA es el acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition* (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) (Progea 2006; Sousa 2007). Un SCADA es un sistema basado en computadores que, como su nombre lo indica, permite realizar las tareas de supervisar, controlar a distancia una instalación de cualquier tipo y adquirir datos de la misma. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. Hoy en día 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.

Es sumamente importante contar con la herramienta correcta para el trabajo en un proyecto. Con tantos paquetes de aplicación de Adquisición de Datos y Control Supervisorio (SCADA) e Interfases Hombre-Máquina (HMI) disponibles en el mercado, es vital elegir el paquete correcto no solo para cubrir las aplicaciones actuales sino que también permita implementar características adicionales que pudieran presentarse una vez que se esté trabajando en un proyecto. Otro factor importante y retador durante un proyecto es la presión que existe para disminuir el tiempo de desarrollo y costo asociado con el desarrollo y despliegado del sistema (Balmaseda 2007).

Para elegir un paquete específico SCADA, es necesario tener en cuenta los siguientes cinco aspectos:

1- El paquete SCADA se integra con hardware nuevo y existente: Con frecuencia se cuenta ya con una infraestructura existente como lo son los controladores lógicos programables (PLC) así como unidades de Terminal remota (RTU) a los cuales requiere agregar nuevos dispositivos para automatizar su sistema de automatización. El paquete SCADA que se elija debe ser capaz de comunicarse con el hardware existente así como con el hardware más actualizado, como lo son los controladores de automatización programable (PAC). Mientras que OLE (*Object Linking and Embeddin*) para control de procesos (OPC) se ha convertido en el estándar de la industria, para comunicarse con dispositivos de automatización, existen aún muchos sensores e instrumentos que requieren sus propios dispositivos. La habilidad para escribir sus propios dispositivos dentro del ambiente SCADA se torna un factor clave para poder utilizar hardware existente con el nuevo.

Adicional a la funcionalidad OPC, Modbus es otro protocolo industrial popular utilizado con frecuencia para tener acceso a registros en RTU y sensores. Los TCP/IP y UDP (Protocolo del datagrama del usuario) son algunos de los otros protocolos de bajo nivel que se pueden utilizar para comunicarse con hardware diferente. Con un sistema SCADA abierto en su totalidad, se puede realizar la comunicación con cualquier hardware existente mientras se agrega el hardware más actual a medida que progresa el sistema abierto conectando el hardware existente con el nuevo (figura 1.4).

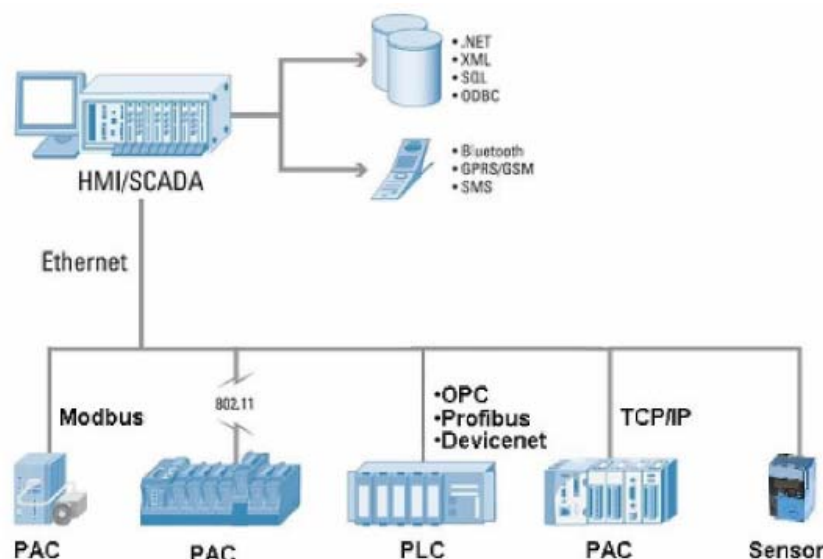


Figura 1.4 Arquitectura típica del sistema HMI/SCADA abierto conectando el hardware existente con el nuevo.

- 2- Costos totales a incurrir después de haber desplegado completamente el sistema:** La mayoría de los vendedores SCADA cobran en base al número de variables (entradas/salidas) que utiliza mientras desarrolla el sistema SCADA. Una aplicación de buen tamaño fácilmente utiliza unos miles de variables. Con los vendedores SCADA cobrando excesivamente por cada variable utilizada, se desarrolla la aplicación revisando el número de variables utilizadas en cada momento. Si llegara a alcanzar el límite, habría que obtener autorización y retardar el tiempo de desarrollo en la espera en vez de concentrarse en el desarrollo de la aplicación.
- 3- Flexibilidad del paquete SCADA al pretender agregar características avanzadas de análisis:** Mientras que los sistemas de automatización están diseñados para optimizar, al mejorar el tiempo de operación y precaución, a los sistemas SCADA se les necesita, con frecuencia, para desempeñar análisis avanzados y con una flexibilidad adicional para implementar características atípicas para sistemas SCADA tradicionales. Si el sistema SCADA es lo suficientemente flexible para realizar también tareas de lenguaje de programación para implementar características de configuración y desempeñar funciones de análisis avanzadas, entonces se reducirá enormemente el tiempo de desarrollo y los costos de entrenamiento asociados con el tiempo que le toma al programador aprender los diferentes paquetes necesarios para cubrir las sus especificaciones finales del sistema.
- 4- Permita programar tanto la lógica del controlador como la funcionalidad HMI/SCADA en el mismo ambiente:** Aunque sea preferible comprar la mayoría de su hardware y software de un solo vendedor. Con la excepción de la conveniencia del uso de un solo formato de compra, se puede adquirir equipo de diferentes vendedores siempre y cuando se cubran las especificaciones presentadas en los requerimientos. Sin embargo, programar tanto la lógica de control de hardware y el SCADA en el mismo ambiente, puede minimizar considerablemente el tiempo de desarrollo. También puede ahorrar en costos de entrenamiento debido a que no tiene que ser eficiente en dos ambientes diferentes.
- 5- Sistemas operativos donde se puede ejecutar la aplicación:** Todos los sistemas HMI/SCADA típicamente se ejecutan en los sistemas operativos Windows XP y ahora, Windows Vista. Sin embargo, con Windows CE y Windows XP ganando popularidad debido a sus menores costos y huellas de software más pequeños, fabricantes de

pantallas táctiles han desarrollado infinidad de productos para soportar estos sistemas operativos. Una gran opción para mantener los costos totales del sistema al mínimo es utilizar este software de bajo costo cada vez que sea posible. Para hacerlo, debe asegurarse de que el sistema SCADA pueda ejecutarse en diferentes sistemas operativos. Los SO Linux y Macintosh no son tan populares en este campo pero aún así deben ser considerados.

1.3.3 Comunicaciones en entornos industriales

Todo autómeta, salvo casos excepcionales, posee la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos (como una PC o un MODEM). Lo normal es que posea una E/S serie del tipo RS-232 / RS-422 / RS-485. A través de esta línea se pueden manejar todas las características internas del autómeta, incluido la programación del mismo y suele emplearse para monitorización del proceso en otro lugar separado (Hulsebos 2002; Distefano 2009).

La estandarización de protocolos en la industria es un tema en permanente discusión, donde intervienen problemas técnicos y comerciales. Cada protocolo esta optimizado para diferentes niveles de automatización y en consecuencia responden al interés de diferentes proveedores. Por ejemplo Fieldbus Foundation, Profibus y Hart, están diseñados para instrumentación de control de procesos. En cambio DevicetNect y SDC están optimizados para los mercados de los dispositivos discretos (*on-off*) de detectores, actuadores e interruptores, donde el tiempo de respuesta y repetibilidad son factores críticos. Por ejemplo en el mercado comercial de controladores de EE.UU. están los protocolos BACnet y LonMark (Distefano 2009).

Cada protocolo tiene un rango de aplicación, fuera del mismo disminuye el rendimiento y aumenta la relación costo/prestación. En muchos casos no se trata de protocolos que compitan entre sí, sino que se complementan, cuando se trata de una arquitectura de un sistema de comunicación de varios niveles como se muestra en la figura 1.5.

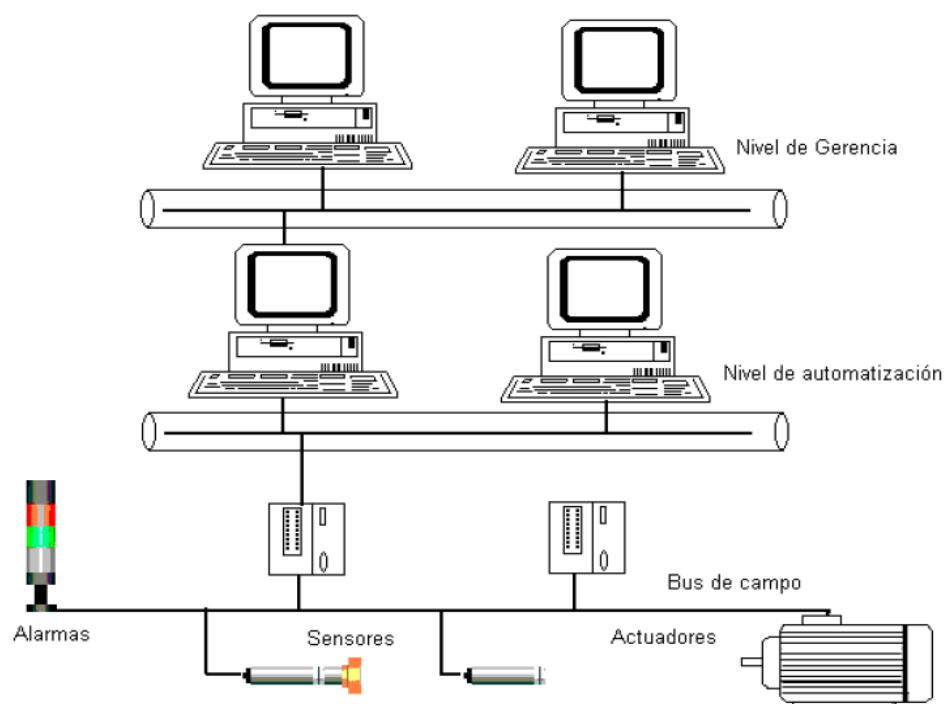


Figura 1.5 Sistema de comunicación de varios niveles.

HART (*Highway Addressable Remote Transducer*)

Es un protocolo de fines de 1980, que proporciona una señal digital que se superpone a la señal analógica de medición en 4-20 mA. Permite conectar varios dispositivos sobre un mismo cable o bus (Multidrop), alimentación de los dispositivos, mensajes de diagnósticos y acceso remoto de los datos del dispositivo, sin afectar la señal analógica de medición. La mayor limitación es su velocidad (1200 baudios), normalmente se pueden obtener 2 respuestas por segundo. La alimentación se suministra por el mismo cable y puede soportar hasta 15 dispositivos (Distefano 2009)

MODBUS (*Modicon Bus*)

Es un protocolo utilizado en comunicaciones vía módem-radio, para cubrir grandes distancia a los dispositivos de medición y control, como el caso de pozos de petróleo, gas y agua. Velocidad a 1200 baudios por radio y mayores por cable. Es un estándar de facto.

PROFIBUS (*Process Field Bus*)

Esta desarrollada a partir del modelo de comunicaciones de siete niveles IS/OSI (*International Standard /Open System Interconnet*).

FIELDBUS FOUNDATION (FF).

Esta desarrollada a partir del modelo de comunicaciones de siete niveles IS/OSI (*International Standard /Open System Interconnet*). Es un protocolo para redes industriales, específicamente para aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización de la fabricación. Provee bloques de función: IA, ID, OA, OD, PID, que pueden intercambiarse entre la estación maestra (*Host*) y los dispositivos de campo. La longitud máxima por mensaje es de 256 bytes, lo que permite transferir funciones de control con el concepto de objetos (Distefano 2009).

ETHERNET INDUSTRIAL

La aceptación mundial de Ethernet en los entornos industriales y de oficina ha generado el deseo de expandir su aplicación a la planta. Es posible que con los avances de Ethenet y la emergente tecnología Fast Ethenet se pueda aplicar también al manejo de aplicaciones críticas de control, actualmente implementadas con otras redes específicamente industriales existentes, como las que aquí se mencionan (Distefano 2009).

1.3.4 Nivel de comunicación (Redes de comunicaciones)

Las redes de comunicación pueden clasificarse en dos tipos generales:

- * Redes de Área Local (LAN - *Local Area Network*), reducida a un edificio y de alcance hasta 5 km..
- * Redes de Área Amplia (WAN - *Wide Area Network*), extendida a través de todo el planeta.

Los componentes básicos de las redes son:

- * Cable físico de comunicación y equipo electrónico de transmisión /recepción.
- * Programas o software de comunicaciones.

Estos componentes determinan la topología de la red atendiendo a su ubicación en la misma, se pueden apreciar diferentes configuraciones en la figura 1.6.

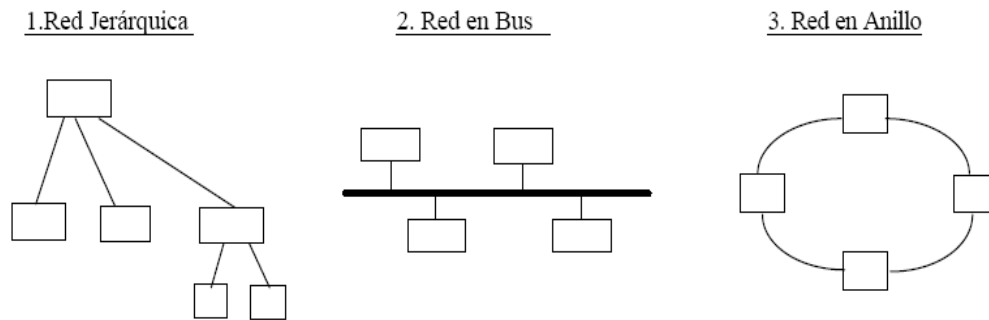


Figura 1.6 Sistema de comunicación de varios niveles.

- 1- Redes jerárquicas o en estrellas, donde uno de los equipos hace de host o nodo central y todos los demás son esclavos. Todas las comunicaciones pasan por dicho nodo central.
- 2- Redes en bus, donde cada equipo transmite cuando no hay presencia de señal en la red, utilizando una técnica de acceso probabilístico denominada CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection*), de aplicación en la red Internet.
- 3- Redes en anillo, donde un testigo (*token passing*) circula por la red. Cada equipo retiene el testigo mientras transmite, lo que le da características de acceso determinístico, garantizando un tiempo máximo de espera en el que una estación accede a la red, de aplicación en la industria.

1.3.5 Comunicaciones en la industria

Los protocolos de comunicaciones digitales en la industria siguen, en general, el modelo estándar de interconexión de sistemas abiertos OSI. Sobre esta base y las recomendaciones de ISA (*International Society for Measurement and Control*) y la IEC (*International Electrotechnic Committees*) se ha establecido normas al respecto, en particular la IEC 1158 en desarrollo aun (Distefano 2009).

No obstante, como resultado de estas normalizaciones se presenta la estructura principal de dos importantes buses de campo que compiten en el ámbito internacional: FF (*Foundation Fieldbus*) y PROFIBUS.

1.4 Eros versión 5.5.5.0

EROS es un Sistema de Supervisión y Control de Procesos Industriales. Realiza variadas funciones dentro del entorno de la dirección de los procesos. Facilita a los operadores, ingenieros, supervisores y directivos operar y dirigir cualquier proceso con más eficiencia y productividad. Puede trabajar acoplado con diversos sistemas de colección de datos y control, como elemento único o formando parte de una red industrial (EROS 2007).

EROS tiene en cuenta todas las características de las variables medidas y realiza un potente tratamiento estadístico y determinístico de las mismas con solo configurarlo. Su ambiente de trabajo es amistoso y la presentación agradable. Se configura de forma muy fácil (en línea), lo que permite que un usuario no especializado con orientaciones sencillas pueda configurarlo sin tener que depender de especialistas para ello, como sucede en la mayoría de los SCADA.

Está soportado en ambiente Windows95/98/NT/2000 lo cual permite utilizar todas las posibilidades de esta plataforma. Facilita el mando a distancia y el control desde la aplicación, que son herramientas que potencian el automatismo del proceso tecnológico.

Cumple con la plataforma multiusuario, el EROS es un Sistema distribuido en el cual sus diferentes componentes se interconectan a través de la Intranet Empresarial. Los componentes que cooperan entre si son: Estaciones de Medición, Estaciones de Visualización, Servidores de Reportes y Servidores de Tiempo. Estos componentes pueden estar en ordenadores separados vinculados a través de una Red Ethernet o en un mismo ordenador (EROS 2007). Puede trabajar minimizado lo que permite sostener el sistema aún cuando temporalmente se necesite hacer uso de otros programas, como Word, Excel, etc (EROS 2007).

Permite configurar de manera sencilla un número prácticamente ilimitado de variables. El EROS compite ventajosamente con otros sistemas similares en cuanto a la facilidad con que se configura, al ofrecer siempre funcionalidades por omisión. El sistema puede ser configurado por personal con un entrenamiento mínimo. Esto disminuye los costos de puesta en marcha y de operación. La configuración del sistema es en caliente, por lo que no necesita (a diferencia de otros SCADA) detener el proceso de supervisión para efectuar cambios en la configuración.

Los mímicos son configurables por el usuario y usan la herramienta OLE (Acrónimo de *Object Linking and Embedding*) es decir vinculación e incrustación de objetos. OLE es una tecnología de integración que puede utilizarse para compartir información gráfica entre aplicaciones).

El fichero histórico de variables contiene la información de un día completo lo que facilita el análisis de la operación de manera integral, además permite navegar de un día hacia otro con facilidad, pues los registros actual e histórico se encuentran ambos en la misma opción.

Cuenta con la opción “Recetas” que consiste en las recomendaciones que determinados especialistas pueden hacer partiendo de las situaciones que se presenten en el proceso.

Correo interno del sistema para enviar mensajes y/o documentos informativos a los usuarios de la RED que estén trabajando dentro del EROS.

Posibilidad de comunicarse con cualquier dispositivo de medición mediante manejadores (*drivers*) de comunicación u OPC cliente.

Gran ventaja para el análisis ya que permite el almacenamiento de la historia del proceso, sólo limitada por la capacidad del disco duro de la computadora que se utiliza para estos fines.

Nuevo Sistema de Reportes que capta los datos de las estaciones de medición y controla la emisión de reportes periódicos o progresivos. Este sistema permite configurar y emitir reportes periódicos de las variables del EROS. Utiliza toda la potencia de edición de Tablas y gráficos que posee el Microsoft Excel y lo combina con la posibilidad de insertar en celdas seleccionadas los valores que se necesiten de las variables del EROS. En los reportes pueden aparecer tanto, valores puntuales como cálculos estadísticos en un determinado período, tales como valores medios en el intervalo de una hora, turno o día, desviación típica, valores máximos etc. Este sistema no se encuentra incluido dentro del EROS, si no que posee una licencia propia (EROS 2007).

EROS totalmente compatible con el WEB y con el Microsoft Office. La capa de Red permite integrar a los sistemas que están operando en diferentes máquinas, haciendo visibles para cualquier Sistema las variables situadas en ordenadores remotos. El sistema

usa un protocolo de Red múltiple que incluye TCP/IP, Canalizaciones con Nombre y otros, lo que facilita la conectividad en diferentes redes y entornos.

El Servidor de Tiempo permite la sincronización de todos los componentes en la red de forma tal que todos los eventos sean registrados en los mismos tiempos. EROS versión 5.0 contiene la experiencia acumulada durante más de 10 años en más de 40 plantas industriales (EROS 2007).

CAPÍTULO 2. SmartBIT VERSIÓN 2.0. BIORREACTOR DE 4ta GENERACIÓN

Para el desarrollo del SmartBIT, Biorreactor de 4ta Generación, se concibió un sistema modular que permitiera, por un lado, utilizar el sistema de inmersión temporal BIT desarrollado en el Centro de Bioplasmas con resultados demostrados a lo largo de años de investigación y, por otro, otorgarle valores adicionales que lo hicieran muy flexible y fácil de usar por cualquier personal, con conocimiento o no de la tecnología instalada (Balmaseda 2007).

El trabajo que se realizó, estuvo enfocado, en lo principal, hacia lograr independizar el proceso de programación del sistema, del investigador o productor. Para ello, intervienen dos factores fundamentales: la automatización (programación a bajo nivel) y el software de supervisión y control (programación de alto nivel).

2.1 Automatización

Existen diferentes sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) (Sousa 2007), todos basados en sistema de control (SC) y software SCADA/HMI funcionando sobre ordenadores para el control de procesos, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, instrumentos inteligentes, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. En la figura 2.1 se muestra el sistema que se propone para sustituir al SmartBIT versión 1.0.

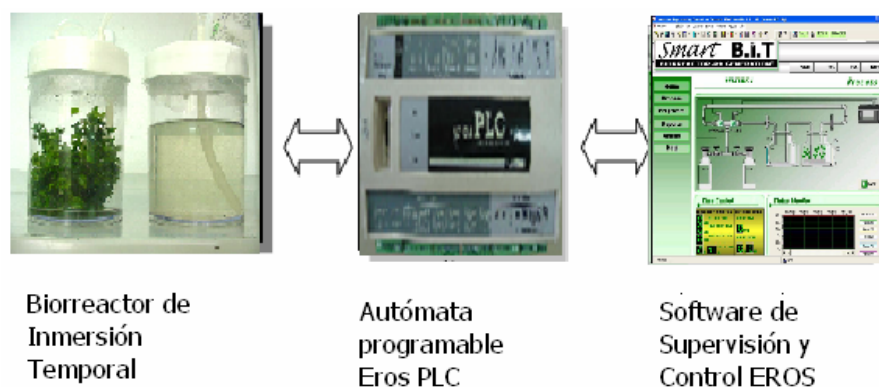


Figura 2.1 Configuración del SmartBIT versión 2.0.

Biorreactor: basado en el sistema tradicional de los biorreactores pertenecientes a las generaciones anteriores, sufre ligeras modificaciones en cuanto a la tecnología que se emplea para el manejo del medio líquido, el suministro de aire, la mezcla con dióxido de carbono (CO_2) (Kitaya, Shibuta et al. 1998; Niu, Kozai et al. 1998) y el tratamiento de la iluminación (Lees 1994; Jeong, Fujikawa et al. 1995; Kitaya, Shibuta et al. 1998), que son componentes importantes en el proceso y que se automatizan totalmente (Fujita and Kinase 1991; Sharon, Hartman et al. 1991).

Para lograr el control ambiental en el biorreactor (Kirdmanee, Kitaya et al. 1995; Kosai, Kitaya et al. 1995; Kosai, Kitaya et al. 1995; Kosai 1996), se agregaron sensores de presión que permiten comprobar si existen fallas de hermeticidad y la posterior toma de decisiones por parte del autómata sin que se afecte o detenga el proceso que se realiza.

Autómata: permite el empleo de casi cualquier autómata comercial que sea capaz de comunicarse con una computadora ya sea a través de los estándares RS-232, RS-485, y utilizando el protocolo Modbus. Permite la conexión de múltiples estaciones de trabajo y de expansiones, mediante una única conexión al sistema SCADA. Estas características aumentan la flexibilidad del sistema en cuanto a los autómatas que se pueden montar, series, fabricantes, entradas salidas (digitales, analógicas), expansiones, facilidad comercial, entre otras (Hopcroft, Motwani et al. 2000).

Software SCADA: este último módulo tiene un papel protagónico en el sistema, debido a que es el encargado de llevar a cabo todo el proceso de programación, reprogramación, supervisión y procesamiento de la información que fluye desde y hacia el sistema.

2.1.1 Diseño del sistema automatizado

En la figura 2.2, se pueden observar los elementos fundamentales que componen el sistema desarrollado. Se tiene, una computadora, donde corre el software Smart BIT Biorreactor de cuarta generación (Sistema SCADA), el que se utilizará para parametrizar el autómata, definir los modos de operación y las opciones que el investigador elija.

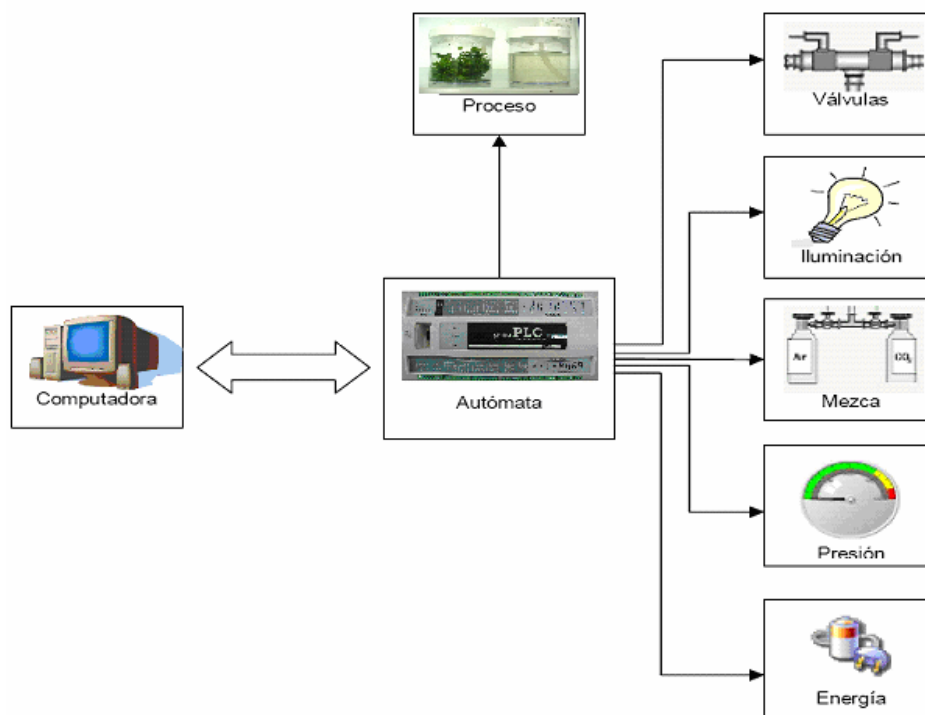


Figura 2.2 Configuración del SmartBIT versión 2.0.

La computadora se encuentra conectada al autómata, aunque éste puede trabajar de forma autónoma, y es el encargado de controlar directamente todos los elementos que están involucrados en el proceso. Maneja la apertura, el cierre de las válvulas de llenado y vaciado de los frascos, y controla la iluminación, a través de sus salidas.

Para prever las tupidiones en las mangueras (Cañal, Rodríguez et al. 1999), debido al desprendimiento de fragmentos de los explantes, se detecta la sobre presión y se intenta corregir automáticamente por parte del autómata. Este proceso genera advertencias y alarmas en dependencia del resultado de la gestión del PLC.

El chequeo de la energía eléctrica se realiza de manera constante. El sistema es capaz de detectar e informar fallos energéticos para que los investigadores o productores tomen las medidas necesarias.

La conexión con la computadora se realiza a través de una estación de trabajo y el resto de las estaciones se conectan a ésta mediante una red propia, utilizando el bus RS-485. Este bus permite que las estaciones de trabajo estén conectadas a una distancia máxima de 1200 m.

2.2 Autómata erosPLC. Programación de bajo nivel.

Las estaciones de trabajo juegan un papel primordial en el sistema, debido a que son las responsables de hacer funcionar al biorreactor, con o sin conexión con el sistema SCADA.

La estación de trabajo principal en este proceso es el erosPLC (figura 2.3), que es un autómata programable compacto de fabricación cubana.



Figura 2.3 Controlador programable compacto erosPLC.

El controlador programable erosPLC está realizado con un microcontrolador de la serie Z180 de ZILOG, destinado a funciones de control industrial de uso general y su unidad central está conformada por las siguientes partes:

- **Unidad lógica.** Formada por el microcontrolador, memorias y circuitos auxiliares para su operación.

- **Reloj tiempo.** Incorpora un reloj de tiempo real, con todas las funcionalidades para su uso.
- **Bus RS485.** Implementado para permitir la inclusión del minicontrolador dentro de una red industrial, en este caso está soportado el protocolo de comunicación MODBUS RTU.
- **RS232.** Permite la programación del minicontrolador mediante la herramienta **erosPG**, además puede ser utilizado como un puerto serie RS232 de uso general después de la programación.
- **Entradas discretas.** 16 entradas discretas opto-acopladas.
- **Salidas discretas.** 8 salidas discretas a relé.
- **Entradas analógicas.** 24 entradas analógicas.
- **Salida analógica.** 8 salidas analógicas.

Este dispositivo es completamente programable mediante los cinco lenguajes del estándar IEC 61131-3 desde el sistema de desarrollo de aplicaciones denominado erosPG versión 2.0.

2.2.1 Sistema erosPG

El erosPG es un sistema para desarrollar aplicaciones de control usando dos estándares únicos, la IEC 61131-3 que norma los lenguajes de programación y la IEC 61131-5 que norma la comunicación en controladores programables (PLC).

Está diseñado para el empleo con PLCs nacionales, atendiendo a los paradigmas de Automatización Abierta, y está disponible para el PLC NOVA, el minicontrolador programable MCP001, la interfaz EROS-HMI y el erosPLC compacto. Basa su funcionamiento en el empleo del producto ISaGRAF de la firma ICS Triplex (Canadá), un traductor/optimizador de los códigos generados por el ISaGRAF y una máquina virtual implementada con ANSI C desarrollada por el grupo EROS.

El sistema erosPG está integrado básicamente por cuatro elementos (figura 2.3):

- Banco de Trabajo ISaGRAF – ICS Triplex.

- Soporte adicionado – Grupo EROS.
- Máquina Virtual o Kernel – Grupo EROS.
- Traductor/Optimizador – Grupo EROS.

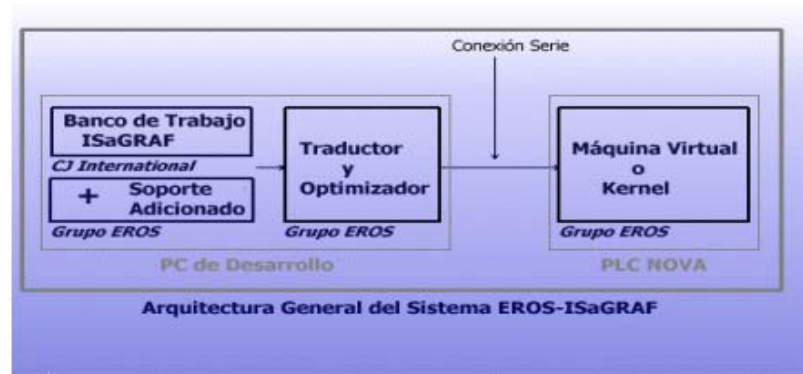


Figura 2.3 Arquitectura del erosPG.

- El Banco de Trabajo está ubicado en el sistema de desarrollo, permite crear los programas con 5 lenguajes del estándar IEC 6-1131-3. La segunda parte, el Soporte adicionado, se encuentra en el sistema de desarrollo. El Kernel se ubica en el PLC, su rol es ejecutar las aplicaciones generadas desde el Banco de Trabajo. El Traductor/Optimizador se halla, también, en el sistema de desarrollo. Su función es "traducir" los códigos C generados desde el **Banco de Trabajo** para su compatibilidad con el **Kernel** y el aumento del rendimiento sobre PLCs con procesadores de poco desempeño como son los MPUs Z18x, en la figura 2.4 se muestra un ejemplo de la utilización del sistema erosPG.

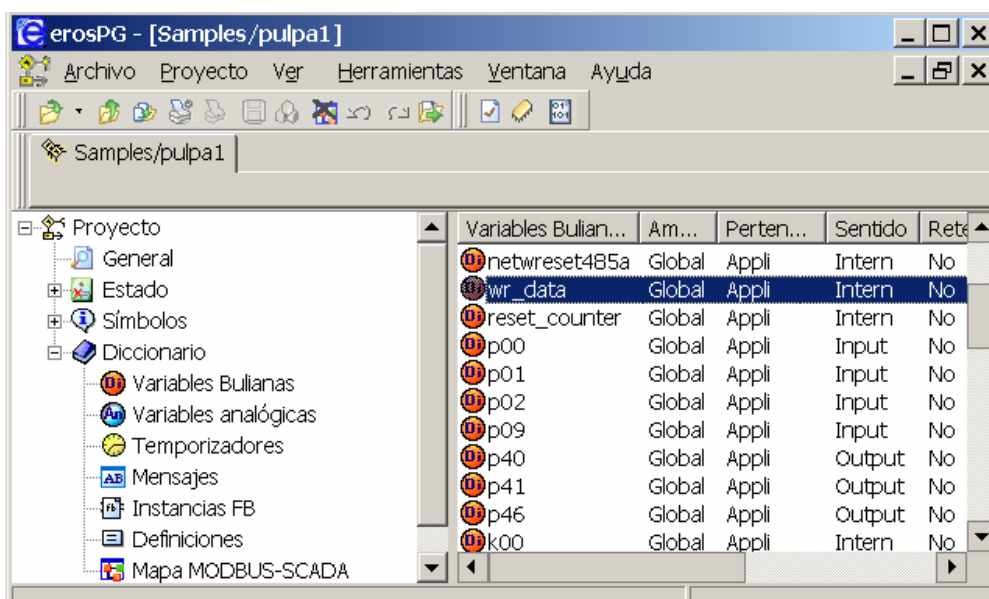


Figura 2.4 Sistema erosPG.

- Banco de Trabajo:** Soporta seis lenguajes de automatización: *Carta de Funciones Secuenciales (SFC)*, *Diagrama de Bloques Funcionales (FBD)*, *Diagrama de Escalera (LD)*, *Texto Estructurado (ST)*, *Lista de Instrucción (IL)* más *Diagrama de Flujo (FC)* y es usado para editar, verificar, compilar, simular y depurar los programas de aplicación. Los lenguajes mencionados con la excepción del FC cumplen con la metodología estándar IEC 6-1131-3. Un producto de la firma ICS Triplex (Canadá). Se encuentra localizado sobre la PC de desarrollo.
- Soporte adicionado:** Añade soporte fundamentalmente para incorporar el estándar IEC 61131-5 para la comunicación del PLC con sistemas SCADA. Provee una nueva familia de funciones y bloques funcionales que incluye, entre otras utilidades, el control de procesos. Este soporte ha sido desarrollado íntegramente por el Grupo EROS. Se ha adicionado a las funciones y bloques funcionales disponibles desde el banco de trabajo.
- Kernel:** Su rol es ejecutar las aplicaciones generadas desde el banco de trabajo en código ANSI C. Compuesta por un paquete de bibliotecas desarrolladas en C, que manejan el funcionamiento del PLC y sus subsistemas Kernel, y que contienen la implementación del conjunto de operadores, funciones y bloques funcionales

disponibles de acuerdo a las especificaciones IEC 6-1131-3 e IEC 6-1131-5. Se encuentra localizado sobre el PLC o plataforma de hardware. Es un producto del Grupo EROS. El código fuente del Kernel se encuentra en la carpeta LIB dentro del directorio de instalación del erosPG.

- **Traductor/Optimizador:** Este software constituye una herramienta valuable que complementa el desarrollo de las aplicaciones. Se encuentra localizado sobre la PC de desarrollo. Es un producto del Grupo EROS. Posibilita básicamente tres funciones:
 1. La traducción y optimización del código C generado por ISaGRAF para su compatibilidad con nuestra máquina virtual y un mejor rendimiento sobre arquitecturas de 8 bit como los procesadores Zilog Z8018x-Z8019x usados por nuestros equipos.
 2. La confección y exportación del mapa de la red en aplicaciones distribuidas y/o con conexión a sistemas SCADA.
 3. Descargar las aplicaciones en el PLC usando varios métodos.

2.2.2 Herramienta de programación ISaGRAF

ISaGRAF es un ambiente de programación, que provee los cinco lenguajes de programación especificados por el estándar IEC 61131-3 para la programación de PLCs, estos son: *Carta de Funciones Secuenciales SFC*, *Diagrama de Bloques Funcionales FBD*, *Diagrama de Escalera LD*, *Texto Estructurado ST*, *Lista de Instrucción IL* más *Diagrama de Flujo FC*. Las ventajas principales de IEC 61131-3 son:

- a) Compatibilidad con muchos proveedores.
- b) Gran capacidad para documentación y depuración.
- c) La habilidad de usar diferentes lenguajes en un programa para tomar las ventajas de cada uno.

La selección del lenguaje a ser usado para un desarrollo puede estar basada en la naturaleza de la aplicación, y viene determinado por las preferencias del programador:

- 1- La Carta de Funciones Secuenciales (SFC) es un lenguaje gráfico que provee estructura general y coordinación a las secuencias del programa. Soporta selecciones alternativas y secuencias paralelas.
- 2- Diagramas de Bloques Funcionales (FBD) es un lenguaje gráfico usado para construir procedimientos complejos a partir de una librería de funciones. Las librerías estándar, tales como de Matemática o Control, pueden ser combinadas con librerías de funciones personalizadas, tales como llamada de MODEM, interfase HART, controladores PID y Modbus Maestro para crear programas de aplicación de Diagramas de Bloques Funcionales. Las funciones personalizadas son similares a aquellas disponibles en el diagrama de escalera con las funciones del TelePace y TelePACE C.
- 3- El Diagrama de Escalera (LD) es un excelente lenguaje gráfico para Lógicas discretas. También tiene la habilidad de incluir instrucciones de Funciones de bloque dentro de una línea. Los contactos y bobinas del diagrama de escaleras pueden ser usados en el lenguaje Diagrama de Bloques Funcionales para control discreto o funciones.
- 4- Texto Estructurado (ST) es un lenguaje tipo Basic que es usado para procedimientos complejos o cálculos que no pueden ser fácilmente implementados utilizando lenguajes gráficos.
- 5- Lista de Instrucciones (IL) en un lenguaje de bajo nivel, similar a código de máquina. Es útil para pequeñas aplicaciones que requieran rápida ejecución para optimizar una aplicación.

Adicionalmente, el usuario tiene la capacidad de crear librerías estándar, escritas en C o en lenguajes IEC 61131-3, que pueden ser llamadas desde la aplicación. El programador puede escoger utilizar tantos lenguajes IEC como desee en su aplicación. Esta modularidad y capacidad de re-utilización del código de aplicación, combinado con interfases fáciles de usar, funciones poderosas de búsqueda, depuración en línea, gerencia de proyecto y generación de documentación, reducen el tiempo de diseño, desarrollo, pruebas, arranque y mantenimiento.

2.2.3 Descripción del algoritmo para el PLC

La siguiente descripción se trata como pseudo algoritmo para mayor comprensión, y será tratado para el primer experimento, por ser este la base principal, los demás experimentos son iguales que el primero.

Modo de trabajo automático (ciclo, llenado, inmersión y vaciado):

1. Comienzo del programa. Se verifica que cuando no halla ninguna entrada activa todas las marcas se encuentren en estado inicial.
2. Comienzo del ciclo en modo automático. Si se activa P00 (modo automático) y no está llenando (marca M00) ni vaciando (marca M01) de forma manual, comienza el funcionamiento del tiempo de ciclo del experimento 1, con tiempo programable de escritura T0 y tiempo de lectura T00. Cuando termina el conteo de tiempo de ciclo se activa la marca (A40) que es la responsable de comenzar a llenar de modo automático.
3. Si está activo el modo de funcionamiento automático del experimento 1 (P00) y no se detectan problemas de sobre presión por tupiciones, comienza a llenarse el frasco de cultivo (P40) y comienza el conteo del temporizador de llenado (T01) que puede ser programado mediante el registro de entrada T1.
4. Al terminar el conteo del tiempo de llenado se procede a la desactivación del llenado (P40) y se activa el temporizador de tiempo de inmersión (T02), el cual puede ser programado mediante el registro de entrada T2.
5. Al terminar el tiempo de inmersión se procede al vaciado del medio de cultivo (P41) y se cuenta el tiempo de vaciado (T03), el cual se puede programar mediante el registro de entrada T3.
6. Al terminar el tiempo de vaciado y si durante el mismo no ocurre ningún problema de sobre presión por tupiciones se da inicio al tiempo de ciclo del proceso, el cual comenzará todos estos pasos de nuevo.

Modo de trabajo manual (llenado y vaciado):

1. Cuando se desactiva el modo de funcionamiento automático se activa el modo de funcionamiento manual (desactivación de P00) y se puede proceder a llenar o vaciar el experimento 1 de forma manual.
2. El llenado manual ocurre con la activación de la entrada P01 que a su vez si no se encuentra en fase de soplado adicional el proceso y no se encuentra vaciando manual (M01 activa), es la encargada de llenar el frasco de medio (marca M00). El llenado (P40) dura el mismo tiempo que se le configura en el modo automático ya que es siempre el mismo tiempo de llenado tanto para automático como para manual. Al terminar el llenado se desactiva la marca M00.
3. El vaciado manual es condicionado por la activación de la entrada P02, la cual si no se encuentra en fase de soplado adicional el experimento y no se encuentra llenando manual (M00 activa), activa la marca M01 que es la encargada de vaciar el proceso (P41) el mismo tiempo que se le configura en el modo automático. Al terminar el vaciado se desactiva M01.

Ciclo de soplado adicional:

Si las plantas *in vitro* que se encuentran en el frasco de cultivo son leñosas o que por sus características de desarrollo requieren de un tiempo de aireado adicional para evitar la hiperhidratación de las mismas, según el criterio del investigador o productor, se necesita de un soplado adicional, el cual ocurriría siempre durante el tiempo de ciclo un breve tiempo el cual puede ser cambiado también según el criterio de especialistas sobre las necesidades del cultivo.

Problemas de tupiciones:

Uno de los problemas más complejos y que se manifiestan con mayor frecuencia es el de tupición de las mangueras en el momento en que ocurre el vaciado del medio líquido del frasco de cultivo. Su origen está dado por el desprendimiento de fragmentos de la masa vegetal. Este tipo de tupición provoca una sobre presión peligrosa que pudiera desacoplar las mangueras, lo cual rompería la hermeticidad del frasco y con ello la contaminación del

cultivo y su destrucción, con considerables pérdidas económicas. También puede haber pérdidas de presión por fugas, o estar tupida la manguera sin haber pérdidas de hermeticidad, lo cual impide el completamiento de los ciclos desde que surge la falla hasta que se detecta y afecta también el proceso de inmersión.

Por estas razones se desea que el programa del erosPLC, como controlador principal del proceso sea capaz de tomar decisiones. Durante el tiempo de vaciado se realiza el chequeo de la entrada conectada al sensor de presión, si al transcurrir un tercio del tiempo de vaciado se detecta problemas de sobre presión, entra en un ciclo de corrección de tupiciones y se da una advertencia, como se muestra en las figuras 2.5 y 2.6, se activan sucesivamente durante tres períodos llenar y vaciar, y al finalizar este ciclo se activa nuevamente el vaciado hasta el final. Si al ocurrir el vaciado después de corregir tupiciones se sigue detectando problemas de sobre presión, se genera una alarma.

La resolución autónoma de este y otros problemas que puedan surgir es de gran importancia ya que se evita que el investigador tenga que romper los ciclos de inmersión de un experimento o cultivo. De esta forma se evita que se abran los frascos para reparar los errores y se pierda la hermeticidad, trayendo consigo la contaminación del proceso.

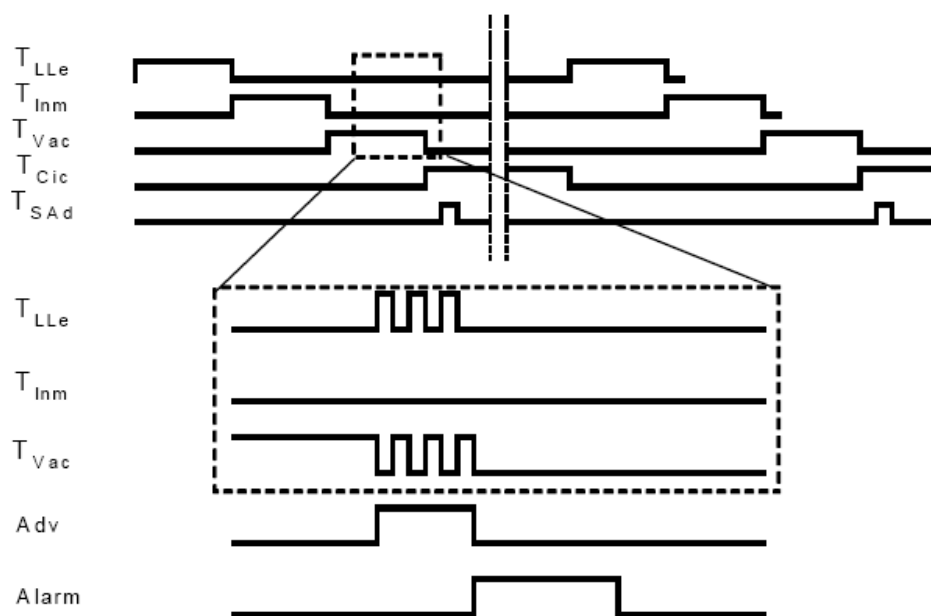


Figura 2.5 Respuesta del autómeta al problema de tupición de las mangueras.

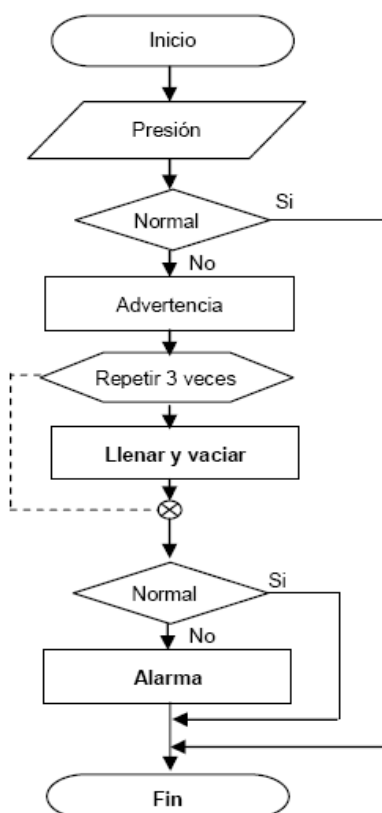


Figura 2.5 Diagrama en bloques del tratamiento de presión por tupición de las mangueras.

2.3 Configuración del Software de Supervisión y Control EROS

EROS es un Sistema de Supervisión y Control de Procesos Industriales que realiza variadas funciones dentro del entorno de dirección de los procesos, facilita a los supervisores y directivos operar y dirigir cualquier proceso con eficiencia y productividad. Para su correcto funcionamiento EROS tiene algunos requisitos de hardware y software sobre los cuales se va a correr este Sistema de Supervisión y Control, estos son:

- **Microprocesador:** Pentium III o superior (recomendado más de 1 GHz).
- **Memoria RAM:** 128 MB (256 MB o mayor recomendado).
- **Adaptador de vídeo:** SVGA.
- **Espacio Disco Duro:** Depende de la cantidad de información histórica que se quiera guardar en él. (mayor de 1GB recomendado).

- **Mouse:** PS/2, USB.
- **Torre de CD o Puertos USB:** Para la instalación.
- **Tarjeta de Red:** Si se va a trabajar conectado a una red de Eros.
- **Sistema Operativo:** Windows NT/2000/XP/Vista (2000/XP recomendado).
- **Procesamiento:** Ambiente monousuario y multiusuario.
- **Protocolo de red:** TCP/IP si se va a trabajar multiusuario.
- **Organizativo:** Debe usarse por el operador del proceso directamente o por un supervisor que tenga acción inmediata sobre el mismo, así como los directivos para la toma de decisiones.
- **Conocimientos:** Conocimientos elementales sobre Windows y adiestramiento específico sobre el Sistema de Supervisión y Control EROS.

2.3.1 Configuración de la comunicación erosPLC-EROS (Supervisor)

Para lograr la configuración del sistema de los SmartBIT en el EROS se debe tener derechos de administración. Luego se crean los usuarios del sistema y la jerarquía que va a tener cada uno de ellos en una escala 0-255, atendiendo al nivel de privilegio, y además una clave de invitado, esto es lo primero que debe hacerse para evitar accesos indeseados a lo ya diseñado. Después se configura la ELO (Estación Local de Operación) que en ella es donde se van a agregar después los dispositivos como PLC, se definen los tiempos de muestreo, y el tiempo en días que se desean almacenar en el disco ya sean de ficheros históricos como de estadísticas.

Luego se definen los dispositivos que se va a comunicar con el Sistema de Supervisión y Control EROS mediante una red con protocolo de comunicación Modbus, estos pueden ser por ejemplo PLC, tarjetas de adquisición de datos, controladores y otros dispositivos. Aquí es donde se configura el numero de estación, la velocidad de la comunicación (debe ser la misma en el PLC y en el supervisor para lograr la comunicación) y el puerto por donde se realizará la comunicación, como se muestra en la figura 2.6.

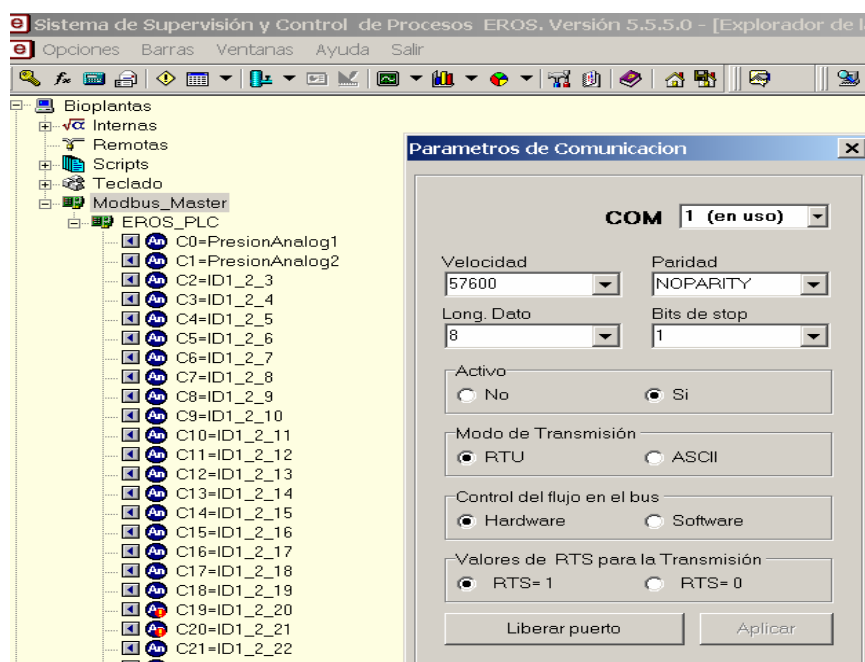


Figura 2.6 Configuración de la aplicación del EROS para la comunicación utilizando red Modbus.

En la figura 2.6 también se muestra como se configura el mapa de variables que puede ser exportado desde el PLC hacia un software de supervisión y control, o puede ser creado manualmente asignándole nombres a las variables y direcciones físicas. En este caso el erosPLC permite la opción de exportar el mapa Modbus, lo cual reduce considerablemente el tiempo de trabajo, tomando el mismo nombre y rango que se le configuró a las variables en el autómata a cuando se programa con erosPG, además toma la misma dirección física que ocupa cada una de estas variables dentro del autómata y que luego se accederá a ellas. Esta es una gran ventaja de el SmartBIT versión 2.0, que hace el sistema de control más flexible ante cambios que pudiera sufrir la programación del PLC en futuras versiones.

2.3.2 Configuración de los mímicos

Los mímicos son los dibujos que representan un área del proceso y en ellos se muestra el estado de los equipos, los valores de las variables, la posición de algún aditamento, imitaciones de instrumentos o animaciones de equipos con el objetivo de mostrar la información que se mide de una manera más rápida, sencilla y agradable a la vista del usuario. Los mímicos poseen dos modos de trabajo, estos son:

1. **Modo Diseño:** es el modo en el cual se puede realizar los cambios a la configuración.
2. **Modo Control:** es el status en que se muestra el mímico en tiempo de corrida, se refrescan automáticamente las variables y componentes según el tiempo previamente configurado.

Para el proceso de control de SmartBIT se utilizan imágenes del Biorreactor para dar una impresión real y de esta forma que sea más amigable la interfaz con el usuario. La pantalla principal se muestra en la figura 2.7, en ella se muestran tres experimentos, el modo de operación de cada uno de ellos que puede ser Manual o Automático y se muestran los dos estados, el ciclo de luz que es de 16 horas encendida y 8 horas apagada en el protocolo programado, también se muestra el estado de las alarmas que puede ser activo o inactivo.

Por ser los tres experimentos de igual configuración, pero con diferentes variables, lo que los hace independientes en cuanto a su funcionamiento (en el experimento 1 se puede cultivar piña y en el experimento 2 plantas leñosas o cualquier otro tipo de cultivo), y de igual forma en el experimento 3.

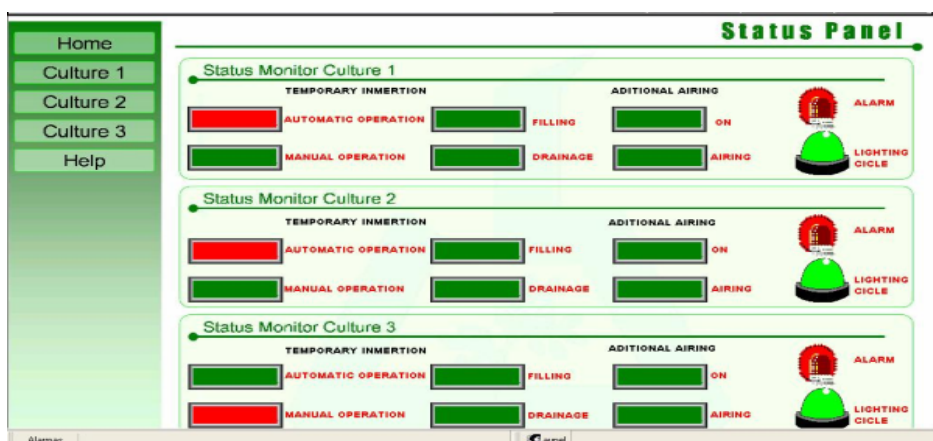


Figura 2.7 Mímico de la pantalla principal (Home).

Otro de los mímicos configurados es el del cultivo 1, que se muestra en la figura 2.8, en el mismo se muestra el estado de la válvula de control que puede ser llenando, vaciando o ambos inactivos, se observa el estado del ciclo de soplado adicional en que será activado en caso que el cultivo lo requiera según el criterio de los especialistas. En este mímico se ven los tiempos por los que transita el cultivo, estos pueden ser tiempo de llenado, que es el

cuando el medio está pasando a formar parte del frasco de cultivo para nutrir las vitro plantas, una vez terminado este comienza el tiempo de inmersión en el cual se alimentan las vitro plantas, cuando halla terminado este comienza el tiempo de vaciado que se extrae el medio líquido del frasco de cultivo y la desactivación de este tiempo activa el tiempo de ciclo que es el que demora el proceso en realizar nuevamente este ciclo.

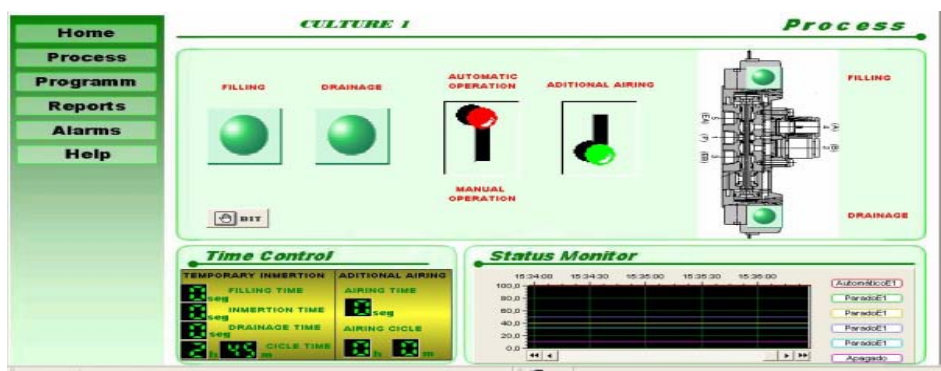


Figura 2.8 Mímico del estado del cultivo 1 (Culture 1).

El mímico de programación del cultivo 1 que se muestra en la figura 2.9 es donde se pueden introducir datos por parte de los especialistas que serán transferidos al erosPLC para el funcionamiento del ciclo del SmartBIT, para la introducción de los datos se debe tener un nivel de acceso para evitar que datos suministrados por personal no autorizado sean enviados al proceso, esto garantiza la seguridad del proceso y la disciplina tecnológica. En esta pantalla se muestran etiquetas de salida que son las encargadas de transmitir datos a una dirección de memoria específica del erosPLC definida como registro de entrada en la el mapa Modbus. Aquí se configuran los tiempos de llenado, inmersión, vaciado, ciclo, soplado adicional y ciclo de soplado adicional para leñosas.

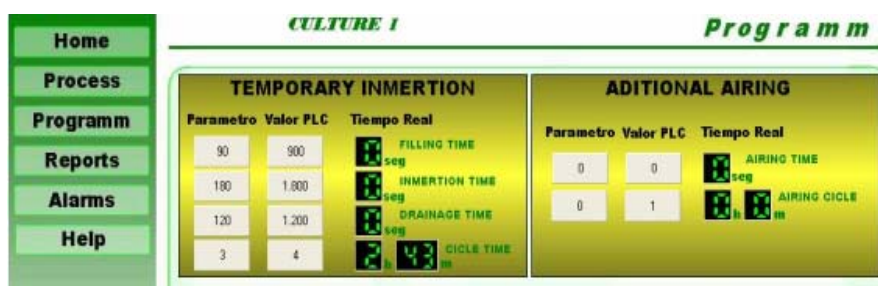


Figura 2.9 Mímico de programación del cultivo 1 (Programm Culture 1).

Un mímico muy importante configurado es el de proceso del cultivo 1 que se muestra en la figura 2.10, en el mismo se muestra un SmartBIT con sus acoples neumáticos, con el filtro micro bacteriano, los bancos de compresores, las válvulas de control, el erosPLC y las conexiones eléctricas. Esta pantalla les da a los investigadores biólogos la imagen real del proceso, en el tiempo de llenado y vaciado los indicadores de nivel suben o bajan según corresponda, lo cual ilustra mejor el proceso. También se pueden apreciar los tiempos de más interés con indicadores digitales que deben estar siempre a la vista de los especialistas.

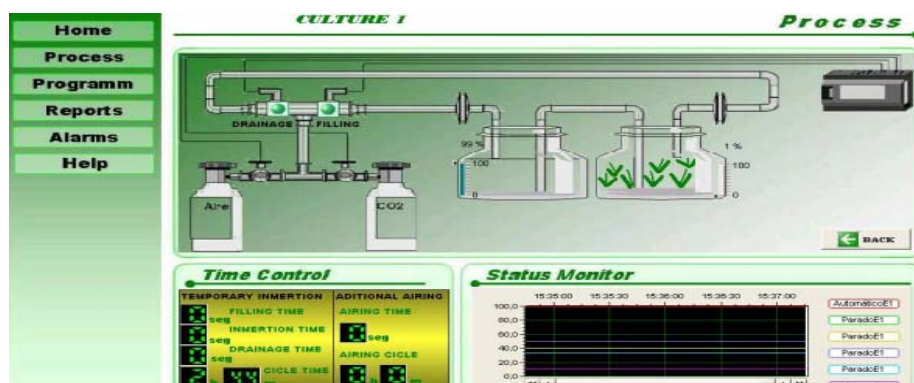


Figura 2.10 Mímico del proceso del cultivo 1 (Process Culture 1).

El mímico de reportes que se muestra en la figura 2.11 es el encargado de brindar información sobre las inmersiones que se han realizado ya sea de forma manual o automática, el total de inmersiones, la cantidad de veces que ha sido cambiado el modo de funcionamiento a modo manual o automático, así como una información sobre el tiempo transcurrido desde que inició el experimento y el tiempo restante que se configura en la programación por el especialista en el mímico correspondiente. Este mímico contribuye a lograr una verdadera disciplina tecnológica porque se ven todos los cambios ocurridos dentro de los modos de funcionamiento del sistema.

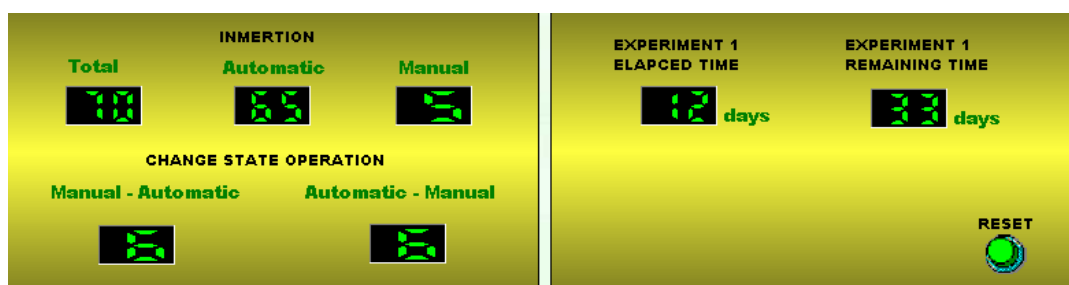


Figura 2.11 Mímico de reportes de inmersión (Reports).

2.3.3 Configuración de las alarmas y las recetas

Cuando una variable toma valores inoperables que pueden provocar averías o destruir los cultivos, el supervisor EROS presenta una línea roja en la barra de alarmas con nombre, hora, valor que tomó la variable, tipo de alarma y un sonido que puede ser desconectado o configurable, para que el operador se percate y atienda la alarma.

Las alarmas principales tienen un valor prohibitivo. Para el caso en que después de detectarse la tupidión y hacer el proceso de corrección de la misma, se siga detectando problemas de sobre presiones por esta causa, se da una alarma de este tipo. Otro caso es cuando las presiones a la entrada del experimento son muy altas que podría destruir los frascos o demasiado bajas que comprometa el ciclo de inmersión. Por de gran importancia el tratamiento de las presiones se configuran alarmas por tendencias y por limite inferior y superior para su tratamiento.

Las recetas son las posibles soluciones, órdenes o sugerencias que brinda el Sistema de Supervisión y Control EROS ante determinadas situaciones que se presentan en la operación, como se muestra en la figura 2.12, que son previamente programados en su configuración. Si se cumplen las condiciones definidas, aparece la receta, que se debe leer para una mejor utilización del sistema.

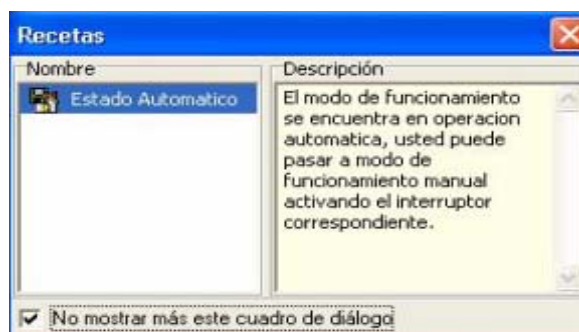


Figura 2.12 Receta de estado Automático.

El SmartBIT versión 2.0 tiene recetas para el modo Automático (figura 2.12), para el estado Manual, que dice como llevar el experimento a modo Automático si se desea. Las recetas de Llenado Manual y Vaciado manual que brindan información de cómo realizar el llenado o el vaciado de forma manual en caso que se encuentre trabajando en el modo Manual, que se realiza para cualquier experimento de corta duración.

2.3.4 Configuración de los registros históricos y los gráficos de perfiles y de pastel

El SmartBIT versión 2.0 brinda posibilidades de visualización de variables mediante un registrador que va mostrando el comportamiento y tendencia en tiempo real de hasta 8 variables al mismo tiempo (en un grupo), así como la historia de las mismas. Se puede registrar cualquier tipo de variables y configurar la cantidad de grupos que se desee. Por ejemplo todas las variables de entrada analógicas del cultivo 1 pueden conformar un grupo. En este caso se configuraron los grupos de variables para una mejor comprensión del personal que utiliza el sistema de la siguiente forma (solo se muestran gráficos históricos del Cultivo 1):

- Cultivo 1: se asocian todas las variables de entrada y de salida correspondientes al cultivo. Se muestra el gráfico histórico correspondiente en el Anexo I.
- Salidas digitales: se asocian todas las salidas digitales que se configuraron en el erosPLC. Se muestra el gráfico histórico correspondiente en el Anexo II.
- Peso de los frascos Cultivo 1: Se asocian en este grupo las variables de peso del frasco de medio y del frasco de cultivo.
- Presiones, peso y flujos: se asocian las presiones, pesos y los flujos que son las entradas analógicas para su monitoreo. Se muestra el gráfico histórico correspondiente en el Anexo III.

Otra forma muy amena de presentar la información es mediante los gráficos de perfiles y pastel. El valor de la variable se muestra en el cuadrado junto a cada barra o pastel, en el caso de perfiles el valor deseado se muestra en el gráfico. Para visualizar las variables en los gráficos también se crean grupos de variables, por ejemplo uno de los gráficos y su respectivo grupo es:

- Gráfico de inmersión (de barras): se configurara el grupo con las variables inmersiones automáticas, inmersiones manuales y totales, las cuales dan una idea más exacta desde el punto de vista cuantitativo. Se muestra el gráfico de pastel correspondiente en el Anexo IV.
- Gráfico de presiones (de pastel): se la asocian las presiones para que sean mostradas. Se muestra el gráfico de barras correspondiente en el Anexo V.

2.3.5 Configuración de los Scripts

Los Scripts son bloques de programa escritos mediante una técnica de programación, que se utilizan en diseño estructurado a partir de un lenguaje de alto nivel, el cual es familiar a los programadores de lenguajes de propósito general, principalmente se parece mucho al Pascal. Los Scripts se ejecutan dentro del sistema en cada ciclo de medición para realizar una tarea determinada, lo que permite enlazar variables y registros que son medidos en diferentes dispositivos e incluso en diferentes redes.

En SmartBIT versión 2.0 se programan Scripts para que los indicadores de llenado y vaciado suban o bajen según corresponda, para los contadores de inmersiones realizadas ya sea en modo manual, automático o el total de inmersiones, incrementen su valor o sean peseteados, para el conteo de cantidad de veces de cambio de modo de trabajo a manual y automático.

2.4 Convertidor de Norma EROS485

El convertidor de Norma EROS485 que se muestra en la figura 2.6 es un dispositivo para la conversión RS232G a RS485. Es de muy fácil configuración, solo a través de DIP Switch, permite comunicar diferentes equipos tales como tarjetas inteligentes, PLC, computadoras, Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, etc., eliminando las limitaciones de distancia que impone la norma RS232G. Utilizando el convertidor de Norma EROS485 se pueden alcanzar distancias de hasta 1200 m con una alta inmunidad a los ruidos.

Algunas de las características técnicas de este dispositivo son:

- **Rango de Temperatura:** -40 a +85 °C
- **Conexión RS-232:** Terminales con tornillos sobre la unidad: Tx, Rx, RTS (Para modo Manual), GND.
- **Conexión RS-485:** Terminales con tornillos sobre la unidad, un par trenzado para las señales A/B.
- **Máxima distancia:** 1200 m.
- **Tipo de aislamiento:** Óptico.

- **Máximo aislamiento:** 3000 V.
- **Velocidad BPS (modo AUTO):** 9600, 19200, 38400, 57600, 76800, 96000, 115200.
- **Puerto Serie:** RS232 Tx, Rx y GND, adicionalmente RTS (para modo Manual).
- **Modo:** Manual/Auto seleccionable mediante DIP-Switch.
- **Opción ECO:** Todos los datos transmitidos son recibidos, se habilita mediante jumper interno.
- **Protección:** Zener 6V2 a las líneas A/B.
- **Nodos:** 32 nodos sobre un único par trenzado.
- **Terminador:** Terminador pasivo habilitado usando un DIP-Switch externo.
- **Montaje Mecánico:** Sobre rail DIN.
- **Suministro de Energía:** 110/220 VAC con selección mediante interruptor externo.
- **Dimensiones (en mm):** Ancho = 48, Alto = 96, Profundidad = 42 (sin el soporte del rail).

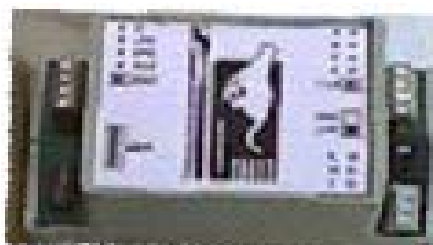


Figura 2.12 Convertidor de Norma EROS485.

El convertidor de Norma EROS485 se usa en esta configuración de control para poder alcanzar distancias de hasta 1200 m, que con el RS-232 no se pueden lograr en la comunicación del erosPLC con el Sistema de Supervisión y Control, que es un requisito indispensable debido a la distancia de la Estación Experimental y el Laboratorio de Célula y Tejidos que es donde se encuentra la mayoría de los especialistas biólogos. Además permite una alta inmunidad a los ruidos que pueden ser causados por causas ajenas al proceso.

CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SmartBIT VERSIÓN 2.0

3.1 Validación del SmartBIT versión 2.0

Para corroborar la efectividad de este sistema, se emplearon tres niveles de validación: experimentación en laboratorio, la implementación a nivel productivo y el criterio de los especialistas multidisciplinarios que trabajan con el SmartBIT o como especialistas en informática emiten su criterio.

Para realizar la validación del sistema se aplicó en un experimento a nivel de laboratorio, instalado en una maqueta a escala donde se aplicaron cambios al proceso tomando datos ficticios para probar la efectividad de la programación del erosPLC durante tiempos muy cortos, llevándolo manualmente a situaciones extremas, para poner a prueba su robustez y capacidad de toma de decisiones a partir del conjunto de reglas predefinidas.

En la segunda etapa se conectó a la computadora, la cual ya tenía el diseño del Software de Supervisión y Control EROS y se procedió a verificar la efectividad de lectura de los parámetros del erosPLC desde el mismo, así como la entrada de datos desde el supervisor hacia el autómatas. Se comprobó la efectividad del SCADA, así como la capacidad del sistema para reaccionar y adquirir datos en tiempo real.

Posteriormente se realizaron las pruebas a nivel productivo, donde se montó un estante con tres experimentos que se encuentran corriendo y siendo monitoreados por especialistas biólogos desde sus propios puestos de trabajo, todo el proceso de parametrización de los experimentos fue realizado por ellos mismos, lo que demuestra la amigable interfaz de usuario.

Estos experimentos se encuentran funcionando en modo automático y se han visto variaciones de las condiciones deseadas, como se muestra en la figura 3.1 y 3.2, hubo fallos en el banco de compresores y el sistema de control fue capaz de generar las alarmas pertinentes y mostrar el valor puntual de la presión en cada momento. En los registros históricos de variables, su respuesta es satisfactoria, lo que demuestra el correcto funcionamiento del SmartBIT versión 2.0. En el Anexo V se muestra el reporte de las alarmas que se activaron en el momento de los fallos neumáticos, con fecha, hora de activación y hora de desactivación de las alarmas.

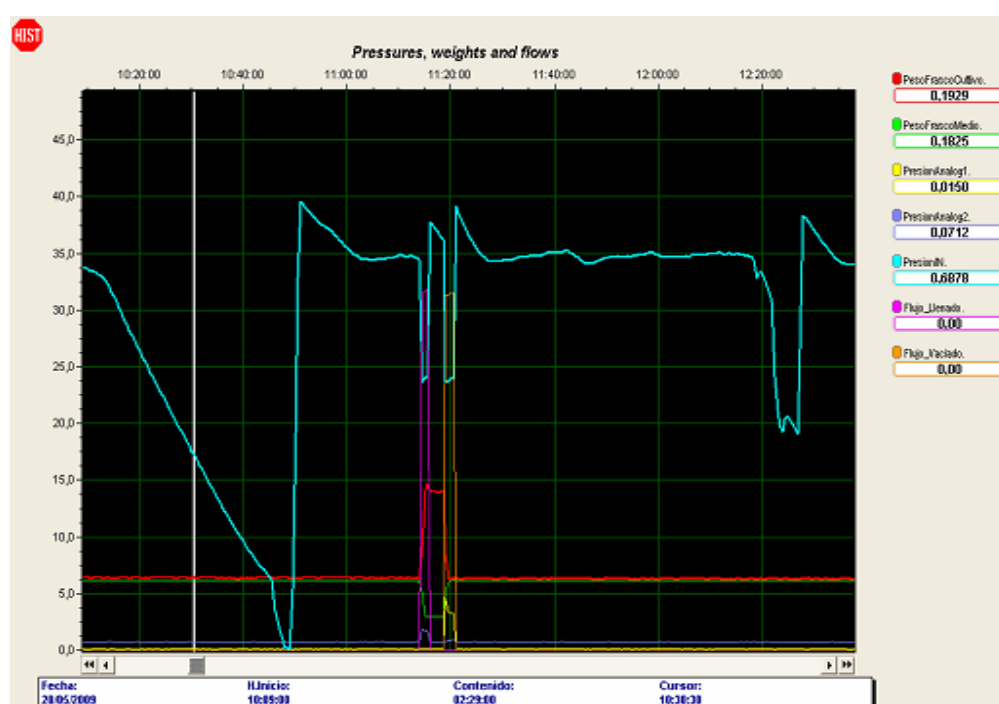


Figura 3.1 Gráfico del comportamiento histórico de las variables analógicas en momentos de inestabilidad neumática.

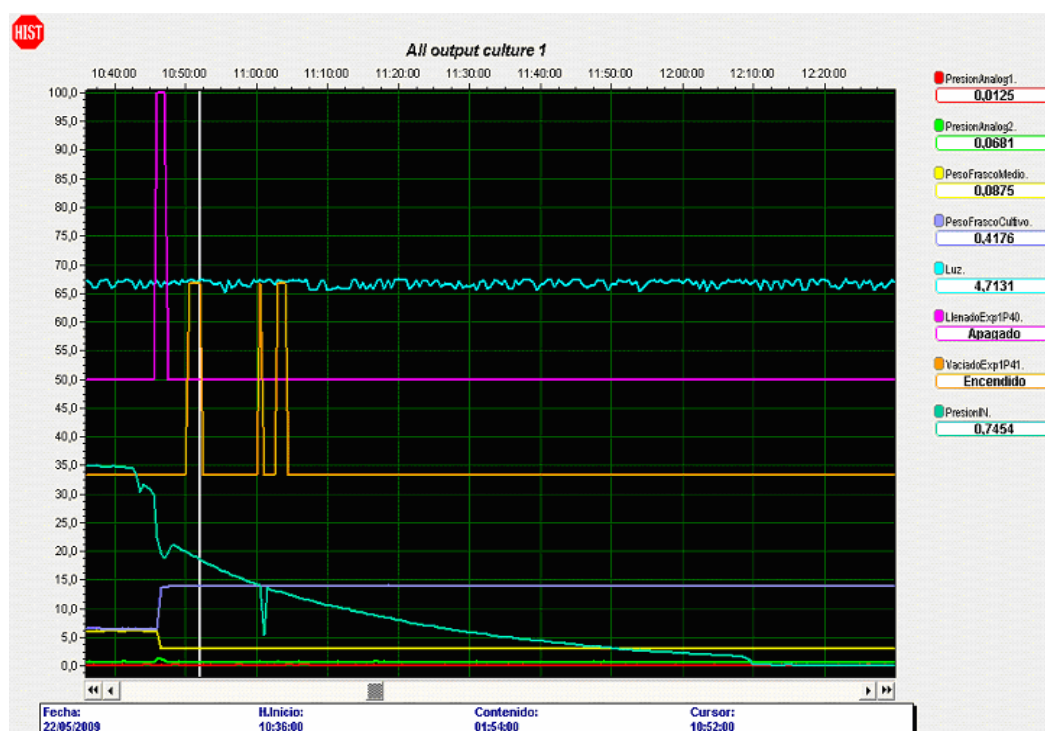


Figura 3.2 Gráfico del comportamiento histórico de las variables analógicas y digitales en momentos de inestabilidad neumática.

3.1.1 Criterio de especialistas

Los especialistas posteriormente accedieron a emitir sus criterios sobre el sistema, a partir de la experiencia adquirida durante su explotación. Para aplicar una encuesta (Anexo VI) fueron seleccionados quince investigadores biólogos de gran experiencia y prestigio en el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila, de ellos cuatro son Doctores, cinco Masters y un Técnico del Laboratorio de Cultivo de Células y Tejidos. Cada uno de estos trabajadores oscila entre 10 y 37 años de investigación y docencia y presentan numerosas publicaciones en revistas nacionales e internacionales, directamente relacionadas con el tema.

A todos se les facilitó una encuesta, donde debían reflejar sus datos personales y sus criterios respecto al SmartBIT versión 2.0. En función de poder determinar y cuantificar los criterios, se establecieron los indicadores a evaluar en una escala valorativa con cinco categorías: Muy adecuado, Adecuado, Correcto, Poco adecuado y No adecuado. Los resultados obtenidos aparecen tabulados a continuación (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Resultados de la encuesta aplicada a especialistas biólogos.

Indicadores para el análisis	Escala valorativa				
	Muy adecuado	Adecuado	Correcto	Poco adecuado	No adecuado
Conveniencia para la investigación	10	-	-	-	-
Conveniencia para la producción	10	-	-	-	-
Valor comercial	8	2	-	-	-
Utilidad práctica	10	-	-	-	-

Según el criterio emitido por los especialistas biólogos, se ha validado la propuesta como “Muy adecuado” para el desarrollo de la investigación, la producción de vitro plantas y la comercialización del mismo, superando algunas de las limitantes de SmartBIT 1.0 en cuanto a la licencia del Movicon X y su comercialización.

También se aplicó una encuesta (Anexo VII) con objetivos de evaluar la calidad del SmartBIT versión 2.0 a cuatro investigadores graduados de Informática (un Doctor, dos Masters y un técnico), con más de 6 años en la investigación y un especialista en Automática, también Master, con más de 12 años de experiencia laboral y vinculación a la investigación en control automático aplicado a procesos biológicos, los resultados de dicha encuesta aparecen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultados de la encuesta aplicada a especialistas en Informática y Automática.

Indicadores para el análisis	Escala valorativa				
	Muy adecuado	Adecuado	Correcto	Poco adecuado	No adecuado
Interfaz con el usuario	3	1	1	-	-
Conectividad	5	-	-	-	-
Análisis del diseño del paquete de software	4	1	-	-	-
Robustez y escalabilidad	5	-	-	-	-

Estandarización	5	-	-	-	-
Desempeño y eficiencia	3	2	-	-	-

Como se muestra en la tabla 3.2, todos los especialistas coincidieron con la calidad del software, los elementos sometidos a criterios de especialistas son evaluados como “Muy adecuado” desde el punto de vista técnico del sistema.

Conclusiones:

Las valoraciones realizadas por los especialistas (investigadores y técnicos de ambas disciplinas), califican al SmartBIT versión 2.0 como muy adecuado en sentido general y sus sugerencias permitieron enriquecer el proyecto. Algunas de las valoraciones emitidas por los especialistas son:

- Es dinámico y se puede actualizar con facilidad.
- Se ajusta bien al objetivo principal.
- Posee un diseño sencillo y amigable, de fácil entendimiento.
- Puede ser utilizado por investigadores y productores sin profundos conocimientos del tema.
- Constituye una novedad científica y práctica en el tema de los biorreactores, debido a que incluye nuevos elementos de automatización avanzada y permite desarrollar investigaciones sobre el estado del proceso.
- Es aplicable, incluso, para la enseñanza a distancia.
- Supera la versión anterior, ya que cumple con los mismos requisitos y presenta la posibilidad de incluir más experimentos y medir una mayor cantidad de variables analógicas.
- Es mejor desde el punto de vista comercial porque la licencia del Sistema de Supervisión y Control EROS es cubana y permite la posterior comercialización.

3.2 Estudio de factibilidad

El análisis de viabilidad de un proyecto es un asunto muy importante, ya que es donde se

define si el sistema a implementar es o no rentable, evitándose así la pérdida de tiempo y el gasto de recursos innecesariamente. Una aproximación iterativa en el desarrollo permite juzgar pronto la viabilidad del proyecto. Los proyectos que no son viables pueden detenerse en una fase temprana, ya que nadie disfruta trabajando en proyectos que parecen imposibles. En la fase inicial se realizaron toda una serie de pasos con vistas a establecer un criterio de viabilidad del proyecto, lo cual es esencial para asumirlo o no, estos pasos son:

- Se identificaron y eliminaron los riesgos críticos para la elaboración del sistema.
- Se analizó y diseñó una arquitectura candidata, a partir del desarrollo de un subconjunto clave de los requisitos, pasando por el modelado de los casos de uso.
- Se realizó una estimación inicial de coste, esfuerzo, calendario y calidad del producto con límites amplios.

La viabilidad y el análisis de riesgos están relacionados, ya que si el riesgo del proyecto es alto, la viabilidad de producir software de calidad se reduce, para lo cual se tuvo en cuenta la viabilidad económica, se realizó una valoración inicial de costos/beneficios, el cual significa una valoración de la inversión económica comparado con los beneficios que se obtendrán en la comercialización y utilidad del producto o sistema. También se tuvo en cuenta la viabilidad técnica, donde se evaluaron los principios técnicos del sistema y al mismo tiempo se recogió información adicional, tentativa, sobre el rendimiento, fiabilidad, características de mantenimiento y productividad.

Los resultados obtenidos a partir del análisis técnico realizado, permitieron determinar la continuación del proyecto, fueron eliminados los riesgos de que no funcionara, se hizo un estudio para lograr que el sistema tenga el rendimiento deseado y se realizó un diseño de infraestructura escalable y robusta tal que permitiera que las piezas (módulos) encajaran perfectamente unas con otras.

Los beneficios que ofrecerá el uso de este sistema, como medio de apoyo en la investigación y en la producción de vitro plantas, están en que por vez primera se cuenta con un sistema totalmente cubano, capaz de controlar todo el proceso de forma autónoma en cada estación (control distribuido); tomar decisiones por estantes montados, tales como: generar advertencias y/o alarmas, solucionar problemas en el funcionamiento del proceso,

decidir detener o reiniciar un proceso, limpiar las tuberías, detectar fallas de comunicación, energía, presión, etcétera; incluirá pre programaciones para varios cultivos que ya han sido experimentados tanto en el Centro de Bioplasmas, como reportados por la literatura; recolectará toda la información referente al estado del proceso, advertencias y alarmas, y las mediciones biológicas, realizadas al medio, que se incluyan en la investigación. Desde el punto de vista intangible, este sistema, permitirá ser monitoreado e incluso controlado vía Web y en dispositivos móviles y correrá sobre múltiples sistemas operativos. Es más amigable, simple de utilizar, rentable y confiable, es capaz de recolectar el estado completo del proceso y permite la incursión en la educación a distancia, facilitando el montaje de laboratorios virtuales.

3.2.1 Análisis de costos y beneficios

Para conformar SmartBIT, después de realizada una extensa y minuciosa búsqueda y comparación en el mercado, se utilizó para sustituir la tecnología de los PLC de LG el erosPLC, así como el Software de Supervisión y Control EROS versión 5.5.5.0 para la sustitución del Movicon X en la supervisión y control y adquisición de datos del proceso. Para la selección del erosPLC, se realizó el análisis que se muestra en la tabla 3.3, donde fueron comparados el Master-K 120S y erosPLC, en cuanto a sus características principales.

Tabla 3.3. Comparación entre Master K-120S y erosPLC.

Fabricantes	LG (Corea)	EROS (Cuba)
	Master K-120S	erosPLC Compacto
Precio del módulo principal (CUC)	181.50	800.00
Precio de un solo módulo analógico en CUC (de 4 entradas o 4 salidas solamente)	150.00	No necesita
Entradas analógicas en módulo principal	No tiene	24
Salidas analógicas en módulo principal	No tiene	8
Entradas digitales sin	12	16

expansiones		
Salidas digitales	8	8
Puertos	RS-232/485	RS-232/485
Red de comunicación industrial	Modbus y otros más	Modbus
Posibilidad de expansiones digitales	Si	Si
Posibilidad de expansiones analógicas	Si	Si
Software de programación	KGL-WIN (propietario del fabricante)	ISaGRAF (Estándar IEC 61131-3) mediante erosPG
Lenguajes de programación	IL, LD	IL, LD, FBD, SFC, ST
Alimentación	100-240VAC/24VDC	24VDC

La mayor diferencia desde el punto de vista económico se aprecia cuando se comparan la posibilidad de tener entradas y salidas analógicas en estos instrumentos. Por ejemplo, erosPLC Compacto tiene 32 entradas/salidas analógicas incluidas en su módulo principal, que para el desarrollo de las investigaciones son muy importantes, ya que los investigadores biólogos desean medir una gran cantidad de variables analógicas indispensables para el desarrollo de las vitro plantas, como luz, peso, flujo de aire y líquido, presiones, entre otras. Anteriormente para poder medir 24 variables de entrada y dar 8 salidas, ambas analógicas, se necesitaban 8 módulos de entradas/salidas analógicas del Master K-120S, con un precio de 150 CUC cada 4 entradas o 4 salidas, que multiplicados tienen un coste de 1350 CUC, si a esto se le suman 181.50 CUC que es el precio del módulo principal, quiere decir que para tener un equivalente al erosPLC con tecnología de LG se necesitan 1531.50 CUC, que es casi el doble del costo del erosPLC. También se tiene en cuenta que EROS es una empresa cubana que brinda servicios de capacitación tecnológica, garantía y post venta, lo cual es indispensable para mantener en funcionamiento cualquier sistema de automatización.

Para la selección del Sistema de Supervisión y Control EROS como reemplazante del Movicon X se tuvo en cuenta principalmente que es un software de producción nacional,

que cuenta con el aval de más de 10 años de explotación en más de 40 plantas industriales con probada eficiencia, su precio es menor, brinda la posibilidad de conectar más máquinas en red mediante la EROS NET, tiene la capacidad de supervisar una gran cantidad de variables y se distribuye en Cuba, por lo que es posible realizar la comercialización de aplicaciones de control realizadas sobre este software. En la tabla 3.4 aparece una comparación entre EROS y Movicon X.

Tabla 3.4. Comparación entre los Software de Supervisión y Control Movicon X y EROS.

Software de Supervisión y Control	Movicon X	EROS 5.5.5.0
Registro del producto	Versión Demo	EROS # 008-276-K1F2VG-HQHWCF-000 Usuario: Bioplantas
Costo	800 CUC cada equipo	6000 CUP primera licencia y 7 más a 4000 CUP
Cantidad de mímicos	96 Versión Demo	Más de 1000
Posibilidad de programación de Scripts	Si, Visual Basic para Automatización	Si, Pascal para automatización
Cantidad de variables conectadas	256 Versión Demo	Más de 4000
Posibilidad de integración de nuevo hardware	Si	Si
Posibilidad de análisis de variables	Si	Si

En la tabla 3.4 se comparan Movicon X y EROS en cuanto a las características principales que deben cumplir los Software de Supervisión y Control para su comercialización. En la misma se aprecia que el valor de la licencia de Movicon X con 256 variables ya sea de entrada o salida conectadas es 800 CUC, extremadamente alto y cuando se desee instalar en otro equipo de la misma entidad tiene el mismo costo. La licencia de EROS tiene un costo de 6 000 CUP la primera máquina y da la posibilidad de registrar 7 equipos más a la misma

entidad por 4 000 CUP cada uno, que lo hace más económico. EROS tiene la ventaja sobre Movicon X, por el mismo precio se pueden conectar una gran cantidad de variables ya sea de entrada o salida (más de 4 000), en cambio Movicon X vende la licencia teniendo en cuenta el número de variables a conectar. Además la apariencia de los mímicos puede ser de gran calidad tanto en EROS como en Movicon X, en la figura 3.3 se muestra a modo de comparación imágenes del mímico que se utiliza para mostrar el estado del medio líquido dentro de los recipientes de medio y cultivo.

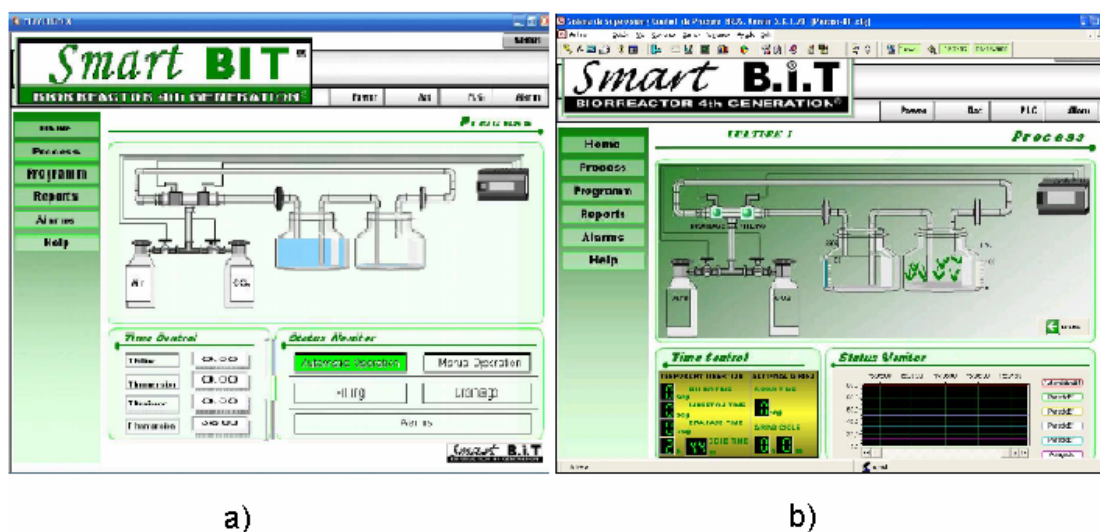


Figura 3.3 a) Configuración del Supervisor del proceso de BIT con Movicon X. b) Configuración del proceso de BIT con EROS.

CONCLUSIONES

- 1 Se logró la programación del autómatas cubano erosPLC, mediante la utilización del software de programación erosPG, que logró sustituir al PLC Master K-120S.
- 2 Se realizó la configuración del Software de Supervisión y Control EROS, de producción nacional, que cumple con los requisitos para la sustitución del Movicon X para el proceso de los BIT.
- 3 Se estableció la comunicación autómatas – supervisor, mediante RS-485, lográndose distancias de más de 1200 m.
- 4 Se realizó una versión del SmartBIT totalmente cubana, comercializable y con menor costo que la anterior, la cual satisface las necesidades del SCADA para el proceso de los BIT.

RECOMENDACIONES

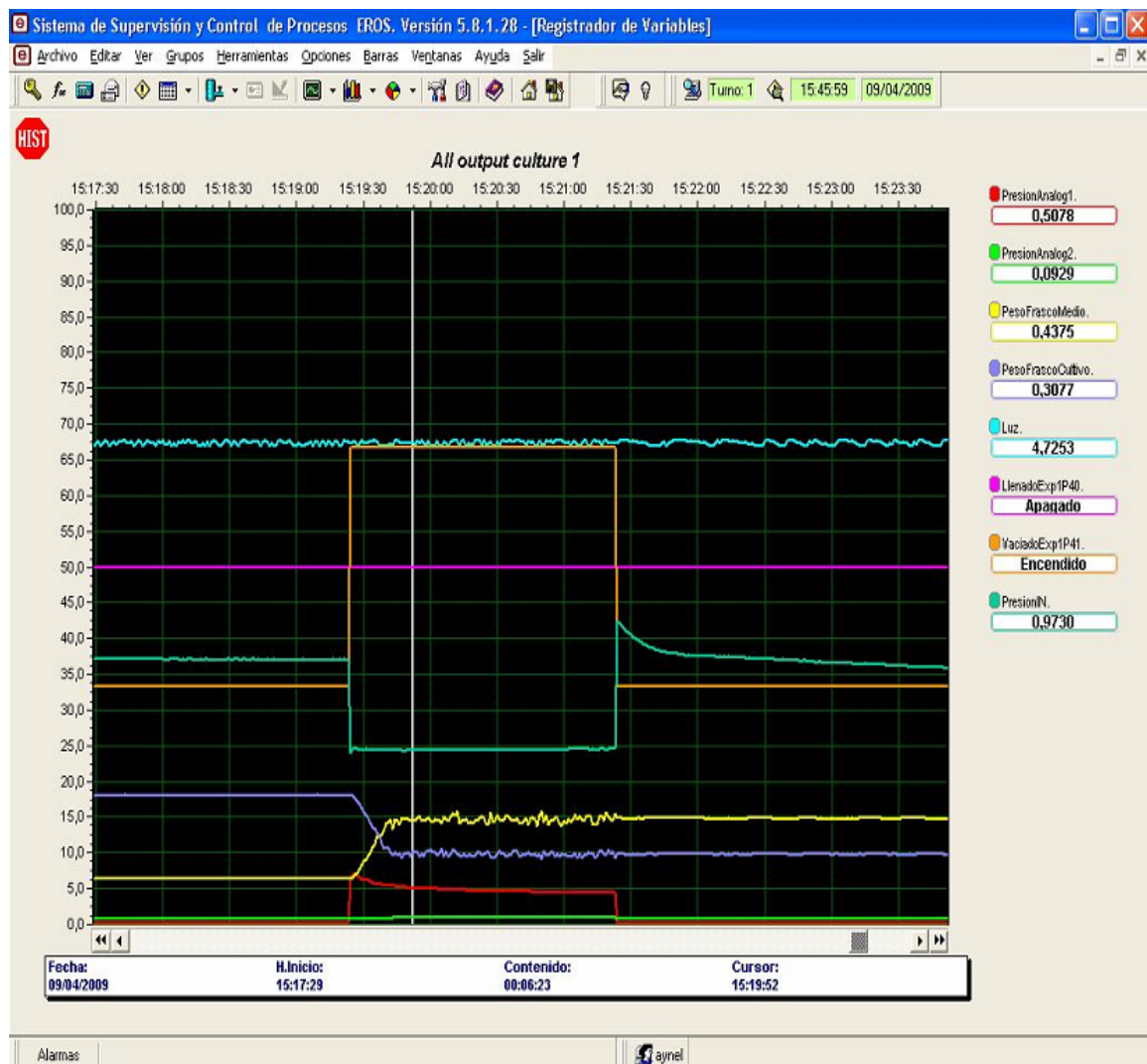
- 1 Que las mejoras realizadas al módulo de producción con SmartBIT versión 2.0 sean incluidas en el módulo de investigación.
- 2 Continuar trabajando para implementar las funciones de tiempo real realizadas en el Sistema de Supervisión y Control en el nivel de campo, o sea en el erosPLC.
- 3 Investigar sobre la posibilidad de conexión inalámbrica entre autómata-nivel supervisor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

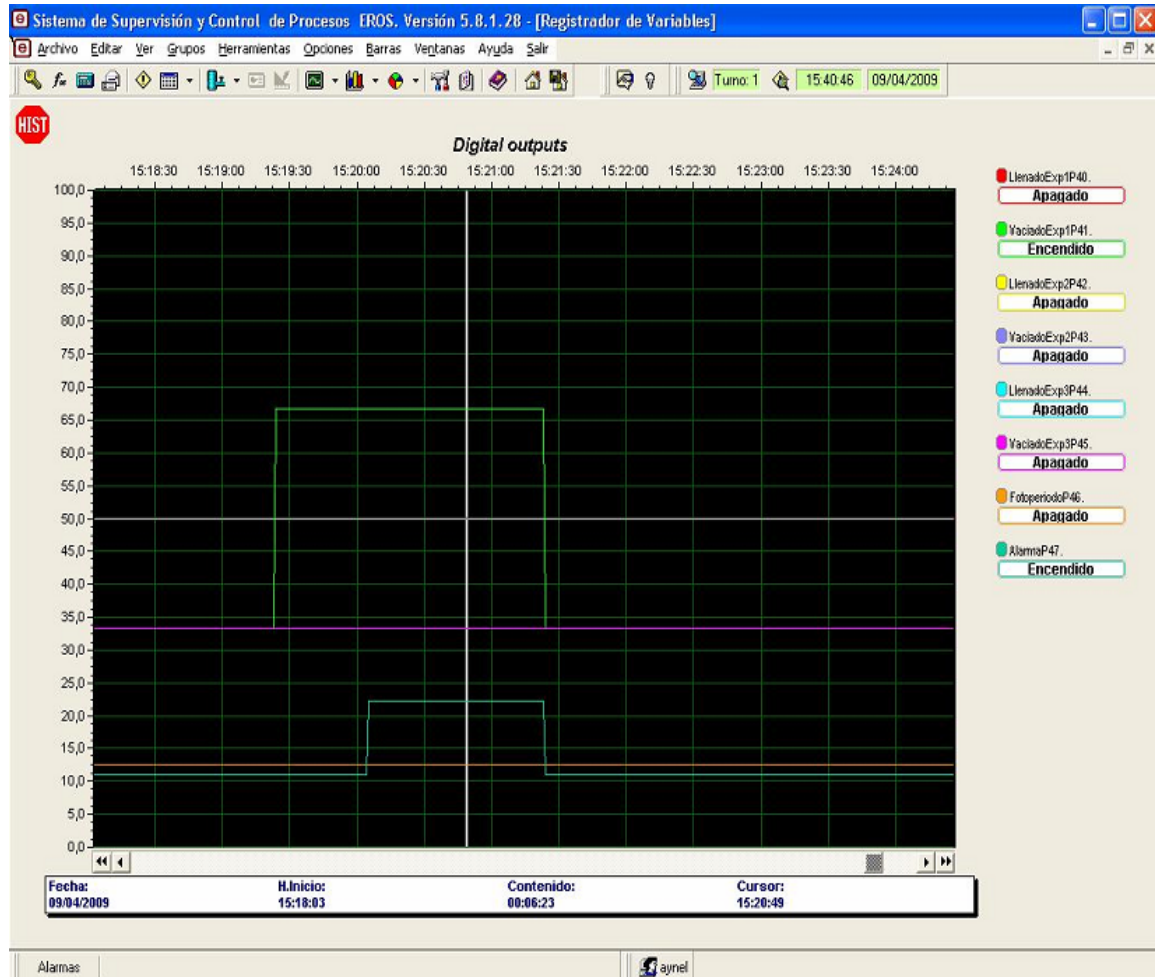
- Aitken-Crhisrie, J. and H. E. Davies (1988). Development of a semiautomated micropropagation system.
- Aitken-Crhisrie, J. and C. Jones (1987). Towards automation: radiata pine shoot hedges in vitro.
- Aitken-Crhisrie, J., T. Kozai, et al. (1995). "Automation and Environmental Control in Plant Tissue Culture." Kluwer Academic Publishers.
- Balmaseda, J. P. (2007). Smart Bit Biorreactor de 4ta Generación. Informática. Ciego de Avila, Universidad de Ciego de Avila.
- Balmaseda, J. P. (2007). Smart BIT. Biorreactor de 4^{ta} Generación. Ciego de Ávila, Universidad de Ciego de Ávila.
- Cañal, M. J., R. Rodriguez, et al. (1999). Fisiología del cultivo in vitro, Libro de Reportes cortos.
- Castro, D. and J. G. Olmedo (2000). Micropropagación del Eucalipto en el sistema de inmersión temporal.
- , Universidad Católica de Oriente, Universidad de Ciego de Ávila.
- Chávez, A. M. L. (2003). Micropropagación fotomixotrópica de Anthurium Lind., var. Tropical con nuevos reguladores de crecimiento en Biorreactores de Inmersión Temporal., Universidad de Ciego de Ávila. Cuba.
- Debergh, P. (1988). Improving mass propagation of in vitro plantlets.
- Distefano, M. (2009). Comunicaciones en entornos industriales. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.
- Dufour, L. and V. Guérinm (2003). "Low light intensity promotes growth, photosynthesis and yield of Anthurium andreanum Lin. in tropical conditions."
- EROS, G., Ed. (2007). Manual de Usuario Sistema de Supervisión y Control EROS. Moa.
- Escalona, M. (1999). Propagación de la piña (Ananas comosus L. Merr.) en sistemas de inmersión temporal. Ciego de Ávila, Universidad de Ciego de Ávila.
- Escalona, M. (2007). Conferencia magistral sobre Biorreactores de Inmersión Temporal. Congreso Internacional de Biotecnología Vegetal. BioVeg., Ciego de Ávila.

- Escalona, M., J. C. Lorenzo, et al. (1999). "Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) micropropagation in temporary immersion systems." Plant Cell Rep.
- Etienne, H. and M. Berthouly (2002). "Temporary immersion systems in plant micropropagation. ." Kluwer Academic Publishers.
- Fujita, N. and A. Kinase (1991). Scale-Up and automation in plant propagation.
- González, D. G. (2004). Estudio sobre el comportamiento de las condiciones ambientales y sus efectos en la micropropagación de plantas. Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. Santa Clara., Universidad Central de Las Villas.
- Harris, R. E. and E. B. Mason (1983). Two machines for in vitro propagation of plants in liquid media.
- Hopcroft, J., R. Motwani, et al. (2000). "Introduction to Automata Theory, Language and Computation." Addison-Wesley Publishing.
- Hulsebos, R. A. (2002) "Bus Comparison Matrix." **Volume**, DOI:
- Jeong, B., K. Fujikawa, et al. (1995). "Environmental control and fotoautotrophic micropropagation."
- Kirdmanee, C., Y. Kitaya, et al. (1995). "Environmental control in micropropagation." Chiba 3.
- Kitaya, Y., T. Shibuta, et al. (1998). "Effects of light intensity and air velocity on air temperature, water vapor pressure and CO₂ concentration inside a plant canopy under artificial lighting condition." Life support and Biosphere Science 5.
- Kosai, T. (1996). "Environmental control and its effects in transplant production under artificial light."
- Kosai, T., Y. Kitaya, et al. (1995). "Environmental measurement and control systems." Kluwer Academic Publishers.
- Kosai, T., Y. Kitaya, et al. (1995). "Environmental control in micropropagation."
- Lees, R. (1994). "Effects of the light environmental on photosynthesis and growth in vitro." Kluwer Academic Publishers.
- Murch, S. J., L. Chunzhao, et al. (2004) "In vitro culture and temporary immersion biorreactor production of *Crescentia cujete*." Kluwer Academic Publishers. **Volume**, DOI:
- Niu, G., T. Kozai, et al. (1998). "A system for measuring the in situ CO₂ exchange rates of in vitro plantlets." Science 33.
- Progea (2006). Progea Industrial Automation Software.
- Sharon, L., R. D. Hartman, et al. (1991). "Scale-Up and automation in plant propagation."
- Simonton, W., C. Robacker, et al. (1991). A programmable micropropagation apparatus using cycled medium.
- Sousa, C. d. (2007). "Sistemas de Control." 2009, from <http://www.monografias.com>.

- Teisson, C. and D. Alvard (1995). "A new concept of plant in vitro cultivation liquid medium: Temporary immersion." Kluwer Academic Publishers.: 105-110.
- Teisson, C. and D. Alvard (1999). In vitro production of potato microtubers in liquid medium using temporary immersion.
- Texeira, J. B. (2002). "Biorreactores." Biotecnología Ciencia y Desarrollo **24**.
- Tisserat, B. and C. E. Vandercook (1985). Development of an automated plant culture system.
- Valdivia, L. (2007). Identificación y Representación de las Principales Variables de la Etiquetadora KOSME de la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena". Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. Santa Clara, Universidad Central de Las Villas.

Anexo I Todas las variables del Cultivo 1

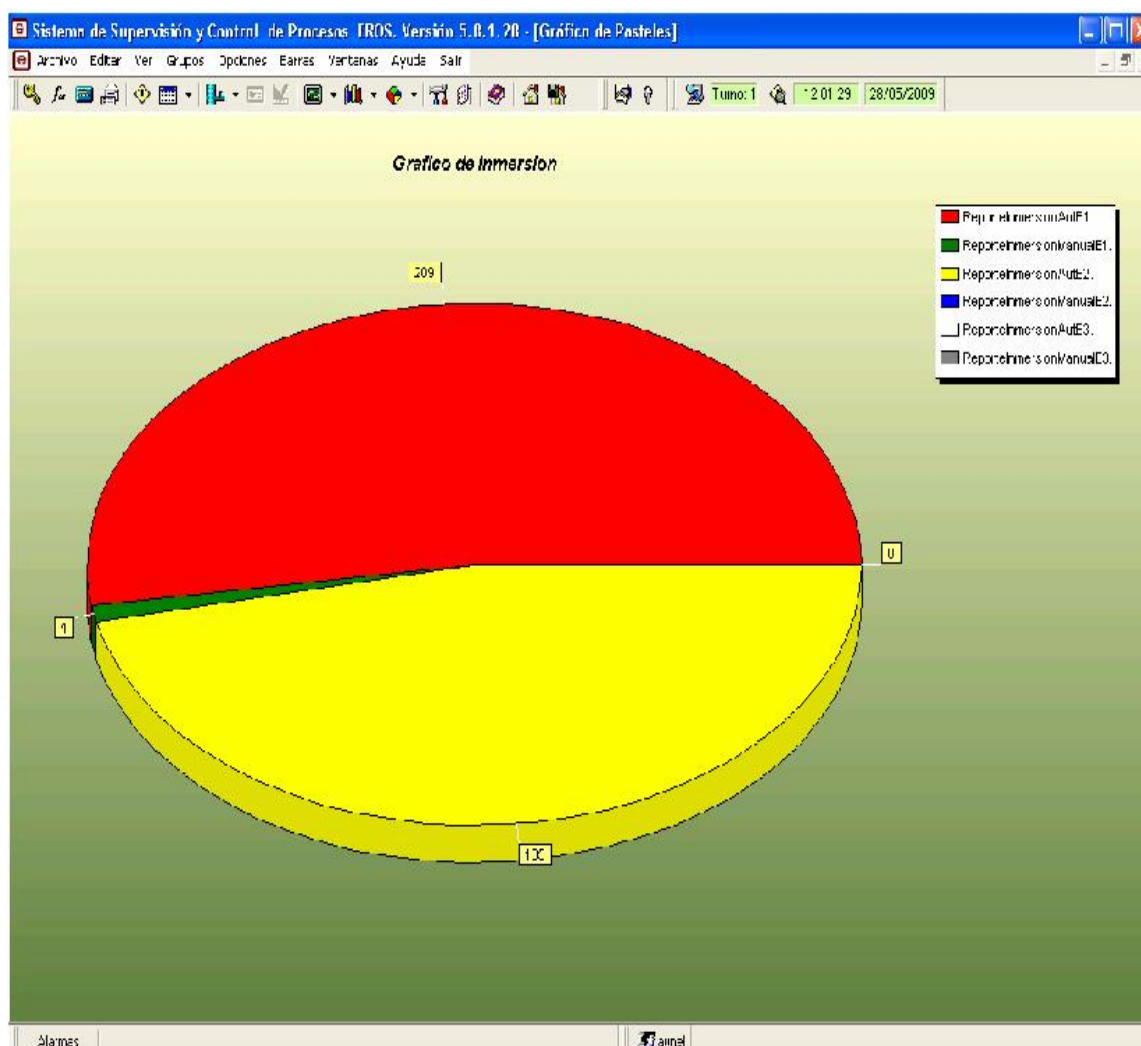
Anexo II Todas las variables del Cultivo 1



Anexo III Presiones, pesos y flujos



Anexo IV Gráfico de inmersiones del proceso



Anexo V Reporte de alarmas en períodos de tiempo en que ocurrió inestabilidad neumática

Etiqueta	Valor	Tipo de Alarma	F.Inicio	H.Inicio	H.Fin	F.Fin	H. Reconocida
792- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	11:16:42	08:41:12	22/05/2009	
791- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	11:16:37	08:41:12	22/05/2009	
790- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	11:16:36	08:41:12	22/05/2009	
789- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	11:15:53	08:41:12	22/05/2009	
788- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:39	08:41:12	22/05/2009	
787- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:27	08:41:12	22/05/2009	
786- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:26	08:41:12	22/05/2009	
785- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:23	08:41:12	22/05/2009	
784- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:20	08:41:12	22/05/2009	
783- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:15	08:41:12	22/05/2009	
782- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:13	08:41:12	22/05/2009	
781- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:55:12	08:41:12	22/05/2009	
780- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:50:36	08:41:12	22/05/2009	
779- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:41	08:41:12	22/05/2009	
778- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:41	08:41:12	22/05/2009	
777- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:40	08:41:12	22/05/2009	
776- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:39	08:41:12	22/05/2009	
775- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:38	08:41:12	22/05/2009	
774- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:36	08:41:12	22/05/2009	
773- PresionIN	0,75	< Rango Prohibitivo	20/05/2009	10:28:36	08:41:12	22/05/2009	
772- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	19/05/2009	22:54:53	08:41:12	22/05/2009	
771- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	18/05/2009	18:56:42	08:41:12	22/05/2009	
770- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	18/05/2009	18:56:41	08:41:12	22/05/2009	
769- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	18/05/2009	18:56:38	08:41:12	22/05/2009	
768- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	18/05/2009	18:56:37	08:41:12	22/05/2009	
767- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	18/05/2009	18:56:36	08:41:12	22/05/2009	
766- PresionIN	1,50	> Rango Prohibitivo	18/05/2009	18:56:34	08:41:12	22/05/2009	

Filtradas: 851 Cantidad Total: 851

Anexo VI Encuesta realizada a especialistas biólogos

Objetivo: Obtener criterios acerca del software SmartBIT versión 2.0 “Biorreactor de 4ta generación” en el Centro de Bioplantillas de la Universidad de Ciego de Ávila.

Después de haber visto y utilizado, usted, este software, se necesita su sincera opinión sobre los aspectos que aparecen adelante. Su opinión será de gran utilidad.

Datos generales:

Nombre y apellidos: _____.

Años de experiencia: _____.

Otros cargos que ocupa: _____.

Escala valorativa:

Valor	Indicador	Abreviatura
5	Muy adecuado	MA
4	Bastante adecuado	BA
3	Adecuado	A
2	Poco adecuado	PA
1	No adecuado	NA

Evalúe la siguiente tabla de acuerdo con la escala anterior

Aspectos a evaluar	MA	BA	A	PA	NA
1- Conveniencia para la investigación.					
2- Conveniencia para la producción.					
3- Valor comercial.					
4- Utilidad práctica.					

Se solicita que de sus valoraciones de este sistema de software:

¡Muchas Gracias!

Anexo VII Encuesta aplicada a especialistas en informática

Objetivo: Obtener criterios acerca del software SmartBIT versión 2.0 “Biorreactor de 4ta generación” en el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila.

Después de haber visto y utilizado, usted, este software, se necesita su sincera opinión sobre los aspectos que aparecen adelante. Su opinión será de gran utilidad.

Datos generales:

Nombre y apellidos: _____.

Años de experiencia: _____.

Otros cargos que ocupa: _____.

Escala valorativa:

Valor	Indicador	Abreviatura
5	Muy adecuado	MA
4	Bastante adecuado	BA
3	Adecuado	A
2	Poco adecuado	PA
1	No adecuado	NA

Evalúe la siguiente tabla de acuerdo con la escala anterior

Aspectos a evaluar	MA	BA	A	PA	NA
1- Interfaz con el usuario.					
2- Conectividad.					
3- Análisis y diseño del paquete de software.					

4- Robustez y escalabilidad.

5- Estandarización.

6- Desempeño y eficiencia.

Se solicita que de sus valoraciones de este sistema de software:

¡Muchas Gracias!