



DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO INTEGRADO PARA UN PROCESO DE DILUCION DE CERVEZA CON AGUA CARBONATADA

Danny Paul Brito Jordán, Gerardo Francisco Vera Brito, Msc. Cesar Martin Moreno.

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC).

Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Código Postal 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

dpbrito@espol.edu.ec, gfvera@espol.edu.ec, cmartin@espol.edu.ec

Resumen

El presente proyecto de graduación recopila todo el proceso metodológico que desarrollamos durante el diseño, planeamiento e implementación de un sistema de control y monitoreo integrado para el proceso de dilución de cerveza madura con agua carbonatada, para lo cual hacemos el uso de tecnologías de automatización industrial avanzadas tanto a nivel de control, comunicaciones e instrumentación, y estableciendo como objetivos principales el poder establecer controles automáticos con lazos de control eficientes y debidamente implementados; integrando herramientas que permitan tener un adecuado control y gestión del proceso, a más de la capacidad de almacenar registros de los parámetros físicos que entregan los instrumentos de campo; garantizar la flexibilidad de integración del sistema a cualquier arquitectura de red a mediano o largo plazo; y establecer mecanismos para asegurar la disponibilidad de los servicios del sistema de automatización y con ello evitar a la interrupción del proceso mejorando de esta forma su eficiencia operativa.

Palabras Claves: Dilución, arquitectura de red, parametrización local, disponibilidad de servicio.

Abstract

This grade project collects all the methodology that was developed during the design, planning and implementation of a control system and integrated monitoring the dilution of mature beer with carbonated water, for which we make use of advanced industrial automation control technologies, communication and instrumentation, and establishing the main objectives of automatic controls to establish ties of control with efficient and properly implemented, integrated tools to have adequate control and process management, and the ability to store records physical parameters that give the field instruments, to ensure flexibility of system integration to any network architecture, medium or long term and establish mechanisms to ensure availability of services automation system and thereby avoid the interruption process improving operational efficiency.

Keywords: Dilution, network architecture, local parameterization, service availability

1. Introducción

El presente proyecto contempla el uso de tecnologías de automatización industrial para el diseño, estructuración e implementación de un sistema de control y monitoreo integrado para el proceso de dilución de cerveza madura con agua carbonatada, el mismo que persigue la consecución de los siguientes objetivos:

- Establecer controles automáticos en el sistema mediante lazos de control eficientes

y debidamente implementados, que permitan tener un adecuado control y gestión del proceso.

Diseñar un sistema de muestreo y registro de los parámetros físicos que entregan los instrumentos de campo, de forma que permita:

- Al operador tener una idea clara de lo que está pasando en el proceso en tiempo real, facilitando su

"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral Guayaquil-Ecuador

entendimiento y comprensión del mismo.

- A las unidades de control de calidad disponer de información histórica del proceso para su valoración y análisis.
- A la unidad de mantenimiento establecer el estado de operación de los dispositivos para la programación de mantenimientos preventivos.
- A la unidad de producción medir la eficiencia operativa del proceso.
- Hacer el uso óptimo y adecuado de la instrumentación de campo, mediante la aplicación de las mejores prácticas para su instalación, calibración y control.

2. Contenido.

Capítulo 1: Descripción General Del Proceso De Dilución De Cerveza.

Desde un punto de vista simplificado cualquier proceso de dilución ejecuta mezclas entre una solución y un disolvente con el objetivo de reducir su densidad o concentración.

Para el caso específico de nuestro proyecto de graduación el proceso de dilución de la cerveza ejecuta mezclas entre la materia prima (cerveza madura), de aquí en más llamada solución, y agua carbonatada, de aquí en más llamada solvente.

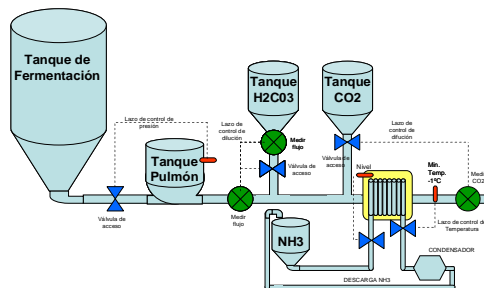


Figura 1.- flujograma para el proceso de dilución de cerveza.

Capítulo 2: Equipos de Control y Comunicación Necesarios Para el Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos.

En este capítulo realizaremos un repaso de todos los componentes que son necesarios considerar para el establecimiento de la estructura funcional del proceso de dilución de cerveza.

El objetivo de esta sección es definir:

- Que equipos de instrumentación, control y comunicación son necesarios.
- Definir características funcionales de los equipos a utilizar para la automatización del proceso.

El empleo de equipamiento de instrumentación, control y comunicación se pueden definir cómo la estructura sobre la cual se establecerán los mecanismos que controlará y gestionará un proceso específico; de allí que la mejor elección que se pueda establecer entre los diferentes componentes que formaran parte de esta estructura, asegurará la estabilidad y capacidad de crecimiento e incorporación de mecanismos adicionales de control y gestión.

Capítulo 3: Diseño del Sistema de Control.

Una correcta evaluación técnica del proceso definirá que tan autónomo será el sistema, que tipo de tecnología es la apropiada, que tipo de equipos debemos adquirir y de qué manera se deben conectar para armonizar el mismo. Además de los beneficios que se pueden obtener dándole un valor agregado al sistema que será la flexibilidad para poder integrar mas equipos o señales de campo cualquiera que sea su vía de interconexión.

Previo al diseño de una arquitectura de control industrial, existe una fase en la cual se establecen los requerimientos funcionales de un proceso, donde se puede definir qué tipo de equipos eléctricos y electrónicos deberán ser instalados y controlados para cumplir estándares ya definidos en una empresa.

Los pasos que se utilizaron en este proyecto para una correcta evaluación de requerimientos son:

- Conocimiento del proceso.
- Conocimiento de las fases que conforman el proceso en general.
- Identificación de riesgos y limitaciones del proceso.
- Conocimiento del sistema de control actual.
- Evaluación de presupuestos.
- Conocimiento de los objetivos y resultados esperados del nuevo sistema.
- Incorporación de una visión de mediano y largo plazo del proyecto para la futura integración de procesos adicionales.

"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral Guayaquil-Ecuador

- Transferencia de conocimiento en todos los niveles de operación y gerenciamiento del nuevo sistema de control.

El sistema supervisorio está instalado dentro de un cuarto de control la plataforma a utilizar es Intouch de Wonderware Invensys, esta establece comunicación con el PLC vía Ethernet y un anillo de fibra óptica con su respectiva redundancia.

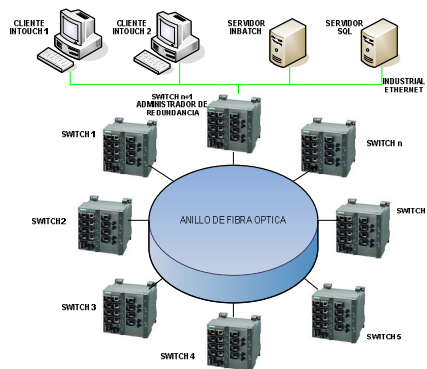


Figura 2.- Topología de red industrial Ethernet y de una anillo de fibra óptica.

El control estará gobernado por un PLC Siemens S7-400 que adquiere la información a través de una red RS 485 Profibus DP con velocidad de transmisión de 1,5 Mbps, acoplada a esta red están la periferia remota Siemens ET-200M IM-153 y la pantalla de operador Simatic Touch Panel MP377.

La periferia remota es aquella que recibe las señales de la instrumentación de campo por medio de tarjetas compactas acoplables a su Backplane ya sean señales discretas o analógicas, esta interfaz envía la información de campo a través de un conductor de cobre concéntrico de dos hilos.

La instrumentación de campo requerida deberá entregar información de los siguientes parámetros físicos:

- Flujo (Hl/hr).
- Presion (Bar).
- CO2 (Vol).
- PH.
- Temperatura (°C).
- Oxígeno (ppb).
- Extracto Original (°P).
- Volumen de Alcohol (°).
- Turbidez 90° (EBC).
- Turbidez 25° (EBC).
- Valvulas de Control (4-20 mA).

- Electroválvulas (0-110 Vac).
- Valvulas electro neumáticas de 2 vías (0-110 Vac).

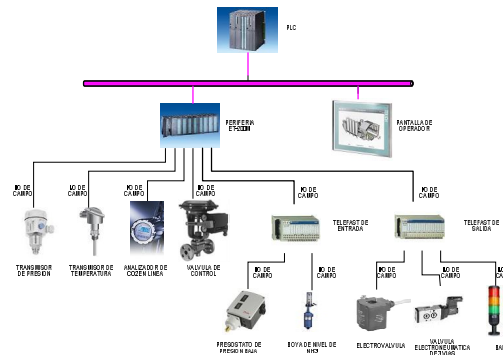


Figura 3. - Arquitectura de control implementada.

Capitulo 4: Configuración de Equipos.

El proceso de configuración y calibración de los equipos de fuerza, instrumentación y control se realiza empleando herramientas de software propietario, protocolos de comunicación o procedimientos manuales en el equipo, esta parametrización deberá responder a las exigencias del proceso y el medio donde estos operaran.

Para el caso de la instrumentación de campo empleamos herramientas de software como es en los transmisores de temperatura TMT 181 de Endress & Hauser, también se realizo la calibración del transmisor de presión SITRANS P Series III de Siemens mediante protocolo HART Communications, o mediante parametrización manual vía display en el mismo transmisor en el caso de los transmisores de flujo IMT25 de Foxboro.



Figura 4.- Flujometro IMT25 de Foxboro con transmisor e indicador local.



"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral
Guayaquil-Ecuador

Los equipos como variadores de velocidad debieron ser configurados y parametrizado vía software propietario mediante comunicación serial con el puerto USB del equipo.

El ajuste en las protecciones en los arrancadores de cada motores que intervienen en el proceso de dilución se realiza ajustando la corriente de trabajo (Ie) del motor que es aquella que es convertida por el equipo en trabajo útil. El procedimiento se realiza ajustando la máxima capacidad de corriente del guardamotor, relé térmico o dispositivo de protección del arrancador del motor, una vez operando la máquina de manera estable con carga se procede a realizar la medición de la corriente útil de trabajo en una de sus fases, obteniendo así la información esperada, para posteriormente setear la protección regulable de corriente con el valor obtenido en la prueba.

De igual forma para regular o calibrar las protecciones principales de cada panel es necesario conocer el consumo total cuando el sistema está operando para así proteger el sistema de sobrecargas o no interrumpir el proceso por subdimensionamiento de carga.

Capítulo 5: Puesta en Marcha y Resultados.

Los procedimientos implementados en la puesta en marcha del proyecto, tales como el pre comisionado, comisionado, calibración, sintonización y optimización se deberán ejecutar siguiendo protocolos establecidos hasta llegar a mostrar los resultados esperados que es parte de los objetivos del proyecto.

Pre-comisionado: Es un procedimiento que se debe seguir antes de conectar los instrumentos y motores a los dispositivos de arranque, protecciones y equipos de control. Consiste en un documento elaborado por la persona encargada de cablear y conectar los instrumentos hacia el tablero y los motores a sus respectivos arrancadores, es decir los cables deben estar bien identificados a que equipo o dispositivo de arranque pertenece y probado que no se encuentren en falla o cortocircuito, además de que se encuentren bien conectados en las borneras tal como indiquen los planos eléctricos.

Comisionado: Son las pruebas a seguirse para poder certificar la operación y puesta en marcha de un proyecto para garantizar el correcto funcionamiento del proceso. Estos criterios se ajustan

a las necesidades de la empresa y está compuesta por la siguiente fase:

- Arranque de paneles de fuerza y control.
- Comprobación de conectividad de componentes en la red.
- Arranque de la estación de supervisión (Clientes Intouch).
 - Instanciación del PLC vía Ethernet.
 - Configuración y comprobación del DAServer (Driver de Comunicación entre Intouch y el PLC).
 - Operatividad del sistema de control y adquisición de datos.
- Arranque de la estación HMI (Human Machine Interface).
- Comprobación de alarmas y eventos históricos en el sistema de supervisión y la HMI.
- Calibración de Instrumentos.
- Sintonización de Lazos de Control.

Sintonización de los lazos de control: Para sintonizar dichos lazos hacemos uso de las herramientas que el software de programación del controlador PLC STEP 7 nos brinda, como lo es su parametrización en tiempo real que nos permite observar la variable de proceso como se comporta con respecto a su SET POINT, permitiendo además variar los parámetros K_p (Constante proporcional), T_i (tiempo de acción integral) y T_d (tiempo de acción derivativa), con lo que podemos reducir de manera más óptima el error de estado estable.

Cuando empezamos a monitorear los parámetros del PID podemos incrementar poco a poco con el método de prueba y error los parámetros del PID, primero la constante proporcional (KP) la acción proporcional permite intervenir en la velocidad de respuesta del proceso. Cuanto más elevada sea la ganancia, más se acelerará la respuesta y más disminuirá el error estático (en proporcional puro), pero también más disminuirá la estabilidad. Es necesario encontrar un equilibrio entre velocidad y estabilidad.

La acción integral (TI) permite anular el error estático (desviación entre la medida y la consigna). Cuanto más elevada sea la acción integral (T_i pequeño), más se acelerará la respuesta, pero también más disminuirá la estabilidad. Asimismo, es

"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral Guayaquil-Ecuador

necesario encontrar un equilibrio entre velocidad y estabilidad.

La acción derivada (Td) es anticipadora. De hecho, ella añade un término que tiene en cuenta la velocidad de variación de la desviación, lo que permite anticiparse acelerando la respuesta del proceso cuando aumenta la desviación y frenando cuando disminuye la desviación. Cuanta más alta sea la acción derivada (Td grande), más se acelerará la respuesta. En ese momento también es necesario encontrar un equilibrio entre velocidad y estabilidad.

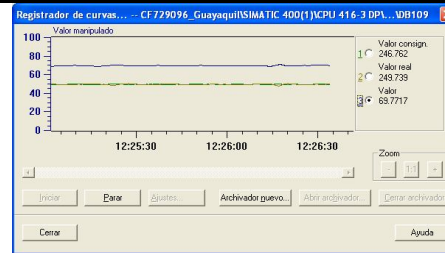


Figura 7.- Curvas que muestran la estabilización del controlador PID para la dilución.

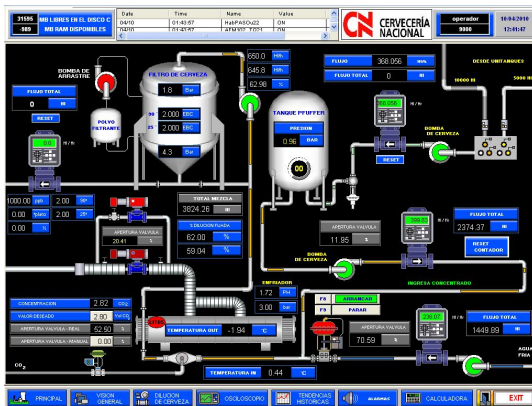


Figura 5.- Pantalla de visualización general del proceso de dilución de cerveza (SCADA).

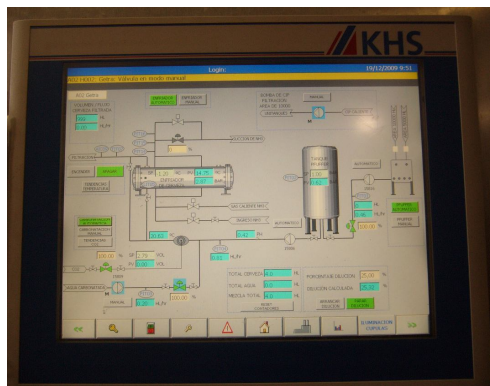


Figura 6.- Pantalla de operación del Blending.

3. Conclusiones y Recomendaciones.

Luego de concluido la implantación de nuestro proyecto para la automatización del proceso de dilución de cerveza, la empresa cuenta con un sistema de control mucho más eficiente y ordenado, que hace uso de las mejores prácticas de diseño, programación de herramientas de software e instalación y afinación de los diferentes instrumentos de medición y control.

Se concluye:

El sistema con lazos de control que trabajan eficientemente, eliminando la presencia de oscilaciones o falsos positivos, y minimizando la brecha de error entre el valor esperado y el valor real, devolviendo de esta forma eficacia al proceso como tal.

La distribución de los equipos en los paneles de arrancadores y del PLC, ofrecen mejor orientación al momento de realizar algún tipo de mantenimiento.

El sistema de supervisión y control de campo permite visualizar en tiempo real que sucede con el proceso en general y tomar acciones correctivas inmediatas, apoyando de esta forma las labores de pro actividad y reacción ante errores en el proceso.

El sistema de supervisión y monitoreo del cuarto de control permite operar de manera remota el proceso, teniendo además datos históricos y tendencias en tiempo real.

El sistema de supervisión y monitoreo Intouch de Wonderware Invensys se puede integrar a un sistema de reporteria automático Active Factory o con una interfaz Web Server para obtener reportes físicos del proceso.

El protocolo seguido para la ejecución de las pruebas funcionales fue satisfactorio, y garantizó una implementación sin errores y en los tiempos establecidos bajo el plan establecido.

La interoperabilidad de todos los equipos fue alcanzada pese a la diversidad de marcas, lo cuál

"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral Guayaquil-Ecuador

ratifica que las actividades de selección e integración fueron realizadas con éxito.

La programación optimizó el uso de recursos dado que esta fue basada en el uso de Bloques de programación.

Mejoramiento en el manejo e interacción con el proceso, en donde los operarios manifiestan que la interface es más completa, amigable y con mucha más información de utilidad para su trabajo.

Mejoramiento de la eficiencia del proceso de dilución de la cerveza cuantificado en el mejoramiento de la desviación entre el resultado esperado y resultado real. Esto se hace visible observando la desviación promedio antes y después de implementado nuestro proyecto. Para ello hemos tomado como ejemplos la fabricación del producto A y B con el siguiente detalle:

Producto A, al 64% de dilución, es decir una relación de 1HL de cerveza madura + 0,64HL de agua carbonatada.

Producto B, (al 38% de dilución, es decir una relación de 1HL de cerveza madura + 0,38HL de agua carbonatada).

Como se puede observar en los gráficos la desviación promedio del proceso antes de instrumentado nuestro proyecto es de +/- 1,01%.

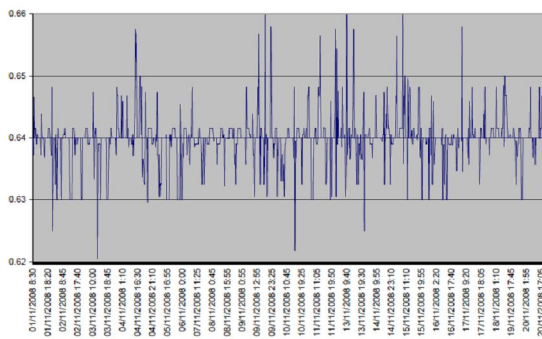


Fig. 8.- Desviación producto A – antes de implementado el proceso automatizado.

Mientras que la desviación promedio del proceso luego de implementado nuestro proyecto es de +/- 0,026%.

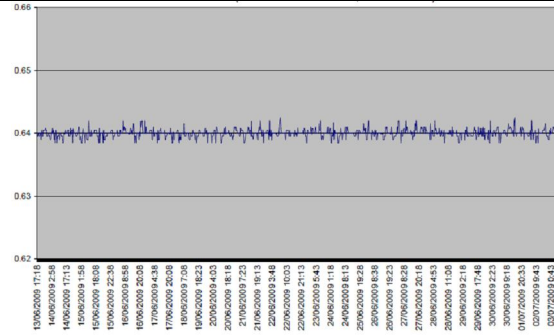


Fig. 9.- Desviación producto A – luego de implementado el proceso automatizado.

Apoyo al mejoramiento en las tasas de disponibilidad, y rapidez operacional del proceso de producción de la cerveza, como resultado del mejoramiento de la eficiencia del proceso de dilución de la cerveza. En el recuadro adjunto se muestra los valores corporativos de disponibilidad y rapidez operacional vs los valores obtenidos antes y después por la empresa.

	Corporativos	Empresa Antes	Empresa Después
Disponibilidad	84.30 %	82.30%	83.4%
Rapidez	99.10 %	97.60%	98.10%

Tabla 1.- Eficiencia Operativa.

Se recomienda:

Se recomienda dar mantenimiento y calibración a los instrumentos instalados y que intervienen en el proceso de dilución de cervezas.

Se deberá acoplar este proyecto a un sistema automático de reporteria mediante un enlace con base de datos, con el fin de poder obtener reportes tanto digitales como físicos de los parámetros de producción del proceso.

Se recomienda realizar mantenimiento periódico de 1 año al sistema de supervisorio del cuarto de controles Intouch V 10.0 de Wonderware Invensys, depurando sus archivos temporales ya que esto evitara que las PC que sirven como clientes del servidor se hagan más lentas y su disco duro reduzca su capacidad de almacenamiento.

Se recomienda la automatización del proceso de limpieza de las tuberías (CIP, Clean Industrial Process por sus siglas en ingles). Con lo cual se



"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral
Guayaquil-Ecuador

obtendrán beneficios asociados a mejorar la disponibilidad del servicio de dilución, y por ende a la mejorar aún más la eficiencia operativa.

Se recomienda la integración de herramientas de reporteria, basado en bases de datos industriales que permitan explotar y modelar los datos estadísticos de la forma en que el negocio lo demande.

Se recomienda la creación de un centro de administración y gestión unificado de todos los procesos/sub-procesos, de forma que se puedan establecer métricas más realidades asociadas a mejorar la productividad de la planta.

Se recomienda mejorar la instrumentación del tanque Puffer colocando un transmisor de nivel por presión diferencial, ya que al ser este un tanque cerrado con esto podríamos tener un mejor control sobre el nivel del tanque, que es necesario a su vez para asegurar el proceso de dilución y filtración.

Se recomienda endurecer el proceso de evaluación de proveedores de forma que estos cumplan con las certificaciones y normas, acorde con los estándares de la empresa.

4. Referencias

- [1] RICHARD C. DORF, Modern Control Systems, Addison Wesley Publishing, Second Edition, 1974.
- [2] DAVID BAILEY & EDWIN WRIGHT, Practical Scada for Industry, Elsevier, First Publication, 2003.
- [3] SIEMENS, Support Automation, <http://support.automation.siemens.com>, Consultado el 29 de Julio del 2009.
- [4] SCHNEIDER ELECTRIC, Automation and Control, <http://www.schneider-electric.com/sites/corporate/en/products-services/automation-control>, Consultado el 29 de Julio del 2009.
- [5] WONDERWARE, Solutions and Products, <http://global.wonderware.com>, Consultado el 29 de Julio del 2009.
- [6] WONDERWARE TRAINING, Intouch® HMI 9.5 Fundamentals of Application Development Course, Revision E, February 2006.
- [7] ENDRESS + HAUSER, Instruments, <http://www.endress.com>, Consultado el 11 de Agosto del 2009.
- [8] FOXBORO, Measurement and Instruments, <http://iom.invensys.com/EN/Pages/Foxboro.aspx>, Consultado el 11 de Agosto del 2009.
- [9] PARKER PRODUCTS, Refrigerator and air conditions, <http://www.parker.com>, Consultado el 15 de Agosto del 2009.
- [10] MYCOM MAYEKAWA, MYPRO CP-II, http://www.mayekawa.es/Descargas/MYPRO_CPI_I_Instrucciones_de_cableado.pdf, Consultado el 16 de Agosto del 2009.
- [11] DANFOSS, Controles industriales y Control de Fluidos, <http://www.danfoss.com/Spain>, Consultado el 16 de Agosto del 2009.
- [12] MASONEILAN, Control Valves and Actuators, <http://www.masoneilan.com>, Consultado el 19 de Agosto del 2009.
- [13] EMERSON PROCESS MANAGEMENT, Fisher Valves, <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/fisher/ControlValves/Pages/ControlValves.aspx>, Consultado el 20 de Agosto del 2009.
- [14] CONTROL DYNAMICS, Baumann Valves, <http://www.control-dynamics.com/products/valves/baumann.htm>, Consultado el 22 de Agosto del 2009.
- [15] SIGRIST PROCESS PHOTOMETER, Turbidity Measurement, <http://www.photometer.com/en/products/turbidity-measurement.html>, Consultado el 26 de Agosto del 2009.
- [16] ANTON PAAR, Measuring Three Component Liquid, http://www.anton-paar.com/For-Measuring-Three-Component-Liquids-DSRn-427-DSRn-427S/Density-Sound-Velocity-Sensors/60_Corporate_en?product_id=382, Consultado el 30 de Agosto del 2009.
- [17] ANTON PAAR, In Line CO2 Beverage Measurement, http://www.anton-paar.com/Inline-CO2-Beverage-Measurement-Carbo-IT-Carbo-Inline/CO2-Sensors/60_Corporate_en?product_id=383, Consultado el 1 de Septiembre del 2009.
- [18] ORBISPHERE, Oxygen Analyzer, <http://www.orbisphere.nl/products.html>, Consultado el 5 de Septiembre del 2009.
- [19] LEGRAND, E Catalog, <http://www.e-catalogue.legrandgroup.com/spain/>, Consultado el 5 de Septiembre del 2009.
- [20] SIEMON, Fiber Connect Panel, http://www.siemon.com/e-catalog/ECAT_GI_page.aspx?GI_ID=fi_fiber-



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

"Impulsando la Sociedad del Conocimiento"



"Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT)"

Teléfonos: 2269760 - 2269761 - Ext. 8578 - Fax: 2850493

Área de Tecnologías. Edif. No. 37, planta baja - Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral
Guayaquil-Ecuador

[connect-panel-fcp3](#) Consultado el 7 de Septiembre del 2009.

- [21] B&B ELECTRONIC MANUFACTURING, Fiber Optic Patch Cable, <http://www.bb-elec.com/bb-elec/literature/DFMM-STLC-XX.pdf> Consultado el 10 de Septiembre del 2009.
- [22] NEC National Electrical Code, NATIONAL ELECTRIC CODE, National Electrical Code™ Series, 2002 Edition.
- [23] INTERNATIONAL STANDAR IEC, Basic and safety principles for man- machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals and conductor terminations, Four Edition, Septiembre 2006.
- [24] NTE Norma TECNICA ECUATORIANA, Sistema De Bandejas Metálicas Portacables, Electrocanales O Canaletas, Primera Edición, 2009.

Msc. Cesar Antonio Martin Moreno
Director del Proyecto
07 de Octubre del 2010.