

**MODELO DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE
EMBOTELLAMIENTO Y SELLADO DE LÍQUIDOS,
MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE LA ESTACIÓN DE
FLUJO CONTINUO (MPS® PA) AL C.I.M. DEL CENTRO
TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL -
C.T.A.I.-**

**JULIANA JARAMILLO SANÍN
DIEGO TABARES TABARES**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL.
BOGOTÁ D.C.
2010**

**MODELO DE UN PROCESO PRODUCTIVO DE
EMBOTELLAMIENTO Y SELLADO DE LÍQUIDOS,
MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE LA ESTACIÓN DE
FLUJO CONTINUO (MPS® PA) AL C.I.M. DEL CENTRO
TECNOLÓGICO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL -
C.T.A.I.-**

PRESENTADO POR:

**JULIANA JARAMILLO SANÍN
DIEGO TABARES TABARES**

TRABAJO DE GRADO

**DIRECTORA
MARTHA RUTH MANRIQUE**

**CO-DIRECTOR
JOHN EDUARDO PEÑA**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2010**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
ANTECEDENTES.....	12
MARCO TEÓRICO	13
C.I.M. (Manufactura Integrada por Computador)	13
Centro Tecnológico De Automatización Industrial	13
C.I.M. en el C.T.A.I.....	14
Componentes del CIM en el C.T.A.I.	15
Banda Transportadora	15
Almacén AS/RS.....	16
Torno CNC	18
Robot Mitsubishi Melfa IV	18
Ilustración 5, Robot Mitsubishi Melfa IV en el CIM.	19
ESTACIONES MPS®PA.....	19
MPS®PA (Estación de Filtración)	19
MPS®PA (Estación de Mezcla).....	20
MPS®PA (Estación de Reactor)	21
MPS®PA (Estación de Llenado)	22
Intercambio de datos, OPC (OLE <i>PROCESS CONTROL</i>).....	23
NI OPC Server	25
LabVIEW	26
TCP/IP.....	26
Cosimir Control	26

1.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	27
1.1.	Envase	28
1.2.	Dispositivo de Sellado	29
1.2.1.	Restricciones:	29
1.2.2.	Características	31
1.2.3.	Matriz de Priorización	32
1.2.4.	Consideraciones del sellado con el Robot Mitsubishi MELVA IV RV2A	33
2.	RUTINA DE PRODUCCIÓN	37
2.1.	Orden de ejecución de actividades en el CIM.....	38
2.2.	Análisis de las opciones.....	38
2.3.	Listado de Actividades	44
	Estación de Filtrado.....	44
	Estación de Mezcla.....	44
	Estación Reactor	44
	Estación de Llenado	44
	CIM.....	44
2.3.1.	Proceso de Producción Dispositivo de Sellado (Tapa)	45
	CIM.....	45
3.	DISEÑO DE PIEZAS Y SOPORTES ADICIONALES PARA LA INTEGRACIÓN.....	47
3.1.	Soporte para envase	47
3.2.	Dispensador de tapas.....	48
3.3.	Protección para envase.....	50
4.	DESARROLLO DE LA COMUNICACIÓN.....	51
4.1.	Comunicación Entre LabVIEW y MPS®PA (PLC S7- 300) NI OPC Server.....	51
4.2.	Comunicación entre LabVIEW y Cosimir Control (TCP/IP).....	53
4.2.1.	Datos de envío entre LabVIEW y Cosimir Control.....	56
5.	DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ ENTRE EL USUARIO Y EL SISTEMA INTEGRADO.....	57
6.	ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN	62
6.1.	Análisis Costo - Beneficio	62

6.1.1.	Factor con finalidades estudiantiles:	62
6.1.2.	Factor Económico:	63
6.2.	Análisis DOFA de la Integración	66
7.	RESULTADOS FINALES	67
7.1.	Rutina de Producción	67
7.2.1.	Estación De Filtrado	67
7.2.2.	Estación De Mezcla	68
7.2.3.	Estación De Reactor	70
7.2.4.	Estación De Llenado	71
7.2.5.	CIM – Banda transportadora, Robot XY, Robot Mitsubishi MELFA IV, Torno CNC ...	72
7.2.6.	Fabricación del Dispositivo de Sellado	74
7.3.	Comunicación entre CIM y MPS®PA	75
7.3.1.	Diagrama de Conexiones Físicas para la integración entre el CIM y las MPS®PA.....	76
7.3.	Interfaz entre el sistema integrado y el usuario	77
7.3.1.	Visualización del Proceso	77
7.3.2.	Conexión TCP/IP	83
8.	CONCLUSIONES	90
9.	RECOMENDACIONES	92
10.	ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA INTEGRACIÓN	93
	BIBLIOGRAFÍA	96
	ANEXOS	98

INTRODUCCIÓN

La automatización y el desarrollo de los procesos industriales son fenómenos que se han apoderado progresivamente de las empresas manufactureras dentro y fuera del país; esto es porque la automatización, junto con el desarrollo de máquinas y software que permiten la interconexión de procesos y tareas, ha facilitado y mejorado las actividades involucradas, haciéndolas eficientes y confiables para la elaboración de cualquier bien tangible.

Teniendo en cuenta esta nueva etapa de las industrias, y conforme a su propósito académico, la Universidad Javeriana cuenta con un Centro Tecnológico de Automatización Industrial (C.T.A.I.) que permite evidenciar la realidad de los procesos en la industria. Es allí donde se puede aprender más allá de la teoría y crear un conocimiento preciso y práctico. Actualmente, el C.T.A.I. cuenta con un centro integrado de manufactura que se basa en la manufactura integrada por computador (C.I.M.) y pretende, como su nombre lo indica, entrelazar las actividades de diferentes máquinas mediante un software especializado que regule las acciones de las mismas, para dar como resultado final un producto deseado. Dentro de estas actividades se encuentran la de transporte de materias primas y productos terminados, realizada a través de una banda transportadora y un brazo mecánico; procesamiento, que involucra un torno y fresadora automatizados, y almacenamiento, que utiliza un robot cartesiano -XYZ- para localizar el producto o materia prima en el almacén.

El C.T.A.I., siendo coherente con su propósito, adquirió en febrero de 2010 una nueva estación de procesamiento con el fin de comprender y analizar de manera tangible los procesos continuos mediante la utilización de una fábrica didáctica MPS[®]PA (Sistema de Producción Modular); este sistema está compuesto por un conjunto de módulos que permiten simular el procesamiento de líquidos, utilizado en la industria de bebidas y químicos. Los módulos incluyen los procesos de filtrado, mezclado, reacción por medio de temperatura y llenado (embotellado). La MPS[®]PA se encarga de la representación de un tipo de procesos denominados continuos, que “se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material”¹, como, por ejemplo, la electricidad y el proceso de filtrado de agua; mientras que el C.I.M. es un modelo a escala de los procesos discretos que “contemplan la salida en forma de unidades o número finito de piezas”², como las piezas torneadas o fresadas que salen del sistema.

¹ PONSÁ ASENSIO, Pere. VILANOVA ARBÓS, Ramón. “Automatización de procesos mediante la guía GEMMA”. Edicions UPC. 2006. Consultado en línea el 18 de marzo de 2010.

URL: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EM05101M.pdf>

² Ibíd.

La adquisición de la MPS®PA crea una oportunidad para entender y estudiar a fondo los procesos continuos y también la posibilidad de aumentar la flexibilidad mediante una integración de los sistemas; es desde aquí de donde surge este proyecto, el cual busca establecer criterios y variables que permitan desarrollar un trabajo de grado haciendo hincapié en el concepto de la ingeniería industrial, donde se maximice el uso de los recursos con los que cuenta el C.T.A.I. Al hacer énfasis en la máquina adquirida (la MPS®PA) se busca un desarrollo práctico de los conceptos adquiridos en asignaturas como producción, manufactura flexible, máquinas y equipos y procesos industriales, entre otras, cuyo campo de aplicación se encuentra en este proyecto.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, uno de los factores más relevantes de la industria automatizada es la flexibilidad. Esta “se basa en el control efectivo del flujo de materiales a través de una red de estaciones de trabajo muy versátiles que son compatibles con diferentes grados de automatización.”³ La flexibilidad también permite que este grupo de estaciones esté en capacidad de trabajar en conjunto o hacerlo de forma independiente.

El principal problema, y de donde surge este proyecto, es que el sistema de la MPS® PA no está en capacidad de dar como resultado final un producto terminado que cumpla con las fases de transporte al almacén y almacenamiento. Además, existe una limitante en la manipulación del producto terminado que sale del módulo de embotellamiento de la estación, puesto que el envase no cuenta con un dispositivo de sellado que restrinja el paso del contenido del mismo y tampoco con la capacidad de realizarlo; es decir, el flujo de material para este sistema queda inconcluso.

Con el fin de aumentar la funcionalidad y flexibilidad tanto de este sistema como del C.I.M., y dado que este último si está en capacidad de realizar los procesos subsiguientes de finalización del sellado, transporte y almacenamiento, se hace necesario realizar una integración entre los dos sistemas (C.I.M. y MPS®PA), garantizando así la terminación del proceso y un mayor aprovechamiento de los equipos disponibles.

El desarrollo de esta integración entre dos clases de procesos – continuos y discretos – que incluye una integración entre diferentes máquinas, estaciones y tipos de interfaces, pretende aumentar la flexibilidad y el alcance de los sistemas con los que cuenta el C.T.A.I., y los servicios que puede ofrecer, no solo como centro académico de la Universidad Javeriana, sino como un centro de asesoría para las industrias del país.

Con la solución que se pueda dar a este problema se genera la posibilidad de entender el dinamismo de las relaciones que ocurren entre estos procesos continuos y discretos, haciendo uso de las capacidades de cada uno de los sistemas (C.I.M. y MPS®PA); también permite generar continuidad en la cadena productiva, ampliando los conocimientos y conceptos disponibles a los estudiantes, formadores y demás usuarios.

³ OSPINA, Juan. VÉLEZ, Víctor. Documentación y programación de prácticas del brazo robótico de la celda de manufactura de la U.T.P. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. Consultado en línea abril 19 de 2010. URL: <http://biblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/629892083dp.swf>

JUSTIFICACIÓN

“Desde el punto de vista del proceso de fabricación, los sistemas automatizados han sido, hasta la fecha, una especie de islas de producción autónomas. Pero mediante estas soluciones aisladas los objetivos anteriores solo podían alcanzarse hasta un determinado punto y, por tanto, tan sólo se lograban éxitos parciales. Una automatización efectiva presupone la acción coordinada de tres funciones: mecanización, flujo de materiales y flujo de información, y, por tanto, que puedan encadenarse con facilidad los sistemas de automatización.”⁴

La industria manufacturera colombiana centrada en la producción de alimentos y bebidas es una de las más interesadas en la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías, no solo por la alta competitividad y los gustos cambiantes del mercado que exigen una producción flexible con una extensa gama de productos, sino también por las exigencias de ley en cuanto a transparencia en los procesos. La encuesta de innovación y desarrollo tecnológico en la industria manufacturera en Colombia muestra que la inversión en actividades de desarrollo e innovación tecnológica, por parte del sector de elaboración de productos alimenticios y de bebidas en el año 2004, representa el 24,7%⁵ del total de la inversión por parte de todos los grupos de la industria colombiana.

Según Vidal (1993) el eje de la Universidad debe ubicarse en la investigación y en el desarrollo tecnológico; y el sector productivo, frente a la competitividad y la globalización, debe aceptar la necesidad de desarrollo tecnológico; por eso estos, conjuntamente, deben crear un lazo donde es indispensable diseñar una estrategia que balancee necesidades de la industria con intereses y valores académicos de la Universidad, de tal forma que recursos e infraestructura en sus campos de acción se complementen aditivamente para lograr un desarrollo tecnológico sostenido.

Siguiendo esta tendencia, la Universidad Javeriana, y en particular el C.T.A.I., ha demostrado un interés por “contribuir a la formación científica y tecnológica de los futuros profesionales, al fortalecimiento de los procesos e intereses investigativos de la Universidad y a la prestación de servicios de consultoría en automatización de procesos para el sector productivo con el fin de aportar al desarrollo científico y tecnológico del país.”⁶ Es por esto que la importancia de este proyecto radica primordialmente en el ámbito de la investigación y el desarrollo de nuevas

⁴ BAUMGARTNER, Horst. CIM consideraciones básicas. Marcombo. 1991.

⁵ Encuesta de Innovación y Desarrollo Tecnológico en la Industria Manufacturera Colombia 2003 – 2004. Cuadro 5. Empresas Industriales que invirtieron y monto invertido en actividades de desarrollo e innovación tecnológica, por grupos de actividades, según tamaño de empresa y divisiones industriales (CIU Rev 3 A.C.). Consultado en línea Marzo 19 de 2010.

URL: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/industria/innovacion_tecnol_ind_manufacturera.pdf

⁶ PINEDA, Ana. ZÚÑIGA, Diego. Diseño de prácticas de laboratorio para ingeniería industrial en un sistema de manufactura integrada por computador. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2009.

aplicaciones de los sistemas C.I.M. y MPS®PA en el espacio académico, buscando una expansión en el campo de acción del C.T.A.I. y ofreciendo una oportunidad no solo directamente a las industrias, sino también a los investigadores particulares como universidades y centros de investigación, al igual que a docentes y estudiantes de la Universidad Javeriana, a quienes se les ofrecerá un espacio para la interpretación de los procesos continuos y discretos, su versatilidad y aplicabilidad en la industria.

Para los integrantes del proyecto, esta es una oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Industrial, especialmente los relacionados con Tecnología y Producción, de interactuar de manera tangible con los sistemas y máquinas que ofrece el C.T.A.I. y comprender a fondo su aplicabilidad en la industria, y de entender la planta física como una variable decisiva en la producción y desarrollo de nuevos procesos.

OBJETIVO GENERAL

Modelar una planta embotelladora que integre los procesos discretos y continuos realizados por el C.I.M. y la MPS®PA, con el propósito de ofrecer a los estudiantes y docentes de la Universidad Javeriana, y a personas externas, la posibilidad de una interacción tangible con este tipo de procesos y su aplicabilidad en la industria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el producto final que se desea lograr con la integración de los sistemas C.I.M. y MPS®PA.
- Concretar el proceso de producción que se utilizará para la fabricación del producto deseado.
- Determinar el diseño de la infraestructura física necesaria para lograr la manufactura del producto y la integración de los sistemas C.I.M. y MPS®PA.
- Diseñar el protocolo de comunicaciones necesario para establecer la integración de los sistemas C.I.M. y MPS®PA.
- Realizar pruebas para determinar la viabilidad de la implementación y la efectividad de la integración.

ANTECEDENTES

Desde su creación en el año 1993, el C.T.A.I.⁷ ha adquirido equipos de automatización basados en las líneas neumáticas, en ese entonces para satisfacer los requerimientos de la asignatura de Procesos Industriales, así como máquinas y herramientas de orientación didáctica para la enseñanza de procesos básicos de metalmecánica en la asignatura de Taller de Procesos, actualmente llamada Máquinas y Equipos. Posteriormente se suministraron recursos informáticos para el diseño y manufactura asistidos por computador (CAD/CAM) y en la actualidad se cuenta con un sistema flexible de manufactura (C.I.M.) que integra un almacén de materia prima y producto terminado, con una estación de mecanizado (torneado y fresado).

Este sistema flexible es producto de una serie de integraciones de máquinas como el torno CNC EMCO PC *Turn* 125, la fresadora *Benchman VNC* 4000, el robot Mitsubishi Melfa Basic IV y el almacén AS/RS, integraciones que fueron posibles gracias a la firma FESTO. En el año 2007 se realizó la última modificación al C.I.M., que consistió en la integración de una estación de control de calidad por visión artificial, realizada por docentes y estudiantes de la Universidad Javeriana.

Actualmente, el sistema se encuentra administrado desde una estación central (O.P.C., *Cosimir Control*) que facilita la dirección y control de las estaciones (visión artificial, fresadora y torno), de los robots manipuladores (Mitsubishi Melfa IV y robot de coordenadas) y el flujo de materiales (banda transportadora).

Sobre las integraciones realizadas por la firma FESTO, no existe documentación del proceso requerido para la implementación, es decir, no existe documentación de la comunicación, configuración de variables, ni de las líneas de códigos que usa el P.L.C. (Controlador Lógico Programable por sus siglas en inglés) para la ejecución de los programas, entre otros factores que hacen parte de las soluciones implementadas. La única documentación con la que se cuenta de estos procedimientos realizados son los manuales de cada una de las máquinas que componen el C.I.M. y algunos manuales de uso. Esto hace evidente la conveniencia de realizar una integración por parte de los estudiantes o personal vinculado directamente con la universidad, con el propósito de garantizar que tanto los códigos como la información sean abiertas para posteriores modificaciones que permitan una mejora en los procesos. Prueba de lo anterior es la trabajo de investigación realizada por el Ing. Gabriel Zambrano, profesor de la universidad, en la cual se integra un sistema de visión artificial para el control de calidad de los productos, donde se encuentra documentado detalladamente el proceso necesario para lograr dicha integración.

⁷ PINEDA, Ana. ZÚÑIGA, Diego. Diseño de prácticas de laboratorio para ingeniería industrial en un sistema de manufactura integrada por computador. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2009.

MARCO TEÓRICO

C.I.M. (Manufactura Integrada por Computador)⁸

El campo de acción de la automatización no se limita únicamente a la mejora de la capacidad de las máquinas, sino que va mas allá, ampliando su contenido a la totalidad de las funciones relacionadas con la producción (transporte y manejo de materiales, control de inventarios, control de calidad y mantenimiento de equipos e instalaciones, entre otras), permitiendo la gestión integral de la fábrica y sus sistemas adyacentes, lo que contribuye a transformar el funcionamiento de la empresa.

En este sentido, la fabricación integrada por computador (*Computer Integrated Manufacturing*) es el resultado de la fusión de todas las aplicaciones productivas. El desarrollo del C.I.M. se percibe como la base de una nueva revolución industrial: la llegada de la –fábrica del futuro- (Rosenthal, 1984), cuya finalidad es la producción en masa a medida, según la cual las fábricas pueden entregar productos masivos diseñados de acuerdo con las especificaciones exactas de los clientes.

“El C.I.M., según la definición de la *American Association of Engineering Society* es la combinación de hardware-equipos-software-programas-bases de datos y comunicaciones que permite:

- Una automatización flexible de la producción.
- Una optimización continua de la programación y productividad de las instalaciones.
- Control del flujo de información de materiales y operaciones en ciclo cerrado.
- Coordinación y reasignación dinámica de los recursos.”⁹

Centro Tecnológico De Automatización Industrial

¿Qué es el C.T.A.I.?¹⁰

El C.T.A.I. (Centro Tecnológico de Automatización Industrial) de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, se constituye en un lugar de confluencia de profesores y alumnos

⁸ FERNANDEZ, Esteban. AVELLA, Lucia. FERNANDEZ, Marta. Estrategia de Producción. Mc Graw Hill. 2003

⁹ FERRÉ, Rafael. La fábrica flexible. Marcombo Boixareu Editores. 1988.

¹⁰ PINEDA, Ana. ZÚÑIGA, Diego. Diseño de prácticas de laboratorio para ingeniería industrial en un sistema de manufactura integrada por computador. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2009.

para el desarrollo de diversos proyectos de investigación, que involucran estudios de nuevas tecnologías y recursos, y a la prestación de servicios para las diferentes asignaturas que en este se dictan.

Tiene como propósito contribuir a la formación científica y tecnológica de los futuros profesionales, al fortalecimiento de los procesos e intereses investigativos de la Universidad y a la prestación de servicios de consultoría en automatización de procesos para el sector productivo con el fin de aportar al desarrollo científico y tecnológico del país.

C.I.M. en el C.T.A.I.¹¹

El Sistema Integrado de Manufactura del Centro Tecnológico de Automatización Industrial (C.T.A.I.) cuenta con cuatro estaciones: una estación de control de celdas, una estación de almacenamiento, una estación de transporte y una estación de manufactura, esta última compuesta por un robot manipulador y dos máquinas de control numérico computarizado (C.N.C.) – una de fresado y otra de torneado-. La estación de control de celdas permite la visualización de los procesos, la comunicación con las estaciones por medio de controladores y el control de flujo de materiales en el C.I.M.

Uno de los componentes más importantes de la plataforma de programación COSIMIR CONTROL son los controladores para las interfaces de comunicación, entre los cuales se encuentran PROFIBUS, RS-232, OPC, FILE I/O, TCP/IP, y ODBC, entre otros, que permiten el acople de las estaciones de manera sencilla y eficaz. Cada dispositivo conectado al controlador de la celda tiene asignado su propio controlador que soporta un conjunto especial de tareas y establece las propiedades para cada uno de los componentes.

¹¹ ZAMBRANO, Gabriel. PARRA, Carlos. MANRIQUE, Martha. BUSTACARA, César. Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (C.I.M.) Javegraf. 2007.



Ilustración 1. CIM en el C.T.A.I.

Componentes del CIM en el C.T.A.I.

En el CIM de la Universidad Javeriana se pueden encontrar los siguientes componentes:

Banda Transportadora

La banda transportadora es una herramienta que presenta diferentes usos en la industria, pero su principal función es la distribución de material a través de un desplazamiento continuo de éste, evitando un esfuerzo por parte de los seres humanos.

Las bandas transportadoras alimentan los procesos necesarios para el desarrollo de la producción, en el caso de la banda transportadora del C.T.A.I., ésta alimenta tanto el almacén AS/RS, que es

donde se almacena la materia prima para la producción deseada o el producto terminado procedente del proceso ejecutado a través de la integración del CIM, como al Robot Mitsubishi Melfa IV, el cual recolecta la materia prima transportada por la banda mediante *carriers* que portan el material. La banda transportadora también tiene un proceso de carga es decir de proveerse y en el laboratorio este proceso se percibe en dos instancias, cuando el robot del AS/RS alimenta los *carriers* al sacar material del almacén o cuando el Robot Mitsubishi suministra el producto en proceso o terminado para su respectivo almacenamiento.

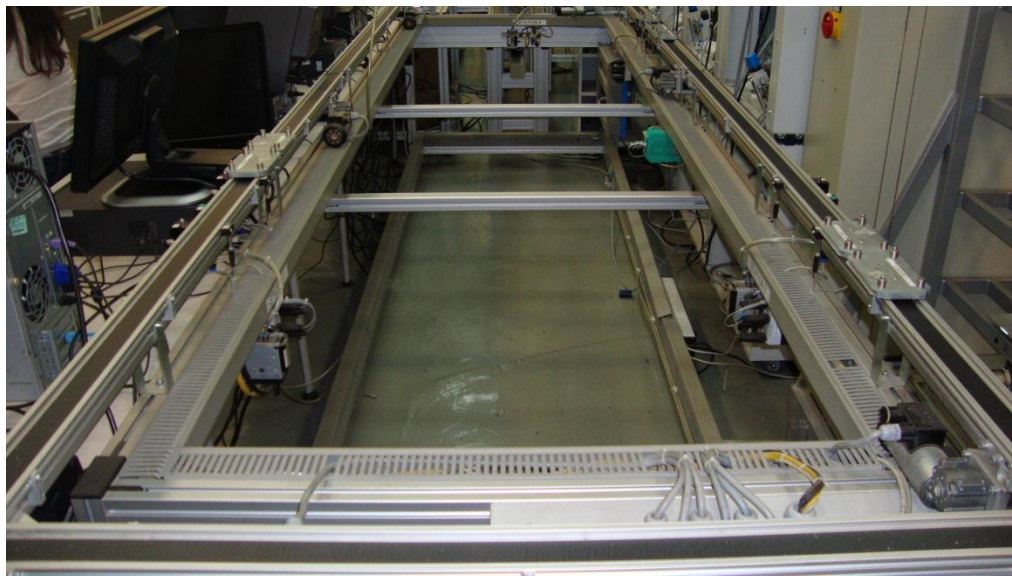


Ilustración 2. Banda Transportadora en el CIM

Almacén AS/RS

El almacén AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*), es una parte del sistema integrado CIM, allí se encuentra una estructura donde los diferentes productos (materia prima, producto en proceso o producto terminado) son almacenados en *pallets*, que son dispositivos destinados para el transporte y almacenamiento de objetos. La estructura tiene un *stock* disponible para 40 *pallets*, distribuidos en una matriz de [5,8]. Para el almacenamiento automático y la alimentación de los *pallets* a la banda transportadora, se utiliza un robot telescópico que hace parte de la estructura física del almacén. Éste robot tiene tres grados de libertad lo que facilita el desplazamiento a cualquiera de los 40 espacios con los que cuenta el almacén. Para la ubicación frontal ante el

espacio deseado solo requiere de los ejes X y Y, mientras que el eje Z lo requiere para la selección del *pallet* y para la disposición de este al momento de ubicarlo sobre la banda transportadora.



Ilustración 3. Almacén AS/RS del CIM.

Torno CNC

El torno con el que se cuenta en el CTAI, es un torno EMCO PC TURN 125. Este torno CNC es de tipo industrial, por lo cual puede procesar cualquier material que se uso en los procesos de torneado a nivel industrial.

Este torno cuenta con una mordaza neumática que permite sujetar piezas de forma cilíndrica con un diámetro inferior a 30 milímetros pero superior a 20 milímetros.

El torno CNC cuenta con buriles en su almacén de herramientas que permiten realizar operaciones de tronzado, roscado externo, cilindrado y acabado. Además las piezas cilíndricas no deben exceder una altura de 120 mm para que puedan ser procesadas en este torno.



Ilustración 4. Torno CNC en el CIM

Robot Mitsubishi Melfa IV

Este robot permite la conexión de materiales entre la banda transportadora, el torno CNC, la fresadora, la estación de calidad y la mesa alimentadora. Este robot cuenta con una parte cinemática mediante servomotores que permiten los diferentes movimientos del robot. El robot cuenta con 6 grados de libertad que permiten movimientos armónicos para dirigirse a las posiciones deseadas. También cuenta con un efector final tipo pinza, que permite la adquisición o liberación del material y se controla mediante un sistema neumático que abre o cierra las pinzas. Sin embargo, estas pinzas no poseen un control de la apertura del efector, por lo cual solo abren o cierran totalmente.

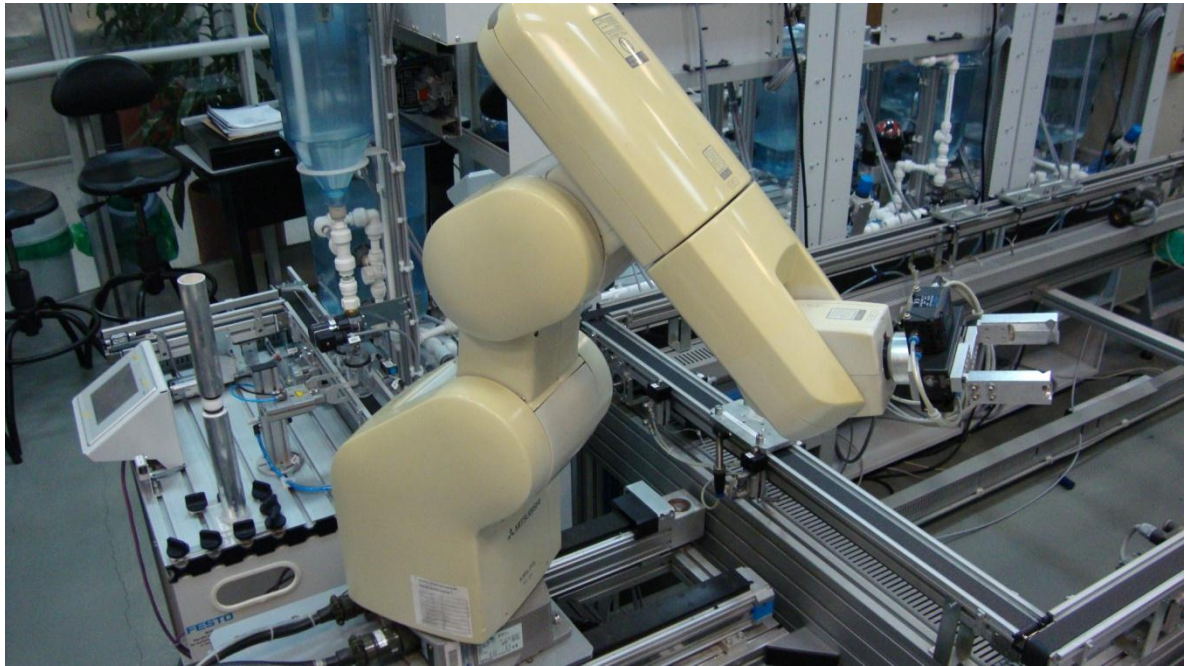


Ilustración 5, Robot Mitsubishi Melfa IV **en el CIM.** ESTACIONES MPS®PA

MPS®PA (Estación de Filtración)¹²

La estación de filtración combina un tramo de regulación con detectores y actuadores digitales y analógicos. El tramo de regulación de la presión funciona mediante un P.L.C. y reguladores. El líquido a filtrar se bombea desde un depósito de agua sucia hacia el filtro. El líquido filtrado pasa por una compuerta para llegar al depósito de agua limpia. Desde allí, se transporta mediante una bomba a la segunda estación o se reenvía hacia el depósito de agua sucia. En la operación de filtrado, primero se llena el filtro completamente de líquido y, a continuación, se separan las partículas de suciedad del filtro mediante aire a presión. El líquido que contiene las partículas de suciedad vuelve al depósito de agua sucia.

¹² SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de filtración, FESTO Didactic, 2006, p. 13



Ilustración 6. Estación MPS®PA de Filtrado.

MPS®PA (Estación de Mezcla)¹³

La estación de mezcla combina un tramo de regulación con detectores y actuadores digitales y analógicos. El tramo de regulación del caudal funciona mediante un P.L.C. y reguladores. La operación se ejecuta después de haber elegido la cantidad de mezcla (0...10L) y una receta de la mezcla. Dependiendo de la receta seleccionada, la mezcla se transporta por acción de la bomba

¹³ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de mezcla, FESTO Didactic, 2006, p. 12

mixta hacia el depósito principal proveniente de los depósitos de mezcla. A continuación, la mezcla lista puede bombearse hacia la estación siguiente.

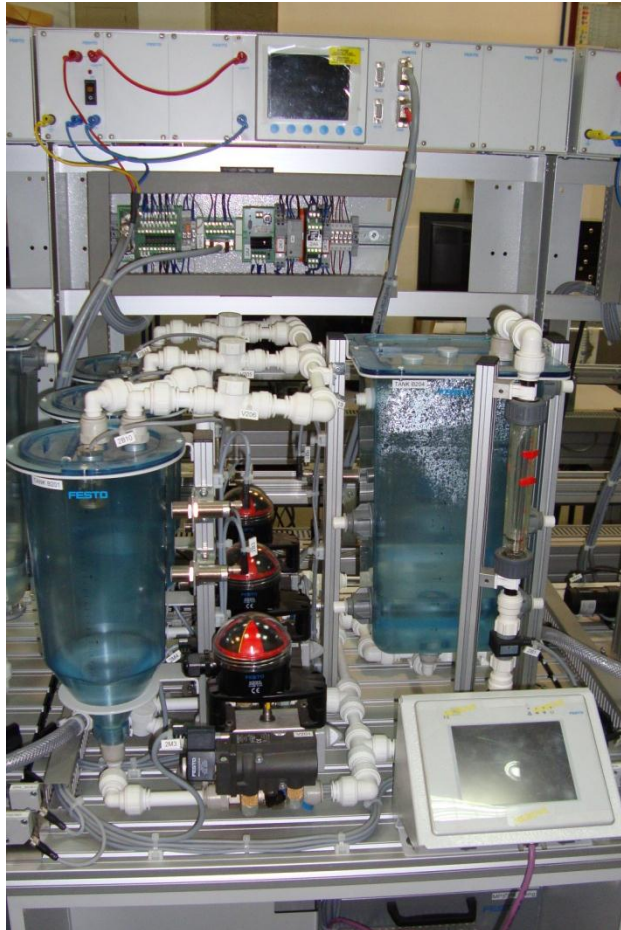


Ilustración 7. Estación MPS®PA de Mezcla.

MPS®PA (Estación de Reactor)¹⁴

La estación de reactor tiene un tramo de regulación provisto de detectores digitales y analógicos y de actuadores. El tramo con regulación de temperatura funciona mediante un P.L.C. y unidades de regulación. El proceso se activa en función de tres recetas de mezclas a elegir e incluye el calentamiento y la agitación del líquido. Dependiendo de la receta elegida de la mezcla, el líquido

¹⁴ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación reactor, FESTO Didactic, 2006, p. 13

se refrigera en un circuito de refrigeración. La mezcla obtenida puede transportarse hacia una siguiente estación mediante una bomba.

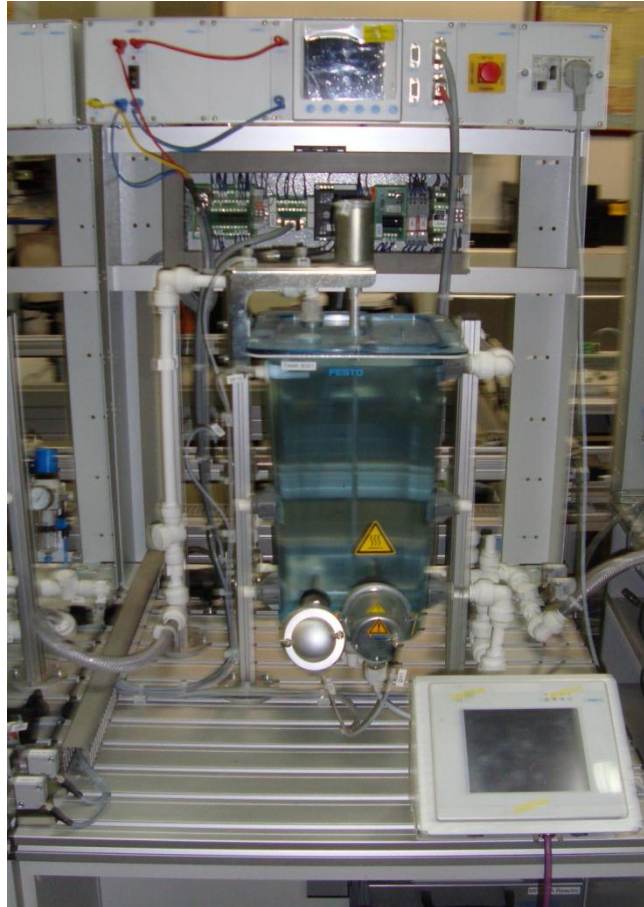


Ilustración 8. Estación MPS®PA de Reacción.

MPS®PA (Estación de Llenado)¹⁵

La estación de llenado combina un tramo de regulación con detectores y actuadores digitales y analógicos. El tramo de regulación de llenado funciona mediante un P.L.C. y reguladores. Los envases se alimentan a la estación de llenado mediante dos cintas de transporte. Después de elegir una receta, se llena una cantidad determinada de envases con el líquido proveniente del

¹⁵ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de llenado, FESTO Didactic, 2006, p. 12

depósito de dosificación o, activando la modalidad de llenado continuo, se llena una cantidad indistinta de envases.

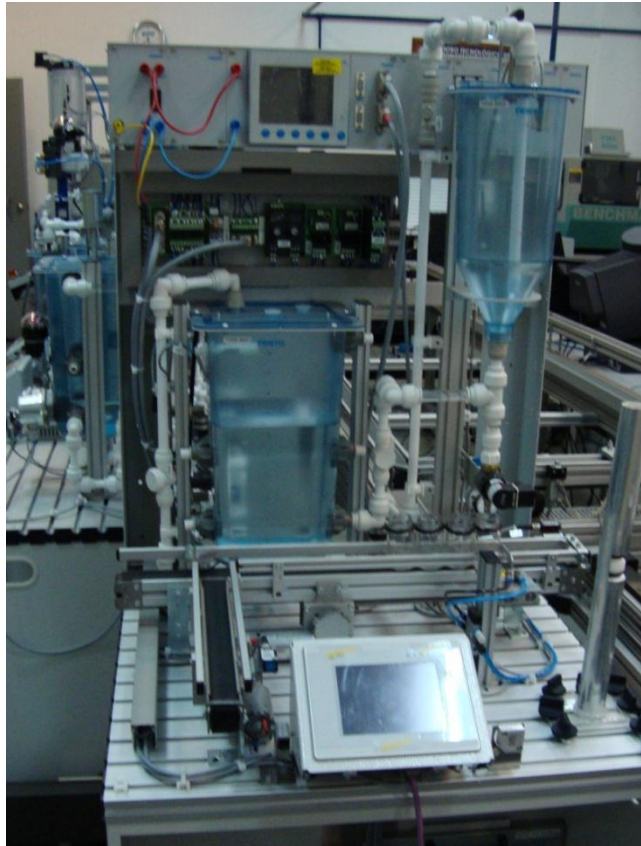


Ilustración 9. Estación MPS®PA de Llenado.

Intercambio de datos, OPC (OLE *PROCESS CONTROL*)

Actualmente se dice que “para optimizar un proceso, mejorar la calidad y reducir los costos es necesario recurrir a las soluciones tecnológicas que están disponibles, por eso se presentan los sistemas de control distribuido (DCS), control supervisado y adquisición de datos (SCADA) y sistemas de controles lógicos programables (PLC), que son herramientas que se hacen necesarias a la hora de lograr una integración eficiente para mejorar los procesos industriales”¹⁶

¹⁶ WU, Zhihui. QIAN, Yu. An Approach for Batch Crystallization Process Control and Monitoring Based on OPC Technology and Information Integration, South China University of Technology, International Conference On Computer Design And Appliations, 2010.

Para la comunicación entre dos sistemas que requieren ser integrados se pueden utilizar varios métodos como el intercambio dinámico de datos (DDE) y la vinculación e incrustación de objetos (OLE).

Para realizar una integración entre varios sistemas el primer paso a seguir es establecer una formación uniforme de descripción de datos, pero esto es difícil de lograr teniendo en cuenta la complejidad que existe en la estructura de datos y la relación entre estos; Especialmente, los datos de DCS, PLC o sistemas FCS sólo pueden ser adquiridos por sus mismas máquinas superiores. La solución para este problema es construir un sistema uniforme que manipule la información y la interprete, y es aquí donde surge la viabilidad de un sistema OPC que es un software estándar de tecnología *plug and play*, que permite la estandarización de la interfaz de cualquier generador de datos. OPC genera una ventaja en comparación a otras herramientas ya que comunica el sistema de control de procesos con el proceso industrial automatizado.¹⁷

OPC es conectividad abierta en la automatización industrial y los sistemas de soporte de la empresa. Asegura la interoperabilidad mediante la creación y mantenimiento de un protocolo de comunicación abierto, “que permite la comunicación entre aplicaciones informáticas y que permite la interoperabilidad entre diferentes fabricantes de software y hardware.

El estándar OPC consta de varias especificaciones que permiten la obtención y envío de datos en Tiempo Real (DA), Datos Históricos (HDA), Alarmas y Eventos (A&E), y varios otros menos utilizados”.¹⁸

“OPC es un conjunto de estándares de conectividad diseñados para la automatización industrial por parte de la *OPC Foundation*. OPC añadió extensiones a la tecnología COM y DCOM desarrollada por Microsoft basada en objetos, para así proveer una serie de interfaces comunes en el proceso de control. OPC ofrece interoperabilidad entre instrumentos de medidas, bases de datos, controladores lógicos programables (PLCs), sistemas de control distribuidos (DCSs) y unidades terminales remotas (RTUs)”¹⁹

OPC suministra una serie de interfaces públicas estándar para el control de procesos y la automatización de la fabricación, lo cual genera que los usuarios no tengan que preocuparse de diseñar diferentes programas de control de procesos y equipos, ya que esta interfaz permite agrupar las diferentes aplicaciones en un solo paquete.

¹⁷ Ibid.

¹⁸ infoPLC.net. Portal de Automatización Industrial. Consultado en línea Marzo 20 de 2010.

URL: <http://www.infoplcn.net/foro/showthread.php?t=43>

¹⁹ OPC definition. Consultado en línea marzo 20 de 2010.

URL: <http://www.yourdictionary.com/computer/opc>

La siguiente ilustración (Ilustración 10.) explica la estructura de OPC y su aplicación en la integración de procesos.

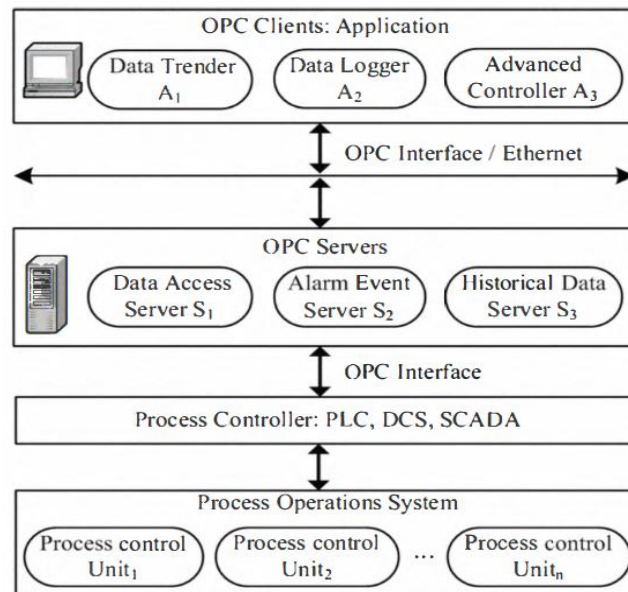


Ilustración 10. La estructura de OPC y su aplicación para la integración de procesos²⁰

Los servidores OPC proporcionan la interfaz de acceso a datos producidos por los controladores de unidad de proceso o del método de comunicación. La fuente de los datos son dispositivos IO en el campo, o bien son otro software de aplicación. A través de la interfaz, un cliente OPC puede conectar uno o varios servidores OPC proporcionados por diferentes proveedores, al mismo tiempo.

NI OPC Server

OPC Server es un software desarrollado por *National Instruments* que “proporciona una única interfaz coherente para comunicarse con varios dispositivos, ahorrando el aprendizaje de nuevos protocolos de comunicaciones o pasando el tiempo entendiendo nuevas aplicaciones. La combinación de los servidores NI OPC y LabVIEW ofrece una plataforma única para la entrega de las mediciones de alto rendimiento y control tanto para los sistemas industriales nuevos como los

²⁰ WU, Zhihui. QIAN, Yu. An Approach for Batch Crystallization Process Control and Monitoring Based on OPC Technology and Information Integration, South China University of Technology, International Conference On Computer Design And Appliations, 2010.

existentes. Los servidores de NI OPC se conectan a través del cliente OPC en LabVIEW de registro de datos y control supervisado (DSC) para que se pueda desarrollar un completo panel de sistemas HMI/SCADA (*Human Machine Interface / Supervisory Control And Data Acquisition*) con PLCs (*Programmable Logic Controllers*), PACs (*Programmable Automation Controllers*) y sensores inteligentes.”²¹

LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) es un entorno de programación gráfica que permite desarrollar sistemas de medida, control y prueba. “En el campo de la automatización industrial, es utilizado para la adquisición de datos, análisis, monitorización y registro, así como para el control y monitorización de procesos; en el área de visión artificial, para el desarrollo de sistemas de inspección en producción o laboratorio”²².

TCP/IP

La sigla TCP/IP significa "Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet", es un protocolo de comunicación que permite la transmisión de paquetes de datos en forma fiable a través de la red. “El TCP garantiza la entrega de datos, es decir, que los datos no se pierdan durante la transmisión y también garantiza que los paquetes sean entregados en el mismo orden en el cual fueron enviados²³.” Mientras que el IP, se refiere a las direcciones con la que cada equipo se identifica, e ingresa a la red.

Cosimir Control

Software tipo SCADA, para el control y visualización de procesos, así como para el desarrollo de rutinas de producción. Este software es actualmente utilizado para el control del CIM del Centro Tecnológico de Automatización Industrial, por medio de éste es posible controlar los diferentes componentes, banda transportadora, almacén AS/RS, robot Mitsubishi MELFA, torno EMCO CNC, entre otros.

²¹ NATIONAL INSTRUMENT, NI OPC Servers, <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/209059> 23 de Septiembre de 2010

²² OTÍN, Ana. Trabajo de Grado Universidad Pontificia de Comillas, España. “SCADA basado en LabVIEW para el laboratorio de control de ICAI” 2007.

²³ LEIDEN, Candace. WILENSKY, Marshall. TCP/IP para Dummies. Wiley Publishing. 2009

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El producto que se obtiene al final del proceso de producción de la integración entre las estaciones MPS®PA y CIM, está conformado por un envase de vidrio y su contenido, generalmente agua, sellado por un dispositivo tipo tapón. El proceso de producción final de la integración, termina cuando el producto final es almacenado en el AS/RS del CIM.

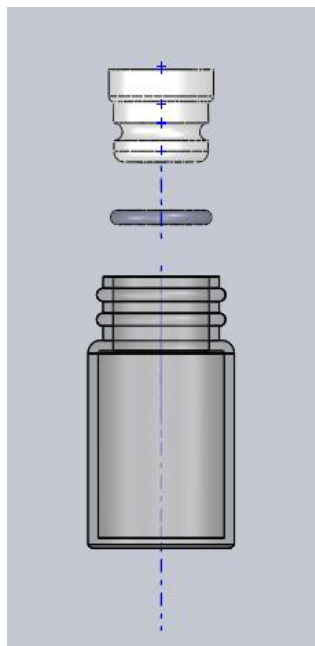


Ilustración 11. Envase y Tapón del Producto Final
Fuente: Elaboración de los autores (SolidWorks®)

A continuación, se realiza una descripción de los componentes del producto final:

1.1. Envase



Ilustración 12. Envase de Vidrio
Fuente: Elaboración de los autores (SolidWorks®)

El envase en el que se almacena la mezcla obtenida de las estaciones MPS®PA, y que es sellado y almacenado posteriormente en el CIM, está fabricado en vidrio. Este material permite la visibilidad del líquido que almacena y del nivel de llenado, facilitando la inspección al final del último proceso en las estaciones de flujo continuo.

El envase utilizado es el suministrado por la empresa Festo, (ver dimensiones en Anexo 7, plano número 2) junto con las estaciones MPS®PA. La razón por la que se utiliza éste, es porque las dimensiones de la banda transportadora de la estación de llenado y de la misma estación están diseñadas para manejar este envase, el hecho de utilizarlo asegura la correcta manipulación del mismo en la estación y evita accidentes.

A continuación se presenta una tabla con las propiedades generales del vidrio:

Propiedad	Valor	Observación
Densidad	2500 Kg/m ³	Es la densidad del vidrio, lo cual le otorga al vidrio plano un peso de 2,5 Kg/m ² por cada milímetro de espesor.
Punto de Ablandamiento	730° C	
Conductividad Térmica	1.05 W/mK	
Coefficiente de Dilatación Lineal	Entre 20 y 220°C: 9×10^{-6} °C.	Alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1°C su temperatura
Dureza	6 a 7 en la escala de Mohs.	El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.
Resistencia a la Compresión ²⁴	1000N/mm ²	
Módulo de Rotura	Vidrios recocidos: 350 a 550 Kg/cm ² Vidrios templados: 1850 a 2100 Kg/cm ²	

Tabla 1. Propiedades Generales del Vidrio. Fuente: Casa Saumell.²⁵

²⁴ Propiedades y Funciones del Vidrio. Consultado en línea Noviembre 28 de 2010. URL: [http://www.sggs.com/la_veneciana/images/FCK/Propiedades%20Fisicas\(1\).pdf](http://www.sggs.com/la_veneciana/images/FCK/Propiedades%20Fisicas(1).pdf)

1.2. Dispositivo de Sellado

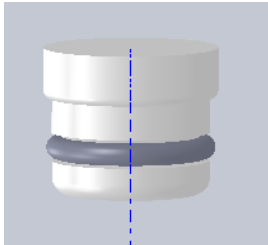


Ilustración 13.
Dispositivo de
Sellado

Fuente: Elaboración
de los autores
(SolidWorks®)

Para la selección de este dispositivo se opta por realizar una matriz de priorización que permita determinar cuál es la mejor opción de acuerdo a las restricciones que se plantean y a las características necesarias para la fabricación de éste.

1.2.1. Restricciones:

Restricciones y tolerancias de las dimensiones de la botella:

El envase con el que cuentan las MPS®PA, tiene un cuello de botella con un diámetro interno de 28,1mm, un diámetro externo de 34,37mm, y una altura del cuello de 14mm, de acuerdo con las dimensiones que se encuentran en el plano número 2 del Anexo 7.

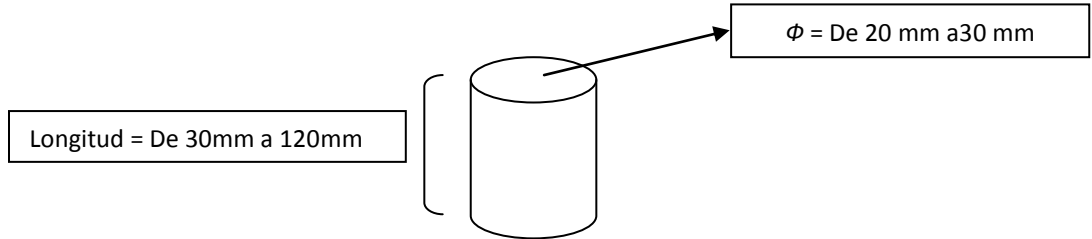
Restricciones del torno respecto a las dimensiones y cortes que puede realizar:

El torno CNC puede procesar cualquier material de tipo industrial siempre y cuando éste tenga las características necesarias para los procesos de corte y desbaste. Los materiales que se utilizan en el laboratorio frecuentemente para los procesos de torneado son parafina, aluminio y bronce.

El torno con el que se cuenta en el CTAI, presenta varias restricciones, una de ellas, es que la materia prima debe tener un diámetro máximo de 30 mm, ya que las mordazas de éste no están diseñadas para sujetar un diámetro mayor; también presenta un inconveniente relacionado con el tronzo de las piezas, ya que cuando se tronza la pieza, esta cae a la bandeja de recolección de viruta, haciendo que el robot no pueda acceder a ésta de forma automática, por lo cual, todas las piezas que se realizan en el torno deben quedar con una adición de material (que es el material de donde se sujeta a la mordaza), para que el robot Mitsubishi pueda retirar la pieza de esta máquina. Además, la longitud de la materia prima no debe ser superior a 120 mm y por el diseño de las mordazas solo se puede procesar material con forma cilíndrica.

²⁵ Propiedades Generales del Vidrio. Casa Saumell. Consultado en línea Agosto 24 de 2010.
URL:<http://www.casasaumell.com.ar/pdf/InformeTecnicoVidrio.pdf>

Especificaciones máximas y mínimas para la materia prima a procesar en el torno CNC:



Nota: La restricción del diámetro de la pieza, inferior a 30 mm, se da por la mordaza con la que

Ilustración 14. Especificaciones máximas y mínimas torno CNC. Fuente: Elaboración de los cuenta actualmente el torno CNC, sin embargo, si esta mordaza es remplazada por una de mayor diámetro, es posible procesar piezas con un mayor diámetro.

Restricciones de almacenamiento en el AS/RS:

El almacén cuenta con 40 espacios de almacenamiento, de los cuales 20 están reservados para piezas cilíndricas y 20 para *pallets* de barras de dimensiones de 125x140x60 mm, de estos últimos, se designan 4 espacios para realizar la integración que se realiza en este trabajo de grado, quedando la distribución del almacén de la siguiente manera (la distribución de los espacios puede ser modificada por el usuario de acuerdo a la tarea a realizar):

33	34	35	36	37	38	39	40
25	26	27	28	29	30	31	32
17	18	19	20	21	22	23	24
9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8

	Piezas Cilíndricas
	Láminas de bronce y aluminio
	Espacio para botellas de vidrio

Ilustración 15. Distribución AS/RS.
Fuente: Elaboración de los autores

Restricciones de la pinza del robot Mitsubishi Melfa IV:

1.2.2. La pinza con la que cuenta este robot, es un actuador neumático que trabaja a 6 bar, pero no cuenta con un dispositivo regulador de la apertura o cerrado de las pinzas, por lo que el material en el que se realice el dispositivo de sellado debe soportar esta presión. Características

Las características del dispositivo deben ser:

- **Tipo de sellado:** debe sellar por completo la botella evitando algún escape del líquido contenido, se puede realizar mediante un tapón tipo corcho o una tapa *eurospin* más conocida como tapa con roscado interno.
- **Facilidad de sellado:** Para optimizar el proceso, se toma en cuenta el número necesario de movimientos que debe realizar el robot para poder sellar este dispositivo de acuerdo a los diferentes diseños de tapones.
 - Si el dispositivo se sella mediante un tapón (ver Anexo 7, plano 2), el robot sólo debe efectuar 4 movimientos, ubicar el tapón sobre la botella, soltar la pieza, ubicarse sobre el dispositivo de sellado, bajar sobre la pieza realizando una leve presión sobre la misma, haciendo que entre la profundidad necesaria para un sellado óptimo de la botella.
 - Si el dispositivo se sella mediante una tapa con sistema de roscado *eurospin*, el robot debe realizar mínimo 8 movimientos, los cuales serían: ubicar la tapa sobre el envase, bajar hasta el punto más alto del recipiente, girar la tapa 30°, soltar la tapa, girar el brazo del robot -30°, sujetar el dispositivo de sellado de nuevo, girar de nuevo 30° y liberar de nuevo el dispositivo.
- **Dimensiones:** Debe cumplir mínimo con las restricciones anteriormente planteadas de acuerdo a las dimensiones de la botella y de las demás restricciones que se plantean. Estas dimensiones deben ser las necesarias para evitar el derrame del líquido.

- **Material:** Debe ser un material que al tener un impacto con el vidrio de la botella no genere fisura alguna al dispositivo o al recipiente (ver Tabla 1. Propiedades Generales del Vidrio)²⁶. También debe ser un material suficientemente resistente que soporte las presiones que ejerce el efector final del robot sobre éste para poder sellar el envase.

1.2.3. Matriz de Priorización

Porcentaje por Criterio	20%	15%	10%	20%	25%	10%	100%
CRITERIOS	Peso	Facilidad de Fabricación	Almacenamiento	Durabilidad	Calidad del Sellado	Tipo de sellado	TOTAL
Tapón en Aluminio	2	2	3	3	2	3	2,40
Tapón en Bronce	1	1	3	3	2	3	2,05
Tapón en Parafina	3	3	3	1	3	3	2,60
Tapa en Aluminio	2	2	3	3	2	2	2,30
Tapa en Bronce	1	1	3	3	2	2	1,95
Tapa en Parafina	3	3	3	1	3	2	2,50

Tabla 2. Matriz de priorización para selección del dispositivo de sellado

Criterios:

- **Peso:** Peso en gramos del dispositivo de sellado terminado con las mismas dimensiones. Este criterio busca determinar que el peso del envase sellado, el *pallet* y el *carrier* no excedan el peso máximo que permite transportar la banda transportadora por tramo que es de 3 Kg.
 3. Peso entre 2 y 12 gramos.
 2. Peso entre 13 y 19 gramos.
 1. Peso de más de 20 gramos.
- **Facilidad de Fabricación:** Facilidad de corte del material de acuerdo a la densidad del material en (Kg/L).

²⁶ Para determinar el peso máximo que el envase de las estaciones MPS®PA está en capacidad de soportar, es necesario realizar una prueba de resistencia, sin embargo, para esto, sería necesario destruir el envase.

3. Densidad de 0 a 1.5 Kg/L.

2. Densidad de 1.6 a 3 Kg/L.

1. Densidad de más de 3 Kg/L.

- **Almacenamiento:** Capacidad de ser apilado y colocado en el dispensador de tapas. Peso máximo sobre una pieza sin deformarse.

3. Soporte de peso de más de 100 gramos.

2. Peso entre 50 y 100 gramos.

1. Peso inferior a 50 gramos.

- **Durabilidad:** Tiempo estimado de desgaste del material en el cual el ajuste necesario para el sellado del envase ya no es el indicado.

3. Tiempo superior a 1 año

2. Tiempo entre 6 meses y 1 año.

1. Tiempo inferior a 6 meses.

- **Tipo de Sellado:** Número de movimientos que debe realizar el robot para el sellado de los envases.

3. Movimientos del robot inferiores a 5.

2. Entre 5 y 10 movimientos del robot.

1. Movimientos del robot superiores a 10.

Teniendo en cuenta los resultados de la matriz de priorización se observa que la opción de dispositivo de sellado con mayor puntaje es el tapón en parafina, con 2,6, por lo que se elige éste como dispositivo de sellado del producto final que se pretende lograr en este proyecto. (Ver Anexo 7, plano número 3).

1.2.4. Consideraciones del sellado con el Robot Mitsubishi MELVA IV RV2A

Para determinar la factibilidad del sellado mediante el uso del robot Mitsubishi MELFA con el que cuenta el CIM, es necesario tener en cuenta las restricciones de peso y fuerza que presenta el mismo, así como los movimientos y presiones que se deben ejercer sobre el tapón para lograr un sellado exitoso.

Para determinar la fuerza necesaria para sellar el envase con el dispositivo seleccionado, se realizaron mediciones con un dinamómetro, sin embargo, los resultados fueron variables al considerar que el coeficiente de dilatación del diámetro interno del cuello de la botella provoca variaciones notables en el mismo, esto se pudo evidenciar de manera empírica al ubicar el tapón y realizar el sellado y notar cierto grado de dificultad, y después al cambiar de ambiente y notar que el ajuste entre el dispositivo de sellado y el envase, había variado.²⁷

Se realizaron mediciones para 16 envases, ya que este fue el resultado encontrado de acuerdo al cálculo de tamaño de la muestra para una población finita, con una confiabilidad del 95% y un error del 10% como se muestra en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

En donde N corresponde al tamaño de la población, es decir 20 envases; d corresponde al porcentaje de error, 10%; Z para una confiabilidad del 95% es 1,96, y p y q se toman con valores iguales de 0,5.

Para cada uno de los envases se realizaron pruebas con 5 tapas, los resultados en gramos, fueron los siguientes:

	Tapa 1	Tapa 2	Tapa 3	Tapa 4	Tapa 5
Envase 1	545	620	750	580	680
Envase 2	620	655	700	630	720
Envase 3	725	530	575	715	660
Envase 4	560	595	535	565	665
Envase 5	650	600	560	670	730
Envase 6	740	610	530	595	695
Envase 7	545	535	620	565	710
Envase 8	720	645	610	525	715
Envase 9	680	615	630	735	545
Envase 10	610	715	575	670	655
Envase 11	735	600	685	585	575
Envase 12	590	535	625	685	635

²⁷ Estas variaciones se notaron durante la realización de pruebas del dispositivo de sellado.

Envase 13	725	545	705	645	565
Envase 14	535	685	590	665	590
Envase 15	535	650	710	705	630
Envase 16	620	690	630	590	625

Tabla 3. Fuerza requerida para realizar el sellado (gramos)

En promedio, se tiene que la fuerza requerida es de 631,35 g_f para realizar el sellado con el dispositivo tipo tapón, con una desviación de 64 g. Para determinar la fuerza mínima de sellado se toma el valor máximo encontrado en las mediciones, 750 gramos, más un 20% que se agrega a este valor por seguridad, es decir, que se requiere un mínimo de 900 gramos fuerza para realizar el sellado.

Para asegurar el sellado de los envases, la programación de la rutina del robot en *Cosimir Professional*, se realizó de manera tal que una vez ubicado el tapón sobre el envase, la pinza se cierra y se ubica sobre el dispositivo de sellado (Ilustración 15, lado izquierdo), para después descender hasta una distancia controlada que permite que la pinza quede exactamente encima de la tapa, en la posición en la que ésta debe estar cuando se ha realizado el sellado correctamente (Ilustración 15, lado derecho).

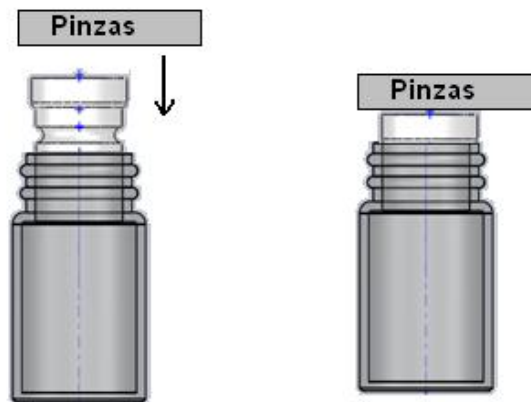


Ilustración 145. Sellado del Envase con Robot Mitsubishi MELFA IV. Fuente: Elaboración de los Autores

Por otro lado, teniendo en cuenta que las pinzas del robot Mitsubishi del CIM trabajan con una presión de 0,4 MPa²⁸, y teniendo en cuenta el siguiente gráfico, se concluye que las pinzas ejercen una fuerza de 40 Newtons, aproximadamente.

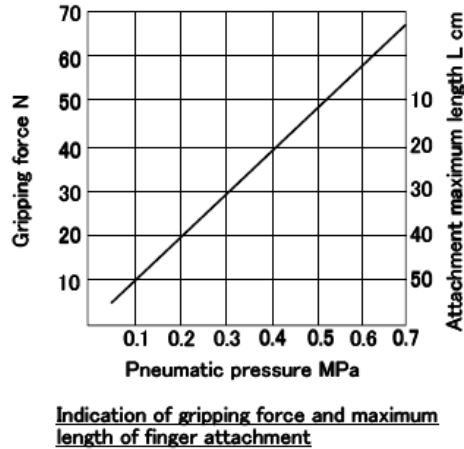


Tabla 4. Fuerza de agarre de la pinza del Robot Mitsubishi MELFA IV RV2A.²⁹

Estos 40 Newtons representan la fuerza aproximada que ejerce la pinza neumática sobre el envase y sobre el dispositivo de sellado cuando son manipulados por el robot del CIM; aunque no se ha determinado la resistencia particular del envase utilizado por las estaciones MPS®PA, según la Tabla 1. Propiedades Generales del Vidrio, se observa que la resistencia a la compresión es de 1000N/mm². Teniendo en cuenta que el área de contacto de la pinza con el envase es mayor a 1 mm², y además que la fuerza que ejerce el robot no es superior, ni cercana a 1000 N, se puede concluir que es seguro manipular el envase con este equipo.

Para el dispositivo de sellado, se encuentra algo similar, este presenta una resistencia³⁰ de 70 N/mm², por lo que es seguro manipular este dispositivo con el robot Mitsubishi MELFA IV.

En cuanto a la capacidad del robot, como se observa en la siguiente ilustración, se tiene que la capacidad mínima es de 1 Kg, por lo que el conjunto (envase lleno, y tapa) no debería sobrepasar este peso. El envase tiene un peso de 80 g, y la tapa (incluyendo el anillo de seguridad) uno de 21 gramos; el contenido máximo es de 50 ml, dado que las estaciones trabajan con agua, se tiene un

²⁸ Información solicitada a los técnicos del laboratorio C.T.A.I.

²⁹ Mitsubishi Electric. Industrial Robot RV2A/RV3AJ/RV-2AM/RV-3AJM. Consultado en línea Noviembre 28 de 2010. URL: <http://www.rixan.com/Portals/0/RV-2A%203AJ%20Brochure.pdf>

³⁰ Resina Acetal (POM). Consultado en línea Noviembre 28 de 2010. URL: <http://www.general-aislante.com.ar/acetal.htm>

peso de 50 g para el contenido, para un total de 150 gramos por conjunto. De acuerdo a esto, se concluye que este peso no supera las restricciones de carga del brazo robótico.

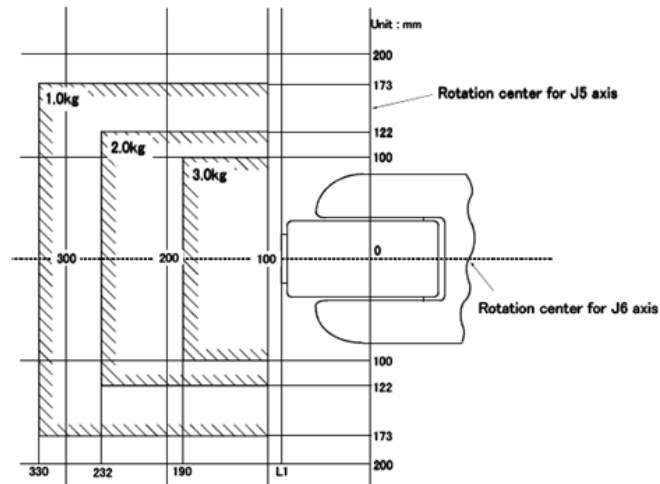


Ilustración 156. Capacidades de carga de acuerdo a la extensión del brazo del Robot Mitsubishi MELFA IV³¹.

2. RUTINA DE PRODUCCIÓN

Para llevar a cabo el producto final que previamente se ha determinado, es necesario seguir una secuencia de operaciones, y aunque las operaciones principales de llenado, sellado y almacenado están claramente definidas, como también lo está su orden de ejecución, puesto que son indispensables para lograr el resultado deseado, existen diferentes posibilidades en el orden de ejecución de las actividades auxiliares para estos subprocesos.

El orden de ejecución general consiste en primera instancia, en ejecutar las actividades de tipo continuo de las estaciones MPS®PA; en ellas, se harán las operaciones de filtrado, mezclado, reacción y llenado. Después, una vez el envase ha sido llenado, en el CIM se realizan las operaciones siguientes de sellado y almacenado.

Debido a la naturaleza continua de la primera parte del proceso, realizado en las estaciones, la secuencia de operaciones está establecida, ya que por más que se cambie el orden de las

³¹MELFA. Industrial Robot. Standart Specifications Manual. Consultado en línea Noviembre 28 de 2010. URL:<http://download.mitsubishi-automation.com/resources/manuals/132313.pdf>

actividades (filtrado, mezclado, reacción) el tiempo requerido para realizarlas no lo hará. Sin embargo, para el proceso de sellado y almacenamiento realizado en el CIM, se requiere un análisis más riguroso en cuanto al orden de ejecución, ya que existen diferentes maneras de realizar una operación, lo que implica diferentes distancias recorridas, o diferente número de movimientos requeridos, y por lo tanto diferencias en los tiempos de producción. Este último se toma como factor determinante para la selección del orden de ejecución de las actividades en el CIM.

2.1. Orden de ejecución de actividades en el CIM

A continuación se describen algunas de las posibles opciones:

Sellado en dispositivo de almacenamiento: Consiste en usar un dispositivo de almacenamiento temporal, ubicado en la mesa de alimentación del CIM. De esta manera, el envase lleno es llevado a la mesa de alimentación, donde se realiza el proceso de sellado cada vez que un envase llega a este punto, después, una vez se han sellado los envases, son transportados a los *pallets* y posteriormente a la banda transportadora para su almacenamiento.

Sellado en *pallet*: Otra de las opciones consiste en que una vez se ha terminado el proceso de llenado, se llevan los envases a los *pallets* ubicados en la mesa de alimentación y se realiza el proceso de sellado allí, posteriormente los *pallets* se ubican sobre la banda transportadora para ser almacenados.

Sellado en estación MPS®PA de llenado: Cuando el envase ha sido llenado, se realiza el sellado del mismo en el punto final de la banda transportadora de la estación, después se lleva el ensamble a la mesa de alimentación donde se encuentra un *pallet* desocupado. Se ubica el envase en el *pallet*, y se transporta a la banda transportadora para almacenar el producto terminado.

2.2. Análisis de las opciones

La primera opción, sellado en dispositivo de almacenamiento temporal, en la que se hace uso de un dispositivo en la mesa de alimentación, presenta un inconveniente relacionado con la falta de espacio en la misma (Ilustración 17), ya que actualmente en esta mesa se encuentran dispensadores para piezas de bronce y aluminio, que se utilizan en la rutina ordinaria del CIM. Además, el uso de esta estructura implica hacer un paso extra en el proceso, ya que se deben

ubicar los envases en el *pallet* y adicionalmente en el dispositivo, lo que supone destinar una cantidad de tiempo a esta operación, aumentando el tiempo total de producción.

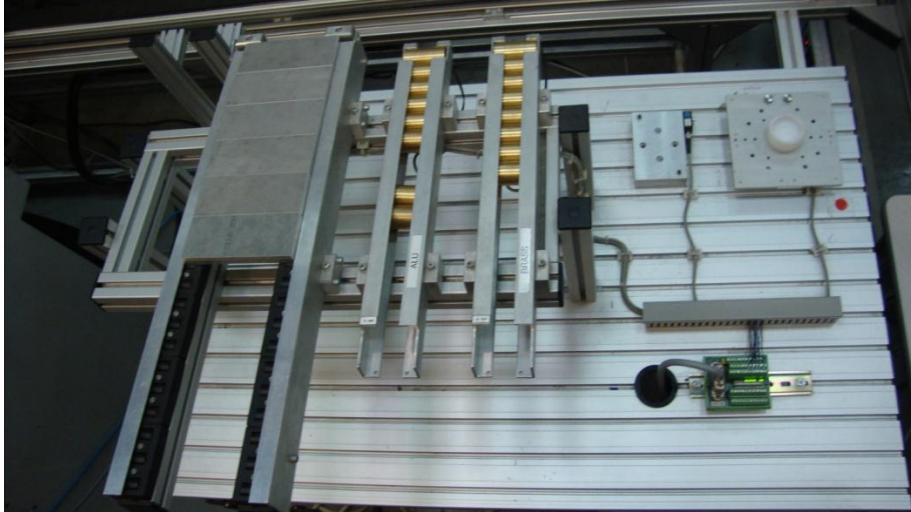


Ilustración 16. Mesa de Alimentación CIM

La opción de sellado en *pallet*, aunque no implica pasos adicionales en el desplazamiento de los envases, si lo hace con los dispositivos de sellado, ya que para minimizar el recorrido del robot Mitsubishi MELFA en la realización de estas operaciones, se requiere que el dispositivo de sellado se encuentre relativamente cerca del envase al momento de taponarlo. Para lograr esto, el lugar más cercano a los *pallets* se encuentra dentro de la misma mesa de alimentación, sin embargo, como se había mencionado anteriormente, existe una restricción de espacio en este lugar. Además el desplazamiento necesario entre el punto de recogida del envase lleno, el punto de recogida del dispositivo de sellado, y la ubicación del *pallet* hace que el tiempo de producción se aumente.

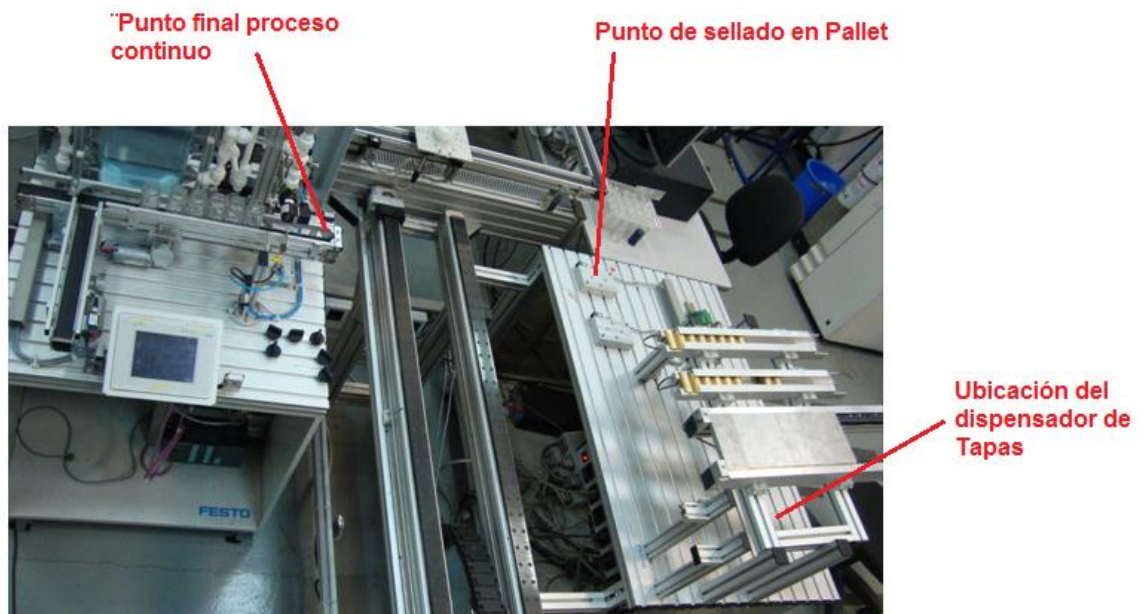
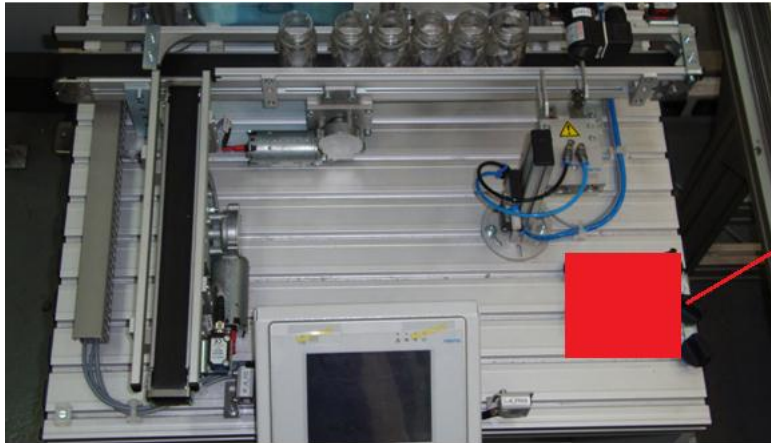


Ilustración 17. Sellado en pallet.

La última opción de sellado en la estación MPS®PA, evita el uso del dispositivo de almacenamiento temporal; además permite la ubicación más cercana posible del dispensador de tapas (ver Anexo 7, plano 5) al punto final de proceso continuo, disminuyendo así, el número de pasos requeridos para hacer el proceso, así como la distancia recorrida por el robot Mitsubishi MELFA y el tiempo total de producción.

Para asegurar la mínima distancia posible entre el punto de recolección de las tapas y el punto de sellado, en la última opción, de sellado dentro de la estación, el dispensador se ubica dentro de la superficie de la estación MPS®PA de llenado como se muestra en la ilustración 19.



Ubicación dispensador de tapas dentro estación de llenado

Ilustración 18. Ubicación dispensador de tapas en estación MPS®PA de llenado.



Ilustración 19. Dispensador de Tapas en la Estación MPS®PA de Llenado.

Uno de los inconvenientes relacionados con esta rutina, es que los movimientos del Robot Mitsubishi destinados para la operación de sellado, son cercanos a los elementos de la estación de llenado, como el tanque dispensador, la válvula dispensadora y la banda transportadora; creándose en esta actividad, un factor de riesgo para los elementos anteriormente mencionados. Sin embargo, debido a la automatización de los procesos, y de los movimientos del brazo robótico del CIM, siempre y cuando se mantengan constantes las posiciones de los elementos de la estación y de la misma estación, y que la programación del brazo robótico sea la correcta y asegure que los desplazamientos del robot no interfieran con los elementos de la estación, ni con

los procesos, este riesgo se encuentra controlado. A continuación se muestra una tabla resumen con las diferentes opciones:

Opción	Ventajas	Desventajas
Sellado en dispositivo de almacenamiento temporal	Ubicar los envases llenos en un dispositivo de almacenamiento temporal podría permitir la inspección del mismo antes del sellado.	El uso de un dispositivo de almacenamiento temporal añade tiempo al proceso de producción. Adicionalmente, no existe espacio disponible para esta estructura en la mesa de alimentación.
Sellado en <i>pallet</i>	Evita el uso de un dispositivo de almacenamiento temporal, disminuyendo el número de pasos necesarios para el transporte del envase desde el punto de llenado hasta que se posiciona en la banda transportadora.	El punto de recogida de tapas queda distanciado del punto de sellado, aumentando el recorrido y por lo tanto el tiempo de producción.
Sellado en estación MPS®PA de llenado	Disminuye el número de pasos en el proceso de sellado y puesta de <i>pallet</i> en la banda transportadora, así como la distancia entre el punto de recogida de las tapas y el punto de sellado.	Debido a la ubicación del dispensador de tapas dentro de la estación MPS®PA, el rango de movimiento del robot Mitsubishi para la operación de recogida de tapas y operación de sellado es cercano a los elementos de la estación, implicando un riesgo para los mismos.

Tabla 5. Tabla comparativa de las opciones de orden de ejecución de la producción en el CIM.

Para la selección de la mejor opción de acuerdo al factor determinado, tiempo de producción, se realizó una toma de tiempos en donde se determinó el tiempo total transcurrido desde que el

envase lleno está disponible para el sellado en la banda transportadora, hasta que el producto está listo para almacenamiento, es decir, desde que el sensor final de la banda transportadora de la estación MPS®PA de llenado es activado, hasta que el *pallet* que contiene el envase listo se ubica en la banda transportadora. La razón por la que se elige este rango de actividades es porque son las actividades que cambian entre cada opción de rutina, ya que otras actividades, como por ejemplo el transporte del *pallet* en la banda transportadora y su almacenamiento, es igual para todas las opciones. Los tiempos tomados son equivalentes al tiempo que toma en hacer estas actividades para un envase. En el anexo 6 se encuentran los tiempos para cada una de las opciones anteriormente nombradas, y para la rutina de producción seleccionada. La siguiente es una tabla resumen de los resultados encontrados:

	Sellado en dispositivo de almacenamiento temporal	Sellado en <i>pallet</i>	Sellado en estación MPS®PA de llenado
Media (s)	28,948	35,242	19,322
Desviación (s)	0,6098	0,7750	0,2877
Suplemento	0,0075	0,0075	0,0075
Tiempo Estándar (s)	29,1651	35,5063	19,4669

Tabla 6. Resumen de tiempos para cada una de las opciones de orden de ejecución de actividades en el CIM

De acuerdo con el factor seleccionado para determinar la mejor rutina, el tiempo total de producción, en la anterior tabla se evidencia que la tercera opción, el sellado en la estación MPS®PA de llenado, es la rutina que requiere un menor tiempo, y dado que las demás operaciones de la rutina de producción en el CIM y en las estaciones de flujo continuo, son iguales para las demás opciones, y no representan un cambio en el tiempo, es esta, la tercera rutina, la seleccionada para realizar el proceso.

2.3. Listado de Actividades

A continuación se presenta un listado de las actividades ejecutadas por cada uno de los componentes de los sistemas a integrar, según la rutina de producción seleccionada anteriormente.

Estación de Filtrado

- Llenar el depósito de agua sucia de la estación de filtrado.
- Iniciar proceso de filtrado.
- Filtrado del agua.
- Bombeo de agua a primer depósito de dosificación de la estación de mezclado.

Estación de Mezcla

- Llenar los dos depósitos de dosificación restantes de la estación de mezclado (manual o automático dependiendo de la mezcla requerida).
- Establecer las proporciones de mezcla.
- Bombeo de líquido desde depósitos de dosificación hacia depósito principal.
- Mezclado del líquido.
- Bombeo de líquido a depósito de estación reactor.

Estación Reactor

- Configuración de temperatura y tiempo.
- Reacción del líquido (calentamiento y agitación).
- Bombeo de mezcla a depósito principal de estación de llenado.

Estación de Llenado

- Establecer parámetros (cantidad de llenado (ml) y cantidad de envases).
- Bombeo de mezcla a depósito dosificador.
- Inicio banda transportadora estación de llenado.
- Llenado de recipientes.

CIM

- Tomar *pallet* desocupado para envase y ubicarlo en la banda transportadora (*Station 3*) - AS/RS.

- Transportar *pallet* desocupado hasta puesto de alimentación (*Station 4*) – Banda Transportadora.
- Tomar *pallet* desocupado (para envase) de la banda transportadora y ubicarlo en la mesa de alimentación - Robot Mitsubishi MELFA.
- Tomar tapa de dispensador - Robot Mitsubishi MELFA.
- Ubicar tapa en envase, realizar sellado - Robot Mitsubishi MELFA.
- Tomar envase y ubicarlo en *pallet* en la mesa de alimentación – Robot Mitsubishi MELFA.
- Tomar *pallet* con producto (envase lleno y tapa), ubicarlo en banda transportadora (*Station 4*) – Robot Mitsubishi MELFA.
- Transportar *pallet* con producto hasta puesto de alimentación AS/RS (*Station 3*) – Banda Transportadora.
- Tomar *pallet* con producto de banda transportadora y almacenarlo en espacio correspondiente – AS/RS.

2.3.1. Proceso de Producción Dispositivo de Sellado (Tapa)

CIM

- Tomar *pallet* con materia prima y ubicarlo en banda transportadora (*Station 3*) – AS/RS.
- Transportar *pallet* con materia prima hasta punto de alimentación Robot Mitsubishi MELFA (*Station 4*) – Banda Transportadora.
- Tomar *pallet* con materia prima y ubicarlo en mesa de alimentación – Robot Mitsubishi MELFA.
- Tomar materia prima y ubicarla en mordaza de Torno EMCO CNC – Robot Mitsubishi MELFA.
- Realizar torneado de pieza – Torno EMCO CNC.
- Tomar tapa (dispositivo de sellado) y ubicarla en dispensador ubicado en estación MPS®PA de llenado.

Nota: Para consultar la distribución de los componentes del CIM y sus especificaciones técnicas, así como la ubicación de las estaciones (*Station 2, 3 y 4*) de la banda transportadora, por favor consulte el manual “*iCIM Technical Documentation*”, el cual puede ser encontrado en las instalaciones del Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Universidad Javeriana Bogotá.

Proceso: Embotellado Y Sellado

Desde: Filtrar el Agua

Hasta: Depositar producto terminado en almacén AS/RS

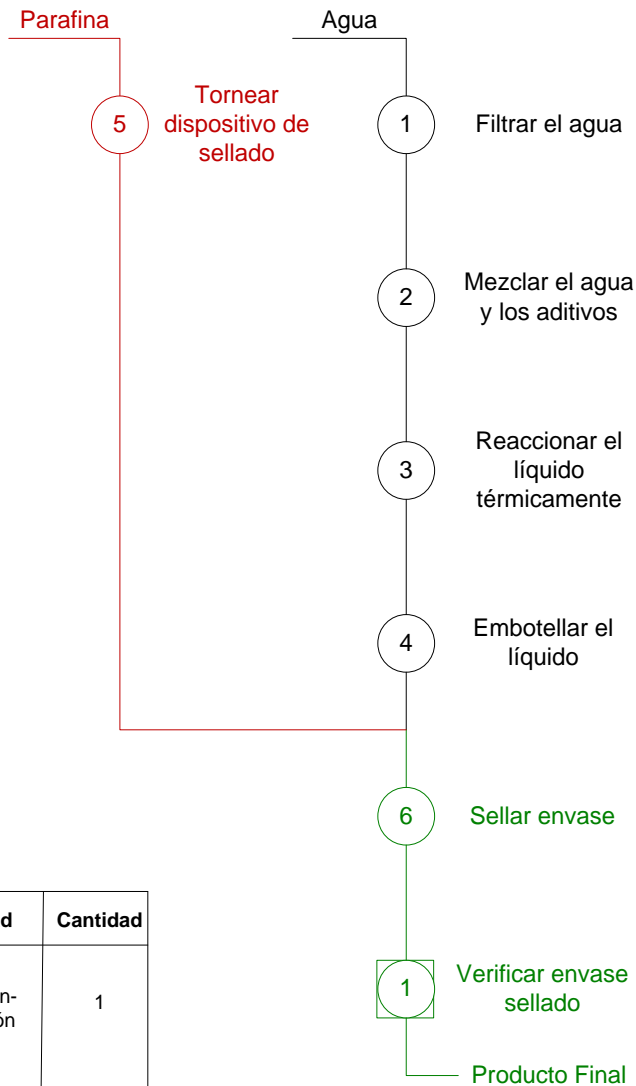
Diagramado por: Juliana Jaramillo, Diego Tabares

Revisó y Aprobó: Martha Manrique

Fecha: Octubre 10 de 2010

Observaciones:

Color	Flujo
■	Proceso de las MPS@PA
■	Fabricación Dispositivo de Sellado
■	Sellado del Envase



Símbolo	Actividad	Cantidad
□	Operación-Inspección	1
○	Operación	6
Total		7

Diagrama de Operaciones proceso Embotellado y Sellado

3. DISEÑO DE PIEZAS Y SOPORTES ADICIONALES PARA LA INTEGRACIÓN

Con el propósito de llevar a cabo la integración entre las estaciones y el CIM, y permitir el desarrollo de la rutina de producción seleccionada, se hacen necesarios una serie de estructuras de soporte para facilitar la manipulación de los elementos que componen el producto terminado, como el envase y el dispositivo de sellado.

Actualmente en el CIM convergen diferentes procesos de producción de piezas cilíndricas de bronce y aluminio, y de láminas de aluminio, así como rutinas y prácticas libres en las que se manipulan elementos como botellas de plástico y cubos acrílicos, sin embargo, las estructuras utilizadas en el desarrollo de estas actividades, no son compatibles con los elementos que se involucran en este proyecto. Por ejemplo, los soportes de los *pallets* utilizados para las piezas cilíndricas tienen un diámetro aproximado de 30mm, mientras que el cuerpo del envase es de 42mm, razón por la cual es inviable utilizar este soporte. Igualmente ocurre con los dispensadores de piezas disponibles actualmente en el CIM, ya que no cumplen con las dimensiones requeridas para manipular los elementos de la integración. Por esta razón se han diseñado una serie de dispositivos y estructuras que facilitan la ejecución de la rutina de producción establecida, y mejoran la manipulación de elementos; a continuación se presentan:

3.1. Soporte para envase

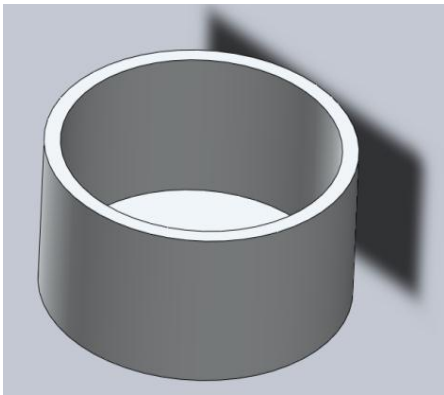


Ilustración 20. Soporte para envase
Fuente: Elaboración de los autores
(SolidWorks®)

Esta pieza tiene la función de sostener y dar seguridad a los envases una vez han sido llenados con la mezcla y mientras se transportan sobre la banda del CIM. Este soporte se acopla a los *pallets* que se utilizan actualmente en el CIM para el transporte de piezas y materia prima, el soporte, se ubica sobre éstos formando un ensamble.

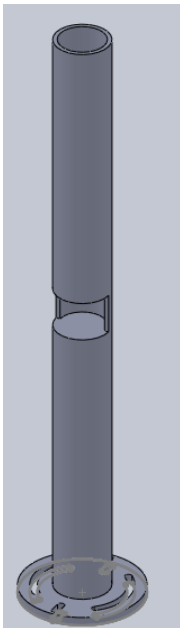
El diseño para este dispositivo de soporte es similar a los soportes existentes, esto, para dar uniformidad a los *pallets* del CIM, y para evitar modificaciones sobre los *pallets* actualmente utilizados.

Los *pallets* que vienen de fábrica para el almacén AS/RS, tienen soportes con 30mm de diámetro, destinados para los materiales cilíndricos y de 125x140x60 mm para los

bloques. Debido a que el diámetro del cuerpo del envase es de 42mm, se hace necesario diseñar este nuevo dispositivo que permita el almacenamiento de la botella y que se ajuste perfectamente a los perfiles de los *pallets*.

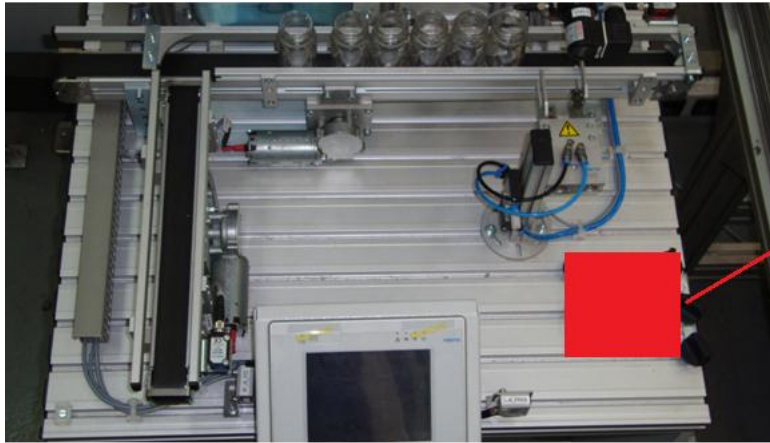
El soporte está elaborado en aluminio anodizado, y tiene un diámetro interno similar al del cuerpo del envase (4.2cm), la altura es superior a los existentes para piezas de cera y de bronce ya que los puntos de agarre del soporte con el *pallet* están ubicados dentro del diámetro del envase, por eso, a diferencia de los otros soportes, es necesario agregar un piso a la estructura en cuya altura son insertados los tornillos, de manera que son cubiertos por el material, permitiendo la sujeción de la pieza y evitando el contacto entre los tornillos y el envase.

3.2. Dispensador de tapas



Este dispositivo, como lo indica su nombre, tiene la función de dosificar las tapas o dispositivos de sellado de manera que el brazo robótico Mitsubishi pueda tomar cada pieza individualmente y ubicarla sobre el envase. Está ubicado sobre la superficie de la estación MPS®PA de llenado como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 21.
Dispensador de
tapas
Fuente:
Elaboración de
los autores
(SolidWorks®)



Ubicación dispensador de tapas dentro estación de llenado

Ilustración 22. Ubicación del dispensador de tapas.

En el proceso de diseño del dispositivo uno de los objetivos más importantes fue que éste ocupara un área mínima, por esto, se decidió por una estructura completamente vertical, a diferencia de los dispensadores existentes actualmente en el CIM, que tienen una estructura inclinada sobre la horizontal, es decir, con un ángulo de inclinación para facilitar el desplazamiento de las piezas como se muestra en la siguiente ilustración:

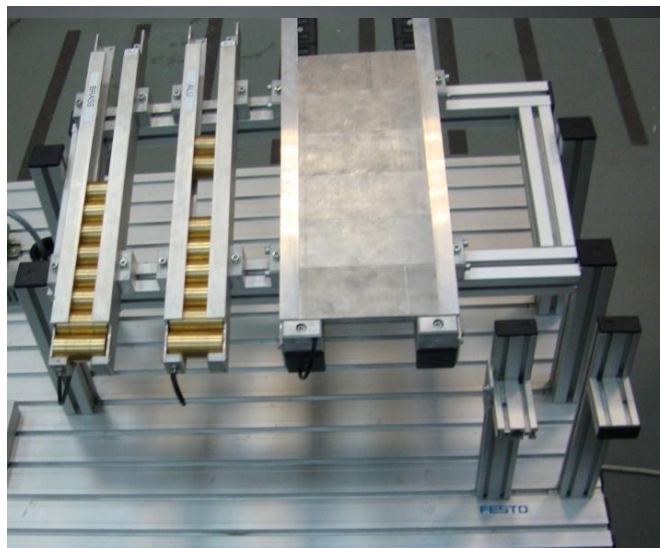


Ilustración 23. Dispensadores de material prima del CIM

El dispositivo diseñado, tiene capacidad para 8 tapas, las cuales son depositadas manualmente en el mismo. El dispensador tiene una abertura a 20cm de la superficie de la estación de llenado, por

la cual el robot Mitsubishi MELFA tiene acceso a la tapa. Esta altura fue considerada ya que es similar a la altura del cuello de la botella cuando alcanza el punto final de la banda transportadora de la estación, esta similitud permite que la trayectoria del robot de un punto a otro sea menor que si la abertura del dispositivo estuviera al mismo nivel de la superficie de la estación; además es preferible mantener la horizontalidad durante la manipulación de las piezas, ya que evita perder la posición de las mismas, de manera que cuando el dispositivo de sellado alcance el punto donde se encuentra el envase, no se presenten inconvenientes en el momento del sellado.

El material seleccionado para la fabricación de este dispositivo es aluminio anodizado. Este material fue seleccionado por sus propiedades físicas como la resistencia, dureza y durabilidad, y adicionalmente porque su aspecto es compatible con el de las estaciones MPS®PA, manteniendo la estética de las mismas.

3.3. Protección para envase

Debido al material en el que está constituido en envase, y el material y fuerza utilizados por el Robot Mitsubishi para la manipulación de elementos, se hace necesario el uso de una barrera entre los mismos, que amortigüe el golpe cuando el actuador final del brazo del robot se cierra para tomar el envase lleno al final del proceso continuo.

Una de las soluciones a este inconveniente, fue envolver el actuador final en un material con capacidad de compresión, similar a una espuma, como el neopreno, sin embargo, después de hacer varias pruebas con diferentes grosores, se concluyó que esta opción no era viable debido a que entorpecía el funcionamiento del robot, impidiendo el cierre total del actuador y dificultando la operación de enganche de los *pallets*.

Por lo anterior, se optó por utilizar una protección directamente sobre el envase más no sobre el actuador del robot, esta protección es similar a una banda y protege el cuello de la botella que es el punto en donde el actuador final del robot hace contacto con el envase. El material de esta banda, es una espuma suave con alta capacidad de compresión.

4. DESARROLLO DE LA COMUNICACIÓN

La etapa de desarrollo de la comunicación entre las MPS®PA y el CIM del Centro Tecnológico de Automatización Industrial – C.T.A.I.- constituye el núcleo de este proyecto, puesto que el establecimiento de la comunicación permite la interacción entre los componentes de cada sistema, generando paso a la ejecución de la rutina de producción en forma automatizada y cíclica, sin interacción humana y dando respuesta a una serie de órdenes iniciales dadas por el usuario.

El CIM cuenta con una interfaz de control desarrollada en Cosimir Control, aquí se pueden visualizar los procesos en ejecución, así como dar inicio a la realización de tareas por parte de los componentes del CIM. Para lograr esto, es necesario conectar cada uno de los elementos del sistema al programa de control de manera que éste pueda leer y escribir las variables por medio de un controlador lógico programable o P.L.C. La conexión entre programa de control y PLC es realizada por medio de un protocolo de comunicación, a continuación se muestra una tabla resumen donde se indica el protocolo de comunicación utilizado por cada elemento del CIM:

Dispositivo	Protocolo de comunicación utilizado
Banda Transportadora	DDE
Robot Mitsubishi MELFA IV	TCP/IP
Almacén AS/RS	DDE
Torno CNC EMCO	Serial

Tabla 7. Protocolo de comunicación utilizado por cada componente del CIM³²

De manera similar, se requiere una comunicación entre las estaciones de flujo continuo MPS®PA y un sistema de control para realizar la lectura y escritura de variables de las estaciones por medio de P.L.Cs.

4.1. Comunicación Entre LabVIEW y MPS®PA (PLC S7- 300) NI OPC Server

Para el desarrollo del sistema de control de las estaciones de flujo continuo, se consideró la posibilidad de desarrollar la interfaz con el usuario usando el programa *Cosimir Control*®, que es

³² PEREZ, María. GALVIS, Lina. CÓRDOBA, Nazly. “Diseño de una fábrica modelo que permita la integración de los sistemas ERP de SPA R/3 y CIM en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial”. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. 2004.

donde se encuentra la interfaz del CIM actualmente, sin embargo, se optó por utilizar el software LabVIEW, puesto que es un ambiente de programación mucho más utilizado en la industria debido a que su programación es gráfica, y por lo tanto más accesible. Antes del desarrollo del sistema de control, era importante determinar la viabilidad del uso del *software* mencionado, puesto que en algunos casos los controladores P.LC. no son compatibles con los *software*. Para este caso, el *software* del sistema de control de las estaciones es LabVIEW, y el controlador lógico programable es el PLC S7-300 de Siemens.

El objetivo principal de esta primera etapa consiste en leer y escribir las variables del PLC, y por ende, de cada una de las estaciones, en el panel frontal de LabVIEW, es decir, en la interfaz entre el usuario y las estaciones. Este intercambio de datos se realizó por medio de un OPC (*OLE³³ for Process Control*) que permite conectar aplicaciones de *software* con controladores de procesos tipo *hardware*, el OPC con el que se realizó la comunicación es el NI OPC Server, el cual pertenece a la firma *National Instruments* bajo la cual también está LabVIEW; lo anterior asegura la compatibilidad entre estos, además esta característica también la tiene con la marca Siemens.

La configuración del *NI OPC Server* se basó en los instructivos encontrados en la página web de *National Instruments*³⁴, esta primera prueba se realizó en la estación de filtrado, intentando leer la señal del sensor superior del tanque de agua filtrada, pero no fue posible encontrar la señal y por lo tanto no se pudo establecer la conexión. El problema fue debido a la configuración de la dirección IP en el PLC y en el computador utilizado; ya que para una conexión exitosa es necesario conocer la dirección IP del PLC, y la del equipo debe ser similar a ésta. En el Anexo 1 se encuentra un instructivo sobre cómo modificar estas direcciones y establecer la conexión. Una vez modificadas las direcciones IP fue posible leer la señal enviada por el sensor. Lo que confirmó la compatibilidad entre el *software* utilizado para el desarrollo del sistema de control y el controlador de cada una de las estaciones.

Para escribir sobre los controles como válvulas de la MPS[®]PA, fue necesario determinar los códigos de las memorias o *flags* que correspondían a cada control, esto se hizo utilizando el CD Designer 6 en donde se encontró la relación entre cada uno de los botones de las pantallas táctiles de las estaciones y su respectiva memoria o *flag* (Ver anexo 3). Posteriormente se configuró una de las válvulas de la estación de filtrado, de la misma manera en que fue configurado el sensor, y se realizaron las pruebas de escritura, comprobando que el envío y recepción de datos eran posibles entre LabVIEW y el PLC S7 300 por medio del NI OPC server.

³³ OLE: Object Linking and Embedding. Tecnología de Microsoft para compartir información entre distintas aplicaciones de Windows.

³⁴ Siemens S7 300 con LabVIEW. Foro de la página National Instruments. Consultado en línea. Julio 30 de 2010. URL: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7450>

4.2. Comunicación entre LabVIEW y Cosimir Control (TCP/IP)

Para el desarrollo de la integración entre las MPS®PA y los componentes del CIM, se requiere un enlace de las actividades que se realizan en cada uno de los sistemas; particularmente, una conexión entre la última actividad de las estaciones MPS®PA, que consiste en el llenado de los envases, y la operación de sellado de los envases, a cargo del CIM. Además, cuando se da inicio a la producción de la integración, las estaciones inician con el filtrado del agua y el CIM debe alistar los *pallets* para el transporte del producto final al almacén.

El enlace de estas actividades es analizado y se determina que la solución para crear la interacción de todos los procesos del CIM y las MPS®PA, se requiere utilizar Cosimir Control, debido a que la interfaz del CIM, junto con las rutinas de producción del mismo, se encuentran desarrolladas en esta plataforma. De esta manera la interacción de los sistemas se reduce a la interconexión de datos entre Cosimir Control y LabVIEW.

En la etapa de comunicación entre LabVIEW y Cosimir Control, se intenta establecer una conexión por medio de OPC (OPC de Festo o NI OPC Server), que permite una comunicación confiable, y más abierta entre las entidades (PLC's, Cosimir, LabVIEW), sin embargo, se encontraron algunos inconvenientes principalmente relacionados con la licencia de uso de los OPC disponibles.

Durante las pruebas realizadas para establecer una conexión mediante OPC, se evidenció en el caso del OPC de Festo, que al seleccionar la lista de servidores (Ilustración 25. Conexión OPC FESTO), muestra el error que se aprecia en la Ilustración 26, que indica que no se puede establecer una conexión con el PLC, ya que la dirección IP no es reconocida por el servidor.

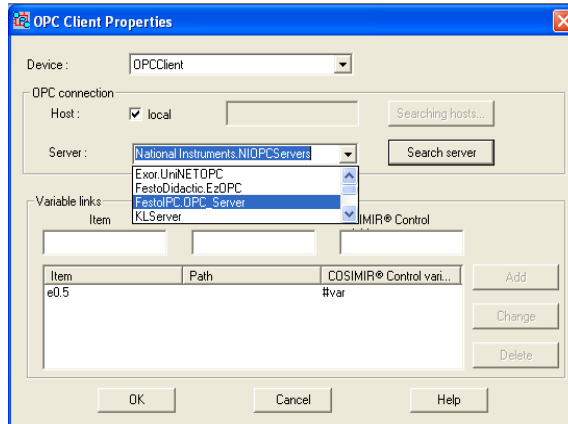


Ilustración 24. Conexión OPC FESTO

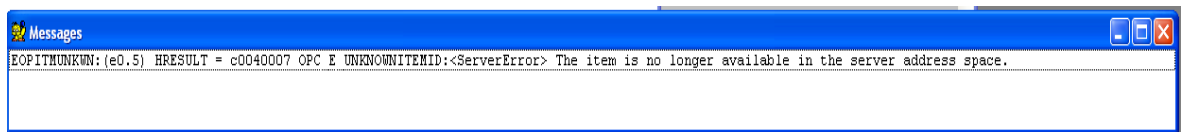


Ilustración 25. Error de conexión OPC FESTO

Por último se intentó establecer la conexión utilizando el NI OPC Server, pero debido a que no se posee la licencia del mismo, fue imposible establecer la comunicación, como lo muestra la ilustración 27, Error de conexión NI OPC Server.

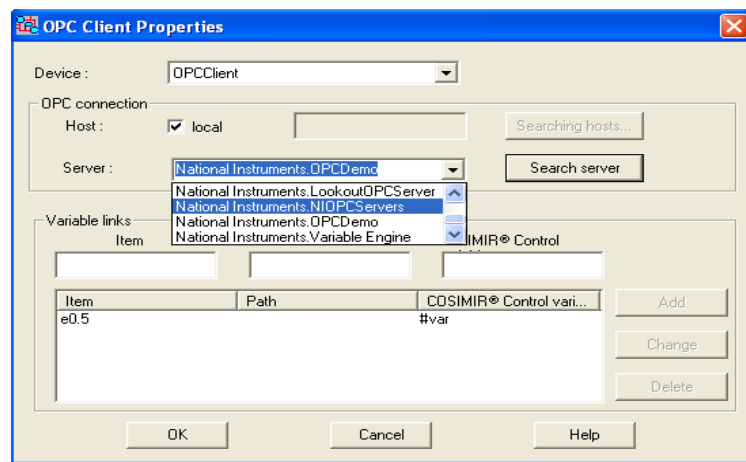


Ilustración 26. Conexión NI OPC Server

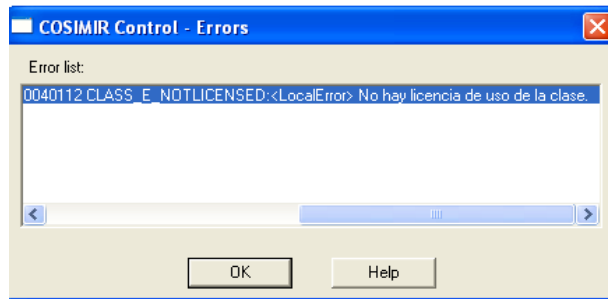


Ilustración 27. Error de conexión NI OPC Server

En vista de los inconvenientes presentados, se decidió utilizar una comunicación tipo TCP/IP en donde las plataformas de LabVIEW y Cosimir Control juegan papeles alternados de servidor y cliente. Cliente, cuando se envían datos, y servidor, cuando se reciben. Haciendo posible que LabVIEW envíe datos a Cosimir, informando que el proceso de llenado del envase ha terminado, y Cosimir, respondiendo con el envío de señales al CIM para iniciar el proceso complementario de fabricación, que inicia con el transporte del dispositivo de sellado desde el dispensador, hasta el punto final de la banda transportadora de la estación MPS®PA de llenado, en donde se encuentra el envase con el líquido embotellado.

El desarrollo de la comunicación tipo TCP/IP en LabVIEW se realizó utilizando los módulos *TCP/IP Listen*, *TCP/IP Read*, *TCP/IP Write*, *TCP/IP Open Connection* y *TCP/IP Close Connection*, en el Anexo 5, se profundiza sobre estas conexiones.

En la programación de Cosimir Control, para aceptar el envío y recepción de datos se utilizan las funciones *Accept*, *Receive*, *Send*, y *Write* de los dispositivos cliente y servidor creados.

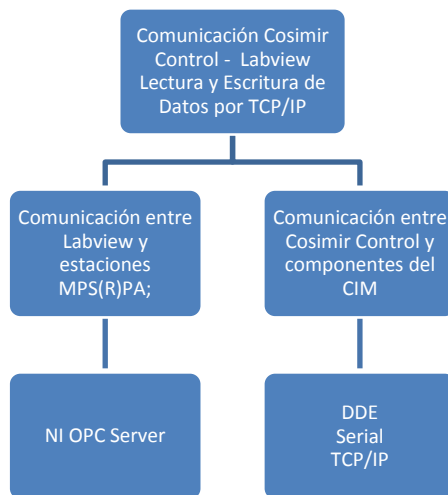


Ilustración 28. Jerarquía de comunicación de la integración. Fuente: Elaboración de los autores

4.2.1. Datos de envío entre LabVIEW y Cosimir Control

Para la ejecución del programa de Cosimir Control, en donde se encuentra la continuación del proceso de sellado, se requieren varios datos que son recibidos por LabVIEW del PLC de la estación de llenado, estos son, la cantidad de botellas a realizar, y el estado del sensor de final de de banda de la estación de llenado, que es el dato que permite dar inicio al robot Mitsubishi, para la ejecución del sellado de la botella con líquido.

5. DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ ENTRE EL USUARIO Y EL SISTEMA INTEGRADO.

Para completar la integración entre las estaciones de flujo continuo y el CIM, es necesario crear un espacio de interacción entre el usuario y los sistemas, es decir, una interfaz. La interfaz de control y visualización de uno de los sistemas, CIM, ya está desarrollada en Cosimir Control, así que es necesario realizar una interfaz para las estaciones de flujo continuo donde el usuario pueda establecer los parámetros de producción e iniciar el proceso. En el dispositivo de control desarrollado para las estaciones MPS®PA el usuario está en capacidad de ingresar los datos de control del proceso como la temperatura de la estación de reacción, la cantidad de envases y la cantidad de llenado de los envases, provenientes de la estación de llenado; así como visualizar los dispositivos de las estaciones que se encuentran en funcionamiento, el estado de sensores y válvulas, y mensajes de advertencia que indican inconvenientes en el proceso.

El tipo de interfaz utilizado para la integración se denomina GUI por sus siglas en inglés, *graphical user interface*, debido a que utiliza imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles de la interfaz.³⁵ Durante el desarrollo de la interfaz se pensó en la facilidad de manipulación del sistema por parte del usuario, la representación gráfica de las estaciones de flujo continuo y del CIM es una característica que permite un mejor entendimiento del proceso y de las acciones que se desean ejecutar.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica de las estaciones de flujo continuo se utilizaron los controles del módulo DSC (*Dataloggin and Supervisory Control*), en donde se encuentran tuberías, válvulas y bombas, elementos indispensables en las estaciones MPS®PA. Adicionalmente al uso del NI OPC Server para la lectura y escritura de las memorias de cada estación, se utilizó la herramienta *Data Binding* encontrada en las propiedades de cada elemento gráfico. Esta herramienta permite enlazar las memorias del NI OPC Server a cada uno de los elementos controladores e indicadores de la interfaz.

El panel frontal, es decir, la interfaz, diseñada en LabVIEW para la interacción del usuario con el proceso de producción, está organizada por *tabs*, o hojas, similares a la de un libro de cálculo (Ilustración 30);

³⁵ MARRERO, Carlos. Proyecto de Investigación. “INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO Aproximación semiótica y cognitiva”. Universidad de La Laguna, Tenerife 2006. Consultado en línea Septiembre 27 de 2010. URL: http://www.chr5.com/investigacion/investiga_igu/igu_aproximacion_semio-cognitiva_by_chr5.pdf



Ilustración 29. Tags. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal de LabVIEW)

En la primera de ellas, denominada “Visualización del Proceso” se encuentra el módulo de visualización de las estaciones, que permite identificar y controlar individualmente cada estación, así como activar sus dispositivos por separado y en conjunto con la opción “Inicio” en la parte superior de cada estación (Ilustración 31), cada uno de estos botones de inicio, activa la opción de proceso con estación siguiente de cada estación por separado, el botón “Parar” detiene el proceso de cada estación individual.



Ilustración 30. Botones de inicio y paro de cada estación MPS®PA.

Existe en este mismo módulo un espacio para el ingreso de datos, donde el usuario configura los parámetros de producción de cada una de las estaciones, en la siguiente ilustración se muestra el cuadro de parámetros para la estación de mezcla:

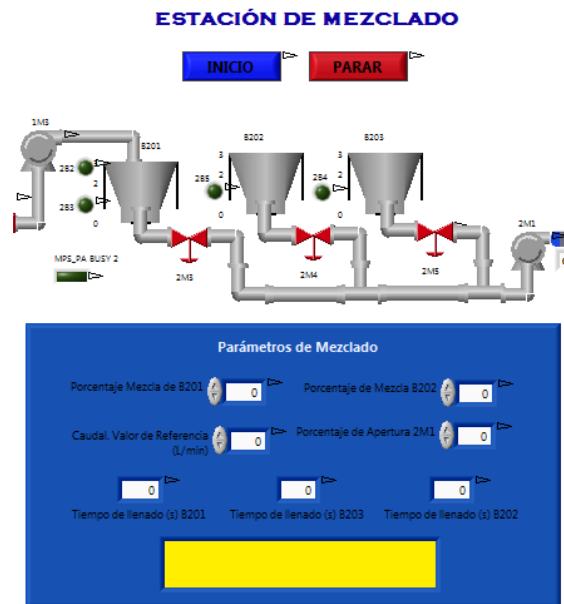


Ilustración 31. Cuadro de configuración de parámetros de la estación de mezcla.

En el recuadro azul, se encuentran los parámetros de la estación, como:

- Porcentaje de Mezcla Tanque B201
- Porcentaje de Mezcla Tanque B202
- Porcentaje de Apertura 2M1
- Valor de referencia del Caudal

Estos campos pueden y deben ser modificados por el usuario antes de dar inicio al proceso, mientras que los campos “Tiempo de llenado” de cada uno de los tanques de la estación de mezcla, son variables de lectura que indican cuánto tiempo tomará realizar la mezcla.

El campo de fondo amarillo que se encuentra en el recuadro azul, muestra en forma de texto si existe algún impedimento para la realización del proceso, es decir, una advertencia, como por ejemplo la falta de líquido en uno de los tanques. Los campos en color blanco dentro de los recuadros azules de cada estación, indican el estado del proceso, por ejemplo en el campo de la estación de filtrado aparece el mensaje “Filtrando...” cuando se está realizando esta operación.

Adicionalmente, se encuentran dos botones en la parte inferior, que controlan el proceso de producción, uno de inicio, y otro de paro. El botón de inicio, una vez accionado, da inicio a todas las estaciones MPS®PA y al CIM, activando la función de proceso “con estación siguiente” en cada una de las estaciones, y accionando los elementos del CIM para alistar los *pallets* en la mesa de alimentación.

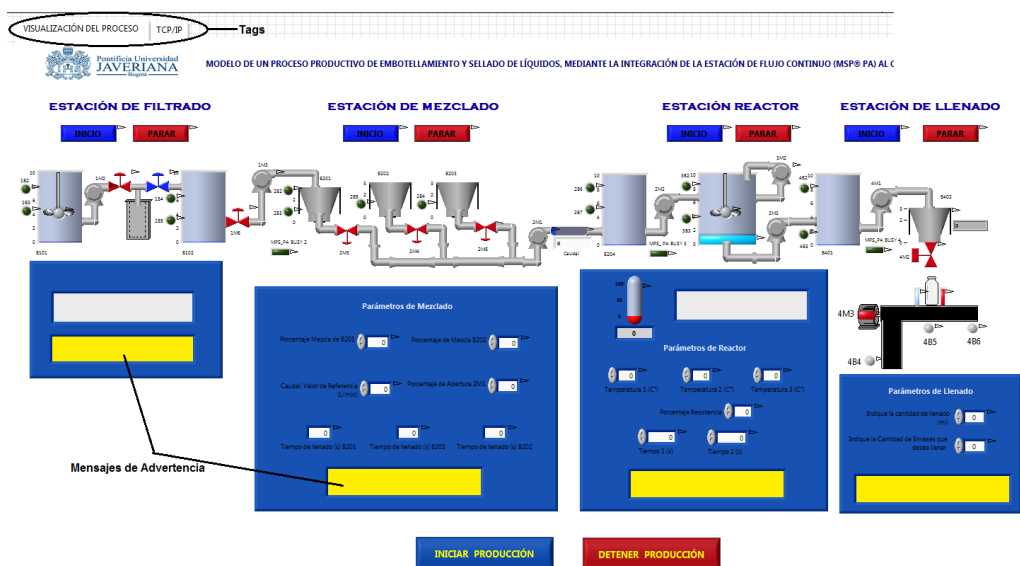


Ilustración 32. Tag Visualización del Proceso. Fuente: Elaboración de los autores (Panel frontal en LabVIEW)

En el *tag* “TCP/IP” se encuentran los campos para ingresar los datos necesarios para establecer la conexión con Cosimir Control, como la dirección IP y el número de puerto, existe un campo que indica cuando se ha establecido la conexión.



Ilustración 33. Tag “TCP/IP”. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal de LabVIEW)

Para el control y visualización del CIM, se utiliza el software Cosimir Control, en el que ya se encuentra desarrollada la interfaz con el usuario, además es donde se encuentra programada la secuencia de actividades de los componentes del sistema para la ejecución de la producción. Este módulo permite una visualización en tiempo real de la banda transportadora, la mesa alimentadora, el torno CNC y el almacén AS/RS.

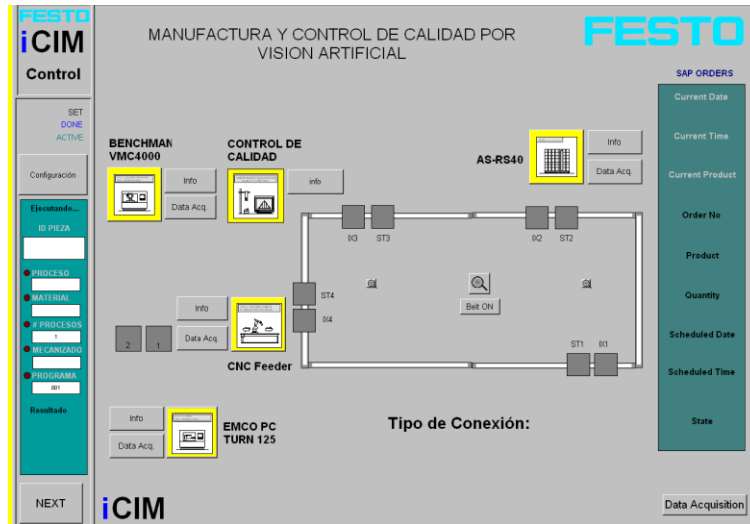


Ilustración 34. Módulo de visualización de Cosimir Control

El sistema integrado se muestra al usuario por medio de dos computadores, uno mostrando los módulos de las estaciones de flujo continuo en LabVIEW, así como la comunicación TCP/IP, y otro con Cosimir Control visualizando el CIM.

6. ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN

6.1. Análisis Costo - Beneficio

El costo beneficio de la integración de las MPS[®]PA y el CIM, se puede analizar desde dos puntos de vista, uno de ellos se enfoca desde el costo beneficio que se genera por ser un proceso desarrollado en el laboratorio de una universidad, y con finalidades de ser útil para los estudiantes de la misma; el otro punto de vista consiste en se puede evaluar el costo beneficio que se genera por el simpe hecho de realizar esta integración, siendo este un factor evaluado económicamente.

6.1.1. Factor con finalidades estudiantiles:

Este factor se mide con los siguientes datos:

Asignatura	Número de estudiantes por semestre
Procesos Industriales	150
Manufactura Flexible	150
Modelos de la programación de la producción	30
Manufactura integrada por computador	30
TOTAL	360

Tabla 8. Estudiantes por asignatura beneficiados con la integración.

Se estima un número promedio de 360 estudiantes por semestre beneficiados con la integración del CIM y las MPS[®]PA, permitiendo a estos estudiantes comprender principalmente las diferencias entre los procesos discretos y los procesos continuos, la identificación y manipulación de herramientas HMI, tanto en el software LabVIEW como en el de Cosimir Control. También permite evidenciar todo un proceso productivo desde el suministro de las materias primas, hasta el almacenamiento de un producto terminado.

A parte del aprendizaje que genera a los estudiantes que manipulen este sistema, también se identifica el beneficio que tienen los educadores al contar con este proyecto como herramienta para transmitir conceptos ingenieriles, tales como la identificación de procesos, las condiciones de seguridad, la identificación de una cadena de productividad, la viabilidad de propuestas de mejoramiento, la generación de indicadores, la variabilidad de los procesos, entre otros.

En cuanto a los agentes externos a la universidad, se encuentra un beneficio relacionado con la realización de visitas por parte de colegios, como un punto de acceso para la promoción de los programas educativos que ofrece la Pontificia Universidad Javeriana, especialmente en el área de ingeniería. También se pretende en un mediano plazo prestar un servicio a otras universidades que no cuenten con un sistema integrado de este tipo, para aportar al aprendizaje de estudiantes y profesores ajenos a la universidad.

Finalmente se puede generar un proyecto de capacitación y de planeación para que las PYMES puedan optar por un sistema automatizado que permita el aumento de la productividad en sus procesos, a través de este modelo de planta embotelladora, que demuestra que es posible realizar automatizaciones simples que permitan un mejoramiento en los procesos productivos.

6.1.2. Factor Económico:

La mayoría de los componentes que tiene el CIM del C.T.A.I. son suministrados por la empresa Festo Didactic, y ya que las MPS®PA fueron adquiridas a través de esta compañía, se contacta con una personal cualificada por Festo para realizar dicha integración. A continuación se presenta una cotización suministrada por un ingeniero con experiencias en este tipo de integraciones (Tabla 8.)

	HORAS	COSTO POR HORA	TOTAL
Medición y Planeación	40	\$ 30.000,00	\$ 1.200.000,00
Diseño de Infraestructura	20	\$ 30.000,00	\$ 600.000,00
Definición de Protocolos	20	\$ 30.000,00	\$ 600.000,00
Pruebas de Protocolos	50	\$ 30.000,00	\$ 1.500.000,00
Desarrollo de la Interfaz	120	\$ 30.000,00	\$ 3.600.000,00
Desarrollo de la Infraestructura	30	\$ 30.000,00	\$ 900.000,00
Pruebas y ajustes de la Integración	140	\$ 30.000,00	\$ 4.200.000,00
Materiales Requeridos	N/A	N/A	\$ 400.000,00
TOTAL	420		\$ 13.000.000,00

Tabla 9. Cotización costo de la integración entre el CIM y las MPS®PA³⁶

³⁶ Fuente primaria: RODRÍGUEZ O., Leonardo, Ingeniero Mecatrónico, Profesor Tiempo Completo Universidad San Buenaventura y Contratista de FESTO Colombia, información suministrada por vía telefónica el 15 de octubre de 2010.

Como se puede apreciar en la anterior tabla, los costos económicos que representaría esta integración si fuera ejecutada por una persona cualificada, son mayores en comparación de los costos que se tienen en este trabajo de grado (Ver tabla 10.), siendo una integración realizada por dos estudiantes como justificación de su trabajo de grado.

Costo de Materiales				
Materiales	Especificaciones	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tubo de Aluminio	Tubo Cilíndrico de 1"1/2	100 cm	\$ 73	\$ 7.300
Barra de Aluminio	Barra Cilíndrica de 2"1/4	50 cm	\$ 1.325	\$ 66.250
Cables de Comunicación	Cable de red de 5 m., Ethernet UTP Categoría 5E RJ45	4 Und.	\$ 10.000	\$ 40.000
Tornillos	Tornillos M4 x 0,5	16 Und.	\$ 200	\$ 3.200
O-rings	Diámetro 34 mm	20 Und.	\$ 116	\$ 2.320
Lámina de Aluminio	1m x 1m Espesor 0,4 mm	1 Und.	\$ 8.700	\$ 8.700
			Total	\$ 127.770

Tabla 10. Costo de materiales utilizados para la implementación.

Sin embargo, se presentan grandes diferencias entre las dos integraciones, por lo cual en la siguiente tabla comparativa se muestran las ventajas y desventajas que se generar por realizar la integración con las dos alternativas.

Tipo de Integración	Ventajas	Desventajas
Festo Didactic	<ul style="list-style-type: none"> • Menor tiempo de implementación dada la estandarización de procesos y la experiencia (420 Horas). • Respaldo de una compañía especializada. • Alertas y seguridad para las diferentes etapas del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo por la ejecución de la implementación (\$ 13.000.000) • Adecuación a las necesidades estandarizadas de FESTO para la integración de las MPS®PA. • Código cerrado, que no permite generar mayores modificaciones al proceso implementado.
Estudiantes PUJ	<ul style="list-style-type: none"> • Menor costo por la realización de la implementación.³⁷ Costo materiales (\$127.770) • Adecuación a las necesidades de los estudiantes y del laboratorio. • Código abierto para posteriores mejoramientos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor tiempo para la culminación de la integración. (520 Horas Aprox.) • Restricciones de software a utilizar por costos y baja justificación para la adquisición.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de cada tipo de integración.

³⁷ No se tiene en cuenta el costo de las horas de los estudiantes necesarias para el desarrollo del proyecto ya que se realiza como justificación del trabajo de grado.

6.2. Análisis DOFA de la Integración

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
	<p>El C.T.A.I cuenta con tecnología de automatización lo que permite una estandarización de los procesos y calidad en sus productos.</p> <p>Cuenta con personal calificado para el desarrollo de nuevos procesos, así como con sistemas que permiten la implementación de los mismos.</p> <p>El acercamiento a la realidad de los procesos industriales, mediante la aplicación de los conceptos adquiridos en la academia.</p>	<p>El propósito de los sistemas involucrados en este proyecto son de tipo académico y por lo tanto, sus funciones son limitadas.</p> <p>No se han desarrollado formalmente servicios de consultoría, es necesaria la promoción y desarrollo de un portafolio de servicios.</p> <p>Existen restricciones de producción relacionadas con las dimensiones del producto y con la disponibilidad de equipos.</p>
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS FO (DE CRECIMIENTO)	ESTRATEGIAS DO (DE SUPERVIVENCIA)
<p>Mejorar la comunicación entre los sistemas haciéndola más confiable y rápida.</p>	<p>Mejorar la disponibilidad de recursos para fortalecer el desarrollo de la comunicación por medio de un protocolo OPC.</p>	<p>Crear una comunicación del mismo tipo (OPC) entre todos los componentes del la sala CIM del C.T.A.I.</p>
AMENAZAS	ESTRATEGIAS FA (DE SUPERVIVENCIA)	ESTRATEGIAS DA (DE FUGA)
<p>El proceso de adaptación de nuevas tecnologías en el C.T.A.I. es un proceso dispendioso ya que se busca utilizar tecnologías probadas y que tengan un efecto a mediano plazo en la industria.</p> <p>El costo de la tecnología aleja a posibles usuarios, por preferir los métodos tradicionales de menor costo.</p> <p>Existen laboratorios competentes que ya prestan servicios similares a los que podría ofrecer el C.T.A.I. con la integración desarrollada.</p>	<p>Ofrecer servicios de consultorías a empresas de manufactura que se puedan beneficiar de los sistemas que se encuentran dentro del laboratorio.</p> <p>Realizar propuestas de implementación a empresas que demuestren el beneficio económico a largo plazo de la automatización de procesos, para mitigar el pensamiento errado que se tiene sobre la tecnología en las empresas colombianas.</p>	<p>Fortalecer el proyecto utilizando los recursos disponibles en el laboratorio, mediante la realización de nuevas rutinas, y mejoramiento continuo del desarrollo de procesos.</p>

Tabla 6. Análisis DOFA de la Integración.

7. RESULTADOS FINALES

Los resultados encontrados durante el desarrollo de este trabajo de grado se dividen en tres aspectos: la rutina de producción generada a través de la integración, el desarrollo de la comunicación entre el CIM y las MPS®PA, y el desarrollo de la interfaz que permite la manipulación de la integración.

7.1. Rutina de Producción

Para la selección de la rutina de producción, se realiza un análisis de los resultados obtenidos de la toma de tiempos de las diferentes opciones de rutina de ejecución como se muestra en el capítulo 2 de este documento.

Se determina que el mejor proceso de producción que se propone, es la rutina en la cual el robot Mitsubishi MELFA IV realiza menores desplazamientos, ya que el alimentador de dispositivos de sellado se encuentra a 25 cm lineales de los envases a sellar. Además con esta rutina es posible garantizar que el envase se encuentre sellado en todo momento de su transporte, a diferencia de las otras opciones, en las que el envase lleno se desplaza cierto porcentaje del recorrido sin ningún tipo de sellado que evite el derrame del líquido ante la presencia de un inconveniente en el trayecto desde la estación de llenado hasta la ubicación del pallet o del almacenador temporal de botellas.

En la siguiente sección se presenta una breve descripción de las actividades que realiza cada uno de los componentes de la integración: las estaciones de flujo continuo MPS®PA de filtrado, mezcla, reacción y embotellado, y los componentes del CIM, banda transportadora, almacén AS/RS, robot Mitsubishi MELFA IV y torno CNC.

7.2.1. Estación De Filtrado³⁸

La primera estación MPS®PA, se encarga de filtrar el agua con la que se realizarán los procesos en las estaciones siguientes. El agua que entra a la estación es vertida manualmente en el tanque de agua sucia (B101), “el líquido se transporta hacia el filtro (F101) mediante una bomba (1M2). Una

³⁸ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de filtración, FESTO Didactic, 2006, p. 13

vez filtrado, el líquido pasa por una compuerta para llegar al depósito de agua limpia (B102).”³⁹ En la operación de filtrado, primero se llena el filtro completamente de líquido y, a continuación, se separan las partículas de suciedad del filtro mediante aire a presión. El líquido que contiene las partículas de suciedad vuelve al depósito de agua sucia. “Una vez concluida la operación de filtración, se puede bombear el líquido desde el depósito de agua limpia hacia el filtro para enjugarlo o hacia la siguiente estación PA. Si el depósito siguiente ya está lleno, no se puede iniciar la operación de bombeo.”⁴⁰

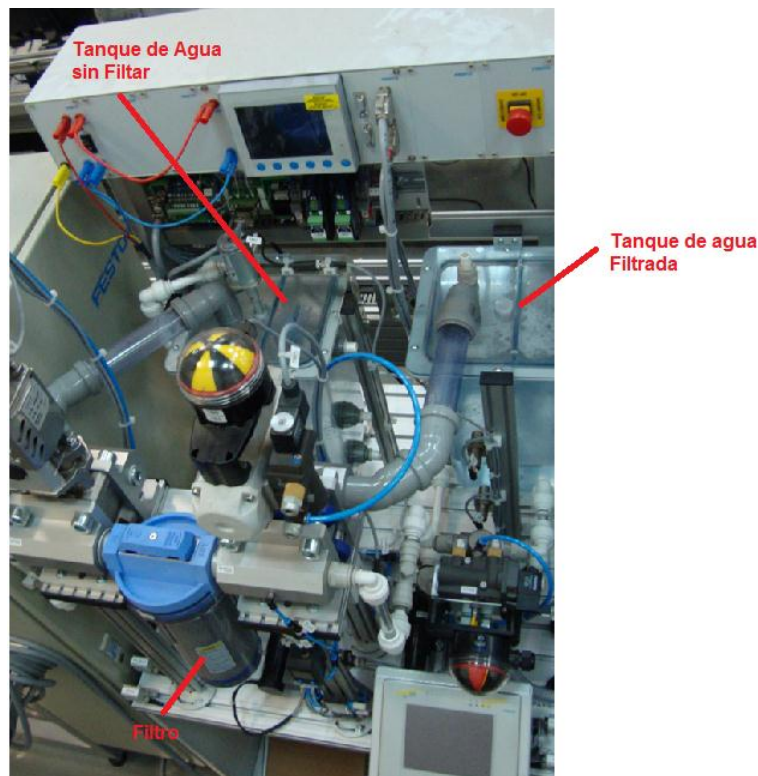


Ilustración 35. Estación de Filtrado

7.2.2. Estación De Mezcla⁴¹

El agua filtrada proveniente de la estación anterior es bombeada hacia el primer depósito de dosificación de la estación de mezcla. Las estaciones de depósito que no están conectadas directamente a la estación de filtrado, se pueden llenar manualmente con líquidos diferentes, o se pueden llenar con el agua filtrada proveniente de la estación anterior abriendo las válvulas de los

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de mezcla, FESTO Didactic, 2006, p. 13

depósitos para que el líquido se distribuya por igual y saque el aire de las tuberías.⁴² Una vez configurados los parámetros de la mezcla, esto es el porcentaje de cada líquido de cada depósito de dosificación que tendrá la mezcla final; se inicia el proceso de mezclado. El caudal del líquido bombeado desde los depósitos de dosificación hacia el depósito principal es medido por un detector de aleta optoelectrónico y un caudalímetro, y es controlado por válvulas de bola de dos vías en la salida de cada depósito de dosificación. El proceso de mezclado termina con la mezcla en el depósito principal de la estación.

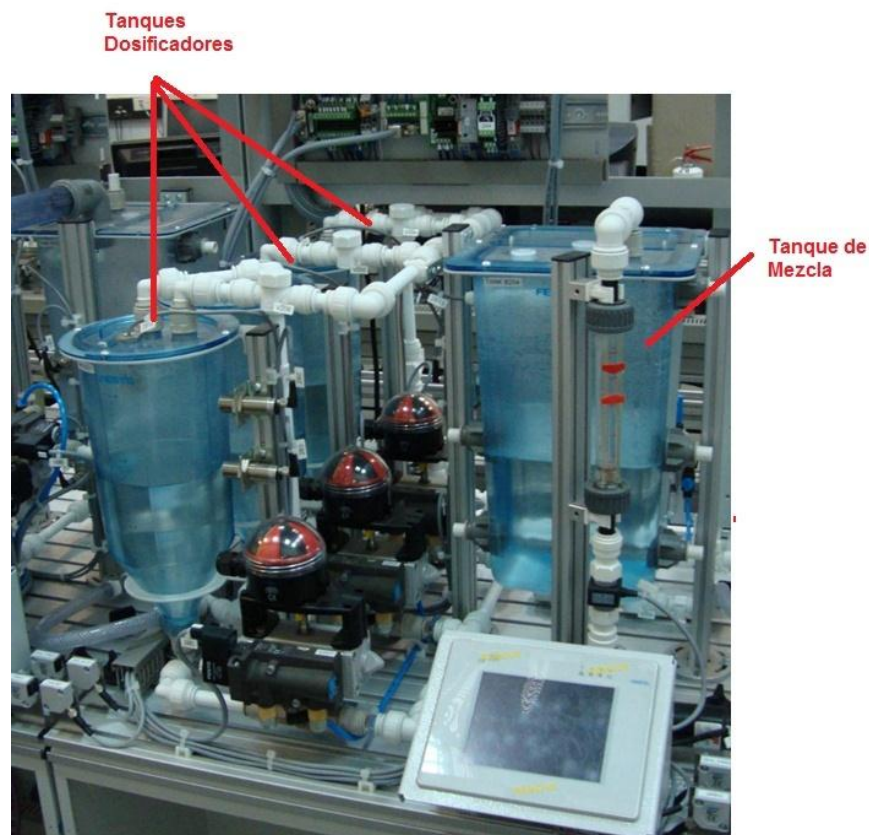


Ilustración 36. Estación de Mezcla

⁴² Ibid.

7.2.3. Estación De Reactor⁴³

La mezcla obtenida de la estación anterior es bombeada hacia el depósito principal de la estación de reactor, aquí la mezcla se calienta por medio de un calentador eléctrico que se conecta y desconecta, la duración de estos intervalos determina el rendimiento térmico del reactor. Un sensor con dos potenciómetro determina si la temperatura ha sido alcanzada o no y envía la señal para detener o continuar el calentamiento. Adicionalmente cuenta con un módulo agitador que revuelve el líquido mientras se calienta. Una vez se hayan cumplido los parámetros de la configuración deseada el líquido es bombeado a la siguiente estación.

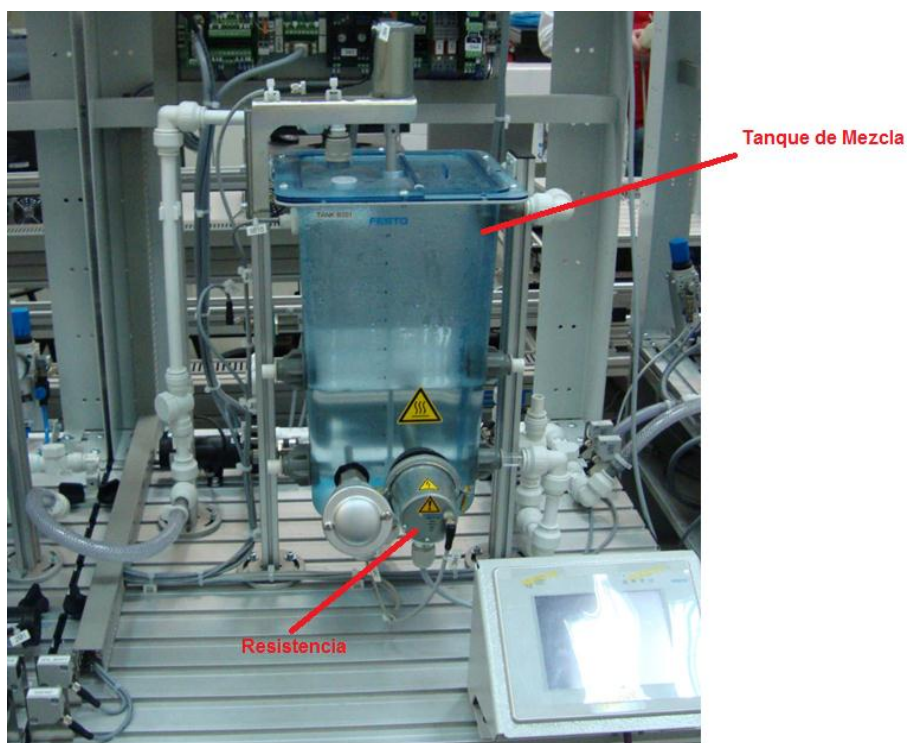


Ilustración 37. Estación de Reacción.

⁴³ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación reactor, FESTO Didactic, 2006, p. 13

7.2.4. Estación De Llenado⁴⁴

Una vez se ha llenado el depósito principal con la mezcla proveniente de la estación anterior, esta se pasa al depósito dosificador de la estación, en esta estación se debe configurar la cantidad de envases a llenar y el volumen de llenado (ml). Los envases se deben colocar en la banda transportadora, para iniciar el proceso la banda es activada, llevando a las envases vacios hasta el punto de llenado, donde un sensor detecta la presencia del envase y permite el flujo de la mezcla hacia el envase, cuando se ha cumplido el volumen deseado, se detiene el flujo continuo. Un dispositivo neumático permite la entrada y salida del envase al punto de llenado y lo detiene mientras se llena. El envase lleno sigue por la banda transportadora hasta que llega al final de la misma, donde se encuentra el sensor final de la banda transportadora.

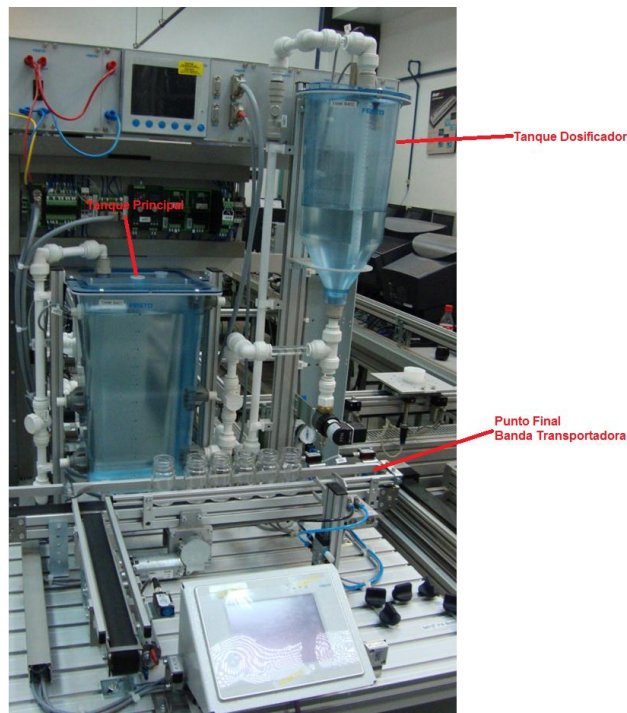


Ilustración 38. Estación de Llenado.

⁴⁴ SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de llenado, FESTO Didactic, 2006, p. 12

7.2.5. CIM – Banda transportadora, Robot XY, Robot Mitsubishi MELFA IV, Torno CNC

Esta rutina está diseñada para que cuando se da inicio al proceso de producción de las estaciones de flujo continuo, el CIM tome el *pallet* desocupado del almacén AS/RS, lo ubique en la banda transportadora, y luego el robot Mitsubishi MELFA ubique el *pallet* en la mesa de alimentación. De esta manera, cuando el proceso en las estaciones MPS®PA ha terminado, ya se encuentra un *pallet* disponible para transportar el producto terminado al almacén.

Cuando el sensor final de la banda transportadora de la estación MPS® PA de llenado detecta un envase (que ya contiene la mezcla), el robot Mitsubishi MELFA IV se desplaza hasta el punto dentro de la estación donde se encuentra el dispensador de tapas, toma una de estas y la lleva hasta el envase disponible, realizando el proceso de sellado.



Ilustración 39. Recogida de dispositivo de Sellado.



Ilustración 40. Sellado en Banda Transportadora estación MPS®PA de llenado.

Posteriormente el robot toma el ensamble (envase y tapa) y lo desplaza hasta la mesa alimentadora del CIM en donde se encuentra un *pallet* disponible para ubicar el producto.

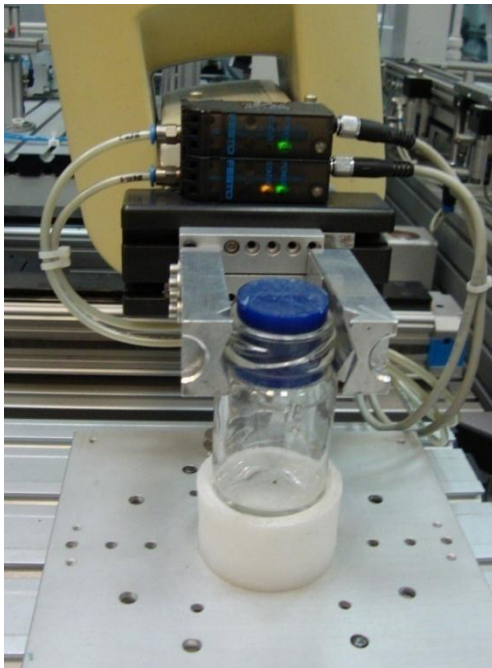


Ilustración 41. Ubicación de envase sellado en *pallet*.

Una vez realizada esta operación el robot Mitsubishi MELFA IV toma el *pallet* y lo ubica en la banda transportadora del CIM (*Station 4*).

La banda transportadora lleva el *pallet*, junto con el producto, hasta el punto de alimentación del almacén AS/RS (*Station 3*), donde el robot de coordenadas toma el *pallet* y lo ubica en el espacio correspondiente del almacén.

7.2.6. Fabricación del Dispositivo de Sellado

La manufactura del dispositivo de sellado, tapa, inicia con el transporte del *pallet* con la materia prima desde el almacén AS/RS, donde el robot de coordenadas XY toma el *pallet* y lo ubica en la banda transportadora. Una vez el *pallet* ha llegado al lugar de alimentación (*Station 4*) del robot MELFA IV, éste toma el *pallet* y lo ubica en la mesa de alimentación, en donde finalmente toma la materia prima y la ubica en el torno CNC, allí se realiza el proceso de torneado de las piezas. Debido a la naturaleza del proceso, la pieza terminada cae al fondo del torno CNC, razón por la cual es imposible que el robot pueda acceder hasta este punto y sea la recolección de la pieza un proceso automatizado. Así que una vez terminada la producción de todos los dispositivos de sellado, estos se ubican manualmente en el dispensador que se encuentra en la estación MPS®PA de llenado.

A continuación se muestra el dispositivo de sellado resultante del proceso anteriormente descrito y de acuerdo con el proceso de selección descrito en el capítulo 3:



Ilustración 42. Dispositivo de Sellado. Fuente: Elaboración de los autores (SolidWorks®)

7.3. Comunicación entre CIM y MPS®PA

Siendo el objetivo principal de este proyecto integrar los procesos discretos y continuos realizados por el C.I.M. y la MPS®PA, es la comunicación entre estos sistemas el eslabón que determina la efectividad, es decir, la capacidad de cumplir el objetivo propuesto, ya que ésta, permite el intercambio de datos entre los equipos involucrados, complementando así las actividades de cada uno de los sistemas, y generando la integración.

La comunicación es desarrollada desde las plataformas de LabVIEW y Cosimir Control, en donde se encuentran los sistemas de control de cada uno de los elementos involucrados (MPS®PA y CIM). Esta comunicación se logra a partir de un protocolo de tipo TCP/IP en donde se realizan procesos de envío y recepción de datos, de esta manera, cuando se da inicio al proceso de producción, se establece la comunicación entre los sistemas, y se genera una señal que es enviada al CIM (mediante la programación de Cosimir Control), indicando que la producción ha iniciado y que por lo tanto debe realizar, como primera tarea, el alistamiento de los *pallets* destinados al transporte y almacenamiento de los envases sellados. Al mismo tiempo, se inicia el proceso de filtrado, de naturaleza continua, en las estaciones MPS®PA de acuerdo con los parámetros determinados por el usuario. En adelante el CIM sigue con las actividades relacionadas con el alistamiento para la recepción de envases llenos, como el transporte de los *pallets* desde la estación del AS/RS en la banda transportadora hasta el punto de recogida de *pallets* por parte del robot Mitsubishi MELFA IV; mientras que en las estaciones, sigue el proceso de producción con las operaciones subsiguientes de mezcla, reacción y embotellado. Y es cuando ha finalizado esta última, que el envase se encuentra disponible para el sellado, enviando una señal al CIM, que indica que debe seguir con el sellado y almacenamiento del producto.

La razón por la cual se desarrolla la comunicación en este orden específico, es que al utilizar el tipo de comunicación TCP/IP entre las plataformas, existe un inconveniente relacionado con la capacidad de envío y recepción de datos, ya que, una vez establecida la conexión por un puerto determinado, solo es posible enviar un dato, puesto que, después de este primer envío el puerto queda ocupado y bloquea la recepción de nuevos datos. Por esta razón, la ejecución del CIM, y de las actividades iniciales de sus componentes, como la ubicación de *pallets* desocupados en la mesa de alimentación, están ligados con el establecimiento de la conexión entre Cosimir Control y LabVIEW, mientras que el proceso de sellado de envases, si está ligado al envío de señales específicas como la cantidad de envases (parámetro de la estación de llenado) y el valor del sensor de final de banda de la misma estación; solo cuando este último es activado el CIM procede con el sellado de envases.

7.2.1. Diagrama de Conexiones Físicas para la integración entre el CIM y las MPS®PA

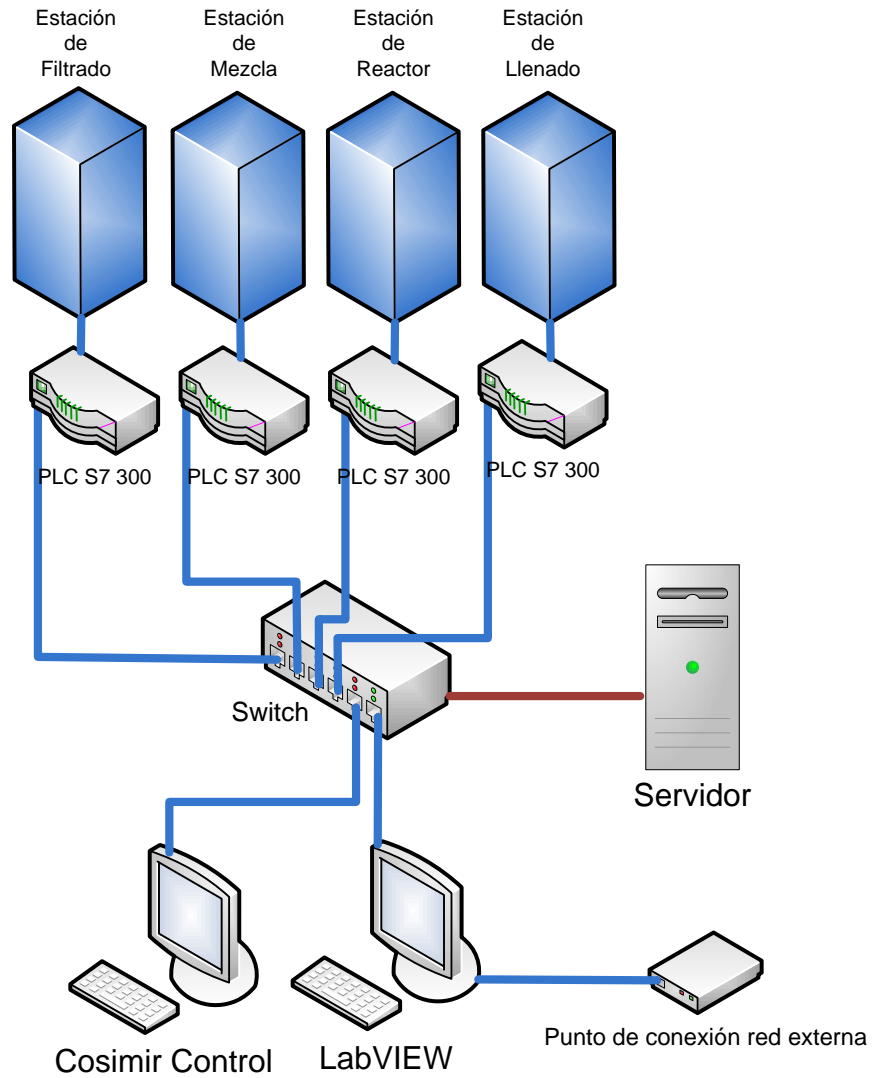


Ilustración 43. Diagrama de conexiones físicas para la integración. Fuente: Elaboración de los autores.

7.3. Interfaz entre el sistema integrado y el usuario

Una vez lograda la comunicación, se hace necesario desarrollar una interfaz que permita la interacción entre el usuario y el sistema integrado, en donde sea posible manipular los elementos de los sistemas, configurar los parámetros de la producción y dar inicio a la misma. Es por eso que fue desarrollado un HMI por medio de LabVIEW con el fin de tener una herramienta de supervisión sobre las estaciones, de manera similar a como se tiene en Cosimir Control para el CIM. Esta interfaz, aunque destinada para la integración, permite también el uso individual de las estaciones de flujo continuo, asegurando la flexibilidad del proceso, donde sus componentes están en capacidad de trabajar en conjunto o por separado.

A continuación se presentan en detalle las funciones y características de esta interfaz, que se encuentra dividida en dos partes: una, la visualización del proceso, y otra, la comunicación TCP/IP entre los sistemas.

7.3.1. Visualización del Proceso

En este modulo se encuentra la representación gráfica de cada uno de los elementos de las estaciones de flujo continuo como válvulas y bombas, entre otros. Permite al usuario interactuar con las estaciones de manera individual, así como dar inicio al proceso.

7.3.1.1. Accionar un dispositivo.

Para accionar una válvula o bomba, solo hace falta hacer clic sobre el elemento, el cambio de color del mismo, indica que ha cambiado su estado. Cuando las bombas del módulo de visualización están en color gris, indica que están desactivadas, es decir, que no están en funcionamiento. Por ejemplo, la figura de la izquierda muestra la bomba 1M2 en color gris, después de hacer clic sobre ésta, cambia a color azul, indicando que está activada y que está funcionando en la estación MPS®PA de filtrado.

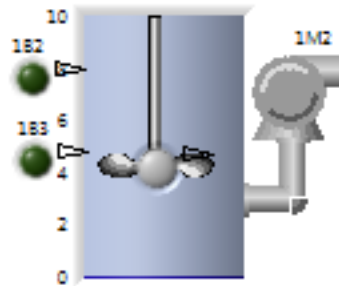


Ilustración 45. Bomba 1M2 desactivada. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

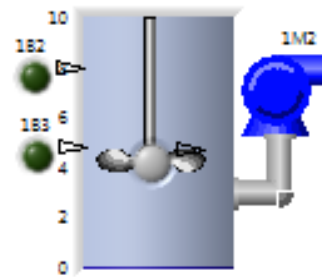


Ilustración 44. Bomba 1M2 activada. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

Esta acción se puede realizar sobre bombas, motores y válvulas de las estaciones.

7.3.1.2. Configurar parámetros de producción de cada estación.

En cada estación, excepto la de filtrado, existe un panel de color azul en donde se encuentran todos los parámetros que se deben configurar antes de dar inicio a cualquier proceso.

Estación de Mezcla.

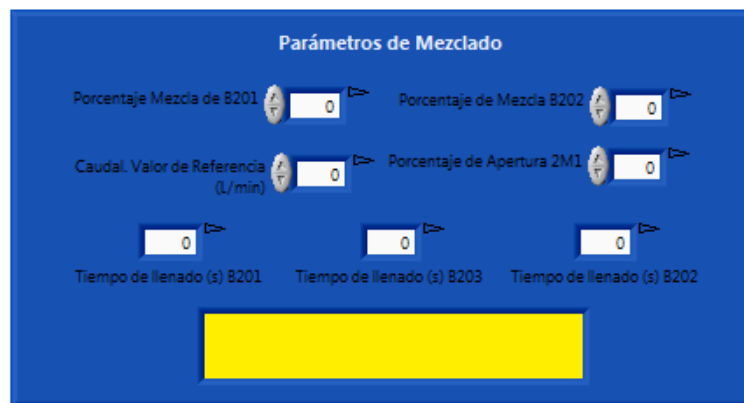


Ilustración 46. Parámetros estación de mezclado. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

Nombre del campo	Descripción	Rango	Tipo
Porcentaje de Mezcla de B201	Indica la cantidad en término porcentual de la cantidad de sustancia del tanque B201 que se desea en la mezcla final.	0 – 100%	Escritura
Porcentaje de Mezcla de B202	Indica la cantidad en término porcentual de la cantidad de sustancia del tanque B202 que se desea en la mezcla final.	0 – 100%	Escritura
Caudal Valor de referencia (l/min)	Este valor permite regular el valor del caudal en el paso desde cada tanque dispensador, hasta el tanque de mezclado.	1 – 3 l/min	Escritura
Porcentaje de apertura 2M1	Permite regular la apertura de la bomba que envía las mezclas desde cada tanque dispensador hacia el tanque de mezclado, la variación de este valor afecta el tiempo que toma realizar la mezcla, así como el caudal.	0 – 100%	Escritura
Tiempo de llenado B201	Indica el tiempo en segundos que demora realizar la mezcla, o el envío de líquido desde el tanque B201 hasta el tanque de mezclado, este tiempo depende del porcentaje de apertura de la bomba 2M1 y el valor del caudal	-	Lectura
Tiempo de llenado B202	Indica el tiempo en segundos que demora realizar la mezcla, o el envío de líquido desde el tanque B202 hasta el tanque de mezclado, este tiempo depende del porcentaje de apertura de la bomba 2M1 y el valor del caudal	-	Lectura
Tiempo de llenado B203	Indica el tiempo en segundos que demora realizar la mezcla, o el envío de líquido desde el tanque B203 hasta el tanque de mezclado, este tiempo depende del porcentaje de apertura de la bomba 2M1 y el valor del caudal	-	Lectura

Tabla 7. Datos de entrada y salida estación de mezcla.

Estación de Reacción.

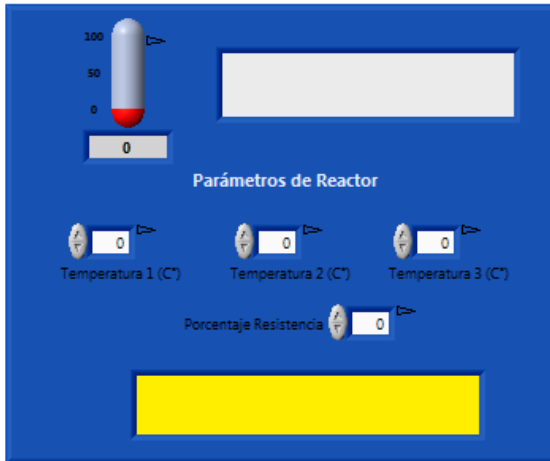


Ilustración 47. Parámetros estación de reactor. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

Nombre del campo	Descripción	Rango	Tipo
Temperatura 1 (C°)	En este campo se indica la temperatura que se desea alcanzar en la mezcla durante el primer calentamiento	0 – 100	Escritura
Temperatura 2 (C°)	En este campo se indica la temperatura que se desea alcanzar en la mezcla durante el segundo calentamiento	0 – 100	Escritura
Temperatura 3 (C°)	En este campo se indica la temperatura que se desea alcanzar en la mezcla durante el tercer calentamiento	0 – 100	Escritura
Porcentaje de Resistencia	Se indica el porcentaje con el que trabajará la resistencia durante los calentamientos	0 - 100%	Escritura

Tabla 8. Datos de entrada estación de reactor.

Estación de Filtrado

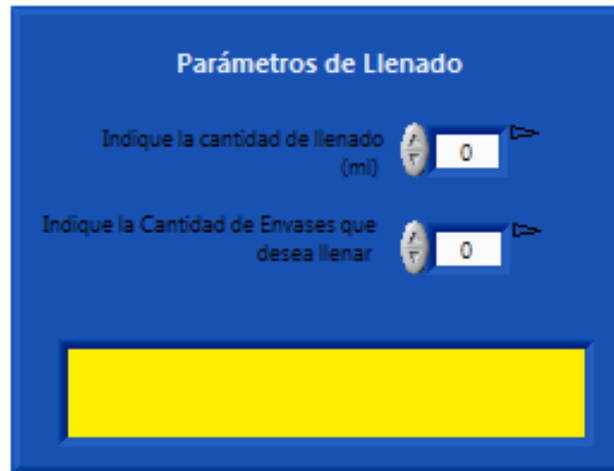


Ilustración 48. Parámetros estación de llenado. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

Nombre del campo	Descripción	Rango	Tipo
Indique la cantidad de llenado (ml)	En este campo se indica la cantidad de llenado deseada para cada envase	0 – 50 ml	Escritura
Indique la cantidad de envases que desea llenar	Se indica la cantidad de envases llenos que se desean obtener al final del proceso	0 – 20	Escritura

Tabla 9. Datos de entrada estación de llenado

7.3.1.3. Iniciar proceso individual.

En la parte superior de cada una de las estaciones en el panel frontal de LabVIEW, se encuentran dos botones, uno de inicio y otro de paro. Al activarlos se dará inicio o paro al proceso de cada estación.

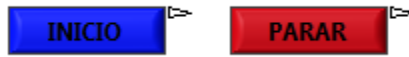


Ilustración 49. Inicio y paro de cada estación. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

Al activar el botón de inicio, se indica en el campo de color amarillo en letras de color rojo si existe alguna circunstancia que impida el inicio del proceso, por ejemplo, se muestra uno de los errores que se indican en la estación de filtrado:



Ilustración 50. Mensaje de advertencia. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

El proceso de filtrado no iniciará hasta que el tanque B101 contenga el líquido suficiente para realizar el proceso.

Al contrario, si no aparece un error en este campo, y las condiciones son las adecuadas para iniciar el proceso, aparecerá un mensaje en el campo de color claro indicando el estado de la operación:



Ilustración 51. Mensaje de estado del proceso. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

7.3.1.4. Iniciar Producción

En la parte inferior del *tag* “Visualización del Proceso” se encuentran dos botones, “Iniciar Producción” y “Detener Producción”.



Ilustración 52. Inicio y paro de producción. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

El botón de inicio de producción, además de iniciar todas las estaciones de flujo continuo, inicia los componentes del CIM, por esto, antes de accionar este botón es necesario configurar los parámetros de conexión que se encuentran en el *tag* "TCP/IP".

7.3.2. Conexión TCP/IP

En este *tag* se presentan los datos de entrada y salida relacionados con la conexión TCP/IP entre los sistemas, este es el espacio donde el usuario debe configurar la dirección IP y el puerto por el cual se hará la comunicación, en el Anexo 4, se encuentra información detallada de cada uno de estos campos.

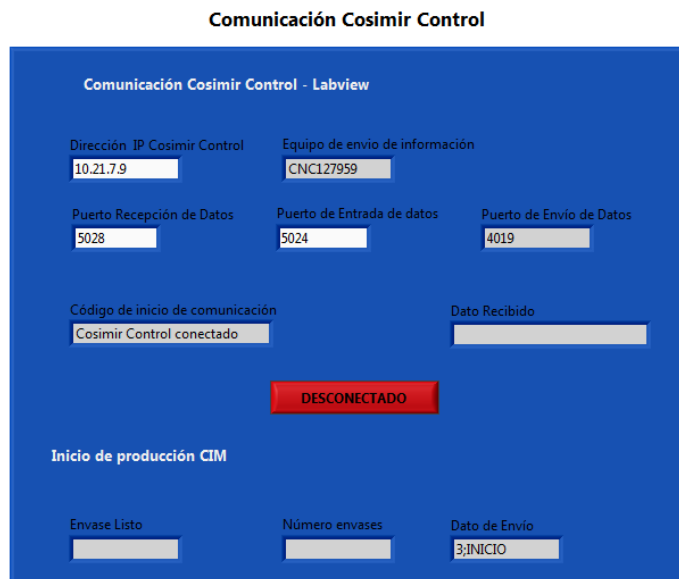


Ilustración 53. Tag comunicación TCP/IP. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

Nombre del campo	Descripción	Rango	Tipo
Dirección IP de Cosimir Control	En este campo se indica la dirección IP del equipo con el que se desea establecer la conexión	Dirección IP	Escritura
Puerto Recepción de Datos	En este campo se indica el número del puerto por el que el equipo de Cosimir Control recibirá los datos enviados	Puerto (4 dígitos)	Escritura
Puerto Entrada de datos	Se indica en número del puerto por el cual el equipo con LabVIEW enviará y recibirá datos	Puerto (4 dígitos)	Escritura

Tabla 10. Datos de entrada TCP/IP.

7.3.2.1. Intercambio de información

El proceso de cómo se efectúa el intercambio de información se describe a continuación.

1. Se debe establecer comunicación entre ambos software (LabVIEW y Cosimir Control), para esto se abren los puertos de comunicación y Cosimir Control confirma a través del envío de un dato a LabVIEW que la conexión se ha establecido (Ilustración 55).



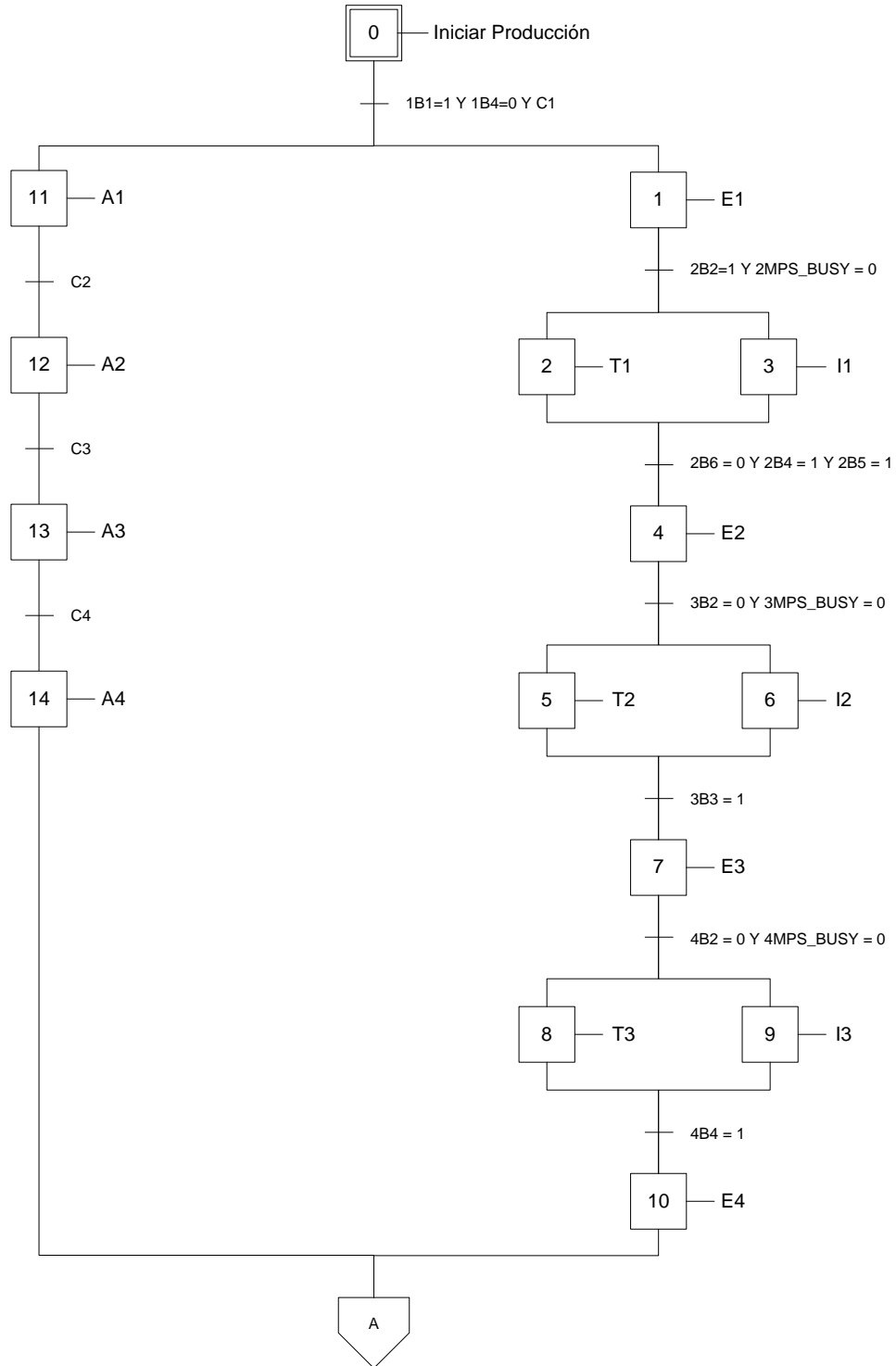
Ilustración 54. Interfaz de LabVIEW en espera de conexión con Cosimir Control. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

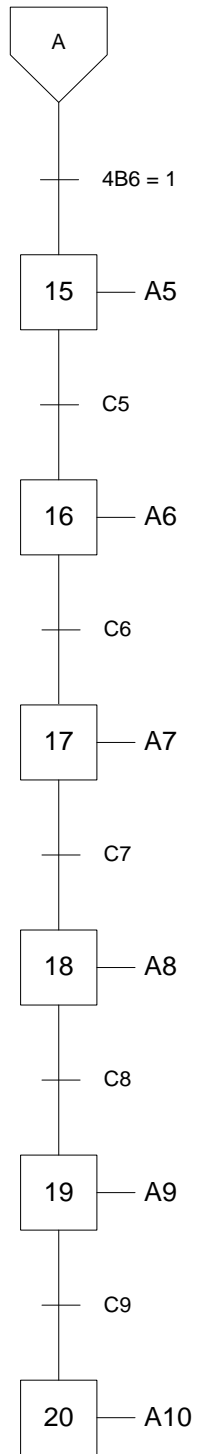


Ilustración 55. Comunicación establecida entre Cosimir Control y LabVIEW. Fuente: Elaboración de los autores (Panel Frontal LabVIEW)

2. Como se ha comprobado que ya se pueden transferir datos de manera bilateral, Cosimir espera el envío de dos datos, uno es el de la cantidad de envases a producir, este dato es tipo flotante, e indica el número de envases que fueron programados en la estación MPS®PA de llenado. Este dato permite determinar el número de veces que el robot Mitsubishi MELFA IV debe realizar la operación de recogida de envases llenos y sellarlos; y el otro dato es la señal del sensor de la estación de llenado, este sensor tipo booleano, se activa cuando el envase, que posteriormente ha sido llenado, se posiciona en el punto final de la banda transportadora, indicando que está listo para continuar con el proceso de sellado.
3. Con lo anterior se da inicio a la ejecución de la rutina de producción que contiene el programa de Cosimir Control y se ejecuta el sellado de los envases provenientes de la estación de llenado.
4. Cuando el programa a ejecutado el sellado de un envase, éste envía otro dato a LabVIEW indicando que el proceso de sellado a culminado e informando la ubicación en el almacén del producto terminado.

7.3.3. Graficet del proceso de embotellado





EXPRESIÓN	DESCRIPCIÓN
1B1 = 1	Tanque B101 lleno
1B1 = 0	Tanque B101 desocupado
1B4 = 1	Tanque B102 lleno
1B4 = 0	Tanque B102 desocupado
E1	Iniciar Proceso de Filtrado (Llenar tanque B102)
2B2 = 1	Tanque B201 lleno
2B2 = 0	Tanque B201 desocupado
2MPS_BUSY = 1	Estación de mezclado ocupada
2MPS_BUSY = 0	Estación de mezclado desocupada
T1	Transferencia del agua filtrada a la estación de mezcla
2B6 = 1	Tanque B204 lleno
2B6 = 0	Tanque B204 desocupado
I1	Establecer parámetros de la mezcla
2B4 = 1	Tanque B202 lleno
2B4 = 0	Tanque B202 desocupado
2B5 = 1	Tanque B203 lleno
2B5 = 0	Tanque B203 desocupado
E2	Iniciar Proceso de Mezcla (Llenar tanque B102)
3B2 = 1	Tanque B301 lleno
3B2 = 0	Tanque B301 desocupado
3MPS_BUSY = 1	Estación de reacción ocupada
3MPS_BUSY = 0	Estación de reacción desocupada
T2	Transferencia de la mezcla a la estación de reacción
I2	Establecer parámetros de temperatura y tiempo
3B3 = 1	Nivel del agua mínimo del tanque de reacción
3B3 = 0	Tanque de reacción desocupado
E3	Iniciar proceso de reacción (Temperatura)
4B2 = 1	Tanque B401 lleno
4B2 = 0	Tanque B401 desocupado
4MPS_BUSY = 1	Estación de llenado ocupada

4MPS_BUSY = 0	Estación de llenado desocupada
T3	Transferencia de la mezcla reaccionada a la estación de llenado
I3	Establecer cantidad de llenado y cantidad de envases
4B4 = 1	Sensor de banda transportadora activado
4B4 = 0	Sensor de banda transportadora desactivado
E4	Iniciar proceso de llenado de envases
4B6 = 1	Sensor final de banda (Envase listo)
4B6 = 0	Sensor final de banda (En espera de envase listo)
C1	Conexión TCP/IP LabVIEW, Cosimir Control establecida
A1	Iniciar CIM
C2	Pallet 52000 Disponible, Carrier en Station 2
A2	Ubicar Pallet en banda transportadora
C3	Banda transportadora activa
A3	Transportar pallet hacia punto de alimentación Robot Mitsubishi (Station 4)
C4	Sensor de pallet disponible desactivado y Robot Mitsubishi disponible
A4	Ubicar pallet en mesa de alimentación
C5	Sensor activado pallet disponible en mesa de alimentación
A5	Retirar dispositivo de sellado del dispensador
A6	Sellar envase en posición final de banda transportadora
C6	Envase sellado, Robot disponible
A7	Llevar envase sellado a pallet disponible
C7	Carrier en Station 4 disponible y Robot disponible
A8	Transportar producto terminado a carrier en banda transportadora
C8	Banda transportadora activa
A9	Desplazar carrier de Station 4 a Station 2 (AS/RS)
C9	Robot cartesiano activo y disponible, espacio disponible en almacén
A10	Almacenar producto

Tabla 11. Descripción del Grafcet

8. CONCLUSIONES

Durante la realización de este trabajo, se concluye que es posible realizar una integración exitosa entre las estaciones de flujo continuo MPS®PA y el CIM del Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Universidad Javeriana.

En el desarrollo de la integración, se encontró que el uso de las estaciones de flujo continuo es limitado debido a su propósito académico, sin embargo, es adecuada para lograr los objetivos de este proyecto, y en específico la integración con el CIM. Se logró aumentar la flexibilidad de los sistemas puesto que son capaces de desarrollar múltiples tareas, de manera individual y conjunta, permitiendo a los usuarios dar un uso variado a los sistemas integrados.

El desarrollo de esta integración garantiza la estandarización del proceso de embotellado, sellado y almacenamiento de líquido proveniente de las estaciones de flujo continuo, debido a su naturaleza automatizada, se garantiza que el producto final que se obtiene es un envase lleno según la cantidad deseada por el usuario de la interfaz, con un dispositivo de sellado que no permite el derrame del contenido, almacenado en *pallets* que garantizan un almacenamiento seguro en el almacén AS/RS.

La integración y el uso de la interfaz, también, permite una supervisión y control sobre los sistemas de manera remota, ya que el proceso puede ser monitoreado sin necesidad de ser visualizado físicamente, sino por medio de los sistemas de control de tipo HMI (*Human Machine Interface*) desarrollados en el *software* LabVIEW y Cosimir Control, los cuales son la base para realizar la integración de los sistemas. La comunicación entre estos es posible gracias a que se realizaron diferentes pruebas, principalmente relacionadas con la efectividad y compatibilidad de las comunicaciones, con las cuales fue posible decidir realizar la comunicación entre el PLC S7-300 y LabVIEW, mediante el protocolo de comunicación OPC, y entre LabVIEW y Cosimir Control por el protocolo de comunicación TCP/IP.

Además esta rutina optimiza el tiempo, ya que cuando el robot Mitsubishi va a recoger el envase realiza simultáneamente el sellado de éste.

Por otro lado, la distribución física que se realiza en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial, es seleccionada luego de analizar la mejor distribución del espacio con el que se cuenta, teniendo presente la ubicación que debe tener principalmente la estación de llenado para que el robot pueda manipular fácilmente los envases procesados. En este espacio se distribuyen otros elementos del CIM (la estación de calidad y algunos equipos de cómputo) con el fin de lograr el

mejor aprovechamiento del espacio y la mejor facilidad de acceso a los diferentes elementos que lo componen.

El análisis costo beneficio de esta propuesta, que se evalúa desde el punto de vista económico, arroja el resultado de que es más económico realizar la integración con los estudiantes que realizan este trabajo de grado, debido al alto costo que implica realizar la integración por medio de la empresa FESTO, en comparación con los costos en los que se incurre cuando la integración es desarrollada por estudiantes de la universidad.

9. RECOMENDACIONES

Para mejorar el funcionamiento de la integración, se recomienda a la Universidad Javeriana adquirir la licencia de un OPC compatible con los dispositivos del CIM y las estaciones de flujo continuo, para que de esta manera el intercambio de datos entre los mismos sea aun más confiable, permitiendo una conexión rápida y un intercambio de mayor número de datos.

Se recomienda que en el C.T.A.I. existan equipos de corte industrial, que permitan una mayor interacción con los procesos, con un mayor rango de variación de sus variables y con un sistema más abierto. Esta recomendación aplica tanto a sistemas de tipo *hardware* como *software*, en esos últimos, se recomienda que su programación sea accesible a cualquier tipo de ingeniería, es decir, que esté relacionada con la lógica de trabajo, mas no con el desarrollo de códigos de programación.

Se recomienda mayor rigurosidad en el uso del robot Mitsubishi MELFA, ya que por manipulaciones inadecuadas, las posiciones establecidas para la ejecución de las rutinas de producción son modificadas afectando el desempeño del sistema.

Actualmente el sistema de llenado inicial de las estaciones de flujo continuo es manual, ya que en la reubicación de las estaciones a causa de la integración se perdió la cercanía a una toma de agua, aunque anteriormente no era utilizada. Se recomienda instalar una toma de agua que permita el llenado de las estaciones de manera mecánica, esto, además de hacer más eficiente el proceso, evita también accidentes y promueve la seguridad del equipo y de los operarios, ya que al realizar la operación de llenado, es posible que tomas eléctricas entren en contacto con el agua.

La ubicación de la estación de llenado es de suma importancia para el correcto funcionamiento del proceso, cualquier movimiento de la estación afecta la ubicación de los elementos manipulados por el robot Mitsubishi MELFA IV, como el dispositivo de sellado y el envase. Se recomienda un sistema de anclaje que impida el desplazamiento de la estación MPS®PA de llenado.

Para generar un valor agregado a este proyecto y generar recursos que permitan al laboratorio mejorar sus instalaciones y proyectos de investigación, se recomienda utilizar este modelo de integración de procesos, y los modelos que existían con anterioridad en el C.T.A.I., para ofrecer servicios académicos a centros educativos, como universidades y colegios interesados en conocer e interactuar con modelos productivos orientados a la automatización.

10. ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA INTEGRACIÓN

1. Sellado del envase mediante el uso de un dispositivo diferente al Robot Mistubishi MELFA IV.

Esta alternativa busca generar un sistema con mayor flexibilidad, en donde se reduzca el uso del robot con el fin de realizar otras actividades simultáneamente. Además, permite que el tipo de dispositivo de sellado sea diferente al utilizado en esta integración, por ejemplo, realizar el sellado con una tapa tipo rosca o *eurospin*.

Una posible solución, puede ser utilizar un actuador neumático que permita el sellado del envase, operación que actualmente es realizada por el robot Mitsubishi Melfa IV, y de esta manera poder realizar otras operaciones con el robot garantizando una mayor eficiencia de los recursos con los que cuenta el laboratorio y una mayor flexibilidad para el CIM.

Los impactos que generaría el cambio del dispositivo que selle el envase, sería un cambio en la rutina de producción, la adquisición o fabricación de un dispositivo neumático y posiblemente una modificación en el diseño del dispositivo de sellado; adicionalmente, al asignar esta tarea a un dispositivo diferente, se puede minimizar el tiempo requerido para el desarrollo de estas actividades, ya que mientras se realiza el sellado, el robot puede realizar otras tareas como la ubicación del *pallet* en la mesa de alimentación.



Ilustración 56. Ejemplo de dispositivo de sellado diferente al robot Mitsubishi Melfa IV. ⁴⁵

⁴⁵ Foto de un dispositivo para el sellado de envases Fully Automatic Rotary Cup Filling and Sealing Machine for Industrial Consultado en línea Noviembre 27 de 2010. URL: <http://helionex.com/>

2. Mejorar dispositivos y elementos (tapas, soportes, dispensador)

Para mejorar y garantizar un sellado del envase, es posible que se pueda modificar el diseño del dispositivo de sellado, como por ejemplo, realizando la parte inferior del dispositivo de una manera cónica que permita una mayor tolerancia cuando el robot suelte la pieza para realizar posteriormente el sellado.

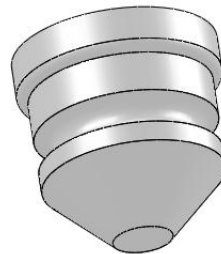


Ilustración 57. Ejemplo de un tapón cónico que garantice un sellado óptimo. Fuente: Elaboración de los autores (SolidWorks®)

También es posible mejorar el sistema del dispensador de tapas con el fin de que permita una mejor estabilidad del mismo, en la superficie de la estación MPS®PA de llenado, y que garantice que las tapas siempre se van a encontrar en la misma posición para que sean utilizadas en las operaciones siguientes. Esto con el fin de garantizar un sellado óptimo y evitar inconvenientes de choques o de señales que se puedan interpretar como estrelladas por el robot.



Ilustración 58. Diseño de un dispensador de tapas.⁴⁶

⁴⁶ Foto de un dispensador de tapas, Excel Commercial Products. Consultado en línea Noviembre 27 de 2010. URL: <http://excelcompro.com.mx/dispensador-vasos-tapas-conos-p-92.html?osCsid=9b68b963c4fccbfff6c8981fac33da22d>

Finalmente, se encuentra una oportunidad en el mejoramiento de los soportes que almacenan los envases en el almacén AS/RS, pues se podría buscar un diseño que permita un mejor ajuste de la botella y una mayor tolerancia en cuanto al almacenamiento del envase, es decir, un soporte que garantice aún mas que el envase siempre va a ser almacenado de una manera correcta sin necesidad de ser supervisado para garantizar el perfecto ajuste de la botella en el interior del soporte.

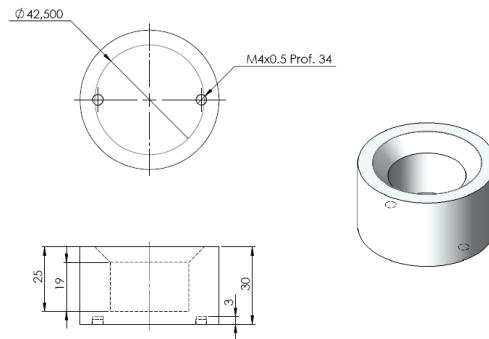


Ilustración 59. Soporte alternativo para envase en *pallet*. Fuente: Elaboración de los autores (SolidWorks®)

3. Mejoramiento de la comunicación y la integración en general (OPC Tunnel)

Se puede mejorar toda la integración unificando la comunicación y los procesos que realiza el CIM en una sola plataforma, pues actualmente se encuentra una parte en LabVIEW, el control de las MPS®PA, y otra, en Cosimir Control, que integra los demás componentes del CIM.

Para lo anterior, se puede utilizar un software de tipo industrial que permita la comunicación de los PLC con los que cuenta el CIM, y los demás tipos de comunicación que se utiliza en el laboratorio, como por ejemplo, la comunicación serial que es la que utiliza el torno CNC. También puede ser posible la utilización de un software llamado OPC Tunnel, que permitiría la unificación de todo el CIM, sin embargo, se hace necesario realizar pruebas para poder garantizar que todo se puede conectar de manera que el CIM pueda trabajar de una manera eficiente y correcta.

Otro software que podría ser una opción, pero que sería necesario realizar de igual manera pruebas con el software completo para descartar problemas de incompatibilidad, podría ser LabVIEW a través del software NI OPC Server.

BIBLIOGRAFÍA

- Encuesta de Innovación y Desarrollo Tecnológico en la Industria Manufacturera Colombia 2003 – 2004. Cuadro 5. Empresas Industriales que invirtieron y monto invertido en actividades de desarrollo e innovación tecnológica, por grupos de actividades, según tamaño de empresa y divisiones industriales (CIU Rev 3 A.C.). Consultado en línea Marzo 19 de 2010.
URL:http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/industria/innovacion_tecnol_ind_manufacturera.pdf
- PONSA ASENSIO, Pere. VILANOVA ARBÓS, Ramón. “Automatización de procesos mediante la guía GEMMA”. Edicions UPC. 2006. Consultado en línea el 18 de marzo de 2010.
URL: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EM05101M.pdf>
- MARRERO, Carlos. Proyecto de Investigación. “ INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO Aproximación semiótica y cognitiva”. Universidad de La Laguna, Tenerife 2006. Consultado en línea Septiembre 27 de 2010.
URL:http://www.chr5.com/investigacion/investiga_igu/igu_aproximacion_semiocognitiva_by_chr5.pdf
- OSPINA, Juan. VÉLEZ, Víctor. Documentación y programación de prácticas del brazo robótico de la celda de manufactura de la U.T.P. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. Consultado en línea abril 19 de 2010.
URL:<http://biblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/629892083dp.swf>
- BAUMGARTNER, Horst. CIM consideraciones básicas. Marcombo. 1991.
- PINEDA, Ana. ZÚÑIGA, Diego. Diseño de prácticas de laboratorio para ingeniería industrial en un sistema de manufactura integrada por computador. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2009.
- FERNANDEZ, Esteban. AVELLA, Lucia. FERNANDEZ, Marta. Estrategia de Producción. Mc Graw Hill. 2003
- FERRÉ, Rafael. La fábrica flexible. Marcombo Boixareu Editores. 1988.
- ZAMBRANO, Gabriel. PARRA, Carlos. MANRIQUE, Martha. BUSTACARA, César. Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (C.I.M.) Javegraf. 2007.
- SCHELLMAN, Bernhard; HELMICH, Jürgen, Manual estación de filtración, FESTO Didactic, 2006.
- WU, Zhihui. QIAN, Yu. An Approach for Batch Crystallization Process Control and Monitoring Based on OPC Technology and Information Integration, South China University of Technology,

International Conference On Computer Design And Applications, 2010.

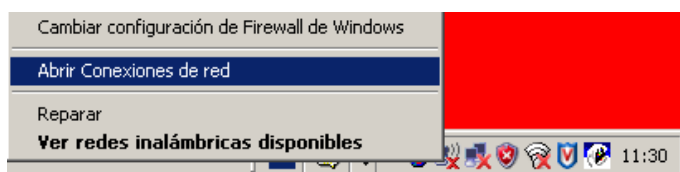
- infoPLC.net. Portal de Automatización Industrial. Consultado en línea Marzo 20 de 2010.
URL: <http://www.infoplcn.net/foro/showthread.php?t=43>
- OPC definition. Consultado en línea marzo 20 de 2010.
URL: <http://www.yourdictionary.com/computer/opc>
- National Instrument, NI OPC Servers, Consultado en línea 23 de Septiembre de 2010
URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/209059>
- OTÍN, Ana. Trabajo de Grado Universidad Pontificia de Comillas, España. "SCADA basado en LabVIEW para el laboratorio de control de ICAI" 2007.
- LEIDEN, Candace. WILENSKY, Marshall. TCP/IP para Dummies. Wiley Publishing. 2009
- Propiedades Generales del Vidrio. Casa Saumell. Consultado en línea Agosto 24 de 2010.
URL: <http://www.casasaumell.com.ar/pdf/InformeTecnicoVidrio.pdf>
- The Business Value of Integration and Automation for Midsize Companies. Microsoft Corporation. 2006. Consultado en línea Agosto 3 de 2010. URL: http://www.microsoft.com/biztalk/solutions/supplychain/integration_wp.msp
- MONTILVA, Jonás. CHACÓN, Edgar. ARÉVALO, Carlos. URDUNETA, Guido. Automatización de Sistemas e Integración de Software en empresas de producción. Consultado en línea Agosto 2 de 2010.
URL: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jonas/Productos/Publicaciones/Congresos/CAC03%20Enfoques%20de%20automatizacion.pdf>
- NIEBEL, Benjamin, INGENIERÍA INDUSTRIAL Metodos Estándares y Diseño del Trabajo, 11ª Edición, Alfaomega, México, 2004.

ANEXOS

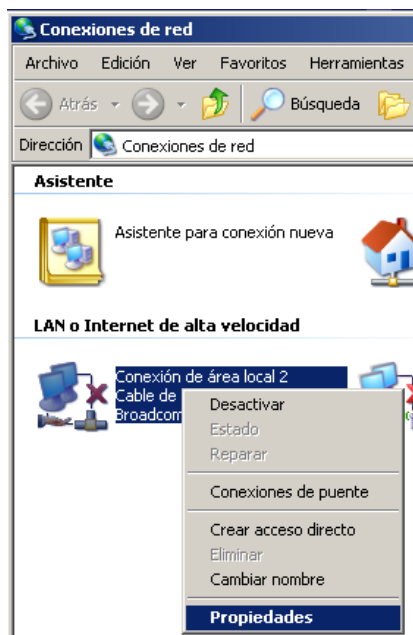
Anexo 1: Cambio dirección IP (PLC S7 300) estaciones MPS®PA

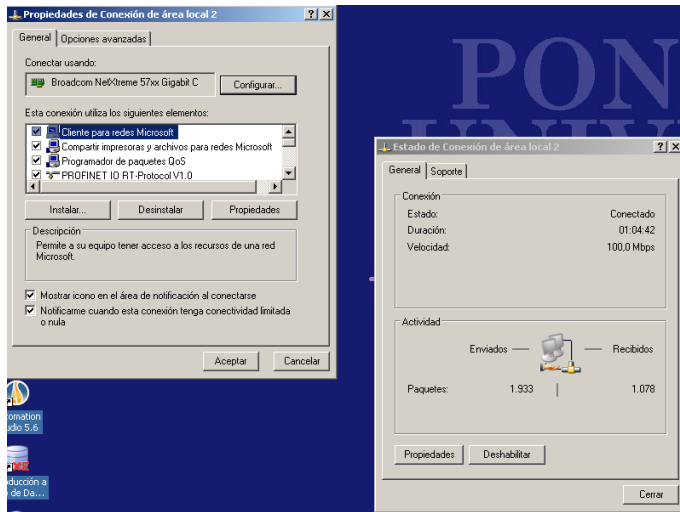
El primer paso para realizar el cambio de dirección IP a los puertos TCP/IP, externo o interno, de cualquiera de las estaciones MSP –PA, consiste en cambiar la dirección del equipo con el que se esté trabajando a una más cercana a la dirección actual que tenga el puerto que se desea modificar.

Para esto, se da clic derecho sobre el icono de conexión de área local que aparece en la barra de tareas. En el menú que aparece se elige la opción “Abrir conexiones de red”.

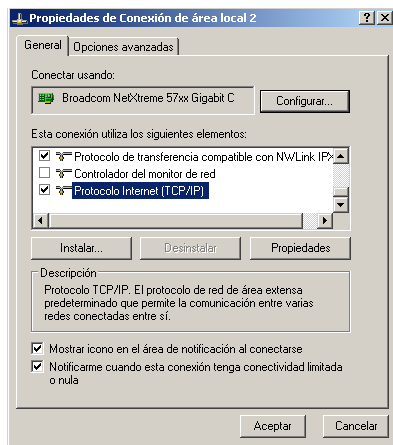


Una ventana aparece y muestra todas las conexiones de red del equipo. Se selecciona la conexión que está ligada con el puerto TCP/IP de la estación, se da clic derecho sobre el icono, y se selecciona “Propiedades”.

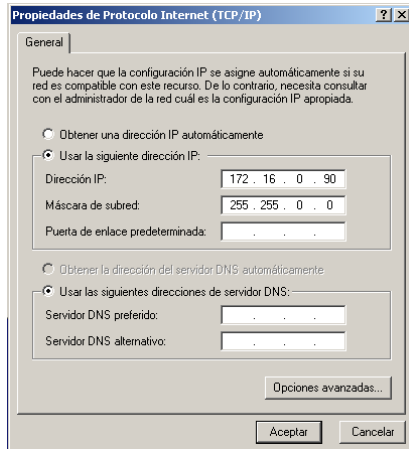




La ventana de Propiedades de Conexión aparece, en la lista de “esta conexión utiliza los siguientes elementos” se elige el último ítem que corresponde a “Protocolo Internet (TCP/IP)”. Una vez seleccionado, se da clic sobre Propiedades.

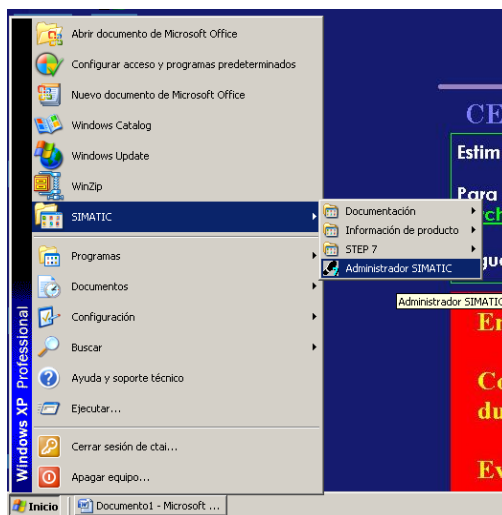


En la nueva ventana, en el campo “Dirección IP” se escribe una dirección IP similar (pero nunca igual) a la que tiene actualmente el puerto, generalmente se cambian los últimos dos dígitos de la dirección. En Máscara de Subred, se puede utilizar la dirección que aparece en este instructivo. Si se desconoce la dirección actual del puerto, siga al paso en donde se abre SIMATIC, y siga las instrucciones.



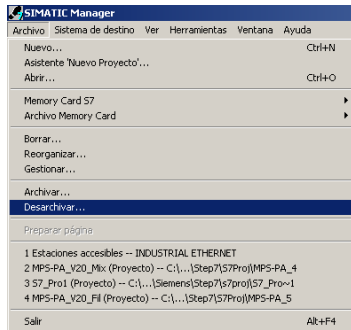
Dar clic en Aceptar. Ahora, se debe cambiar la dirección del puerto TCP/IP. Para esto se va al menú Inicio, y se da clic en SIMATIC, el programa puede estar ubicado en otro lugar, dependiendo de la configuración del usuario. Se elige la opción “Administrador SIMATIC”.

El cable de red debe estar conectado desde el puerto de la estación hasta el equipo que esté utilizando y verificar que exista una conexión entre los dos, el icono de conexión de área local debe estar activo. Esto se puede realizar antes o después de cambiar la dirección del equipo, pero siempre antes de iniciar los pasos siguientes.

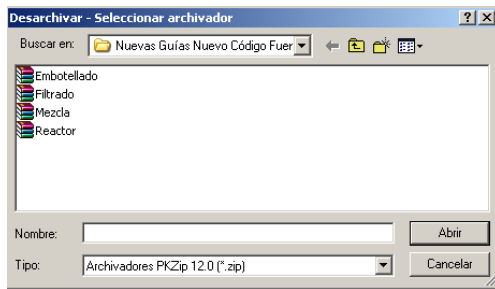


Dar clic en Cancelar en la ventana del Asistente de STEP 7 para nuevo proyecto.

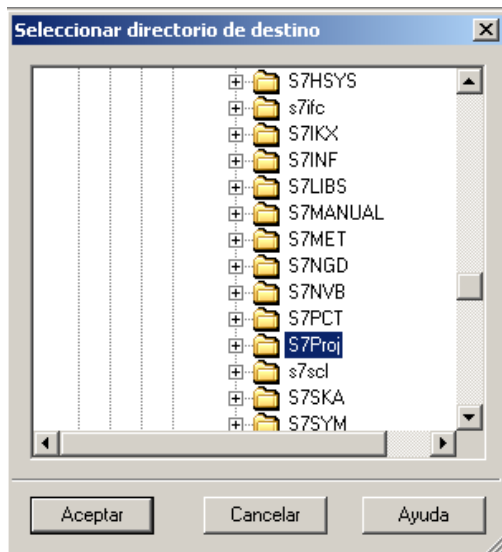
Una vez se ha cerrado la ventana del asistente, se debe entrar al menú archivo, seguido por clic en “Desarchivar”.



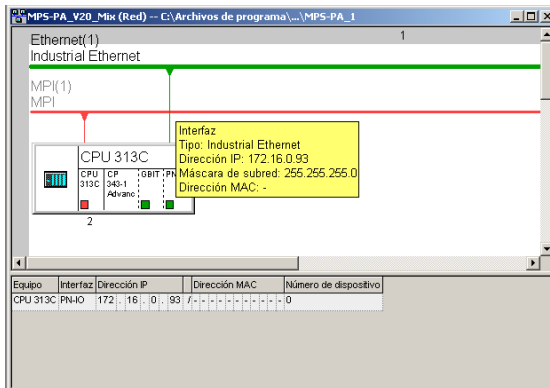
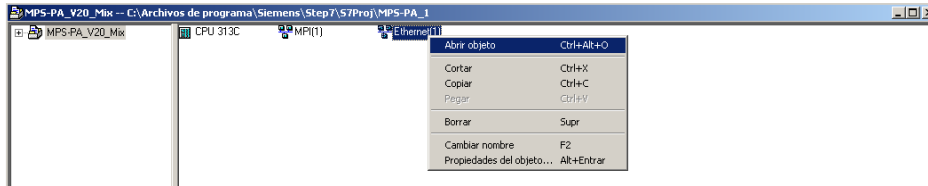
En la ventana Desarchivar, se elige la estación a la cual se está cambiando la dirección IP y se da clic en Abrir. La carpeta en donde se encuentran los archivos se encuentra bajo el nombre “Cambio dirección IP”.



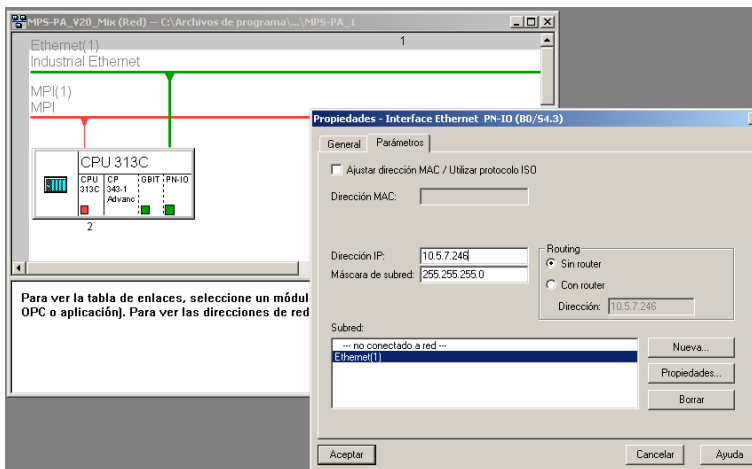
Se deja seleccionado el archivo que aparece por defecto y se da clic en Aceptar.



Aparece una nueva ventana, en el icono de Ethernet se da clic derecho y se selecciona la opción “Abrir Objeto”.



Se da doble clic sobre la línea de color verde que aparece en el diagrama. Aparece la ventana de Propiedades, en el campo Dirección IP se digita la nueva dirección que tendrá el puerto TCP/IP. Si se desconoce la dirección IP que aparece en Propiedades antes de ser modificada muestra la dirección actual del puerto, repita los primeros pasos del instructivo, cambiando la dirección del equipo a una similar a la que se muestra aquí.

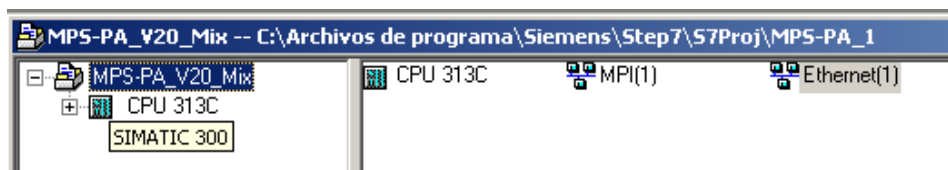


De clic en “Guardar y compilar”

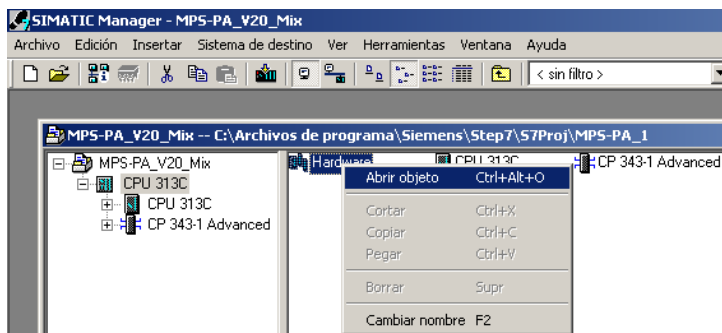


Seleccione la opción “Compilar y Comprobar todo”, de clic en Aceptar.

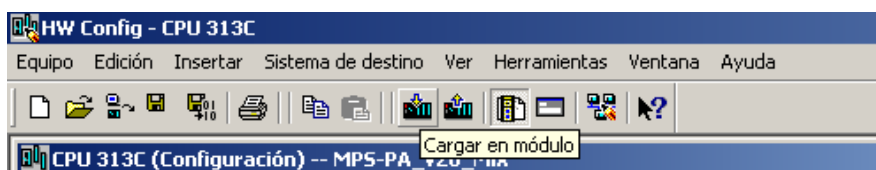
Regrese a la ventana de SIMATIC Manager, y despliegue las opciones (haciendo clic en el símbolo más)



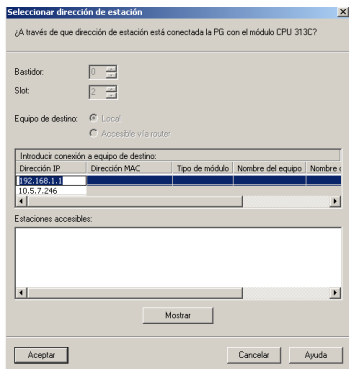
De clic sobre “CPU 313C” y clic derecho o doble clic sobre el icono de Hardware que aparece en la parte derecha de la ventana.



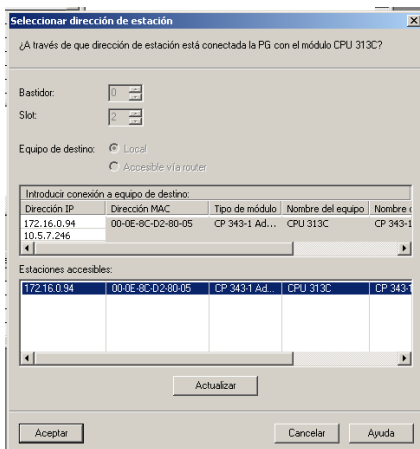
Se abrirá una nueva ventana llamada “HW Config – CPU 313C” dar clic en el icono “Cargar en Módulo”.



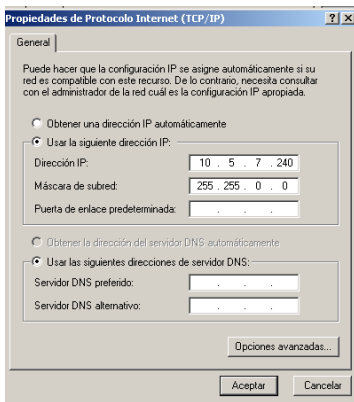
Se abrirá la ventana “Seleccionar Dirección de estación”.



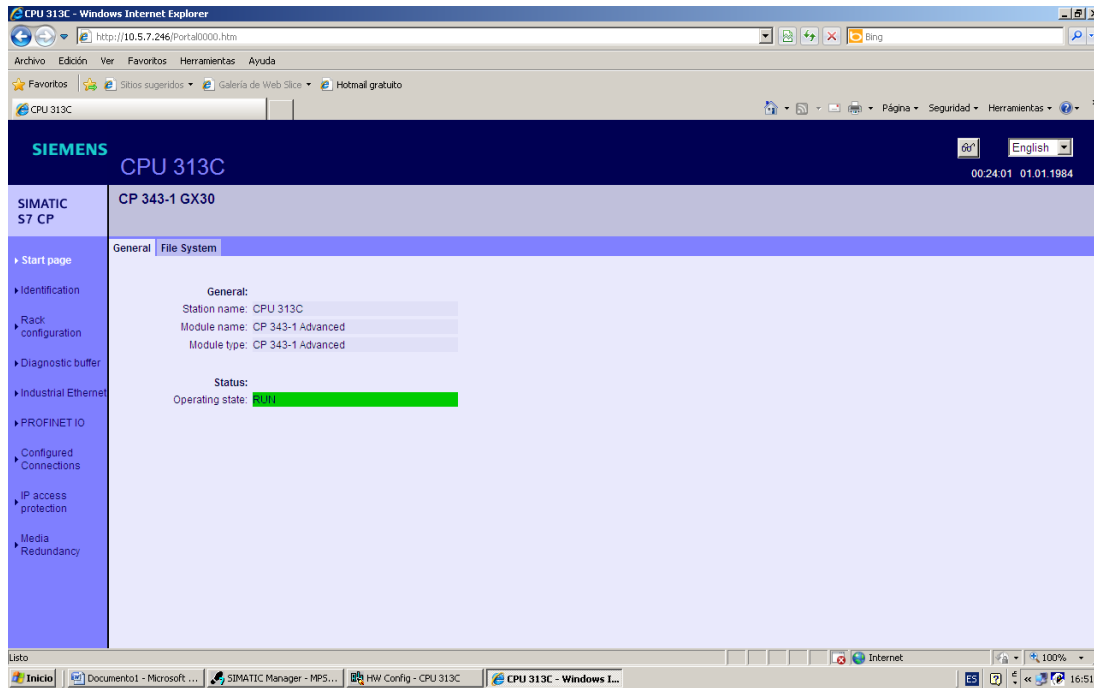
Dar clic en “Mostrar”, Mostrar, seleccionar disponible, aceptar



Verificar, repetir primeros pasos y cambiar la dirección a una mas cercana

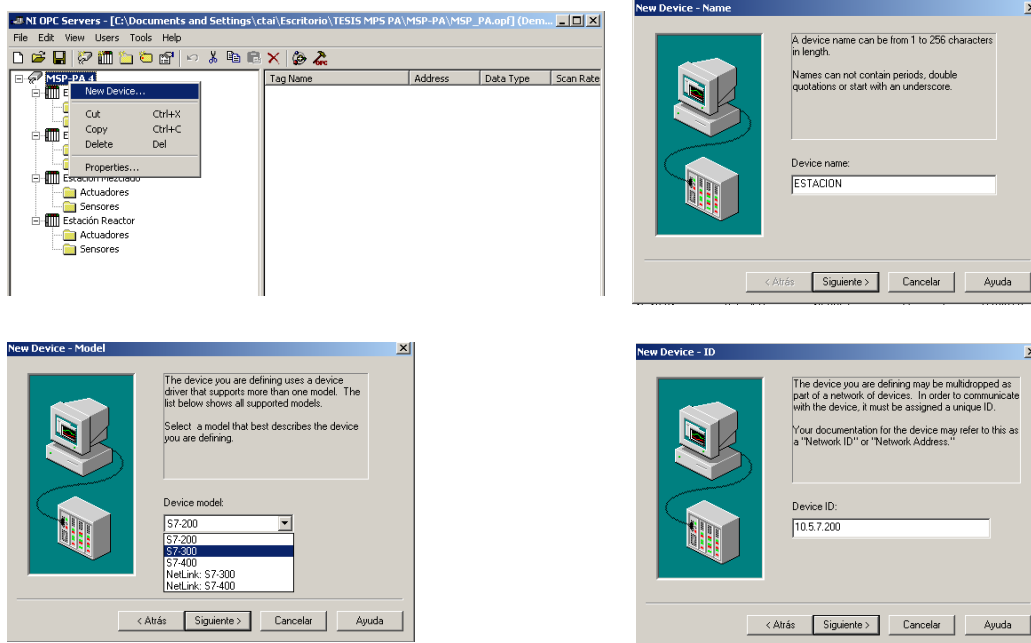


En internet, puede verificar la conexión ingresando la dirección IP del PLC en la barra de direcciones de su explorador.

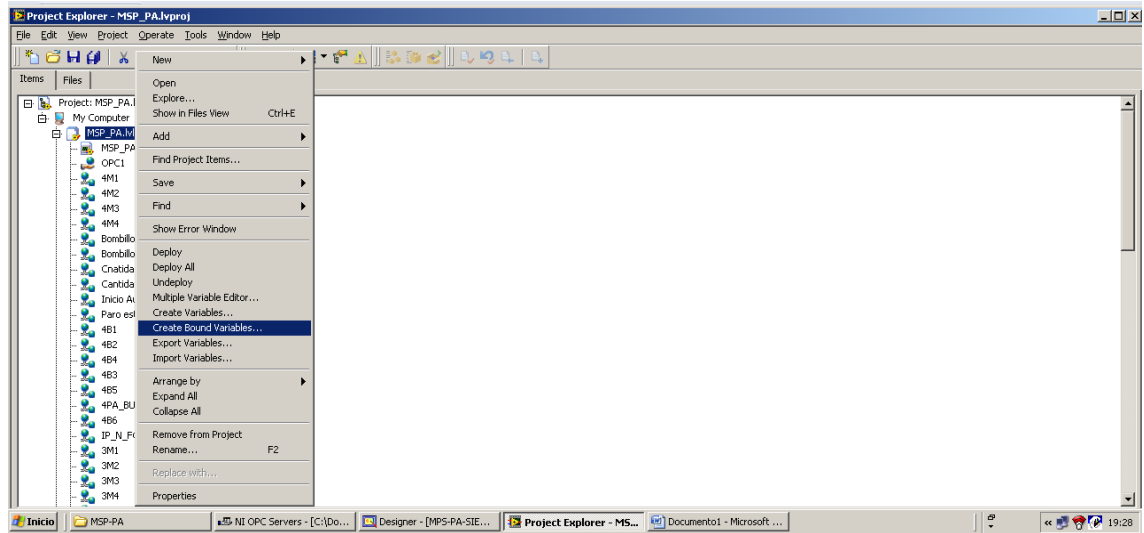


Anexo 2: Crear y añadir variables al proyecto

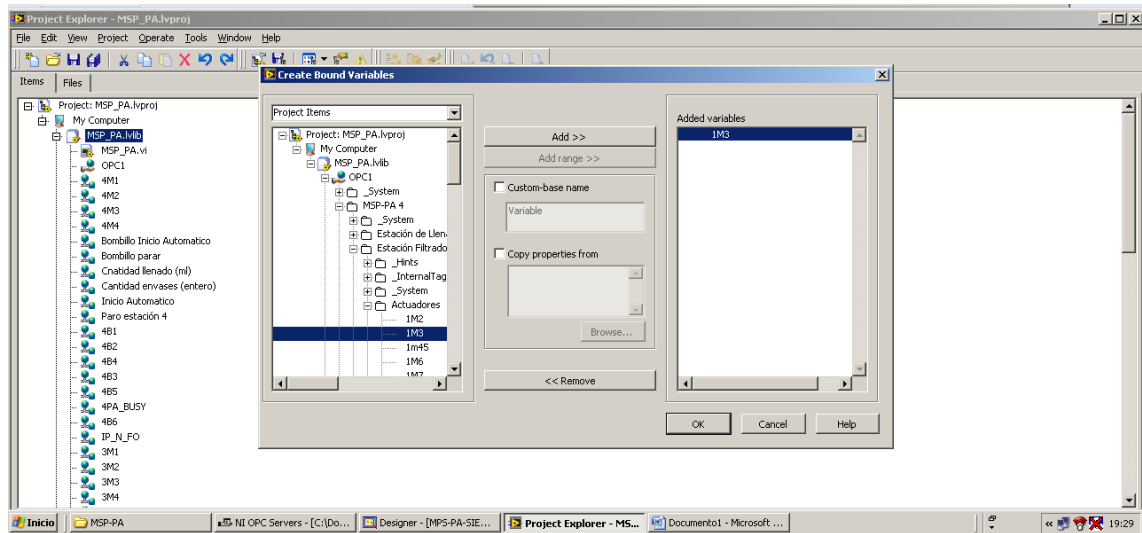
Para añadir las salidas y entradas del PLC S7 300 utilizado en las estaciones MPS®PA, es necesario añadir las memorias (*tags*) al NI OPC Server. Al abrir el programa se debe crear un nuevo canal, *cannel*, en este caso el nombre dado al canal es “MSP-PA 4”; después se debe agregar un nuevo dispositivo, *device*, para cada estación se debe crear uno de estos, donde se especifique la dirección IP del mismo.



Una vez se ha creado el dispositivo, en el proyecto creado en LabVIEW se deben crear las variables, esto se hace dando click derecho sobre la librería del proyecto y seleccionado la opción “*Create Bound Variables*”.



En la lista que se muestra a continuación, se mostrarán únicamente las variables que han sido añadidas al OPC.



Las variables que se encuentran en la librería pueden ser atadas a los controles o indicadores del V.I. (*Virtual Instrument*), que también debe estar dentro de la librería del proyecto, usando la herramienta "Data Binding" ubicada en las propiedades de cada control.

Anexo 3: Memorias de las estaciones MPS®PA

Utilizando el software *Designer 6*, utilizado para la programación y configuración de las pantallas táctiles de cada una de las estaciones, se encontraron las memorias internas de cada control, como válvulas, bombas, sensores y parámetros de entrada. Este software viene incluido con las estaciones MPS®PA, las siguientes tablas muestran las memorias correspondientes para cada elemento.

Estación de Filtrado		
Elemento	Flag	Descripción
1B2	I.01	Sensor Superior tanque de agua sucia
1B3	I.02	Sensor Inferior tanque de agua sucia
1M7	F146.01	Agitador
1M4/5	F143.01	Válvula de dos vías, controla dirección flujo de agua, hacia tanque B101, o hacia tanque B102.
1M2	F142.07	Bomba envío desde B101 hacia filtro
1M1	F142.06	Filtro
1M6	F143.02	Válvula tres vías, envía el agua filtrada a la siguiente estación, o la devuelve al tanque B101.
1PA_B USY	F146.00	
1B4	I.03	Sensor Superior tanque de agua filtrada
1B5	I.04	Sensor Inferior tanque de agua filtrada
PARAR	F140.07	
Alerta	MW58	Mensaje de alerta
1M3	M143.0	Bomba, envía el agua hacia la siguiente estación.
Mensaje	M146.6	Mensaje, indica el estado de proceso de la estación de filtrado.
B101	Tanque agua sucia	
B102	Tanque agua filtrada	

Tabla. Memorias Estación de Filtrado

Estación de Mezcla		
Tag	Flag	Descripción
2B2	I.01	Sensor Superior tanque B201
2B3	I.02	Sensor Inferior tanque B201
2M3	F142.04	Válvula tanque B201
2M4	F142.05	Válvula tanque B202
2M5	F142.06	Válvula tanque B203
2M2	F142.03	Bomba envío siguiente estación
2B4	I.03	Sensor tanque B202
2B5	I.04	Sensor tanque B203
2B6	I.05	Sensor Superior tanque B204
2B7	I.06	Sensor Inferior tanque B204
2M1	F142.02	Bomba envío hacia tanque de mezclado B204, caudal regulado.
Porcentaje de Mezcla B201	MD40	
Porcentaje de Mezcla B202	MD44	
Tiempo de llenado B201 (s)	MD52	
Tiempo de llenado B202 (s)	MD56	
Tiempo de llenado B203 (s)	MD60	
Valor Caudal de Referencia	MD116	Se especifica el valor de caudal deseado para el proceso de mezcla
Alerta	MW156	Mensaje de alerta
Porcentaje de apertura 2M1	M142.2	
2PA_BUSY	F145.02	
B201	Tanque rojo	
B202	Tanque verde	
B203	Tanque azul	
PARAR	F140.05	

Tabla. Memorias Estación de Mezcla

Estación de Reactor		
Tag	Flag	Descripción
3M2	F142.01	
3B2	I.01	Sensor Superior tanque
3B3	I.02	Sensor Inferior tanque
3M4	F142.03	Agitador
3B1	I.00	Termocupla
3M1	F142.00	Resistencia
3M3	F142.02	Bomba de envío siguiente estación
3PA_BUSY	F145.04	
B301	Tanque	
PARAR	F140.02	
Tiempo de mezcla 1 (s)	MD36	
Tiempo de mezcla 2 (s)	MD40	
Temperatura 1	MD20	
Temperatura 2	MD24	
Temperatura 3	MD28	
Mensaje	MW86	Mensaje, indica el estado de proceso de la estación de reactor.
Alerta	MW88	Mensaje de alerta
Porcentaje resistencia	MD16	

Tabla. Memorias Estación de Reactor

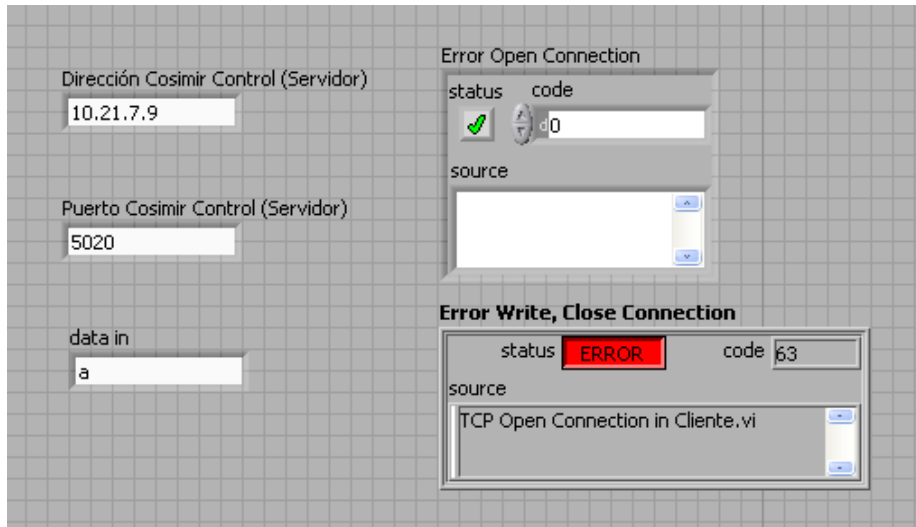
Estación de Embotellado		
Tag	Flag	Descripción
4B2	I.01	Sensor Superior primer tanque
4B3	I.02	Sensor Inferior primer tanque
4M1	F143.04	Bomba envío tanque B401 a B402 (tanque dispensador)
4M3	F143.06	Banda Transportadora
4B4	I.03	Sensor inicio banda transportadora
4B5	I.04	Sensor punto de llenado banda transportadora
4B6	I.05	Sensor final banda transportadora
4M2	M143.5	Válvula de salida del líquido
4M4	F143.07	Actuador de paso, banda transportadora
4B1	I.00	Sensor Ultrasónico
4PA_BUSY	F146.04	
Cantidad de envases	MD32	
Cantidad de llenado (ml)	MD48	
Alerta	MW90	
Porcentaje apertura 4M1	M143.4	
IP_N_FO	F147.02	
B401	Tanque Primero	
B402	Tanque Segundo	
PARAR	F141.03	

Tabla. Memorias Estación de Embotellado

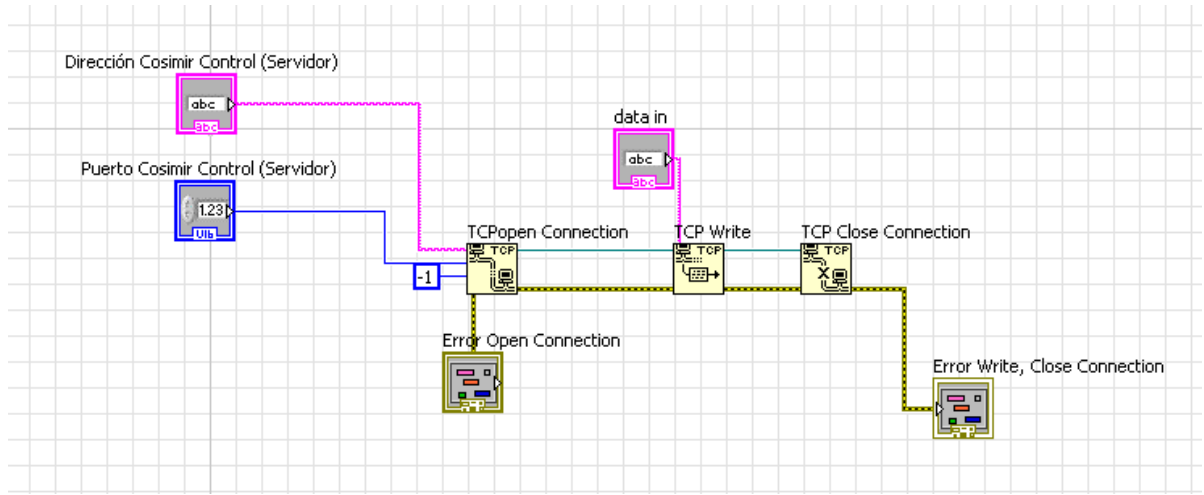
Anexo 4: Conexión TCP/IP LabVIEW - Cosimir Control

LABVIEW: Client

Crear VI para cliente (TCP/IP) En este módulo se realizará el envío de datos desde LabVIEW hacia otros servidores, como Cosimir Control



Campo	Dato	Descripción
Dirección Cosimir Control (Servidor)	Dirección IP	Esta es la dirección IP del equipo que recibirá el dato que se desea enviar
Puerto Cosimir Control (Servidor)	Número del puerto.	Se utiliza el puerto 5020, que es el puerto que se utiliza para leer datos. Este puerto debe ser configurado en el cliente en Cosimir Control.
Dato de Entrada	Dato que se desea enviar.	En este ejemplo el dato que se envía es tipo <i>string</i> .
<i>Error Open Connection</i>		Esta pantalla mostrará si existe algún error cuando se intenta establecer la comunicación entre el cliente y el servidor.
<i>Error Write, Close Connection</i>		Esta pantalla mostrará si existe algún error cuando se intenta enviar el dato, o cerrar la comunicación entre el cliente y el servidor.



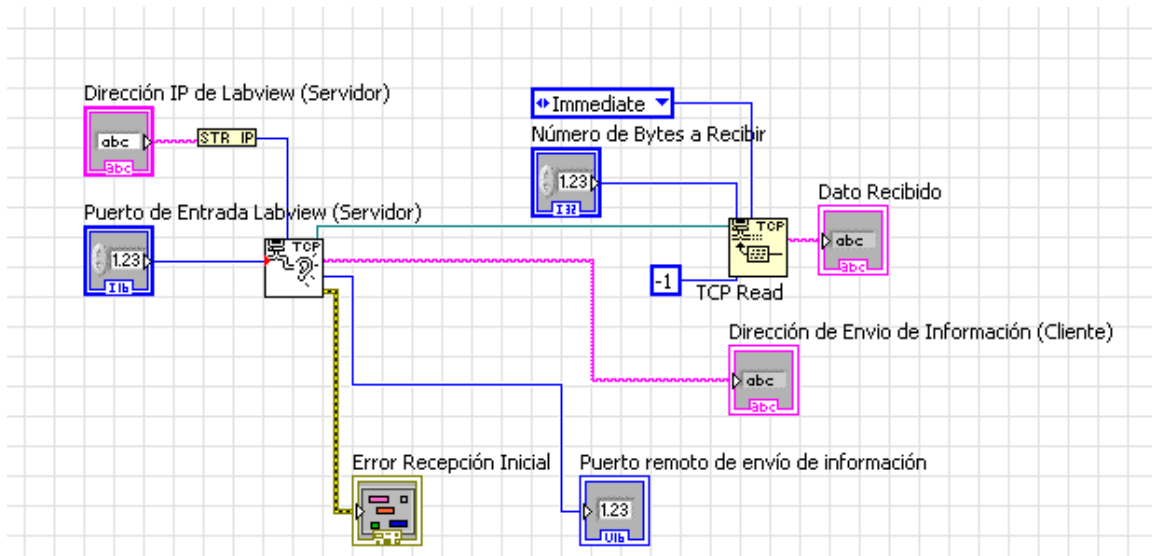
Módulo	Entradas	Salida
<i>TCP Open Connection</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dirección Servidor. Puerto Servidor. Tiempo de Espera: cuando este valor aparece en -1, el tiempo de espera de la conexión es infinito. 	<ul style="list-style-type: none"> Connection ID: Número de identificación de la conexión de red. Error
<i>TCP Write</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dato de Entrada. Connection ID. Error 	<ul style="list-style-type: none"> Connection ID. Error
<i>TCP Close Connection</i>	<ul style="list-style-type: none"> Connection ID. Error 	<ul style="list-style-type: none"> Error

Conexión TCP/IP LABVIEW: Server

Crear VI para servidor (TCP/IP). En este módulo se realizará la recepción de datos en LabVIEW desde otros servidores, como Cosimir Control.

Nota: se debe iniciar primero el servidor antes de activar el envío de datos del cliente.

Campo	Dato	Descripción
Número de Bytes a Recibir	Número entero	Es el número de caracteres que se van a recibir, el mensaje solo mostrar este número de caracteres, sin importar que se el número de caracteres enviados sea mayor.
Dirección IP del LabVIEW (Servidor)	Dirección IP	Hace referencia a la dirección IP donde se encuentra el servidor, es decir el equipo que recibirá los datos.
Dirección de Envío de Información	En blanco	En este espacio aparecerá el nombre del cliente. NO SE DEBE INGRESAR NINGÚN DATO EN ESTE CAMPO.
Puerto de Entrada LabVIEW (Servidor)	Número del puerto.	Se utiliza el puerto 5020, que es el puerto que se utiliza para leer datos. Este puerto debe ser configurado en el servidor en Cosimir Control.
Puerto remoto de envío de Información	En blanco.	En este espacio aparecerá el puerto del cliente (no siempre es el mismo). NO SE DEBE INGRESAR NINGÚN DATO EN ESTE CAMPO.



Módulo	Entradas	Salida
<i>String IP</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dirección IP Servidor. 	<ul style="list-style-type: none"> Dirección IP. Este módulo tiene la función de transformar una entrada tipo <i>string</i> en un dato que reconozca el módulo TCP/IP Listen como una dirección IP.
<i>TCP Listen</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dirección del Servidor Puerto de Entrada 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Connection ID.</i> Dirección de Envío Información (Cliente) Puerto Remoto de envío de Información. Error recepción Inicial.
<i>TCP Read</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>Connection ID.</i> Número de Bytes a Recibir. Modo: Inmediato. Tiempo de Espera: El valor -1 indica que el tiempo de espera es infinito. 	<ul style="list-style-type: none"> Error Dato Recibido: Muestra el dato que ha sido enviado por el cliente en el Panel Frontal de LabVIEW.

Anexo 5: Medición Envases

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Promedio (mm)	Desviación
Diámetro Interno (mm)	27,90	28,30	28,30	28,30	28,00	28,14	28,00	28,10	28,05	28,35	28,10	28,20	28,00	28,45	28,20	28,00	28,00	28,14	28,00	28,10	28,13	0,1470
Diámetro Externo (mm)	34,40	34,30	34,30	34,40	34,20	34,60	34,60	34,40	34,35	34,40	34,30	34,40	34,25	34,30	34,40	34,30	34,20	34,50	34,40	34,40	34,37	0,1093
Diámetro Rosca (mm)	36,80	37,45	37,30	37,50	37,25	37,20	37,45	37,20	37,35	37,30	37,70	37,25	37,60	37,45	37,50	37,45	37,40	37,55	37,40	37,50	37,38	0,1908
Diámetro Cuello (mm)	34,90	34,70	34,35	34,65	34,60	34,50	34,70	34,25	34,80	34,50	34,65	34,40	34,10	34,50	34,80	34,70	34,60	34,60	34,25	34,55	34,56	0,2044
Diámetro Cuerpo (mm)	41,70	42,05	41,70	41,75	41,75	41,70	41,80	41,60	41,85	41,80	41,80	41,70	41,30	41,60	41,75	41,85	41,70	41,80	41,50	41,60	41,72	0,1522
Longitud Envase (mm)	72,60	76,70	76,50	76,55	76,40	76,35	76,40	76,00	76,40	76,60	76,60	76,50	76,40	76,45	76,55	76,30	76,50	76,70	76,30	76,80	76,28	0,8835
Altura del cuello (mm)	4,07	4,10	4,08	3,97	3,90	4,09	4,11	3,96	4,02	3,74	4,04	4,33	4,10	4,23	3,93	4,34	4,16	4,36	4,00	3,93	4,07	0,1571
Altura cuello + roscado (mm)	14,17	14,17	14,22	14,03	14,28	13,99	14,14	13,89	14,04	14,11	14,01	14,16	14,17	14,09	14,09	14,05	14,18	13,94	14,24	14,18	14,11	0,1023
Peso (Kg)	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,079	0,078	0,078	0,078	0,079	0,078	0,078	0,078	0,078	0,077	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,08	0,0003

Datos de la Medición

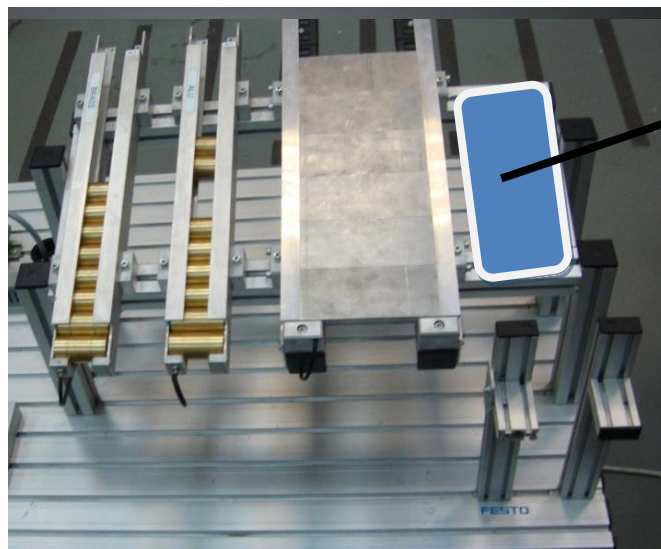
Muestra:	20	Hora:	5:30 pm
Fecha de toma:	Agosto 23 de 2010	Temperatura:	18°C

Anexo 6: Toma de tiempos para las opciones de rutina de producción

Para la toma de tiempos se determina que solo se tendrán en cuenta los tiempos que están sujetos a cambio, es decir, en donde los procesos no se encuentran estandarizados y de los cuales se espera obtener una variante para seleccionar la mejor rutina, que permita realizar una optimización de la producción a través del uso eficiente del espacio y de los diferentes movimientos que se deben ejecutar.

Supuestos Generales para la toma de tiempos:

- El dispensador de tapas para la rutina 1 y 2, sellado en pallet y sellado con dispositivo de almacenamiento temporal, se encuentra ubicado en la mesa de alimentación como se muestra en la siguiente ilustración:



Dispensador de Tapas

- La velocidad para el robot en todas las mediciones es de 100%; el desplazamiento del robot entre cada cambio de posición es realizado dentro de un programa, de manera que la velocidad es la máxima posible.

En las siguientes tablas se encuentran los tiempos obtenidos para cada una de las opciones de orden de ejecución de actividades en el CIM, tras una muestra de N=30 que permite tener un dato estadísticamente confiable.

1. Sellado en dispositivo de almacenamiento temporal

Movimiento	Descripción
Home - Envase	El robot se desplaza desde el punto de inicio o Home, hasta el punto final de la banda transportadora de la estación MPS®PA de llenado donde se encuentra el envase listo y lo toma.
Envase – A. Temporal	El robot se desplaza desde el punto final de la banda transportadora de la estación MPS®PA de llenado el envase listo, hasta la mesa de alimentación donde se encuentra el dispositivo de almacenamiento temporal, allí deja el envase lleno.
A. Temporal-Dispensador	El robot va desde el punto donde se encuentra el dispositivo de almacenamiento temporal, hasta el punto donde se encuentra el dispensador de tapas, donde toma una.
Dispensador - A. Temporal	Después de haber tomado la tapa, la transporta hasta el dispositivo de almacenamiento temporal donde se encuentra el envase y lo sella.
A. Temporal - Pallet	El robot toma el envase sellado del dispositivo de almacenamiento temporal y lo ubica en el <i>pallet</i> .

	Home-Envase	Envase-A. Temporal	A. Temporal-Dispensador	Dispensador – A. Temporal	A. Temporal - Pallet	Tiempo Total
T1	4,15	8,38	8,22	6,6	7,28	34,63
T2	4,61	8,43	7,22	7,57	7,57	35,4
T3	4,27	8,66	7,09	7,52	7,21	34,75
T4	4,71	8,33	7,44	7,37	7,45	35,3
T5	4,27	8,64	7,33	7,31	7,58	35,13
T6	4,44	8,52	7,53	7,47	7,86	35,82
T7	4,09	8,65	7,28	7,48	7,45	34,95
T8	4,42	8,63	7,22	7,57	7,45	35,29
T9	4,53	8,61	7,32	7,58	7,35	35,39
T10	4,24	8,57	7,47	7,38	7,84	35,5
T11	4,35	8,66	7,3	7,32	7,48	35,11
T12	4,61	8,63	7,24	7,47	7,53	35,48
T13	4,58	8,53	7,78	7,68	7,47	36,04
T14	4,1	8,86	7,66	7,17	7,14	34,93
T15	4,77	8,18	7,39	7,26	7,23	34,83
T16	4,52	8,41	8,01	7,12	7,78	35,84
T17	4,27	8,92	7,54	7,49	7,42	35,64
T18	4,34	8,93	7,85	7,51	7,64	36,27
T19	4,15	8,66	7,32	7,28	7,59	35
T20	4,3	8,38	7,29	7,55	7,12	34,64
T21	4,87	8,31	7,57	7,4	7,44	35,59
T22	4,08	8,5	7,47	4,68	7,16	31,89
T23	4,22	8,19	7,16	7,15	7,92	34,64
T24	4,07	8,95	7,47	7,53	7,65	35,67
T25	4,35	8,33	8,16	7,23	7,58	35,65
T26	4,41	8,41	7,25	7,65	7,61	35,33
T27	4,86	8,58	7,46	7,77	7,54	36,21

T28	4,72	8,91	7,33	6,89	7,86	35,71
T29	4,18	8,16	7,81	7,56	7,74	35,45
T30	4,51	8,62	7,18	7,51	7,36	35,18

Tabla de resumen de estadísticas rutina de sellado en dispositivo de almacenamiento temporal:

	Tiempo (s)
Tiempo Total	1057,26
Media	35,24
Desviación	0,78
Suplemento	0,75%
Tiempo Estándar	35,51

2. Sellado en *pallet*

Movimiento	Descripción
Home - Envase	El robot se desplaza desde el punto de inicio o Home, hasta el punto final de la banda transportadora de la estación MPS®PA de llenado donde se encuentra el envase listo y lo toma.
Envase - Pallet	El robot se desplaza desde el punto final de la banda transportadora de la estación MPS®PA de llenado el envase listo, hasta la mesa de alimentación donde se encuentra el <i>pallet</i> , allí deja el envase lleno.
Pallet - Dispensador	El robot va desde el punto donde se encuentra el <i>pallet</i> , hasta el punto donde se encuentra el dispensador de tapas, donde toma una.
Dispensador - Pallet	Después de haber tomado la tapa, la transporta hasta el <i>pallet</i> donde se encuentra el envase y lo sella.

	Home- Envase	Envase- Pallet	Pallet- Dispensador	Dispensador- Pallet	Total Tiempo
T1	4,28	9,04	7,72	7,72	28,76
T2	4,51	9,07	7,75	7,75	29,08
T3	4,41	8,72	7,75	7,75	28,63
T4	4,62	8,63	7,73	7,73	28,71
T5	4,28	8,25	8,44	8,45	29,42
T6	4,03	9,08	7,18	8,22	28,51
T7	4,21	8,9	7,66	7,78	28,55
T8	4,41	8,94	7,13	8,27	28,75
T9	4,52	8,84	7,61	7,98	28,95
T10	4,27	8,94	7,77	7,66	28,64
T11	4,44	8,93	7,61	7,55	28,53
T12	4,21	8,79	7,73	7,76	28,49
T13	4,82	8,61	7,52	8,36	29,31
T14	4,94	9,23	7,15	7,88	29,20
T15	4,86	8,74	8,17	7,69	29,46
T16	4,1	8,46	7,11	8,71	28,38
T17	4,15	9,03	7,86	8,53	29,57
T18	4,32	9,13	7,52	8,34	29,31
T19	5,07	9,17	7,8	8,73	30,77
T20	4,83	8,26	7,12	8,47	28,68
T21	4,23	9,12	8,07	7,51	28,93
T22	4,87	9,72	7,79	8,21	30,59
T23	4,37	8,38	7,56	8,19	28,50
T24	4,21	8,73	7,53	7,32	27,79
T25	4,36	8,61	7,81	8,27	29,05
T26	3,95	9,13	7,97	7,93	28,98
T27	4,64	8,52	7,38	7,84	28,38
T28	4,45	8,64	7,62	7,78	28,49
T29	4,39	8,79	7,86	7,93	28,97
T30	4,61	9,12	7,85	7,48	29,06

Tabla de resumen de estadísticas rutina de sellado en *pallet*.

	Tiempo (s)
Tiempo Total	868,44
Media	28,95
Desviación	0,61
Suplemento	0,75%
Tiempo Estándar	29,17

3. Sellado en estación MPS®PA de llenado

	Home-Tapa	Tapa-Envase	Envase-Pallet	Tiempo Total
T1	2,25	11,48	5,03	18,76
T2	2,55	11,84	5,36	19,75
T3	2,31	11,6	5,49	19,4
T4	2,28	11,81	5,28	19,37
T5	2,44	11,96	5,19	19,59
T6	2,4	11,85	4,97	19,22
T7	2,46	11,92	4,98	19,36
T8	2,53	11,74	5,46	19,73
T9	2,45	12,47	4,48	19,4
T10	2,61	11,64	5,24	19,49
T11	2,19	11,55	5,16	18,9
T12	2,42	11,81	5,05	19,28
T13	2,45	11,81	5,04	19,3
T14	2,77	11,25	5,28	19,3
T15	2,15	11,4	5,39	18,94
T16	2,67	11,18	5,32	19,17
T17	2,22	11,89	4,98	19,09
T18	2,39	11,46	5,46	19,31
T19	2,59	11,68	5,31	19,58
T20	2,76	11,35	5,12	19,23
T21	2,1	11,51	5,24	18,85
T22	2,93	11,17	5,64	19,74
T23	2,23	11,15	5,27	18,65
T24	2,79	11,25	5,16	19,2
T25	2,48	11,59	5,35	19,42
T26	2,61	11,71	5,25	19,57
T27	2,39	11,86	5,38	19,63
T28	2,58	11,65	5,11	19,34
T29	2,39	11,36	5,8	19,55
T30	2,45	11,43	5,66	19,54

Tabla de resumen de estadísticas rutina de sellado en estación MPS®PA de llenado:

	Tiempo (s)
Tiempo Total	579,66
Media	19,32
Desviación	0,29
Suplemento	0,75%
Tiempo Estándar	19,47

Anexo 7: Planos Técnicos de soportes y piezas adicionales para la integración.

Anexo 8: Especificaciones del Robot Mitsubishi MELFA IV y la pinza neumática.

Especificaciones Básicas Robot Mitsubishi MELFA IV RV2A

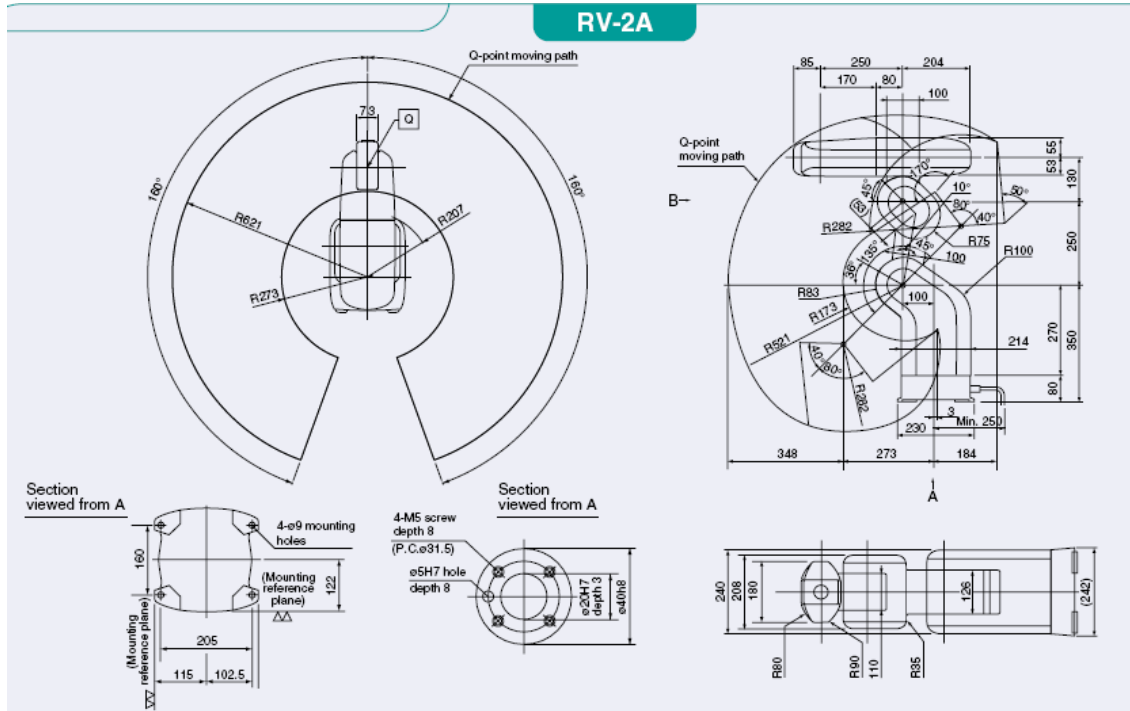
Main Body					
		6-axis type		5-axis type	
Model	Units	RV-2A	RV-2AM	RV-3AJ	RV-3AJM
Degrees of freedom		6		5	
Driving method		AC servomotor (J1~J3 and J5 axis brake attached)			
Position sensing method		Absolute encoder			
Maximum load capacity (rating)	kg	2		3	
Maximum reach radius	mm	621		630	
Working area	J1	320 (-160~+160)			
	J2	180 (-45~+135)			
	J3	120 (+50~+170)		135 (0~+135)	
	J4	320 (-160~+160)		—	
	J5	240 (-120~+120)			
	J6	400 (-200~+200)			
Maximum speed	J1	150			
	J2	150			
	J3	180			
	J4	240		—	
	J5	180			
	J6	330			
Repeat position accuracy	mm	±0.04			
Ambient temperature	°C	0~40			
Weight	kg	Approx. 37	Approx. 38	Approx. 33	Approx. 34
Tool wiring *1		6 wires for hand-check work (4-point inputs and 2 power supply lines, the hand unit); 4-point outputs for air-hand (the shoulder unit); 1-point output for motor-driven hand (the hand unit); 4 spare wires (0.3 mm ² in size, arranged from the base through the end of fore-arm).			
Tool air-tubing		Primary: ø6×2 ports Secondary: ø4×4 ports	Primary: ø6×2 ports Secondary: ø4×6 ports	Primary: ø6×2 ports Secondary: ø4×4 ports	Primary: ø6×2 ports Secondary: ø4×6 ports
Protective structure		IP30	IP54	IP30	IP54

*1: An air-hand interface (option) is required when tool outputs are used.
 *2: 3 slots when an expansion-option box (option) is installed.
 *3: The power consumption during typical patterns of operations is about 0.6kW.
 *4: The size or mass excludes the expansion-option box (option).
 Note: These specifications may be changed without prior notice.

Especificaciones Básicas Robot Mitsubishi MELFA IV RV2A⁴⁷

⁴⁷ Mitsubishi Electric. Industrial Robot RV2A/RV3AJ/RV-2AM/RV-3AJM. Consultado en línea Noviembre 28 de 2010. URL: <http://www.rixan.com/Portals/0/RV-2A%203AJ%20Brochure.pdf>

Dimensiones Externas y Alcance del Robot Mitsubishi MELFA IV RV2A



Dimensiones Externas y Alcance del Robot Mitsubishi MELFA IV RV2A⁴⁸

⁴⁸ Mitsubishi Electric. Industrial Robot RV2A/RV3AJ/RV-2AM/RV-3AJM. Consultado en línea Noviembre 28 de 2010. URL: <http://www.rixan.com/Portals/0/RV-2A%203AJ%20Brochure.pdf>

Especificaciones Neumáticas de la Pinza del Robot Mitsubishi MELFA IV

Item	Specifications	Remarks	
Operating fluid	Clean air		
Operating pressure range	0.04 to 0.7MPa		
Operating temperature range	0 to 40 °C		
Open/close stroke	125 ^{±2} mm		
Life	10 million cycles or more		
Operating method	Double action		
Mass	0.45kg	Includes the adapter	
Open/close confirmation sensor	Open edge and close edge		
Pneumatic coupling size	Φ 4 (quick coupling)	Connection hose diameter: Φ4	
Maximum load per finger	Radial	686N	When installing the finger attachment, avoid shock or excessive moment to the tips.
	M _{po} moment	6.07N · m	
	M _{ro} moment	10.6N · m	
	M _{yo} moment	5.88N · m	

Especificaciones Neumáticas de la Pinza del Robot Mitsubishi MELFA IV⁴⁹.

⁴⁹ MELFA. Industrial Robot. Standart Specifications Manual. Consultado en línea Noviembre 28 de 2010.
URL:<http://download.mitsubishi-automation.com/resources/manuals/132313.pdf>