

PROPUESTA DE MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA
FLEXIBLE MEDIANTE INSTRUMENTOS VIRTUALES Y SOFTWARE
HMI/SCADA COMO HERRAMIENTA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.



TRABAJO DE GRADO
Para optar por el título de magister en ingeniería industrial

DIEGO FERNANDO QUINTANA PEÑA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ DC.
2013

PROPUESTA DE MODELAMIENTO DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA
FLEXIBLE MEDIANTE INSTRUMENTOS VIRTUALES Y SOFTWARE
HMI/SCADA COMO HERRAMIENTA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.



TRABAJO DE GRADO
Para optar por el título de magister en ingeniería industrial

AUTOR:
DIEGO FERNANDO QUINTANA PEÑA
Ingeniero Electrónico

DIRECTOR:
PhD, Iván Mondragón.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ DC.
2013

TABLA DE CONTENIDO

1	GLOSARIO DE TERMINOS	1
2	RESUMEN	2
3	INTRODUCCIÓN	3
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA (ANTECEDENTES DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN)	4
5	OBJETIVOS	6
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	6
5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
6	MARCO TEORICO	7
6.1	FMS – SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE	7
6.1.1	<i>Estaciones de trabajo:</i>	8
6.1.2	<i>Manejo de material y sistema de almacenamiento (AS/RS):</i>	8
6.1.3	<i>Sistema de control por computador:</i>	8
6.1.4	<i>Recursos humanos:</i>	9
6.2	AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS	9
6.3	SOFTWARE SCADA/HMI VIJEO CITECT	12
6.3.1	<i>Citect explorer:</i>	14
6.3.2	<i>Citect Project Editor:</i>	15
6.3.3	<i>Citect Graphic Builder:</i>	15
7	ESTADO DEL ARTE	16
7.1	SUPERVISIÓN DE PROCESOS Y MANUFACTURA	16
7.1.1	<i>Nivel de supervisión</i>	16
7.1.2	<i>Sistemas de Manufactura reconfigurable</i>	18
7.1.3	<i>Software de supervisión reconfigurable</i>	21
7.1.3.1	<i>Adquisición de datos:</i>	22
7.1.3.2	<i>Procesamiento de datos:</i>	22
7.1.3.3	<i>Presentación de datos:</i>	23
7.2	SISTEMAS DE MANUFACTURA EN LA EDUCACIÓN.....	23
7.3	FMS – CTAL.....	24
7.3.1	<i>Banda transportadora:</i>	25
7.3.2	<i>Robot manipulador industrial</i>	26
7.3.3	<i>Centro de mecanizado</i>	26
7.3.4	<i>Estación de control central</i>	26
8	METODOLOGIA Y DESARROLLOS REALIZADOS	27
8.1	REVISIÓN TRABAJOS REALIZADOS:	27
8.1.1	<i>Almacén:</i>	27
8.1.2	<i>Banda Transportadora</i>	28
8.1.3	<i>Robot Melfa RV-2A:</i>	29
8.2	DEFINICION DE CONFIGURACIÓN Y ARQUITECTURA.....	29
8.3	CONFIGURACIÓN APLICACIÓN	30
8.3.1	<i>Configuración de servidores:</i>	30
8.3.2	<i>Configuración de Data de I/O:</i>	32
8.3.3	<i>Configuración de despliegues:</i>	32
8.3.3.1	<i>Almacén</i>	33
8.3.3.2	<i>Banda Transportadora</i>	34
8.3.3.3	<i>Robot Manipulador</i>	35

8.3.4	<i>Configuración lógica de funcionamiento:</i>	36
8.3.4.1	Control de tráfico banda transportadora.....	36
8.3.4.1	Control Almacén.....	36
8.3.4.2	Control Robot:	37
8.3.4.3	Control ejecución instrucciones CNC	40
8.3.4.1	Control lectura, edición y actualización base de datos.....	40
9	RESULTADOS	42
10	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	47
11	TRABAJOS FUTUROS.....	48
12	REFERENCIAS	49
12.1	REFERENCIAS CITADAS	49
12.2	REFERENCIAS CONSULTADAS.....	50

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.	FMS típica de sistemas integrados de manufactura.....	8
Figura 2.	Modelo de automatización.....	10
Figura 3.	Jerarquía en el modelo de automatización.....	11
Figura 4.	Arquitectura funcionamiento Vijeo Citect.	13
Figura 5.	Arquitectura Clustering Vijeo Citect	14
Figura 6.	Ventana navegación y explorador de proyectos Citect Explorer	14
Figura 7.	Ventana y funciones Project Editor – Vijeo Citect	15
Figura 8.	Ventada Vijeo Citect Graphic Builder y pallete de funciones.....	15
Figura 9.	Bases de un sistema de control	16
Figura 10.	Modelo PLC/HMI integrado	17
Figura 11.	Experiencia en sistemas convergentes HMI/PLC	18
Figura 12.	Características FMS vs RMS.....	19
Figura 13.	Definiciones y características de los sistemas de manufactura	20
Figura 14.	principales características de RMS.....	21
Figura 15.	Modelo flexible de supervisión.	21
Figura 16.	Diagrama adquisición de datos.....	22
Figura 17.	FMS – SALA CIM Pontificia Universidad Javeriana	25
Figura 18.	Metodología utilizada.....	27
Figura 19.	Diagrama de flujo envió de comandos PLC Almacén	28
Figura 20.	Configuración Cluster	31
Figura 21.	Configuración servidores.....	31
Figura 22.	Configuración Dirección IP	31
Figura 23.	Plantilla de trabajo para aplicación.....	32
Figura 24.	Información almacén	33
Figura 25.	Despliegue Almacén AS-RS	33
Figura 26.	Despliegue inventario	34
Figura 27.	Despliegue productos	34
Figura 28.	Despliegue Banda Transportadora.....	35
Figura 29.	Despliegue Robot Melfa.....	35
Figura 30.	Lógicas Cicode	36
Figura 31.	Diagrama de flujo control de tráfico banda transportadora.....	37
Figura 32.	Diagrama de flujo ejecución tareas Almacén	37
Figura 33.	Instrumento Virtual Servidor DDE	38
Figura 34.	Lectura señal de inicio e instrucción servidor LabVIEW.....	39
Figura 35.	Diagrama de flujo Cliente Robot Melfa	39
Figura 36.	Señales I/O torno CNC	40
Figura 37.	Diagrama de flujo cliente Robot Melfa y CNC acoplada.....	41
Figura 38.	Diagrama de flujo conexión base de datos	41
Figura 39.	Arquitectura final.....	42
Figura 40.	Pruebas Banda transportadora	43
Figura 41.	Pruebas inventario almacén	44
Figura 42.	Pruebas De Funcionamiento Orden Mecanizado Pieza.....	45
Figura 43.	Especificaciones del equipo.....	46
Figura 44.	Desempeño de equipo.....	46

1 GLOSARIO DE TERMINOS

PLC: Siglas de *Programmable Logic Controller*. Computador utilizado para labores de automatización industrial, el cual, a través de sus múltiples entradas y salidas, es capaz de tener, tanto la lectura de señales del proceso, como modificación de las mismas.

CNC: Siglas de *Control Numerado por Computador*, hace referencia a maquinas, las cuales, los movimientos de la herramienta u otro equipamiento son controlados por programas que contienen datos alfa-numéricos

HMI: Siglas de *Human Machine Interface*, relacionado en el campo de la Automatización Industrial con la interacción, a través de despliegues desarrollados, entre humanos y equipos para operación de los mismos.

SCADA: Siglas de *supervisory Control And Data Acquisition*, hace referencia a aplicaciones para el control y la supervisión de procesos remota, el cual, realiza además un análisis de datos a través del almacenamiento de información

TCP/IP: Protocolo de comunicaciones simplificado según modelo de referencia mundial, el cual, mediante una conexión previa entre las partes a comunicarse, establecen una comunicación a través de un direccionamiento lógico llamado dirección IP.

FMS: Siglas de *Flexible Manufacturing System*, hace referencia al tipo de sistemas de manufactura compuestas por maquinas CNC, sistemas de manipulación de material y una estación de control central.

RMS: Siglas de *Reconfigurable Manufacturing System*, relacionada con el tipo de sistemas de manufactura, el cual, mediante características de reconfiguración tanto a nivel de software como de estructura, equipos y hardware, se da solución problemas evidenciados en otros sistemas de manufactura como los FMS.

AS/RS: Siglas de *Automated Storage and Retrieval System* o sistemas de almacenamiento/recuperación automáticos. Hace referencia a sistemas de almacenamiento automático donde la función del operador es mínima o casi nula

CICODE: Lenguaje de programación de rutinas de funcionamiento en software
HMI/SCADA Vijeo Citect

2 RESUMEN

Debido a los problemas evidenciados en los sistemas de manufactura flexibles en cuanto a capacidades de modificación estructural por las aplicaciones desarrolladas, para su control de manera específica, se propone una solución de supervisión y control de proceso mediante características reconfigurables, obteniendo así, una arquitectura con la cual fue posible controlar un sistema de manufactura, caso de estudio en el laboratorio CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana. Para ello se desarrolla una aplicación en software Vijeo Citect y LabVIEW, debido a las posibilidades que tiene la herramienta para el análisis y presentación de datos, implementación de lógicas, además de la compatibilidad con equipos ya adquiridos de la marca en el departamento. Se realiza la configuración de cada uno de los servidores de I/O, tendencias, históricos y reportes de Vijeo Citect, paralelamente servidor LabVIEW para enlace de la aplicación en un mismo nivel en la jerarquía de automatización, y un programa cliente TCP en comandos Melfa Basic IV en un robot Melfa RV-2A Mitsubishi de ejecución simultánea para recepción de instrucciones de movimiento.

3 INTRODUCCIÓN

La industria ha desarrollado diferentes adelantos de los sistemas automatizados para responder a los requerimientos de mercados exigentes y cambiantes de hoy en día. Particularmente, entre los sistemas de manufactura desarrollados, las arquitecturas de control y supervisión deben ser lo suficientemente capaces para adaptarse a cambios estructurales y/o de control. Paralelamente, el nivel de supervisión y control en los procesos industriales está teniendo un papel cada vez más importante en lo que se denomina “automatización ajustada” donde las capacidades de procesamiento de los computadores, su confiabilidad y el flujo de información que pueden manejar y procesar, hacen que los niveles de supervisión y control estén convergiendo a un solo nivel.

Este trabajo de grado, desarrolla una solución de supervisión y control de procesos industriales mediante el desarrollo de una aplicación HMI/SCADA e instrumentos virtuales para sistemas de manufactura con herramientas de control específicas y opciones limitadas para cambios estructurales, un caso de análisis y desarrollo en el laboratorio de automatización industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, sala CIM.

Para esto, se define una metodología y se realizan diferentes configuraciones, pruebas y rutinas que se detallan en el capítulo 7, en donde mediante la posibilidad de una arquitectura distribuida de supervisión y la configuración de instrumentos virtuales, es posible lograr el control y la supervisión de todo el proceso, características propias de lo que se conoce como los sistemas de manufactura reconfigurables.

El software de supervisión utilizado para el desarrollo de la herramienta fue Vijeo Citect propiedad de Schneider Electric, debido a las posibilidades que tiene la herramienta para el análisis y presentación de datos, implementación de lógicas, además de compatibilidad con equipos ya adquiridos de la marca en el departamento. A través de éste fue posible tener la supervisión y el control de la banda y el almacén, adicionalmente, se crean dos instrumentos virtuales en LabVIEW para comunicación con periféricos de campo como robot y torno, obteniendo así una arquitectura la cual se explica en el capítulo 8. Finalmente un análisis de los resultados obtenidos y una propuesta de trabajos futuros, aprovechando la adquisición de licencias de desarrollo del software y la gran aplicación que tiene en el campo industrial.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA (ANTECEDENTES DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN)

Un sistema de manufactura flexible (FMS) es un sistema altamente automatizado que consiste en un grupo de herramientas de mecanizado, interconectadas por un sistema de almacenamiento y transporte de material, controlado por un sistema integrado por computador. La flexibilidad de una FMS lleva a incrementar la productividad, reducir los procesos de inventario y costos de producción, aumentar la calidad y permite un manejo eficiente de recursos. El control del FMS debe ser capaz de tomar decisiones en tiempo real basado en la producción y el comportamiento deseado del sistema [1].

Muchos estudios llevan a que el control es en hecho la clave de la flexibilidad de un FMS y también uno de los principales impedimentos de los sistemas de manufactura integrados por computador (CIM). Las aplicaciones desarrolladas de supervisión y control resultan siendo muy específicas, difíciles de cambiar, difíciles de transportar a otro hardware y costosos [2]. Esto ha llevado a despertar interés por parte de la academia y la industria en la búsqueda de mejoras a los sistemas automatizados, por ejemplo, la función y la mejora de los sistemas supervisorios. Paralelamente, las arquitecturas de control están evolucionando por los adelantos de procesamiento y volúmenes de información de los computadores, además de las velocidades y capacidades de transmisión en redes industriales. Esta nueva tendencia en las arquitecturas de control y redes de empresa ponen como gran protagonista y principal actor en el futuro del modelo de automatización al software de supervisión [3]. En manufactura aprovechando estos adelantos en supervisión de procesos y automatización, han sido tomados en cuenta para el desarrollar de los sistemas de manufactura reconfigurable, dando grandes saltos y superando limitaciones como las anteriormente mencionadas.

Un caso de análisis para este proyecto tiene lugar en La Pontificia Universidad Javeriana. La universidad dispone del Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) como un espacio con los suficientes recursos para el estudio de procesos industriales y de manufactura. Cuenta con diferentes estaciones de trabajo que abarcan diferentes escenarios posibles en el área de la automatización, manufactura y la producción. En particular, dispone de una celda de manufactura integrada CIM por un

almacén de materia prima y producto terminado ASRS, una estación de mecanizado, una banda transportadora y un robot manipulador industrial de fabricación Japonesa Mitsubishi MELFA serie RV-2A. El control se lleva a cabo desde un SCADA configurado en una estación central, mediante un software especializado, COSIMIR® CONTROL, llevando un control supervisorio de manufactura. COSIMIR® CONTROL es un software propietario con limitaciones que incluyen, entre otras, la integración de nuevas estaciones a la celda de manufactura. Este, es entonces, un claro ejemplo de limitaciones de flexibilidad en manufactura por la implementación del sistema de supervisión y control configurado.

Proyectos anteriores han desarrollado aplicaciones por medio de diferentes herramientas para el control de la celda, buscando soluciones flexibles para la supervisión y control de la celda de manufactura. Se desarrollaron aplicaciones para el almacén [4], la banda transportadora [5] y robot manipulador [6] a través de LabVIEW® por su programación grafica, funciones para comunicación y la posibilidad de integración de nuevas tecnologías de diferentes fabricantes.

De esta manera siguiendo en el proceso de la migración del sistema supervisión y control del sistema planteado adquirido por el departamento desde ya unos años se plantea un caso de desarrollo y análisis de una solución de supervisión para el total de la celda. Caso de estudio y aplicación de soluciones en sistemas de manufactura con limitaciones en la flexibilidad de sus herramientas de control y supervisión, aprovechando características de los sistemas de manufactura reconfigurables, nueva tendencia y futuro en los sistemas de manufactura. Para ello se tomaran los avances de cada uno de los proyectos anteriores y desarrollar una nueva plataforma de supervisión y control de la celda, mediante técnicas reconfigurables que permitan la instalación de nuevas estaciones a futuro, conveniente para los fines académicos de la celda. De esta manera, el departamento queda equipado con un sistema de control distribuido acorde a las arquitecturas de control presentes en industrias de alto nivel, y llevar a cabo sus correspondientes prácticas e investigaciones en campos como el de supervisión de procesos industriales, de gran protagonismo en la industria actual y en la del futuro.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta para control, pruebas, simulación y supervisión de procesos de manufactura basado en software de supervisión e instrumentos virtuales como solución a problemas evidenciados en sistema de manufactura flexible.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Desarrollar una arquitectura de supervisión y control mediante tecnologías abiertas de fácil adaptabilidad y alto desempeño como solución a un problema de estudio de manufactura flexible.

Caracterizar y Modelar el sistema de manufactura como una secuencia de pasos lógicos y eventos discretos mediante herramientas que describan propiamente sus características.

Desarrollar la integración del sistema de manufactura mediante un software de supervisión de alto desempeño acorde a arquitectura objetivo, validando la importancia de nivel de supervisión/SCADA en los sistemas de control con la posibilidad de integración con instrumentos virtuales.

6 MARCO TEORICO

Es necesario tener presente ciertos conceptos que se tratan en el desarrollo de este trabajo de grado. Conceptos de manufactura flexible, automatización y supervisión de procesos industriales que se presentan a continuación.

6.1 FMS – SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Un sistema de manufactura flexible (FMS, por su sigla en inglés) es una celda de manufactura altamente automatizada, la cual la compone un grupo de estaciones de trabajo como maquinas CNC, sistemas de manejo de material y sistemas de almacenamiento y ensamble, controlados por una estación central de cómputo. Sistema interconectado con la finalidad de una producción de partes o productos dentro de un rango de estilos, tamaños y procesamientos [7].

Hay diferentes requerimientos que debe cumplir un sistema para ser catalogado como flexible, primero, debe tener la capacidad de hacer un seguimiento del producto, distinguiendo entre los diferentes estilos de productos procesados por la celda, segundo, debe permitir un rápido cambio de instrucciones de operación y por último, permitir el cambio en la configuración física como la adquisición de nuevas estaciones de trabajo. Un FMS es entonces el conjunto de soluciones, tanto de maquinaria, como de software para incrementar la flexibilidad a través del uso adecuado de sus diferentes componentes.

En la figura 1 se muestra el típico de una FMS. Para este caso, la configuración tiene un sistema de transporte que corresponde a una banda transportadora, una estación de almacenamiento automático, una estación de ensamblaje, una estación de soldadura, un centro de mecanizado y una estación de mecanizado torno. La ejecución de las distintas tareas es controlada por un paquete de software visual, el cual es el responsable de la localización de los recursos, la planeación de la producción y la definición de la ruta, constituyendo una plataforma con la capacidad de integrar físicamente todos los componentes del sistema, como robots, controladores y máquinas [8] [20].

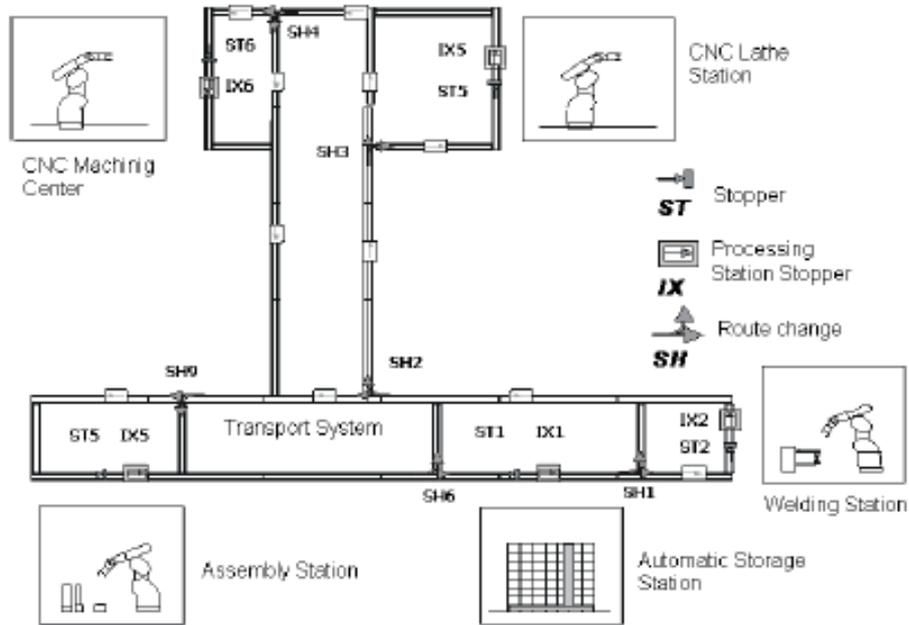


Figura 1. FMS típica de sistemas integrados de manufactura¹

Componentes de un FMS:

6.1.1 Estaciones de trabajo:

Se encuentran las máquinas usadas para el procesamiento o ensamblaje dependiendo del tipo de trabajo llevado a cabo por el sistema. Un ejemplo las máquinas CNC.

6.1.2 Manejo de material y sistema de almacenamiento (AS/RS):

Compuesto por diferentes estaciones las cuales llevan a cabo funciones como el transporte de material entre las estaciones de trabajo y el almacenamiento de material para ser procesado. Entre estos sobresalen las bandas transportadoras y los robots manipuladores industriales.

6.1.3 Sistema de control por computador:

Consiste en un computador central interconectado con las estaciones de trabajo, con los sistemas de manejo de material y almacenamiento y con demás componentes del sistema, controlando la ejecución de tareas individuales. Además coordina las actividades de los diferentes componentes para alcanzar los objetivos de la producción. Entre sus funciones sobresalen:

¹ Tomado de [20]

- Control de las estaciones de trabajo
- Control de las instrucciones a las estaciones de trabajo
- Control de producción
- Control de tráfico
- Monitoreo de la pieza de trabajo

6.1.4 Recursos humanos:

Aunque un FMS es altamente automatizado, se necesita personal para el manejo y operación los sistemas en funciones como, por ejemplo, descarga de piezas finalizadas del sistema o el cambio y la instalación de herramientas [9].

6.2 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS

Dos buenas definiciones sobre el término automatizar pueden ser las siguientes [9]:

“En términos técnicos, e imitando simplemente a aspectos mecánicos, automatización es la adición de herramientas de programación y computación para el buen uso de herramientas mecánicas, hidráulicas y neumáticas”.

“Tecnología por medio de la cual un proceso o procedimiento se puede desarrollar sin intervención humana”.

Para llevarlo a cabo existe el control industrial, el cual es la “regulación automática de una operación unitaria y su equipo asociado, y la integración y coordinación de todas las operaciones unitarias dentro de un sistema de producción”.

La automatización se ha convertido en pilar fundamental en la industria, diferentes sectores de la economía optan por inversiones en automatización e integración de sus procesos en respuesta a las exigencias del mercado, en donde aumentan las especificaciones de calidad. Igualmente, es una solución a los altos niveles de consumo de energía en la industria, materia prima y recursos humanos, optimizando consumo y tiempo. Por último, uno de los objetivos principales son las operaciones más seguras tanto para las personas, como equipos y medio ambiente.

Para el desarrollo de ambientes automatizados, se ha definido un modelo de automatización adoptado por la industria, en el cual se realiza una clasificación jerárquica por niveles, abarcando los diferentes campos en la empresa. Las características de cada uno de estos niveles varían uno a uno según el tipo de

información, los procesos realizados y las acciones tomadas según la toma de datos. Toda esta información es de hecho fundamental en campos automatizados ya que permiten la toma de decisiones basadas en modelos estadísticos.

El modelo de automatización se puede observar de una manera jerárquica en la siguiente figura 3:



Figura 2. Modelo de automatización²

Un total de cinco niveles como se observa en la parte derecha de la figura, dispositivos de campo, control básico y aplicaciones de control avanzado relacionadas con la adquisición de datos en tiempo real del proceso; administración de la producción y recursos relacionadas con la gerencia de planta y producción; y por último la toma de decisión a nivel de gerencia de empresa. Cada uno de los cinco niveles se explica a continuación [10]:

Nivel 1: Dispositivos de campo: hay acceso a variables de planta y el proceso mediante la instrumentación instalada en campo. En este se encuentran, también, los elementos finales que modifican el proceso, la materia prima.

Nivel 2: Control básico: controladores como PLC captan información de campo y realizan el control a través de elementos finales como actuadores o válvulas. Las acciones son tomadas según programaciones basadas, por ejemplo, en control regulatorio o lógico secuencial.

² Tomado de [10]

Nivel 3: Aplicaciones de control Avanzado: se realiza las acciones de supervisión, coordinación de un grupo de operaciones unitarias que conforman el proceso completo. Por ejemplo, en el control de una celda de manufactura, el control y coordinación de grupo de máquinas y equipo de soporte que forman una línea de producción, en la cual hay un despacho de partes, transporte de material, almacenamiento.

Nivel 4: nivel de planta, en la cual se materializan las ordenes de gerencia. El análisis de la información se convierten en planes de producción, optimización a partir de puntos de operación óptimos.

Nivel 5: empresa, en el cual todos los datos captados de niveles bajos permite obtener información para el manejo de ventas, inventarios, planeación, diseño.

Un esquema más detallado con algunas características nombradas anteriormente, y a manera de diagramas de flujos se muestra al igual a continuación [11].

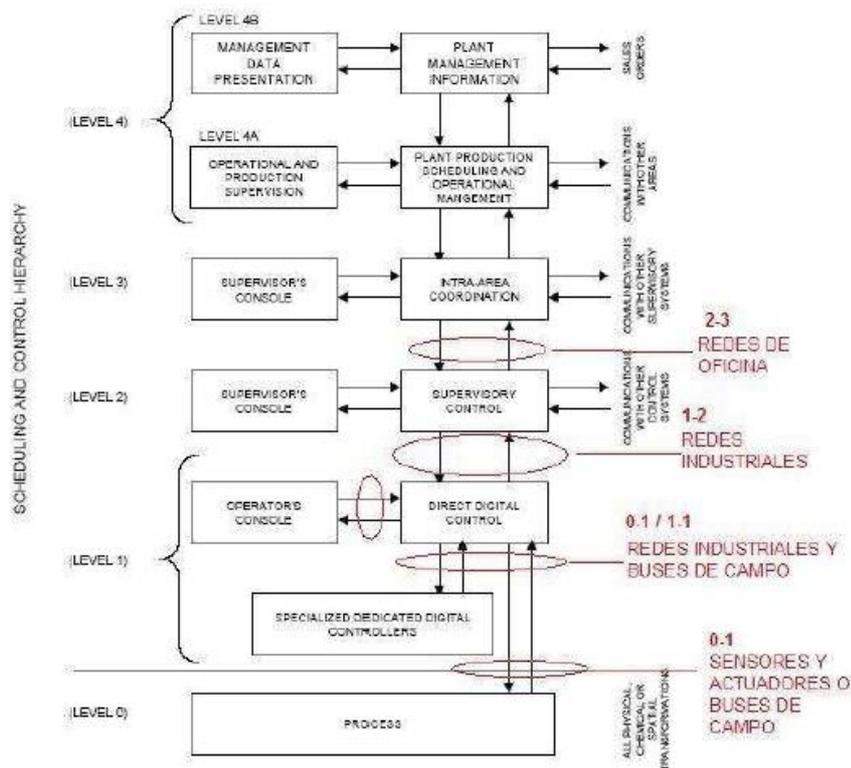


Figura 3. Jerarquía en el modelo de automatización.³

De esta manera, el proceso de automatización general es un trabajo que debe ser estructurado con la ejecución de actividades multidisciplinares. La importancia de cada

³ Tomado de [11]

uno de sus niveles y su interconexión, hacen que el desarrollo de herramientas que cumplan un papel del proceso de automatización global, sean procesos específicos con aspectos a tener en cuenta. Este proyecto se centra en el diseño de una herramienta de supervisión, por lo cual, se centrara en este nivel de automatización.

Como se puede observar en la figura 3, el flujo de información entre cada uno de los niveles se da a través de redes de comunicación, las cuales varían en especificaciones y velocidades dependiendo del nivel. En niveles de campo, por ejemplo, la lectura de información de campo se hace en ocasiones en ambientes agresivos, a temperaturas muy altas. Por esto, se han desarrollado diferentes tipos de buses de campo con altos estándares de seguridad y especificaciones en su fabricación para resistir a altas temperaturas y ambientes corrosivos, entre otros. En este nivel se pueden encontrar buses de campo como Profibus, CAN, Modbus. Las especificaciones varían, de nivel a nivel. En niveles bajos las velocidades y el volumen de información es alto, las acciones se toman en tiempo real. En cambio, en niveles intermedios altos, el flujo de información es menor y en ambientes con menos exigencias, como se puede observar en la figura, entre nivel 2 y 3, en donde se lleva a cabo la supervisión de los procesos y tareas de operación es común el tipo de redes de oficina.

6.3 SOFTWARE SCADA/HMI VIJEO CITECT

Es una herramienta de supervisión de procesos industriales que facilita la integración con plataformas de control basadas en PLC para proporcionar soluciones de automatización distribuidas. Las características de su arquitectura lo hace una de las soluciones por excelencia en diferentes tipos industrias como OIL & GASs entre otras, en donde los requerimientos de rendimiento y fiabilidad son bastantes exigentes.

La arquitectura de funcionamiento es basada en distribuir su funcionamiento en servidores de I/O (Entradas/Salidas), tendencias, alarmas y reportes, lo que asegura la actualización de datos a velocidades mayores y aumenta la fiabilidad de los sistemas. Además es posible la configuración de servidores redundantes generando arquitecturas más robustas. Por otra parte, se desarrollan clientes, pantallas de operador con el desarrollo grafico las cuales actualizan sus datos desde cada uno de los servidores nombrados anteriormente, de esta manera se obtienen bases de datos comunes capaces

de actualizar distintos tipos de clientes, algo importante en análisis y toma de decisiones en procesos industriales.

La arquitectura de funcionamiento se muestra en la figura 4:

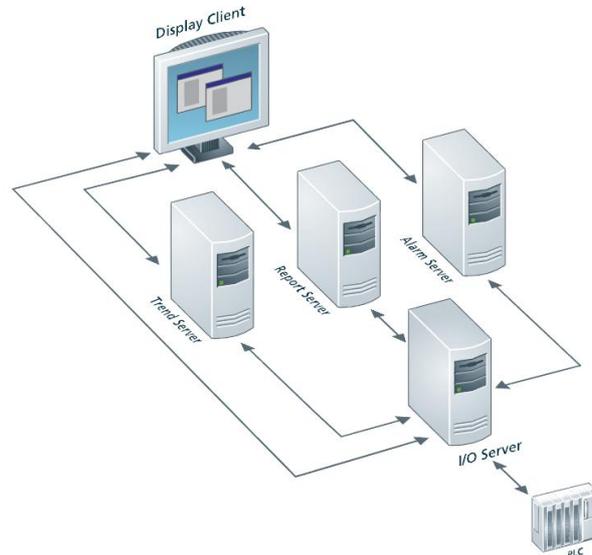


Figura 4. Arquitectura funcionamiento Vijeo Citect.⁴

Se dispone de cuatro servidores los cuales son [12]:

Servidor de I/O: realiza la comunicación con I/O de campo, comunicación con periféricos y demás equipos en planta.

Servidor de Alarmas: servidor encargado de la generación de alarmas configuradas en el proceso y su almacenamiento para tareas de inspección periódicas.

Servidor de reportes: encargado de la generación de reportes asociados a variables de proceso o información relevante a ser requerida.

Servidor de tendencias: encargado del almacenamiento de información capturada de planta para generación de tendencias de análisis, por ejemplo en alteraciones de procesos y control estadístico de procesos.

Adicionalmente, un cliente en el cual se realiza las diferentes configuraciones gráficas y despliegues a operador con la diferente información de planta y procesada en los diferentes servidores.

⁴ Tomado de [12]

Para aplicaciones en las cuales es necesario aumentar la fiabilidad del sistema existe el concepto de “clustering” o grupo de servidores y redundancia de servidores, logrando por ejemplo la arquitectura que se muestra en la figura 5.

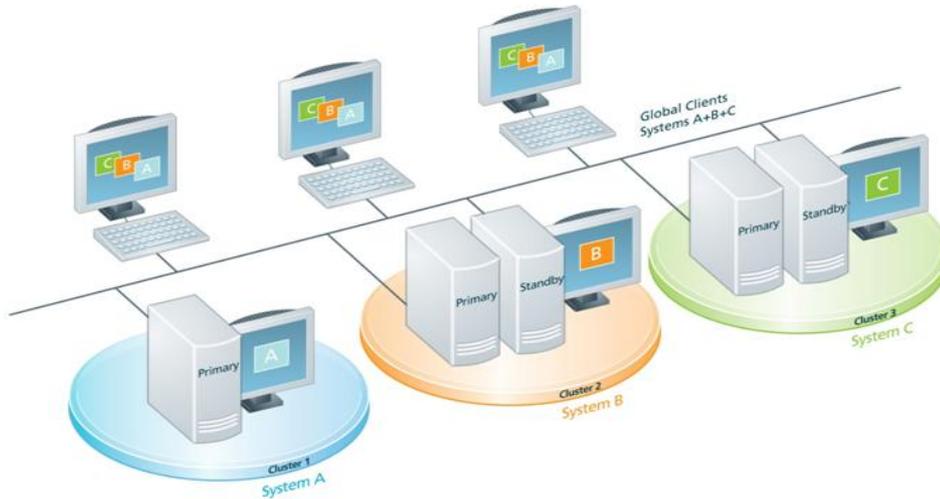


Figura 5. Arquitectura Clustering Vijeo Citect⁵

El software se compone de tres subprogramas con los cuales es posible llevar a cabo el total de la configuración:

6.3.1 Citect explorer:

En este se gestiona el total de archivos y proyectos que han sido configurados. En un proyecto es posible acceder al total de gráficos, tags, alarmas, configuración de señales de I/O y los archivos Cicode que se explicaran más adelante. Este programa se muestra en la Figura 6.

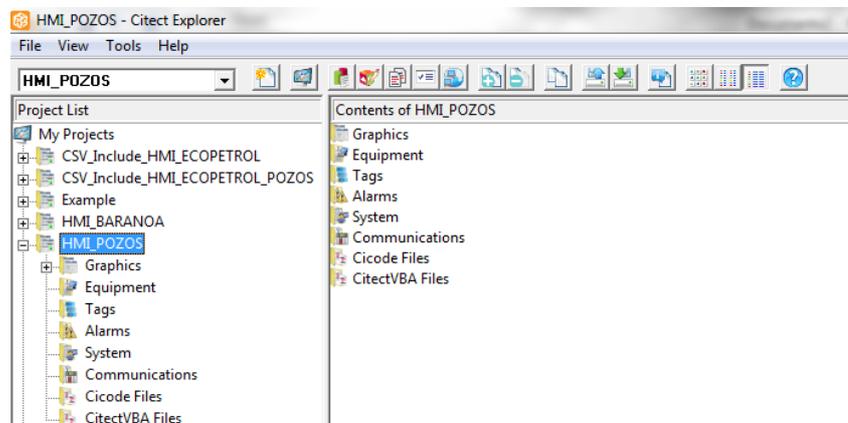


Figura 6. Ventana navegación y explorador de proyectos Citect Explorer

⁵ Tomado de [12]

6.3.2 Citect Project Editor:

En este se realiza las diferentes configuraciones de servidores, alarmas, tags, reportes, usuarios y total características asociadas al funcionamiento del software y necesarias para el funcionamiento de la aplicación desarrollada. En la figura 7 se muestra un típico del Project editor de Vijeo Citect

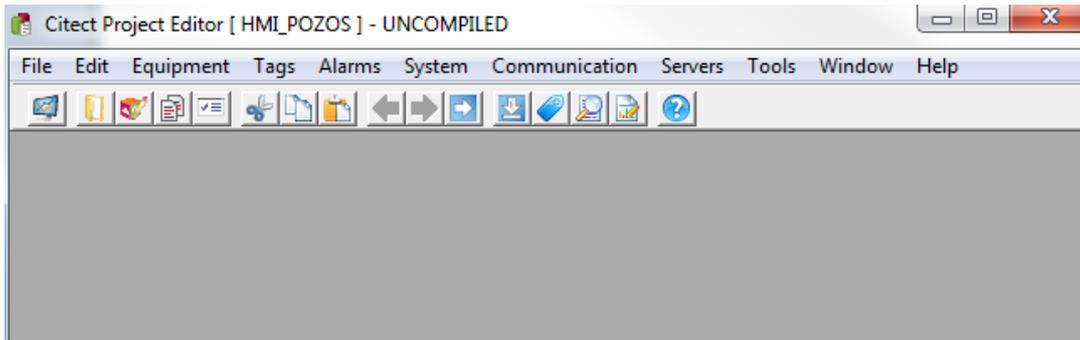


Figura 7. Ventana y funciones Project Editor – Vijeo Citect

6.3.3 Citect Graphic Builder:

Se desarrolla el total de pantallas de la aplicación, con las diferentes ayudas de objetos y herramientas de dibujo que tiene el software. La figura 8 muestra el graphic builder de Citect con su barra de funciones.

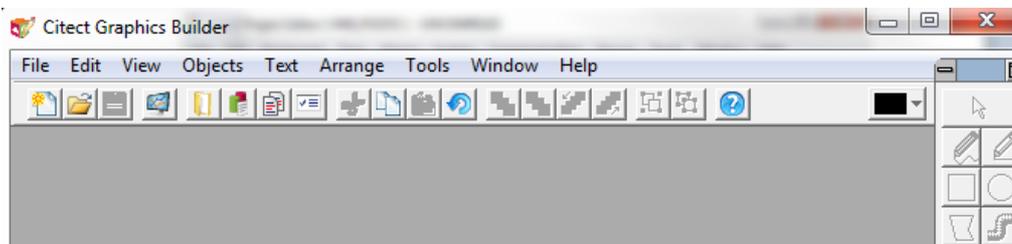


Figura 8. Ventada Vijeo Citect Graphic Builder y pallete de funciones

Para configuraciones y programaciones necesarias Vijeo Citect dispone de un lenguaje de programación llamado Cicode, con el cual es posible desarrollar diferentes tipos de rutinas tanto para aplicaciones de funcionamiento con variables de I/O como variables de funcionamiento interno. El lenguaje de programación Cicode es similar a la programación que se desarrolla con lenguajes como C o Visual Basic.

7 ESTADO DEL ARTE

7.1 SUPERVISIÓN DE PROCESOS Y MANUFACTURA

En el campo de la automatización, el nivel de supervisión está teniendo un papel importante por sus desarrollos y funcionalidades que está generando, con esto se han beneficiado campos como el de la manufactura, dando solución a limitantes que se tienen en la implementación de sus sistemas, se presenta a continuación dicho avance y los sistemas de manufactura reconfigurables.

7.1.1 Nivel de supervisión

En niveles inferiores del modelo de automatización, las bases del funcionamiento de los sistemas permanecen intactas, pero las arquitecturas están cambiando. Los dispositivos de cada una de las categorías están evolucionando en términos de inteligencia como interfaz de comunicación con el dispositivo. Al igual, las redes industriales están evolucionando, ofreciendo más altas velocidades de transmisión, capacidad y seguridad en comunicación [3].

Los componentes de un sistema de control en nivel de supervisión control es comúnmente el mostrado en la figura 9.

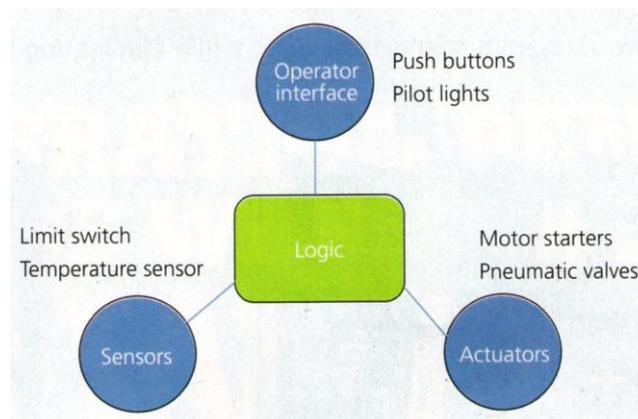


Figura 9. Bases de un sistema de control⁶

En un nivel de campo, sensores y actuadores en donde están los elementos finales de control y adquisición de variables de proceso, por ejemplo, transmisores y actuadores. Un nivel de control en donde se realiza la adquisición de señales y ejecutan las acciones programadas según condiciones del proceso y requerimiento operativo, el dispositivo

⁶ Tomado de [3]

más común usado son los PLC/PAC. Finalmente, un nivel superior de operaciones, en el cual a través de botones e indicaciones, se lleva a cabo la operación y la presentación en pantalla de datos del proceso como secuencias operativas en planta. Esto hace parte de las bases de funcionamiento de esta arquitectura definida y aceptada en la actualidad, implementada en la industria.

Un cambio importante se está observando en la industria. Se está migrando el cableado discreto entre el nivel de control y tarjetas de adquisición de señales en los PLC hacia buses de campo con dispositivos inteligentes. Adicionalmente, los computadores tienen velocidades de procesamiento cada vez mayores y grandes capacidades de almacenamiento permitiendo al software de supervisión tener funciones como:

- Procesamiento de lógicas
- Comunicación con diversidad de periféricos
- Procesamiento de datos, alarmas, eventos, históricos.
- Desarrollo de despliegues HMI avanzados para operación.

Esto, lleva a considerar una revolución en el modelo de control en planta y redefinición de arquitectura. Lo que se ha determinado como la convergencia de HMI/PLC en un nuevo termino de automatización ajustada o “Lean Automation”. El nuevo modelo se presenta en la figura 10.

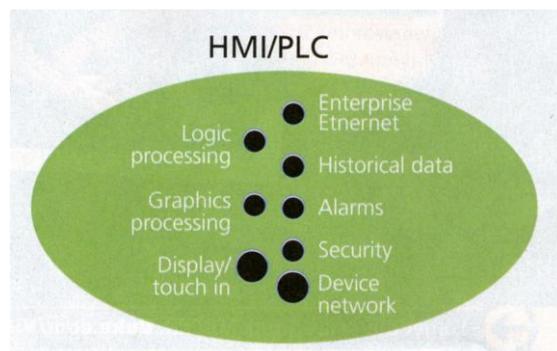


Figura 10. Modelo PLC/HMI integrado⁷

Se convierte el nivel supervisorio en un actor principal en el sistema de control. En la industria donde los niveles de productividad y ganancia son el objetivo principal, se evidencia en:

⁷ Tomado de [3]

- Costos menores en la construcción eliminando componentes y cableado.
- Reducción en costos de soporte y se centraliza el control.
- Mejorar el diagnostico, solución de problemas más rápida, en general mejorar la confiabilidad del sistema

Un caso el cual se puede observar se muestra en figura 11.

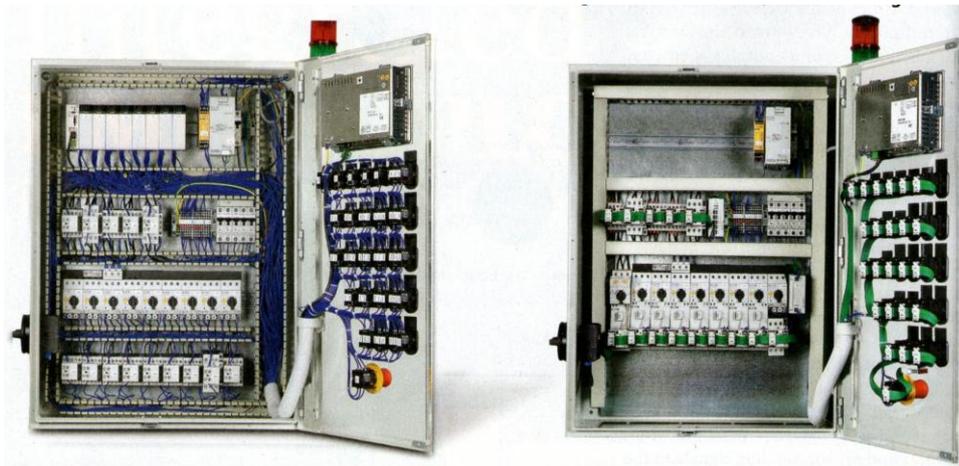


Figura 11. Experiencia en sistemas convergentes HMI/PLC⁸

Después de analizar los problemas en FMS, en este caso de análisis por la configuración de sus sistemas de control y arquitecturas, y la posibilidad de adaptar estos a arquitecturas distribuidas mediante software especializados de supervisión que están teniendo un papel importante en la industria, nace lo que ha sido catalogado la manufactura del futuro, *manufactura reconfigurable*.

7.1.2 Sistemas de Manufactura reconfigurable

A pesar de que un sistema de manufactura flexible responde a cambios de productos, no están diseñados para cambios estructurales, de esta manera, no es posible que responda a cambios abruptos, debido a fluctuaciones del mercado como variaciones en demanda o fallas en equipos [13].

La capacidad de responder a mercados cambiantes, adaptando el sistema de manufactura y sus elementos rápidamente y eficientemente, están relacionadas con los sistemas de manufactura reconfigurable (RMS). Una de las principales características de RMS es que son escalables, de esta manera en un sistema de manufactura su estructura

⁸ Tomado de [3]

física puede cambiar rápidamente. Un ejemplo puede ser una nueva extensión en una banda transportadora.

	Dedicated	RMS/RMT	FMS/CNC
System structure	Fixed	Changeable	Changeable
Machine structure	Fixed	Changeable	Fixed
System focus	Part	Part family	Machine
Scalability	No	Yes	Yes
Flexibility	No	Customized (around a part family)	General
Simultaneously operating tools	Yes	Possible	No
Productivity	Very high	High	Low
Cost per part	Low (For a single part, when fully utilized)	Medium (Parts at variable demand)	Reasonable

Figura 12. Características FMS vs RMS⁹

La figura 12 resume a RMS como una nueva clase de sistemas caracterizados por una estructura ajustable. Entre las claves para resultados satisfactorios en el diseño de RMS está el Control reconfigurable integrado en un ambiente de arquitecturas abiertas que pueden coordinar y operar el CNC.

Se puede definir RMS como la salida para rápidos cambios en estructura, como en hardware y componentes de software, con el objetivo de ajustar rápidamente la capacidad de producción y funcionalidad dentro de una familia de partes en respuesta de cambios repentinos del mercado [14].

Entre las principales características y principios se pueden resumir en seis puntos [15]:

- Personalización
- Convertibilidad
- Escalabilidad
- Modularidad
- Integrabilidad
- Diagnosticabilidad

En particular, la escalabilidad permite modificar las capacidades de producción cambiando, adicionando o eliminando componentes en el sistema; la integrabilidad permite integrar módulos rápidamente mediante interfaz de control e información. Ambas hacen parte de un conjunto de características que se deben cumplir para garantizar modificaciones en capacidades de producción y funcionalidades.

⁹ Tomado de [13]

Cada una de estas son características fundamentales del un RMS, constituyen las bases de funcionamiento y referencia en el desarrollo de un sistema integrado a nivel mecánico, comunicaciones y control.

En [16] se realiza una tabla de comparación con las características de FMS y RMS

<i>Systems (machining/manufacturing)</i>	<i>Definitions and Objectives</i>
Machining system	One or more metal removal machine tools and tooling, and auxiliary equipment (e.g., material handling, control, communications), that operate in a coordinated manner to produce parts at the required volumes and quality.
Dedicated machining systems	A machining system designed for production of a specific part, and which uses transfer line technology with fixed tooling and automation. The economic objective of a DMS is to cost-effectively produce one specific part type at the high volumes and the required quality.
Flexible manufacturing systems	A machining system configuration with fixed hardware and fixed, but programmable, software to handle changes in work orders, production schedules, part-programs, and tooling for several types of parts. The economic objective of a FMS is to make possible the cost-effective manufacture of several types of parts, that can change overtime, with shortened changeover time, on the same system at the required volume and quality. <i>Note:</i> A part family is defined as one or more part types with similar dimensions, geometric features, and tolerances, such that they can be produced on the same, or similar, production equipment.
Reconfigurable manufacturing systems	A machining system which can be created by incorporating basic process modules—both hardware and software—that can be rearranged or replaced quickly and reliably. Reconfiguration will allow adding, removing, or modifying specific process capabilities, controls, software, or machine structure to adjust production capacity in response to changing market demands or technologies. This type of system will provide customized flexibility for a particular part family, and will be open-ended, so that it can be improved, upgraded, and reconfigured, rather than replaced. The objective of an RMS is to provide the functionality and capacity that is needed, when it is needed. Thus, a given RMS configuration can be dedicated or flexible, or in between, and can change as needed. An RMS goes beyond the economic objectives of FMS by permitting: (1) reduction of lead time for launching new systems and reconfiguring existing systems, and (2) the rapid manufacturing modification and quick integration of new technology and/or new functions into existing systems.

Figura 13. Definiciones y características de los sistemas de manufactura¹⁰

Se puede observar como la reconfiguración permite adicionar, remover o modificar capacidades, controles, software o estructura de maquinaria específica, para así ajustarse a capacidades de producción en respuesta de cambios en mercados, demandas o tecnologías. Las principales características de RMS se resumen en la Figura 14.

¹⁰ Tomado de [16]

1. Modularity:	Design all system components, both software and hardware, to be <i>modular</i> .
2. Integrability:	Design systems and components for both <i>ready integration</i> and future introduction of new technology.
3. Convertibility:	Allow <i>quick changeover</i> between existing products and quick system adaptability for future products.
4. Diagnosability:	<i>Identify quickly the source of quality and reliability problems</i> that occur in large systems.
5. Customization:	Design the system capability and flexibility (hardware and controls) <i>to match the application</i> (product family).

Figura 14. principales características de RMS¹¹

7.1.3 Software de supervisión reconfigurable

Un caso de estudio, presenta un modelo flexible de supervisión teniendo en cuenta las principales preocupaciones en el desarrollo de aplicaciones de supervisión de procesos, el modelo se presenta en la figura 15 [17]:

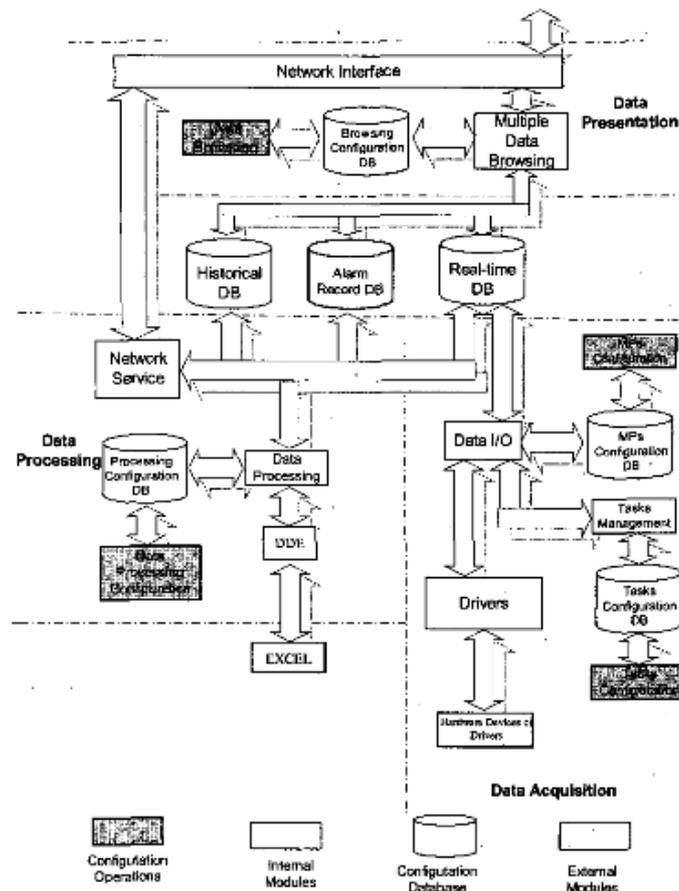


Figura 15. Modelo flexible de supervisión.¹²

¹¹ Tomado de [16]

¹² Tomado de [17]

En general, los requerimientos en la configuración de un sistema supervisorio son divididos en tres partes, la adquisición de los datos, el procesamiento de los datos y la presentación de los datos.

7.1.3.1 Adquisición de datos:

Es el primer paso y paso importante para una adquisición de datos en tiempo real del proceso, como temperatura, humedad, PH y desplazamiento. De acuerdo a estos datos obtenidos, es posible la ejecución de tareas según eventos o tiempo, según corresponda. Entre las configuraciones es recomendable adoptar tareas disparadas por eventos, en donde se pueden tener diferentes tipos de tareas ejecutándose con armonía en un sistema de monitoreo. El siguiente diagrama de flujo muestra como una secuencia de tareas son ejecutadas según eventos de acuerdo a sus prioridades.

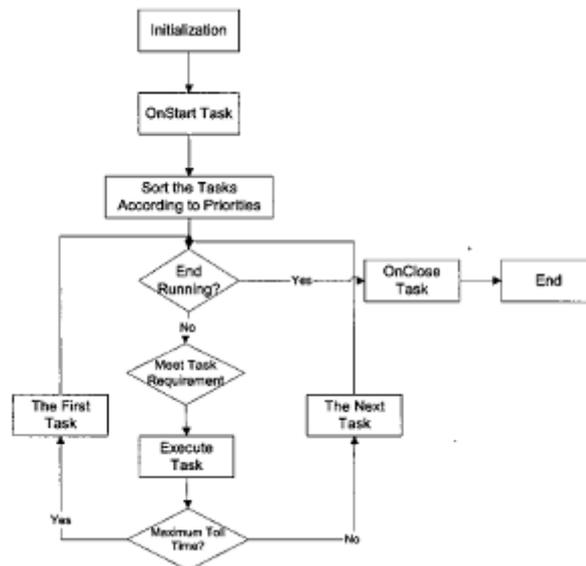


Figura 16. Diagrama adquisición de datos¹³

7.1.3.2 Procesamiento de datos:

Se encarga de entregar información de una forma de fácil entendimiento por parte de la aplicación, actualizada para toma de decisiones. Esta información es necesaria para realizar diagnósticos en tiempo real y crear soluciones si alguna falla ocurre. Entre las reconfiguraciones que son posibles, hacen parte, reconfiguraciones matemáticas en el monitoreo estadístico de datos, y reconfiguraciones del sistema de alarmas,

¹³ Tomado de [17]

indispensables en un sistema de supervisión industrial, ya que le permite a operadores responder a peligros tempranos de una manera rápida y eficiente.

7.1.3.3 Presentación de datos:

Responsable de la presentación en pantalla de información de la planta de proceso y sitios remotos. Para ello, las reconfiguraciones permiten realizar un bosquejo general de planta, con ayuda de gráficos se pueden construir tanques, bombas, válvulas y motores. Mediante elementos prediseñados que se pueden importar de librerías, es posible construir los gráficos. Por otra parte, la presentación de datos debe estar disponible, tanto a nivel local de planta, como a nivel remoto, permitiendo tener hasta servidores web portables para acceder a información de bases de datos de proceso y realizar reconfiguraciones remotas evitando desplazamiento de personal para ajuste de parámetros o toma de datos de proceso.

7.2 SISTEMAS DE MANUFACTURA EN LA EDUCACIÓN

Muchas instituciones educativas consideran la instalación de un sistema de manufactura flexible (FMS) como un mecanismo para proveer a estudiantes de programas de ingeniería experiencias más cercanas a las posibles en el ambiente industrial. Estas experiencias son beneficiosas para estudiantes en diferentes áreas de la ingeniería, como industrial, electrónica, eléctrica y de manufactura [18].

Países como Estados Unidos tienen cerca de 60% de los trabajadores profesionales vinculados a actividades relacionadas con la manufactura. Por ello, una FMS representa una inversión considerable en una institución educativa, de manera análoga, Colombia, como un país emergente, abriendo oportunidades de negocio a nivel mundial, tiene por consigna llegar a niveles industriales competitivos, por lo que adoptar buenas prácticas y enfoques educativos de potencias mundiales, debe ser un referente importante.

Particularmente la inversión para el estudio de manufactura flexible se puede optar entre dos tipos. Sistemas pre-configurados o integrar numerosas celdas individuales bajo un esquema de control distribuido. El costo es un factor de decisión importante, los sistemas pre-configurados son típicamente instalados a un costo casi el doble, además, por lo regular, muchas instituciones poseen equipos existentes que quieren ser añadidos a el FMS que se dispone, resultando en mas trabajo de desarrollo muchas veces con

problemas de compatibilidad, por ejemplo maquinas CNC, centros de mecanizado, manipuladores y PLC. Uno de los factores que puede llevar a considerar una selección de un sistema pre-configurado o llamados “turnkey” es el tiempo, quizá la entrega de una estación individual sea más rápida pero se necesita un tiempo adicional para un proceso de configuración e integración de las estaciones para dejarlas completamente funcionales. Entre las configuraciones necesarias están los sistemas de control de comunicaciones, el hardware, el desarrollo y la programación de la interfaz a usuario, la programación de las tareas de manipulación de material de la celda, etc. Esto lleva a necesitar especialistas en electrónica adicionales, programadores de software, soporte. Puede llevar a considerar de 3 a 6 meses más que adquirir un sistema “turnkey”.

La integración de celdas de trabajo individuales y su puesta en funcionamiento, en una arquitectura de control distribuida, es posible por los diferentes adelantos en software y hardware en control industrial. Se obtienen sistemas que sobresalen por:

- Adaptabilidad y escalabilidad: “turnkey” son rígidos, si es necesaria una modificación es necesario costos adicionales de software y hardware.
- Calidad de la experiencia educacional: estudiantes están en la posibilidad de realizar desarrollos significativos a nivel de hardware y software enriqueciendo la experiencia académica. Estas experiencias son restringidas cuando la institución educativa selecciona sistemas “turnkey”.

Como caso de estudio y desarrollo de este trabajo de grado, se dispone de el FMS del laboratorio CTAI de la universidad javeriana, el cual se describe a continuación.

7.3 FMS – CTAI

El FMS del CTAI, sitio de estudio para el desarrollo de ese trabajo de grado, está ubicado en la sala CIM cuenta con cuatro estaciones que llevan a cabo un proceso de mecanizado de piezas cilíndricas por medio de una máquina de torneado de control numérico. Las estaciones se pueden observar en la figura 9.

Almacén de materia prima y producto terminado (AS/RS): Sistema de almacenamiento automático adquirido a la empresa FESTO, el cual cuenta con 40 contenedores, se operan mediante un brazo robótico quien tiene la capacidad de recoger o entregar productos sobre una banda transportadora próximo a este. Cada uno de los productos

almacenados se encuentra ubicado sobre un pallete el cual permite al brazo mecánico llevar a cabo la recolección, además, permite el transporte de este en la banda transportadora, próxima estación en el FMS.

7.3.1 Banda transportadora:

Tiene una forma rectangular y cumple la función del transporte de material desde el almacén hacia el centro de mecanizado, y viceversa. Para el control de tráfico y la operación conjunta con las estaciones próximas posee actuadores electro-neumáticos los cuales detienen los *carriers* en cada una de las 4 estaciones que posee.

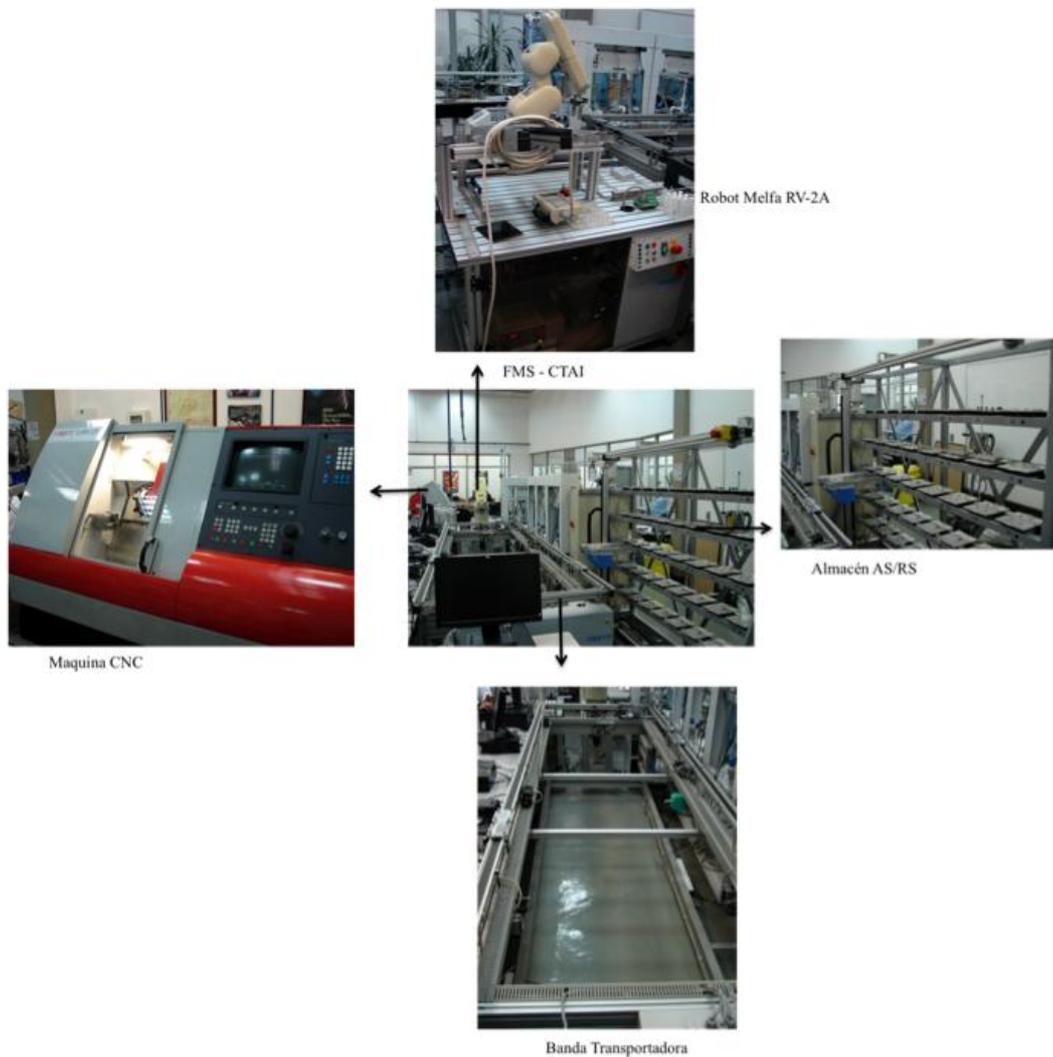


Figura 17. FMS – SALA CIM Pontificia Universidad Javeriana

7.3.2 Robot manipulador industrial

Este cumple funciones de manejo de materia prima para ser procesado por el centro de mecanizado y así terminar con un proceso de manufactura. Siguiendo en el proceso, devuelve la pieza terminada a la banda transportadora para que esta lleve el producto terminado a ser almacenado, terminando así con el proceso.

7.3.3 Centro de mecanizado

Lo comprende un torno CNC, el cual una vez alimentado por el robot industrial con la materia prima determinada, realiza un proceso de mecanizado dando una pieza terminada.

7.3.4 Estación de control central

Computador conectado al sistema de manufactura el cual se le fue instalado un software para el control de esta, llevando un control de cada uno de las estaciones y además la posibilidad de configurar diferentes planes de proceso para ser ejecutados por el sistema de manufactura. El software es un SCADA configurado en COSIMIR CONTROL

El sistema adquirido hace parte del tipo “turnkey”, y es un claro ejemplo de las limitantes en este tipo de sistemas, motivo para este trabajo de grado con la aplicación de desarrollos en la industria y literatura. Una solución en este caso de análisis, es la migración de este al tipo de sistemas distribuidos mediante la supervisión del proceso a través de software de supervisión reconfigurables, de esta manera superar limitantes en flexibilidad en manufactura, como se evidencia en las características de sistemas de supervisión reconfigurables, brindando la capacidad de adaptarse a cambios físicos en planta, adquisición e integración de nuevas estaciones de trabajo. Al igual, dar desarrollo a un nivel supervisorio que está teniendo gran protagonismo como solución y método de mejoramiento en sistemas automatizados.

8 METODOLOGIA Y DESARROLLOS REALIZADOS

Para el desarrollo de este proyecto se definió una metodología a seguir con la cual sería posible el alcance de cada uno de los objetivos definidos con anterioridad. La totalidad de los desarrollos se realizaron en 4 etapas. En la figura 18 se muestra la metodología utilizada.

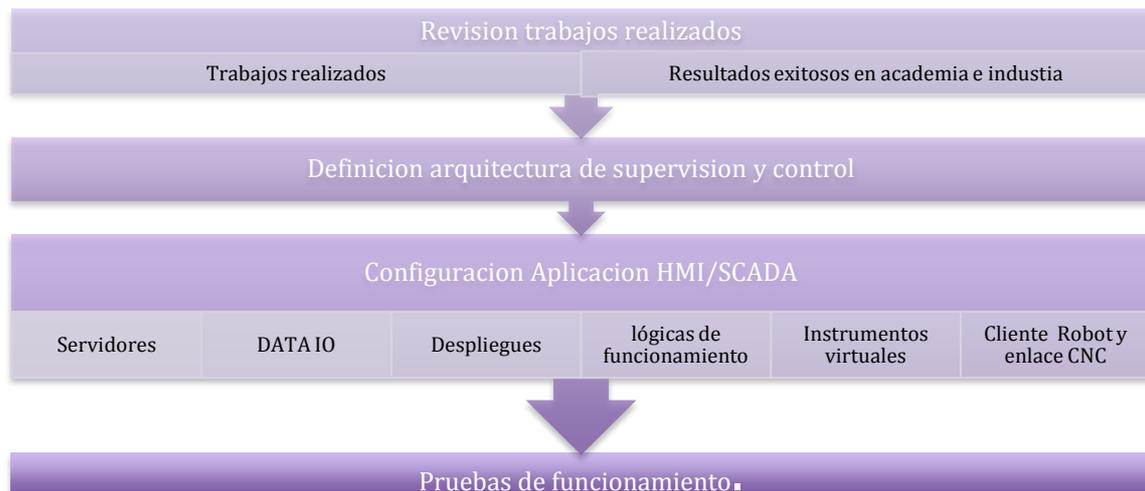


Figura 18. Metodología utilizada

8.1 REVISIÓN TRABAJOS REALIZADOS:

Los diferentes desarrollos para supervisión y control del sistema de manufactura fueron tomados en cuenta para las configuraciones realizadas en la aplicación, con el fin de abarcar con las diferentes funciones configuradas en su momento y partir de lecciones aprendidas en sus proyectos. Los trabajos realizados de control y simulación a través de LabVIEW de la banda, el almacén y el robot realizados anteriormente arrojan resultados satisfactorios en sus modelos planteados, adelantando lógicas y secuencias para ser tenidas en cuenta.

De manera detallada se exponen los avances destacado y tomados en cada uno de los trabajos.

8.1.1 Almacén:

Se establece un mapa de memoria del PLC a ser corroborado y tenido en cuenta para los desarrollos de la aplicación. También, se intenta generar backups de la aplicación del controlador PLC del almacén para su análisis, pero al igual, como lo dice el ingeniero

Christian Vallejo [4] en su trabajo de grado, existen limitaciones para acceder al programa del PLC. Igualmente, se realizan pruebas de simulación en sitio capturando tramas de datos y así conseguir una secuencia de códigos para la lectura y escritura de códigos en el PLC, acorde al desarrollado.

El mapa de datos y proceso de comunicación para el envío de datos se muestran a continuación:

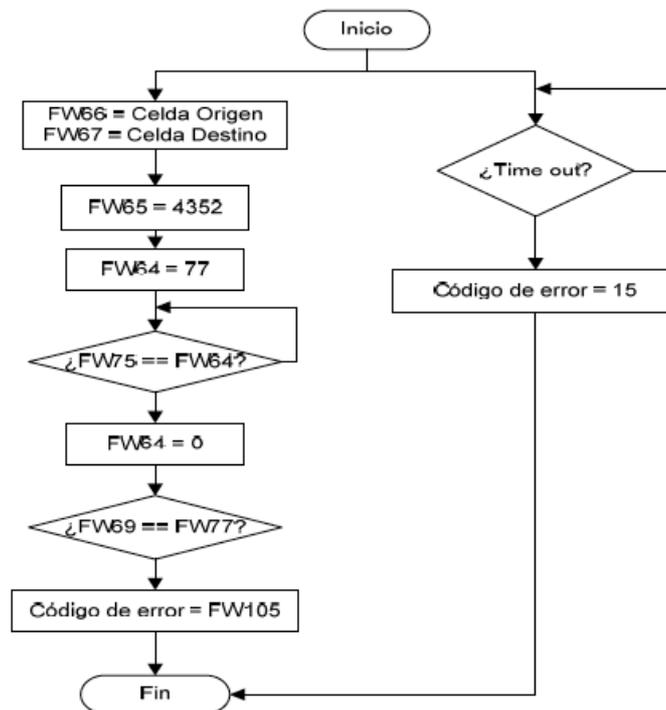


Figura 19. Diagrama de flujo envío de comandos PLC Almacén¹⁴

8.1.2 Banda Transportadora

Se toma copia del mapa de memoria del PLC para la configuración de variables de lectura y escritura por parte de la aplicación en su desarrollo. Uno de los puntos importantes desarrollados, por el ingeniero Oscar Forero, son las diferentes pruebas que realiza por diferentes tipos de establecimiento de comunicación con el controlador desde su aplicación desarrollada en LabVIEW. Para la comunicación hacen uso del un server creado para comunicación con equipos Festo vía OPC, manejando este el direccionamiento y protocolo propietario Festo que no es común entre los software de desarrollo. De esta manera, a través de OPC es posible acceder a información publicada en este server en una misma consola, a una velocidad de respuesta con buena actualización de datos y existente en versión gratis para su implementación. Este

¹⁴ Tomado de [4]

método de comunicación también fue adoptado para el desarrollo de la aplicación de control y supervisión del almacén.

8.1.3 Robot Melfa RV-2A:

Trabajo realizado por el ingeniero Diego Quintana, en el cual mediante TCP/IP y una arquitectura cliente/servidor fue posible el intercambio de mensajes entre controlador del robot y server TCP/IP en LabVIEW. Los mensajes corresponden a instrucciones que contienen posiciones de inicio y fin a ser ejecutadas por el robot. Cada una de las posiciones de desplazamiento son previamente configuradas y enseñadas al robot de manera manual.

Se desarrolla un programa cliente, previa una configuración de sus puertos para dicha comunicación en el robot, por otra parte, un programa servidor TCP en Labview. Ejecutando cada uno de ellos es posible entablar dicha comunicación para el intercambio de instrucciones. El programa cliente permite tener un control de los movimientos y trayectorias realizadas por el robot, al igual, tener supervisión de estado de posiciones de trabajo del robot en su estación.

En este trabajo, se realizó igualmente, un estudio de viabilidades de comunicación con el controlador CR1 del robot, el cual por arquitectura del CIM y disponibilidad misma del controlador, es posible la opción de intercambio de datos a través de su función DATA LINK.

8.2 DEFINICION DE CONFIGURACIÓN Y ARQUITECTURA

En la automatización de procesos en la industria se ofrece una amplia gama de software reconfigurable, con gran presencia en el campo de la manufactura, como para industrias exigentes como OIL&GAS. Particularmente, como se describió anteriormente, el tipo reconfigurable le ha dado herramientas a la manufactura para solucionar problemas evidenciados en sus sistemas de control. Entre las marcas que sobresalen por la calidad de sus productos, tecnología y experiencia están:

- Allen Bradley (Rockwell)
- ABB
- Schneider electric (Modicom)

Adicionalmente un software de gran presencia corresponde a Invensys, y su arquitectura Arquestra con software HMI Intouch, el cual también debe ser tenido en cuenta por su papel en la industria [19].

El CTAI siendo un laboratorio de automatización industrial dotado con instrumentos y equipos de alta calidad, y la Universidad como un espacio para generar conocimiento y responder a las necesidades del país, se plantea la compra de una licencia para desarrollo del sistema supervisorio/SCADA motivo de estudio de este proyecto. Al igual para permitir el desarrollo de prácticas e investigaciones futuras, áreas con gran campo de actuación en la actualidad. Por motivos económicos, costo de licencia y posibilidad de actualización, presencia en diferentes sectores de la industria, y ofrecer implementaciones posibles de arquitecturas convergentes motivo de investigación en la evolución del modelo de automatización y arquitectura de control, como se cito anteriormente, se realiza una orden de compra del software Vijeo Citect de Schneider Electric para este proyecto. De esta manera se plantea una arquitectura distribuida cliente servidor de supervisión y control de proceso como solución a problemas ya mencionados en sistemas de manufactura flexible.

Adicionalmente, a los servidores ya descritos de la herramienta, se diseña un servidor para comunicación con dispositivos dentro de las características de la instrumentación virtual, se configura un servidor en LabVIEW de control del robot, en el mismo nivel jerárquico de supervisión y control objetivo del modelo de automatización. De esta manera, obtener una completa solución en adquisición de datos y ejecución de tareas a nivel de planta a través de dispositivos de IO (nivel de control) y dispositivos de campo (nivel plata). Solución planteada en ciertas referencias con proyecciones en el futuro en la industria.

8.3 CONFIGURACIÓN APLICACIÓN

Debido a la arquitectura distribuida propuesta para la aplicación de desarrollo, es necesaria la configuración de, servidores, cliente, lógicas de manera paralela con parámetros definidos para su correcto funcionamiento. Los diferentes desarrollos necesarios se muestran a continuación.

Como primero se describe las configuraciones asociadas al sistema supervisorio/SCADA Vijeo Citect

8.3.1 Configuración de servidores:

Debido a la arquitectura objetivo definida para el proyecto, se dispone de una estación central de monitoreo y control, en la cual la aplicación correrá cada uno de los

servidores. Adicionalmente, este abrirá el proceso del cliente con la aplicación desarrollada. La configuración realizada es la siguiente:

Se define solo un grupo de servidores con un nombre por defecto como se observa en la figura 20.

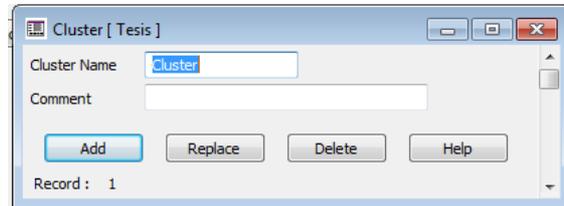


Figura 20. Configuración Cluster

El total de servidores correrán en el mismo grupo de servidores y en la misma estación central. El total de servidores configurados, alarmas, I/O, tendencias y reportes se observan en la figura 21.

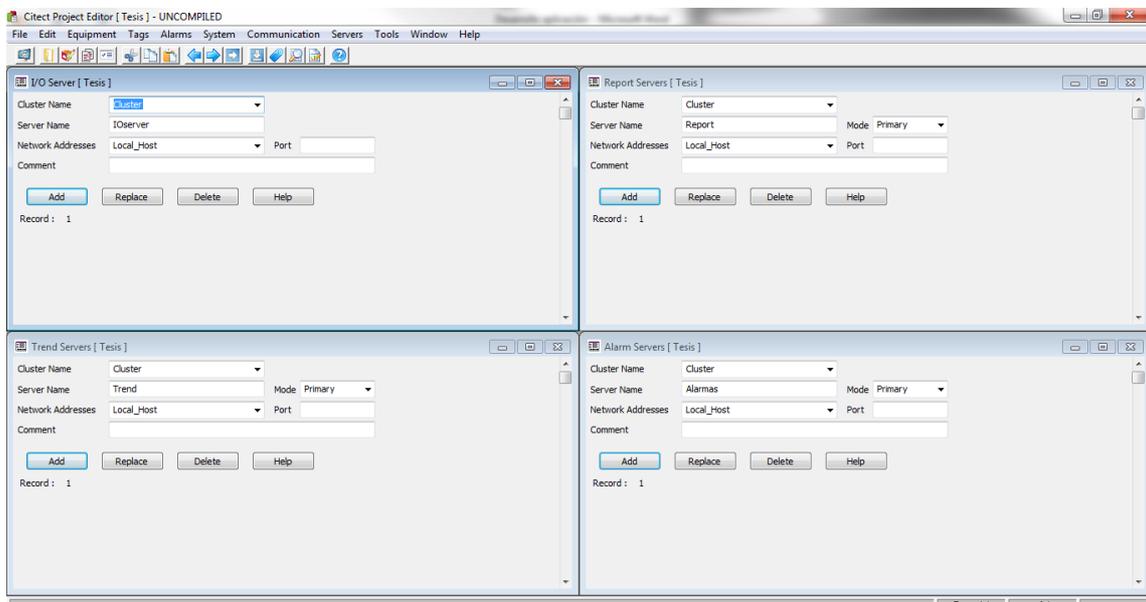


Figura 21. Configuración servidores

Es necesario configurar la dirección IP local que cada uno de los servidores reconocerá para empezar su proceso, se configura la dirección Local_Host que se observa en la figura 22.

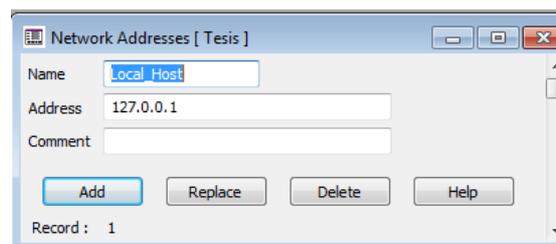


Figura 22. Configuración Dirección IP

8.3.2 Configuración de Data de I/O:

Para la configuración de todas las variables a ser leídas, como posiciones de memoria de cada uno de los PLC y comandos escritos, se hace uso de la herramienta del software para gestión de librerías a través de Microsoft Excel. El software ha desarrollado una macro en Excel ejecutada como complemento, la cual contiene una base de datos maestra de todos los proyectos, llamada Master.DBF. De esta manera la edición y configuración de variables se hace más sencilla.

Adicionalmente, a data de periféricos I/O en la arquitectura, se crean distintas variables para funcionamiento interno de la aplicaciones como variables locales. El total de tablas configuradas se puede consultar en el anexo I adjunto a este documento.

8.3.3 Configuración de despliegues:

El total de despliegues realizados se desarrollo teniendo presente las diferentes funciones posibles para el trabajo de la celda. Para el desarrollo de los despliegues se creó una plantilla de desarrollo con opciones de navegación, alarmas, opciones de logging y configuraciones de fecha y hora. La apariencia de la ventana se puede ver en la figura 23.

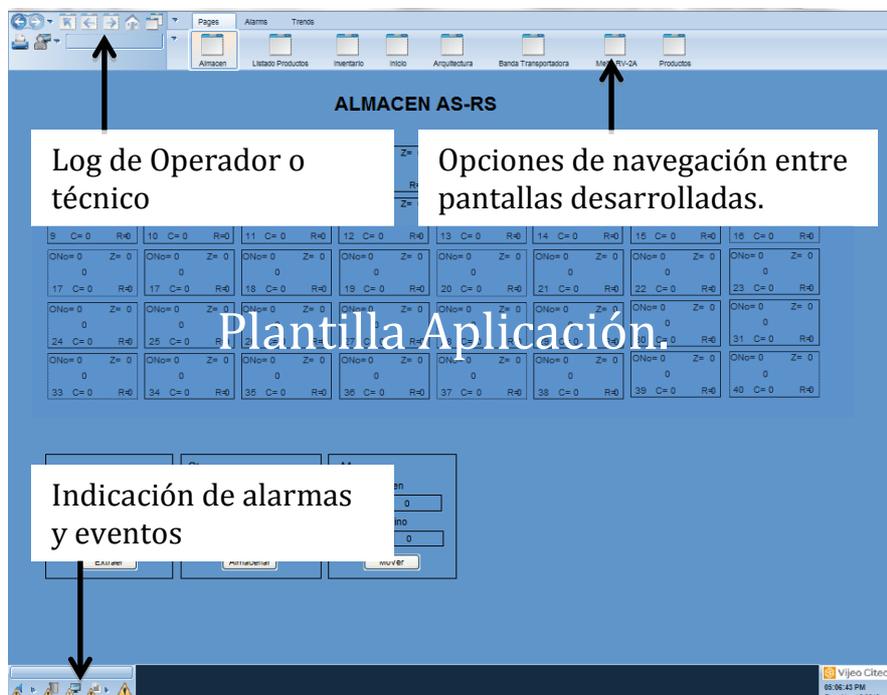


Figura 23. Plantilla de trabajo para aplicación

8.3.3.1 Almacén

Se muestra el total de posiciones de almacenamiento, cada una de ellas con las características correspondientes al tipo de material que está siendo almacenado en éste. La descripción de cada posición de almacenamiento se muestra a continuación:

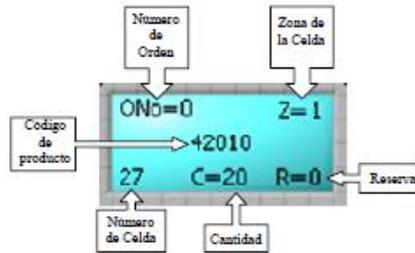


Figura 24. Información almacén¹⁵

Cada una de las funciones de extraer, almacenar y mover de la celda se pueden ejecutar desde la parte inferior del despliegue. Teniendo datos actuales de stock en almacén.

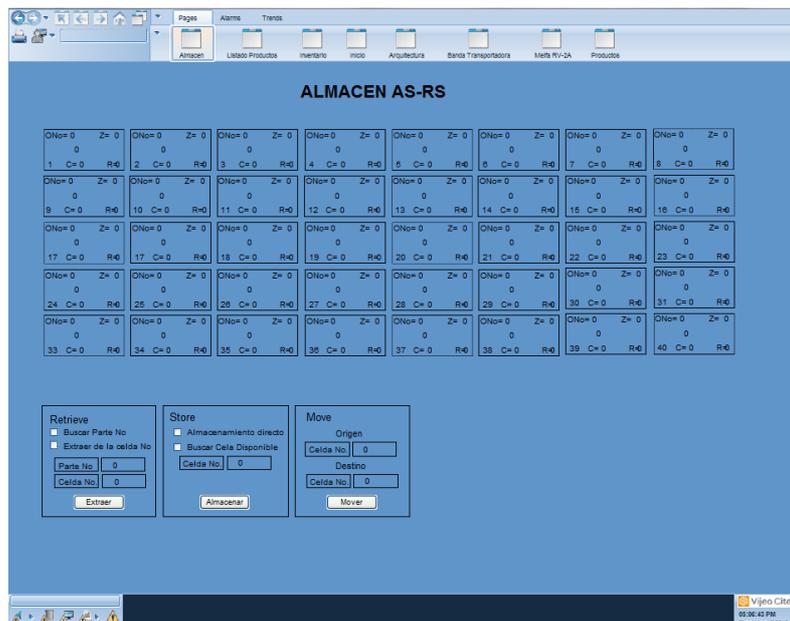


Figura 25. Despliegue Almacén AS-RS

Adicionalmente, es necesario tener supervisión de datos de inventario, para ello fue necesaria la configuración de rutinas Cicode de conexión, consulta y desconexión con bases de datos mediante instrucciones SQL. La información contenida en bases de datos está relacionada con los productos del almacén y la información del estado de

¹⁵ Tomado de [4]

inventario. Los datos son almacenados en una base de datos configurada en Microsoft Access manteniendo los campos, información y tablas manejadas en el laboratorio. Como mecanismo de operación, es posible tener como base de inventario tanto una tabla *default* o por defecto, o inventario actual de trabajo que puede ser editado.

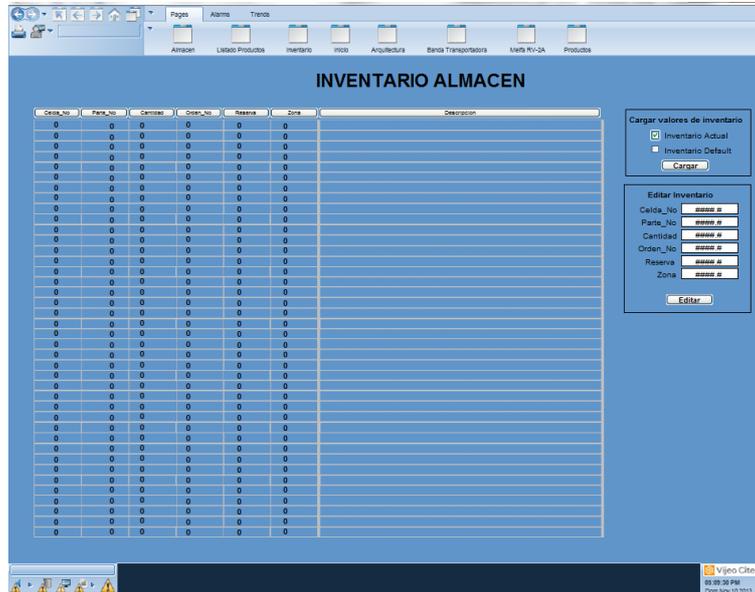


Figura 26. Despliegue inventario

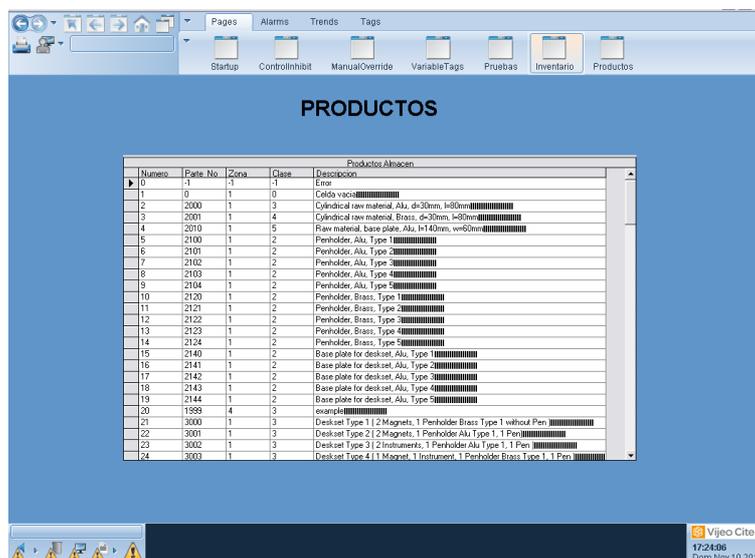


Figura 27. Despliegue productos

8.3.3.2 Banda Transportadora

En el despliegue se tiene total supervisión sobre estado de cada una de las estaciones. Igualmente funciones que han sido implementadas en la parte inferior del despliegue y la posibilidad de tener control sobre el desplazamiento de carrier entre estaciones con el accionamiento.

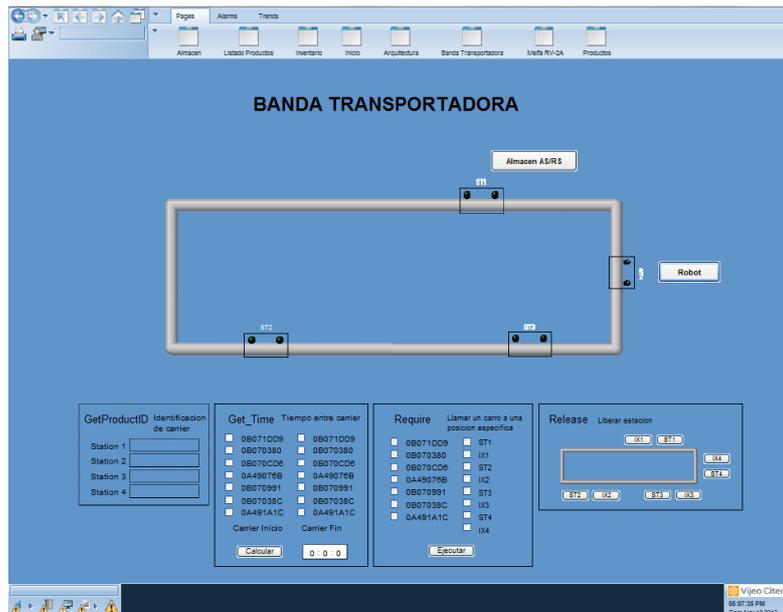


Figura 28. Despliegue Banda Transportadora.

8.3.3.3 Robot Manipulador

Como supervisión de la celda de trabajo del robot, es posible actualizar el estado de sus posiciones de trabajo con la lectura de presencia o no presencia de material en sus estaciones de transición o en cada uno de los sitios de almacenamiento de material como cilindros o barras. Al igual control de ejecución de tareas en el robot.

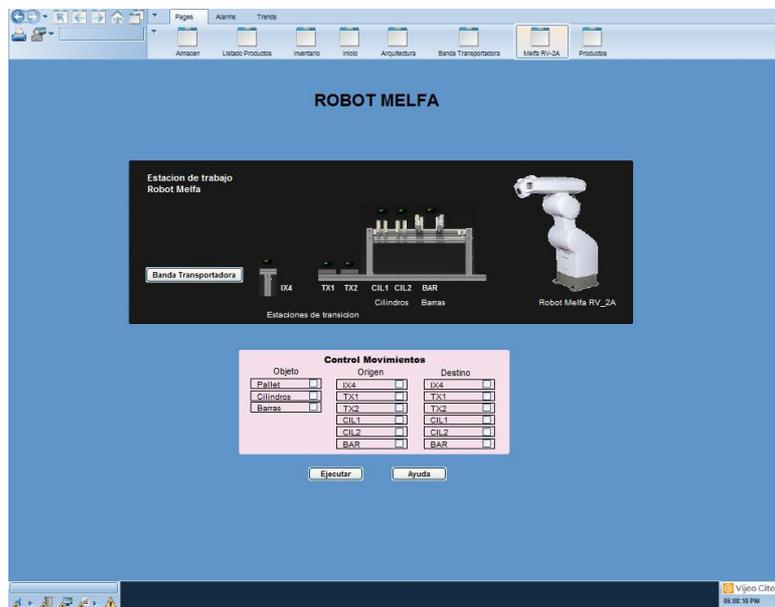


Figura 29. Despliegue Robot Melfa

8.3.4 Configuración lógica de funcionamiento:

Distintas rutinas en Cicode, tanto de comunicaciones, como control y auxiliares de trabajo fueron configuradas. El total de rutinas puede ser consultado en el explorador de la herramienta.

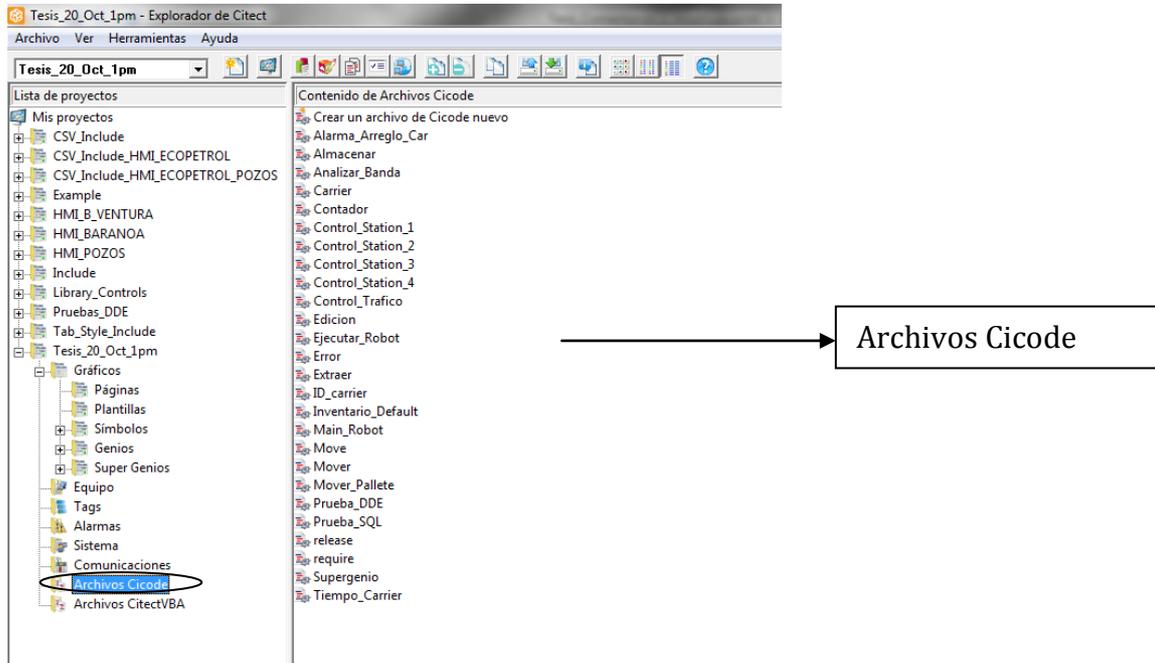


Figura 30. Lógicas Cicode

Para la configuración de la herramienta, un número de tareas fueron configuradas, rutinas para el control de tareas de cada uno de las estaciones. El código de cada una de ellas se puede consultar en el menú de exploración de funciones Cicode de la herramienta como se muestra en la figura 30. De manera general las lógicas Cicode se muestran a continuación.

8.3.4.1 Control de tráfico banda transportadora

Se tiene lectura de estados de cada uno de los sensores en la banda, el control de tráfico permite el paso de carrier de una estación a otra dependiendo de la presencia de carrier o no en la estación siguiente. La secuencia de pasos se muestra en la figura 31.

8.3.4.1 Control Almacén

Cada una de las funciones recibe un comando de operador de ejecución de tareas de almacenamiento, extracción o movimiento de material del almacén. La instrucción es analizada validando los datos ingresados con la información contenida en la base de

datos tabla inventario. Según la validez del movimiento, la instrucción es enviada y el correspondiente movimiento es realizado. Finalmente, la información es actualizada en inventario. La secuencia de pasos se muestra en la figura 32.

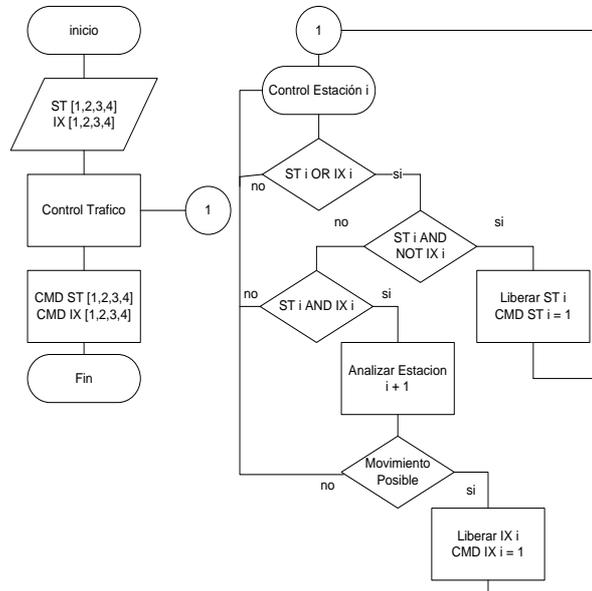


Figura 31. Diagrama de flujo control de tráfico banda transportadora

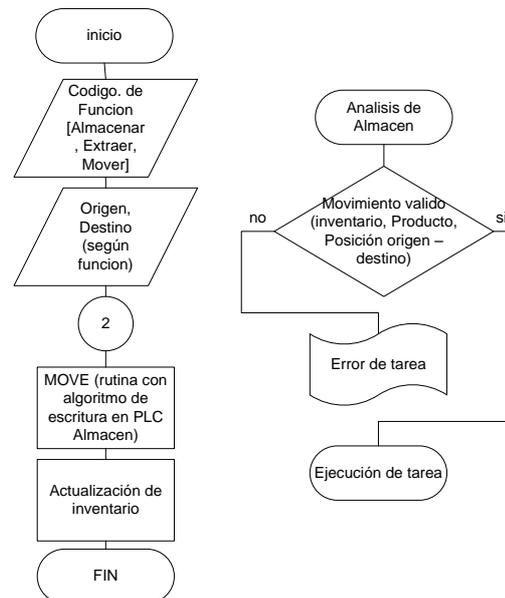


Figura 32. Diagrama de flujo ejecución tareas Almacén

8.3.4.2 Control Robot:

Para la ejecución de movimientos y supervisión del robot, se crea un nuevo servidor para comunicación con el robot en LabVIEW, tomando los avances realizados en [6], en donde después de investigaciones y diferentes pruebas fue posible establecer una

comunicaciones vía TCP/IP con el robot Mitsubishi Melfa RV-2A, realizando un control supervisorio del robot mediante software LabVIEW controlando la ejecución de tareas mediante el envío de instrucciones como tramas TCP, correspondientes a posiciones de movimiento almacenadas en el controlador del robot.

Además, Se crea un instrumento virtual de ejecución simultánea en comunicación con los distintos servidores del nivel de supervisión y control. Mediante protocolo de comunicación entre aplicaciones de Windows DDE se realiza el intercambio de instrucciones. A continuación se muestra su configuración y la secuencia lógica.

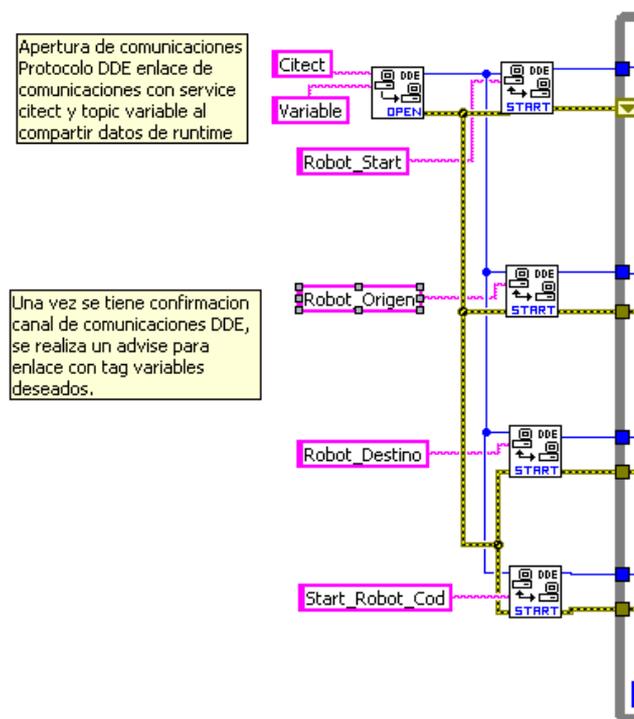


Figura 33. Instrumento Virtual Servidor DDE

El servidor LabVIEW hace un enlace de variables con servidor de I/O Vijeo Ctect mediante protocolo de comunicación DDE. Las variables a ser analizadas son declaradas para conexión y notificación de cambio en el valor de cada una de ellas. Cada cambio en la variable es detectado y actualizado en la base de datos interna de LabVIEW para procesamiento, las variables corresponden a señales de inicio y parada de tareas por parte del robot como la lectura de la instrucción.

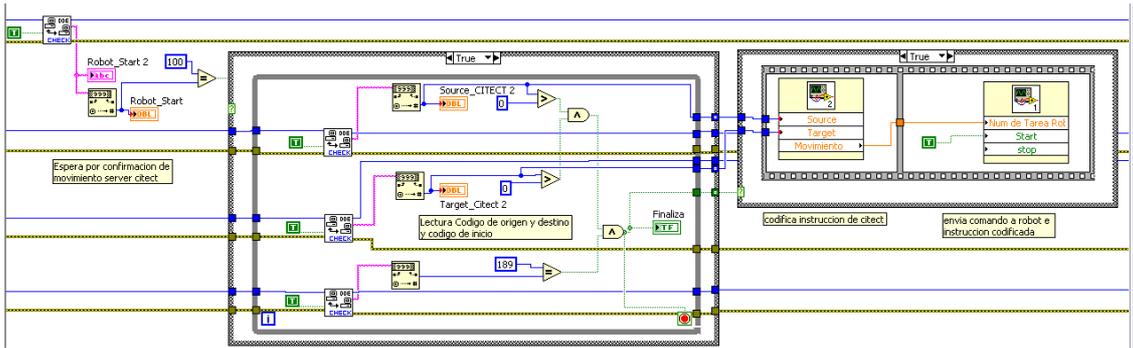


Figura 34. Lectura señal de inicio e instrucción servidor LabVIEW.

Una vez los datos de instrucciones y control de ejecución de movimientos del robot están en el servidor, la aplicación ya desarrollada cliente servidor vía protocolo TCP/IP entre robot y LabVIEW se encarga del envío de datos y gestión de las instrucciones.

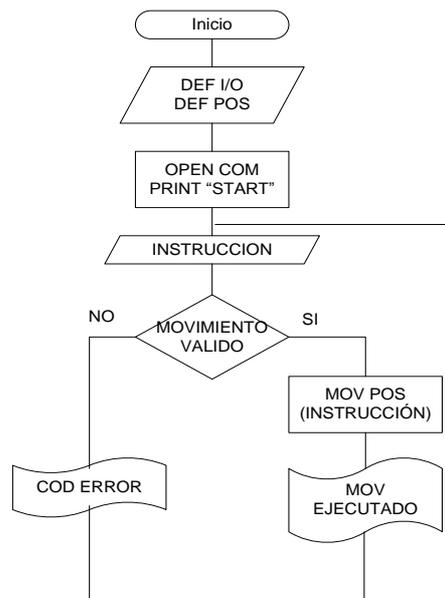


Figura 35. Diagrama de flujo Cliente Robot Melfa

De manera simultánea se desarrolla un programa cliente TCP de comunicación en el robot mediante instrucciones Melfa Basic IV. Este programa de ejecución mediante la herramienta Cosimir Professional permite abrir las comunicaciones por un determinado puerto vía TCP enlace Ethernet, actuando como cliente en espera de recepción de códigos de instrucciones para ejecución de movimientos. Estas instrucciones son movimientos entre posiciones previamente enseñadas al robot. La estructura del programa robot se muestra en la figura 35.

8.3.4.3 Control ejecución instrucciones CNC

Para tener el control de la totalidad del CIM fue necesario el control de la ejecución de tareas por parte del torno. Después de analizar su configuración y posibilidad de comunicación se encuentra lo siguiente:

- Existe comunicación vía comunicación serial RS_232 entre torno CNC y controlador CR1 robot Melfa para el envío de datos para ejecución de tareas.
- En diferentes programas del backup del robot, se evidencian señales de I/O asignadas a pines correspondientes a señales del CNC. Las diferentes señales se muestran a continuación.

```
Inputs
DEF IO DOPENED = BIT,40
DEF IO DCLOSED = BIT,41
DEF IO VOPENED = BIT,42
DEF IO VCLOSED = BIT,43
DEF IO RMODE   = BIT,44
DEF IO STATUS  = BIT,45
DEF IO READY   = BIT,46
Outputs
DEF IO RUNPR   = BIT,40
DEF IO CMODE   = BIT,41
DEF IO REF     = BIT,42
DEF IO AUXON   = BIT,43
DEF IO DOPEN   = BIT,44
DEF IO DCLOSE  = BIT,45
DEF IO VOPEN   = BIT,46
DEF IO VCLOSE  = BIT,47
```

Figura 36. Señales I/O torno CNC

- Cada una de estas señales corresponden a comandos y estados para apertura y cierre de la puerta (DOPEN-DCLOSE / DOPENED-DCLOSED), apertura y cierre de la mordaza (DOPEN-DCLOSE / DOPENED-DCLOSED), Status (STATUS) y comando para ejecución de tareas de mecanizado previamente configuradas en el torno (RUNPR).

Se realizan diferentes pruebas de cada una de estas señales, dando resultados satisfactorios. De manera similar se modifica el programa cliente del robot desarrollado anteriormente para evaluar posibilidades de comunicación, tanto por puerto Ethernet, como serial del controlador del robot, enviando instrucciones desde server en LabVIEW. Los resultados fueron satisfactorios permitiendo tener control de ejecución de tareas Robot-Torno de manera conjunta.

Finalmente, el programa configurado en el robot mediante comandos Melfa-Basic IV se muestra en la figura 37. Las líneas de código en anexo II.

8.3.4.1 Control lectura, edición y actualización base de datos

Para llevar a cabo el control de tareas según una base de datos general del sistema, se programan rutinas SQL mediante las cuales, a través de *queries* del lenguaje, se actualizan campos según funcionamiento del sistema. Vijeo Citect tiene la posibilidad de generar tramas SQL para lectura y escritura en bases de datos una vez haya sido satisfactoria la comunicación correspondiente. En general la lógica de funcionamiento se puede observar en la figura 38. El código general se adjunta en el archivo anexo IV.

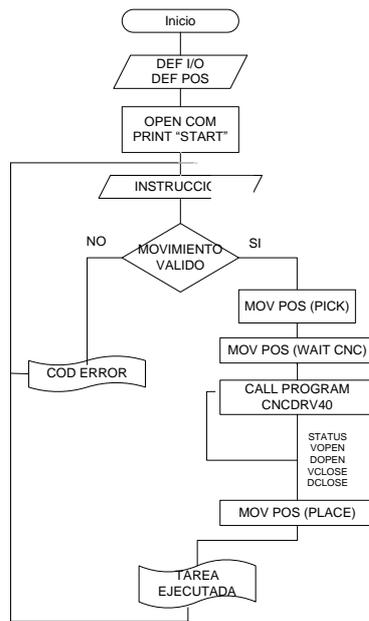


Figura 37. Diagrama de flujo cliente Robot Melfa y CNC acoplada

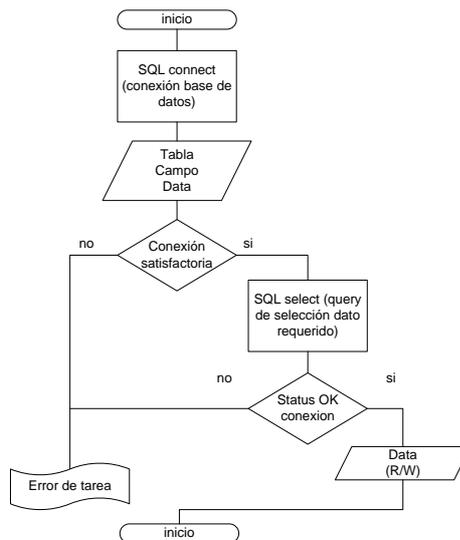


Figura 38. Diagrama de flujo conexión base de datos

9 RESULTADOS

Como resultado final se desarrolla arquitectura de supervisión y control la cual se muestra en la figura 39. De manera detallada, existe un cliente o pantalla de operación en donde se visualizan los diferentes despliegues de la aplicación. Una estación central en la cual corren los distintos procesos del sistema de supervisión, ellos son el servidor de I/O, servidor de tendencias, servidor de alarmas y servidor de reportes. Adicionalmente, dos instrumentos virtuales para comunicación con periféricos, servidor DDE y Servidor TCP. En planta se tienen los diferentes controladores de banda y almacén con sus respectivas direcciones IP y el controlador CR1 del robot Melfa, con su respectiva conexión serial al torno.

De esta manera, se obtiene un nivel de supervisión y control distribuido dando mayor nivel de confiabilidad, en donde un total de cuatro servidores se dividen las principales tareas. Al igual, un servidor DDE con comunicación a variables configuradas en un enlace Advise, para ser procesadas por instrumentación virtual de comunicación TCP/IP a planta. Protocolo de comunicación abierto OPC para comunicación con dispositivos de campo PLCs, lógicas de control de actuadores y lectura de sensores en nivel de supervisión y control.

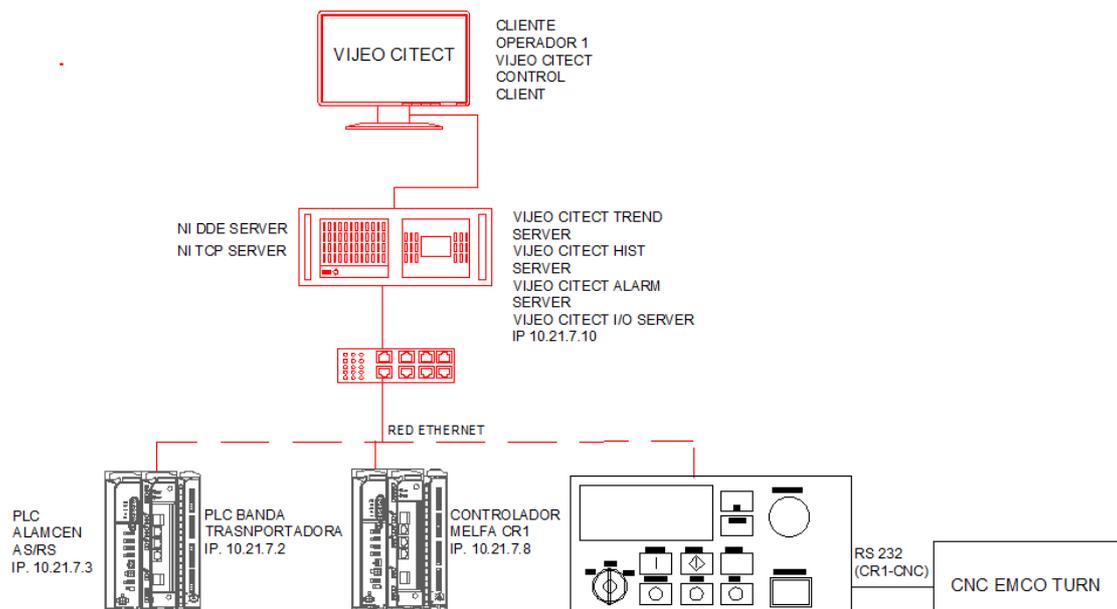


Figura 39. Arquitectura final

Como se puede observar en la figura 40, se evidencia una lectura de los estados de cada una de las estaciones en la banda transportadora y la lectura de la identificación de un *carrier*, en este caso, en la estación 3.

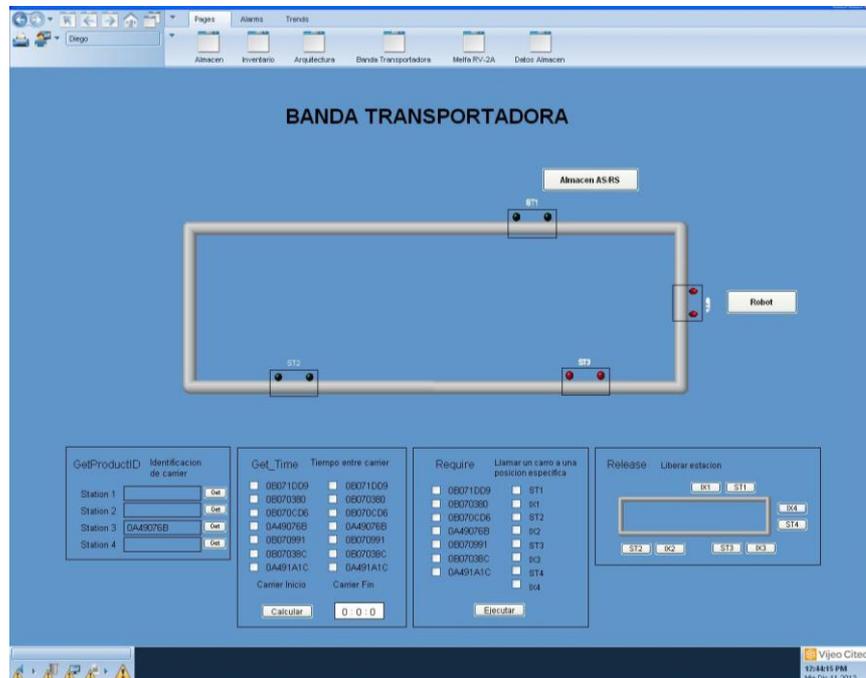


Figura 40. Pruebas Banda transportadora

La actualización del inventario según información de base de datos tanto en despliegue inventario como almacén resulta satisfactoria como se puede observar en la figura 41.

Relacionado con la operación de la celda, se ejecutan comandos de paso de *carrier* a través de cada una de las estaciones, ejecución de tareas de transporte del robot y mecanizado de piezas. Al igual extracción de material del almacén según número de parte y celda como se puede observar en la figura 42.

Los resultados fueron satisfactorios cumpliendo con los alcances de supervisión y control de la totalidad del sistema mediante la implementación de una aplicación distribuida configurada como una secuencia de pasos lógicos analizados en el desarrollo de cada una de las estaciones.

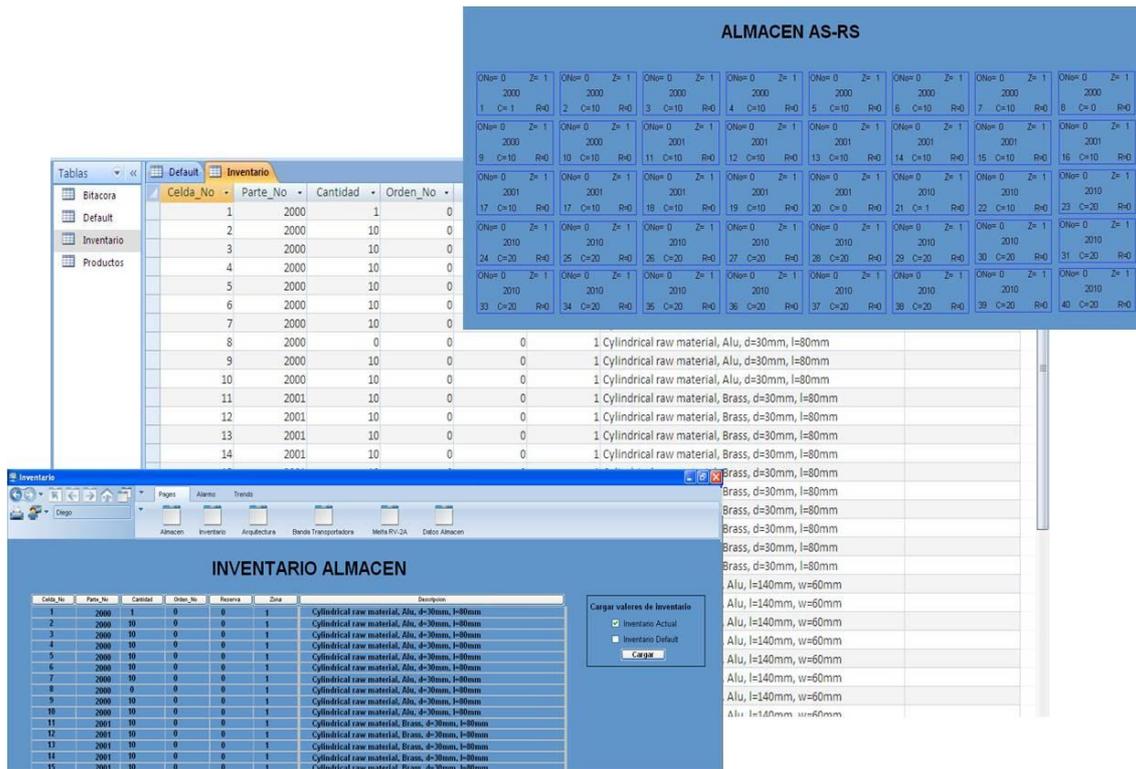


Figura 41. Pruebas inventario almacén

Igualmente, se realizó una verificación de consumos del sistema para especificaciones de la herramienta, las pruebas y desarrollos fueron realizados en un PC MacBook con partición a Windows XP con las características que se muestran en la figura 43, el desempeño del equipo figura 44:

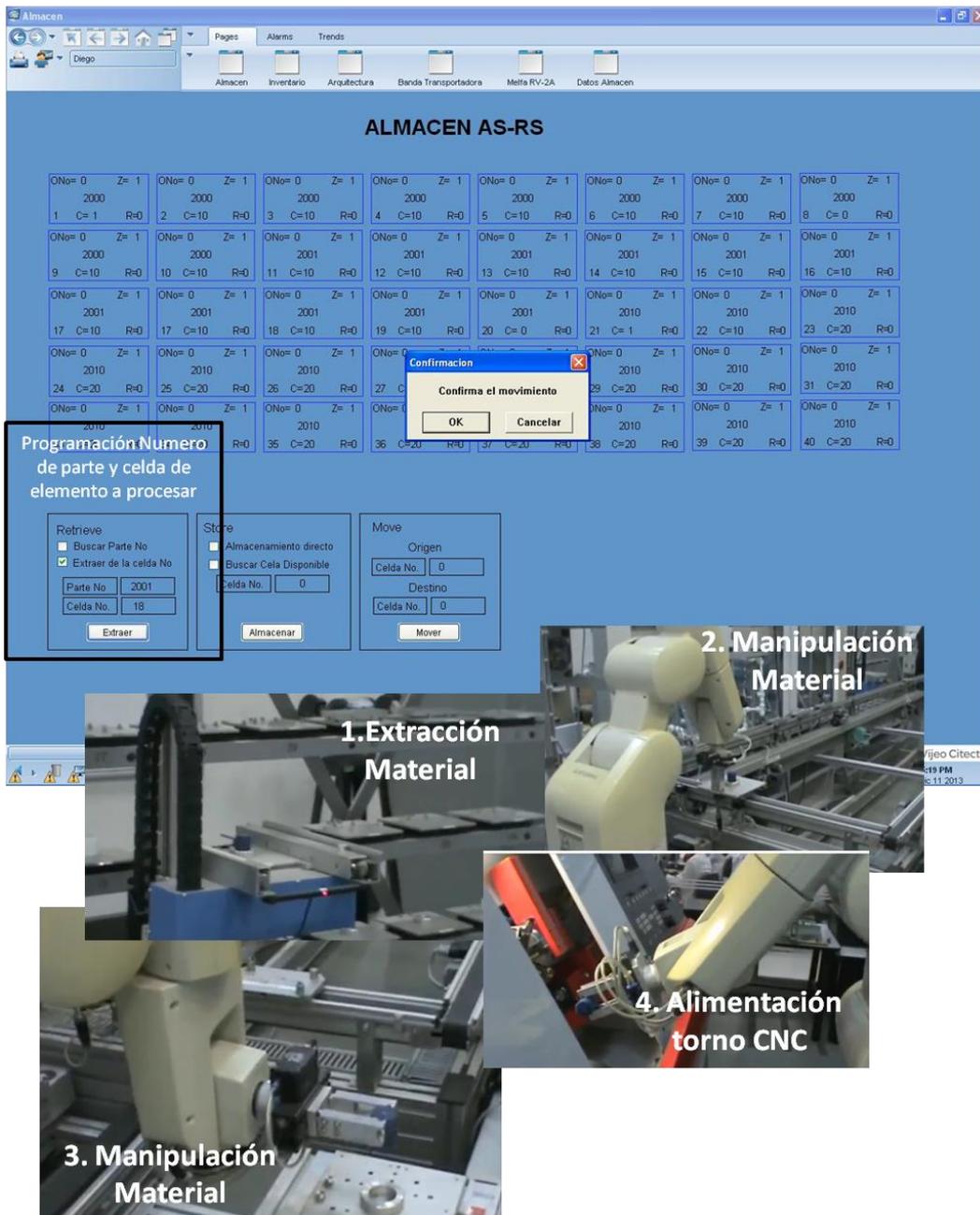


Figura 42. Pruebas De Funcionamiento Orden Mecanizado Pieza

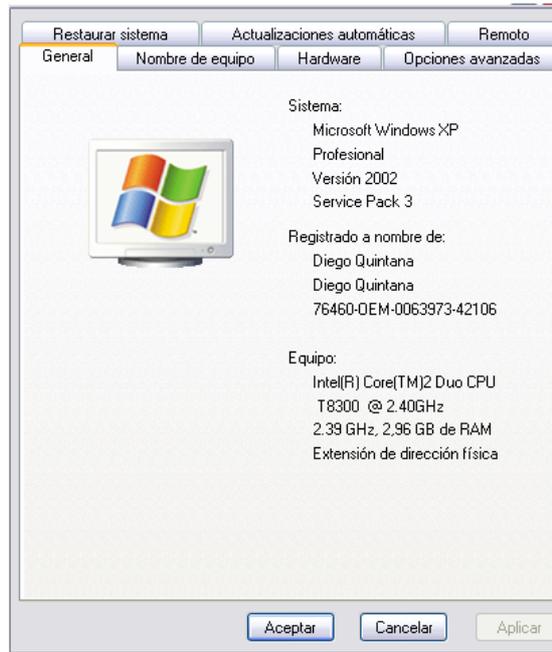


Figura 43. Especificaciones del equipo

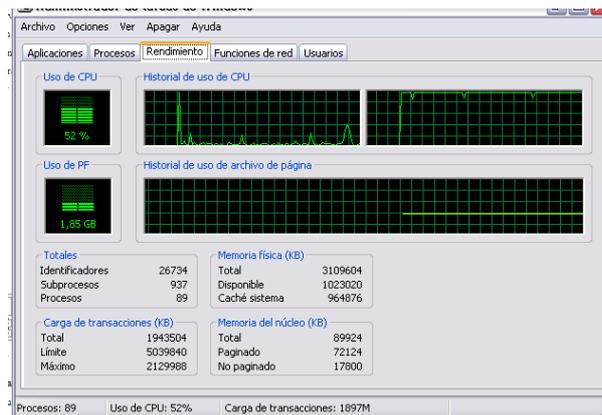


Figura 44. Desempeño de equipo

Como se puede observar, los requerimientos del sistema no son elevados para las ofertas de configuración que se pueden conseguir en el mercado, para un procesador de 2,4 GHz y una memoria RAM de 2,96 GB en una partición de 4 GB de disco duro el sistema se comporta a un desempeño bueno con un nivel de uso de 50%, repartiendo sus tareas en los núcleos del procesador.

10 ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La arquitectura desarrollada, las características de reconfiguración que tiene los diferentes elementos utilizados, la utilización de protocolos abiertos y la integración con instrumentos virtuales y bases de datos, hacen de esta, una solución satisfactoria a los problemas evidenciados en la industria, como los sistemas de manufactura. Los cuales basan sus arquitecturas de control en aplicaciones cerradas difíciles de reconfigurar para incluir nuevas estaciones de trabajo o nuevos productos. Terminando en soluciones poco prácticas que requieren fuertes inversiones para la actualización y mejora de ellas. Implementaciones basadas en software de supervisión HMI/SCADA con las cualidades que ofrece el usado para el desarrollo de este proyecto y su enlace a instrumentos virtuales como solución de supervisión y control de procesos industriales, permiten dar avance al modelo de automatización de referencia mundial, donde se evidencian progresos a lo que se ha denominado “Automatización Ajustada” o “Lean automation”. Aprovechando ventajas que brindan los sistemas de manufactura reconfigurable, es posible dar solución a problemas evidenciados en los sistemas de manufactura flexible, dando caminos viables con una inversión en un software de supervisión y control, el cual en la actualidad y a futuro esta teniendo cada vez mas importancia por sus funcionalidades y el nivel de procesamiento y confiabilidad de las computadoras. Además, como se pudo observar, los requerimientos de procesamiento no son muy elevados para requerir configuraciones de equipos súper dotadas, los requerimientos estarán ligados a la disponibilidad del equipo reduciendo el riesgo de falla a promedios altos de operación.

Igualmente se convierte en una herramienta de gran utilidad con fines académicos para la universidad, el campo de la automatización de procesos industriales da un gran peso a la inversión en tecnologías para el procesamiento de información en campo y sus supervisión, para el análisis de tendencias, históricos y reportes primordiales para la toma de decisiones a nivel de producción y gerencia, luego los conocimientos de la herramienta y las facultades para sacar provecho de ellas, son indispensables en profesionales de ingeniería con perfiles de desempeño en la industria. Particularmente, Colombia país emergente con grandes inversiones en diferentes tipos de industria posicionándose en el mercado mundial.

11 TRABAJOS FUTUROS

Como trabajo del laboratorio y del departamento, para completar la migración total del software Cosimir Control, será realizar las diferentes configuraciones y ajustes para el trabajo con la nueva herramienta. Al igual, por el tipo licencias adquiridas y software como Vijeo Historian es posible trabajar en implementaciones con mas características acorde arquitecturas MES y ERP. En la sala se dispone de una estación Festo para la simulación de procesos continuos con controladores Siemens y una estación de control de calidad por visión artificial, que pueden ser incluidos.

Uno de los campos de investigación en el campo de la automatización de procesos industriales tiene que ver con la estandarización y diseño de las pantallas de operación, es decir las tonalidades de colores, los estándares de indicación de por ejemplo encendido o apagado, tamaño de títulos, letras. ISA desarrollo el estándar 5 en donde se pueden encontrar los estándares para pantallas de proceso y símbolos gráficos, recientemente en la publicación de la revista de a ISA volumen 59 con fecha Diciembre 2012, Bill R Hollifield, consultor de HMI con 37 años de experiencia en diferentes industrias publica un artículo lo que denomina “alto desempeño en HMI” [21], nombrando particularidades que deben ser tenidas en cuenta en el diseño de aplicaciones y las aplicaciones desarrolladas en la actualidad, concluyendo que los sistemas de control se están convirtiendo en sofisticados sistemas de control operados de una forma ineficiente. Aprovechando la herramienta desarrollada y la disponibilidades de licencias por parte de la universidad, estudiar efectos del diseño de pantallas en operadores de consola de diferentes tipos de industrias permitiría refinar estándares y procesos de diseño de aplicaciones en la industria.

12 REFERENCIAS

12.1 REFERENCIAS CITADAS

- [1] ABuyurgan, Nebi; ASaygin, Can; “ An integrated control framework for flexible manufacturing” , J The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 27, pp 1248-1259, 2006-02-01, doi: 10.1007/s00170-004-2311-4. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-004-2311-4>
- [2] Kim, Sangkyun; Park, Jinwoo; Leachman, Robert C., “A Supervisory Control Approach for Execution Control of an FMC”, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 2001-02-01, Issn: 0920-6299. pp 5-31. vol: 13. Issue: 1. Url: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008166028381> Doi: 10.1023/A:1008166028381
- [3] Harwell, Rich; “integrated HMI and PLC the heart of a lean automation solution”, The instrumentation, Systems and Automation Society Intech Journal, July/August 2012 Vol 59, Issue 4. Pp 12-18.
- [4] Vallejo C., Christian. “Control de un almacén de AS/RS desarrollado en una herramienta gráfica para pruebas y control”. Bogotá, 2010. Trabajo de grado (ingeniero electrónico). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería electrónica
- [5] Forero M., Oscar. “Control supervisorio de una banda transportadora en LabVIEW”. Bogotá, 2008. Trabajo de grado (ingeniero electrónico). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería electrónica.
- [6] Quintana P, Diego. Control supervisorio de un robot manipulador industrial Mitsubishi MELFA utilizando la plataforma LabVIEW®. Bogotá, 2011. Trabajo de grado (ingeniero electrónico). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería electrónica.
- [7] Sanz, A. González, I. Casado, J. Arenas, J.M; “A methodology for the implementation of automated measuring stations in flexible manufacturing systems”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, May 2013, Volume 66, Issue 5-8, pp 1065-1073, <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4389-4>.
- [8] Curto Diego, Belen; Moreno Rodilla, Vidal;Fernandez Carames, Carlos; Chehayeb Moran, Anibal; Alves Santos, Raul., “Applying a software framework for supervisory control of a PLC-based flexible manufacturing systems”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 48, pp 663-669. Issue: 5. 2010-05-01. Doi: 10.1007/s00170-009-2317-z. Url: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-009-2317-z>
- [9] Groover, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing materials, processes, and systems . 3era ed. Prentice Hall. 2001
- [10] Cotrino, C. Grisales, V. Hugo. Zambrano, Gabriel. Apuntes de clase Automatización Industrial – Maestría Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana
- [11] Smart Ing. “Comunicaciones Industriales”. Memorias Curso certificación Automatización Schneider Electric. Marzo de 2013.
- [12] Schneider Electric. Vijeo Citect Cicode and Technical reference. October 2010. Manual revisión Version v7.20.
- [13] Yoram Koren, Moshe Shpitalni, Design of Reconfigurable manufacturing systems, Journal of Manufacturing Systems, Volume 29, Issue 4, October 2010, Pages 130-141, ISSN 0278-6125, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2011.01.001>.

- [14] Moyne, James R.; Tilbury, D.M., "The Emergence of Industrial Control Networks for Manufacturing Control, Diagnostics, and Safety Data," *Proceedings of the IEEE* , vol.95, no.1, pp.29,47, Jan. 2007. doi: 10.1109/JPROC.2006.887325.
- [15] Anatoli I. Dashchenko. *Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories*. 2006. ISBN: 978-3-540-29391-0.
- [16] Mehrabi, M.G. Ulsoy, A.G.Koren, Y. *Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing*. Journal of Intelligent Manufacturing. Kluwer Academic Publishers. 2000. pags, 403-419. English.<http://dx.doi.org/10.1023/A%3A1008930403506>
- [17] Wang, L.; Chen, Y., "Flexible automatic supervision in industrial manufacturing," *AUTOTESTCON Proceedings*, 2002. IEEE , vol., no., pp.704,710, 2002 doi: 10.1109/AUTEST.2002.1047951
- [18] Richard N. Callahan, Kevin M. Hubbard, Shawn D. Strong, (2005) "Computational methods for planning and developing flexible manufacturing systems", *Engineering Computations*, Vol. 22 Iss: 8, pp.958 – 971.
- [19] Raj T, Shankar R, Suhaib M. "A review of some issues and identification of some barriers in the implementation of FMS". *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Mar 2007, Volume: 19 Issue: 1 pp.1-40 (40 pages).
- [20] Cantillo, J. R., Buseti, M. A., Santos, E. A. P., & Loures, E. "An approach for a manufacturing system based on supervisory control theory and colored petri nets". 19th International Conference on Production Research. Pontifical Catholic University of Paraná.
- [21] Hollifield, Bill; "The high performane HMI Process graphics to maximize operator effectiveness", *The instrumentation, Systems and Automation Society Intech Journal*, November/December 2012 Vol 59, Issue 6. Pp 30-37.

12.2 REFERENCIAS CONSULTADAS

- [22] ElMaraghy, H. A. (2005). Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. *International journal of flexible manufacturing systems*, 17(4), 261-276.
- [23] Cifuentes, J. M. R., García, D. F. B., Núñez, W. R. E., & Bueno, C. A. T. (2009). Implementación de un sistema de supervisión y control para un proceso de fabricación y ensamble de piezas en un sistema de manufactura flexible (FMS). *Épsilon*, (13), 163-171
- [24] Morel, G., Valckenaers, P., Faure, J. M., Pereira, C. E., & Diedrich, C. "Manufacturing plant control challenges and issues". *Control Engineering Practice*, 15(11), 1321-1331.
- [25] Hellgren, A., Lennartson, B., & Fabian, M. "Modelling and PLC-based implementation of modular supervisory control". In *Discrete Event Systems, 2002. Proceedings. Sixth International Workshop on* (pp. 371-376). IEEE.
- [26] Molina, A., Rodriguez, C. A., Ahuett, H., Cortés, J. A., Ramírez, M., Jiménez, G., & Martinez, S. "Next-generation manufacturing systems: key research issues in developing and integrating reconfigurable and intelligent machines". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18(7), 525-536.
- [27] Lemos, M.A.; Brunini, D.M.; Botura, G.; Marques, M.A.; Rosa, L.C., "Virtual instrumentation: A practical approach to control and supervision process," *Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, 2011 International Conference on , vol.4, no., pp.2570,2573, 24-26 Dec. 2011.

- [28] MITSUBISHI-ELECTRIC CORPORATION, MELFA Industrial Robots Instruction Manual (Functions and Operations) CR1 Controller, Mitsubishi-Electric, 2003
- [29] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. CRn-500 series INSTRUCTION MANUAL: Ethernet interface