

2
i 2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SOFTWARE E INFRAESTRUCTURA PARA LA
INTEGRACION DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA
FLEXIBLE DE CARACTER DIDACTICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO
P R E S E N T A N
RENE ENRIQUE JIMENEZ FABIAN
LUIS OLMOS GONZALEZ



MEXICO, D. F.

OCTUBRE DE 1999

27/10/99

**TESIS CON
ALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Ing. Amadeo Lara Orozco. Por todo su apoyo, ayuda y amistad incondicional que nos propocionó para la realización de esta tesis.

A M.I. Armando Ortiz Prado. Por la guía que nos dió, así como su apoyo moral y los sabios consejos para realizar esta tesis.

Capítulo 3. Sistema de Control

- 3.1 Arquitectura del sistema de control, 36
- 3.2 Justificación del software de control, 40
- 3.3 Estructura general del software de control, 42
- 3.4 Estrategias y algoritmos de control en la secuencia de verificación de estaciones, 47
- 3.5 Diagrama de flujo del Algoritmo de Control, 51

Capítulo 4. Interfaces de Usuario

- 4.1 Descripción de las interfaces, 54
- 4.2 Secuencia de programación del sistema, 66
- 4.3 Ejemplo de la producción de un conjunto de piezas, 69

Capítulo 5. Conclusiones y perspectivas para el futuro

- 5.1 Conclusiones, 79
- 5.2 Mejoras realizadas y problemas resueltos, 82
 - 5.2.1 Comunicaciones, 82
 - 5.2.2 Software, 84
- 5.3 Mejoras que es posible implementar, 89

Apéndice A. Interfaces y conexiones eléctricas, 91

Apéndice B. Protocolos de comunicación, 101

Referencias, 107



PRÓLOGO

Este trabajo surge de la necesidad de integrar una serie de máquinas automáticas comerciales y algunas desarrolladas en proyectos de investigación con el fin de integrar un sistema de manufactura flexible (SMF) con fines didácticos. Una de las características de éstos elementos es que cada uno cuenta con su propio sistema de control de tal manera que se pueden operar de manera independiente; el software de los elementos (los que cuentan con él) no es flexible para su integración. A pesar de que se cuenta con un software comercial diseñado para integrar este tipo de sistemas éste no cumple con las necesidades del SMF en estudio ya que el paquete no contempla el integrar elementos diseñados en el laboratorio. Además como este sistema está pensado para la enseñanza es necesario contar con un ambiente amigable que sea familiar con cualquier tipo de usuario, en un ambiente conocido (como Windows, que es muy popular).

Así pues en este trabajo se muestra el conjunto de herramientas de software desarrolladas para la integración de un conjunto de máquinas y dispositivos automatizados en un Sistema de Manufactura Flexible con fines didácticos. Para la integración de este sistema se consideró la utilización tanto de equipos comerciales como equipos desarrollados en proyectos de investigación. El desarrollo de esta tesis surge de la necesidad de contar con un software de control lo suficientemente robusto que permita la integración de diferentes equipos superando la incompatibilidad de los mismos. El software diseñado pretende mejorar varios aspectos tales como las interfaces gráficas, módulos de comunicación con las máquinas de control numérico, editores de programas e interfaces de usuario para la programación de controladores, los cuales que presentan varias deficiencias en el

caso del software comercial con que se contaba originalmente. La implementación del software se llevó a cabo utilizando el lenguaje Visual Basic v3.0 y fue estructurado en forma modular con el objeto de aumentar la flexibilidad del mismo, así como aumentar su capacidad de expansión.

Objetivos de la Tesis:

1. Integrar un conjunto de equipos automatizados para formar un sistema de manufactura flexible.
2. Desarrollar un conjunto de programas de cómputo que permitan la integración del SMF, además de llevar a cabo el control de la ejecución de tareas y procesos dentro del mismo a través de una única computadora auxiliada por los controladores que proporcionan los fabricantes de cada equipo.
3. Desarrollar las interfaces gráficas para el usuario que permitan la eficiente programación y monitoreo del SMF.
4. Simplificar la red de comunicaciones del sistema.
5. Desarrollar las herramientas de cómputo que faciliten la operación del sistema tales como editores de programas CNC y editores de programas ACL y módulos de detección de errores en la ejecución de programas.

Metas

1. Determinar la topología que permitirá el establecimiento de una computadora central para la programación y control de eventos en el SMF.
2. Seleccionar e implementar unidades de comunicación que permitan simplificar la red de transmisión de datos entre la computadora central y los elementos que integrarán el SMF.

3. Diseñar la Arquitectura del sistema de control que permita la correcta distribución y ejecución de tareas en el SMF.
4. Establecer la estructura general del software de control para garantizar un mayor grado de flexibilidad del sistema.
5. Elaborar las estrategias y algoritmos para el control de la ejecución de tareas dentro del SMF.
6. Desarrollar un conjunto de interfaces gráficas que permitan al usuario interactuar con el SMF de manera fácil y eficiente.

Hipótesis:

1.- Es posible integrar un conjunto de máquinas y dispositivos automatizados independientes en un sólo sistema que posea las características de un SMF, mediante el uso de una computadora central auxiliada por los controladores proporcionados por los fabricantes de cada equipo en particular; y subordinar las acciones que ejecuten los controladores auxiliares a las órdenes provenientes de la computadora central.

2.- La secuencia de procesos que se llevarán a cabo en el SMF podrá ser controlada a través de un único sistema de cómputo (computadora central) que distribuirá las tareas que correspondan a cada dispositivo del SMF, en el orden adecuado y en el momento preciso, de tal forma que se logre la sincronización de los eventos que así lo requieran.

3.- Es factible la utilización de una topología del tipo estrella para la transmisión de datos entre los diferentes equipos que formarán parte del SMF, en cuyo nodo central estará ubicada la computadora central.

4.- Para la transmisión de datos entre la computadora central y los demás dispositivos que integren el SMF es posible utilizar controladores multipuerto que posean una interfaz compatible RS-232 que es una característica común entre todos los elementos del SMF.

5.- El control y la supervisión de tareas pueden llevarse a cabo a través del intercambio de mensajes transmitidos a través de los controladores multipuertos, dichos mensajes estarán constituidos por cadenas de caracteres ASCII.

6.- Con la jerarquización modular de los diversos controladores utilizados en el sistema permitirá que la computadora central pueda controlar y supervisar todas las acciones que se ejecuten en el SMF.

7.- Es posible que el control de la ejecución de tareas en el SMF pueda llevarse a cabo a través de la generación de listas de mensajes con la información requerida para iniciar las acciones correspondientes en cada dispositivo del sistema, y que cada dispositivo tenga asociada una lista con los mensajes correspondientes a cada una de las tareas que debe realizar.

8.- Se puede hacer funcionar un SMF mediante la ejecución de un programa de cómputo encargado de la administración de los recursos físicos del sistema, el cuál servirá como pilar para la integración de todos los equipos.

9.- Es posible que el software de integración sea capaz de tomar las decisiones pertinentes que conduzcan a la fabricación automática de diferentes lotes de piezas (incluso en forma simultánea) utilizando la información proporcionada por el usuario y administrando los recursos del sistema.

10.- Es posible que el software de integración sea capaz de funcionar a la vez como interfaz con el usuario y procese la información que le proporcionen; así como la proporcionada por el sistema.

11.- El software de integración puede ser desarrollado en un lenguaje de programación de propósito general que permitirá su compatibilidad con equipos y sistemas operativos de uso común.

12.- Con una estructura modular del software es viable aumentar la capacidad para adaptarse a cambios en la configuración de los equipos, o bien, para agregar o quitar componentes físicos. Así mismo, esta estructura modular permitirá expandir el software de control al introducir mejoras a lo realizado e incluso añadir nuevos módulos de programa que aumenten la capacidad del sistema.

En el capítulo uno se muestran los fundamentos de los Sistemas de Manufactura Flexible, se describe brevemente tanto las características físicas como las necesidades de cómputo implicadas en el control de estos sistemas. También se da una breve revisión de los orígenes de este tipo de sistemas, así como de su evolución y se exponen algunas razones por las cuales este tipo de sistemas no se ha desarrollado como se esperaba en el momento de su aparición. Por otro lado, en este capítulo también se mencionan algunos trabajos de investigación que se han hecho sobre este tipo de sistemas en algunas universidades de Europa y los Estados Unidos.

En el capítulo dos se describen los elementos físicos (elementos de control, unidades de comunicación, máquinas herramientas, elementos de transporte y

almacenamiento de material, robots manipuladores, etc.) con los que cuenta el sistema. Aquí se describen las características de los elementos tanto comerciales como los desarrollados en otras partes del proyecto (o que se encuentran en desarrollo) y que se integrarán posteriormente al sistema.

En el capítulo tres se muestran la arquitectura del sistema de control que se adoptó para la implementación del sistema de manufactura flexible. Se describen los módulos que integran el software de control, así como las estrategias, algoritmos y secuencias de procesamiento que sigue el software de control desarrollado.

En el capítulo cuatro se presentan las interfaces de usuario desarrolladas y se presenta un ejemplo de la forma en la que el software de control ejecuta una orden de producción. En este ejemplo se muestran varios aspectos referentes al manejo de piezas y a la ejecución de tareas dentro del sistema.

El capítulo cinco expone las conclusiones del trabajo y menciona algunas mejoras realizadas con respecto al programa comercial que se tenía originalmente. En este capítulo también se proponen algunas mejoras que es posible implementar en el sistema sobre la base del trabajo realizado.

NOMENCLATURA

ACL	Lenguaje de Control Avanzado
AGV	Vehículo Guiado Automáticamente
AS/RS	Sistema Automático de Almacenamiento y Despacho de material
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAM	Manufactura Asistida por Computadora
CC	Computadora Central
CIM	Manufactura Integrada por Computadora
CL	Controladores Locales
CNC	Control Numérico por Computadora
DNC	Control Numérico Directo
MAD	Módulo de Almacenamiento de Datos
MDET	Módulo de Despacho y Ejecución de Tareas
MLAD	Módulo Local de Almacenamiento de Datos
MPT	Módulo de Programación de Tareas
NC	Control Numérico
P	Dispositivo Periférico
PC	Computadora Personal
PE	Procesador Especial
SC	Sistema de Control
SARE	Sistema Automatizado de Recubrimientos Electrolíticos
SMF	Sistema de Manufactura Flexible
UC	Unidad de Conexión.
UPG	Unidad de Procesamiento General
UPL	Unidad de Procesamiento Local

Capítulo 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 Sistemas de Manufactura Flexible

El término flexibilidad mide la capacidad de adaptarse a una amplia gama de posibles entornos del mundo dinámico, lleno de probabilidades, en el cual la competencia hace de la flexibilidad un requerimiento para sobrevivir a largo plazo.

Un sistema de manufactura flexible o SMF es una máquina o un grupo de máquinas (predominantemente máquinas de control numérico) que son atendidas por un sistema automático de manejo, distribución y almacenamiento de material el cual es controlado por una computadora y además cuenta con la capacidad de manejar varias herramientas. Debido a que estos sistemas son controlados por una computadora y tienen la posibilidad de re-configurarse para manufacturar una amplia gama de partes, reciben el nombre de sistemas flexibles de manufactura [20,22]. En resumen, los elementos básicos para que un SMF califique como tal son los siguientes:

- Control por computadora
- Capacidades de manejo y almacenamiento automático de material
- Capacidades de manejo de herramienta

La tecnología de los SMF's representa una evolución de las tradicionales líneas de ensamble y ofrece los medios por los cuales la manufactura puede satisfacer las crecientes demandas de una rápida entrega de productos a los consumidores.

Esta definición incluye algunos elementos clave para los SMF: (1) Máquinas automáticas programables; (2) entrega y cambio automático de herramientas; (3) un sistema automático de manejo de material, tanto para la transferencia de partes entre las máquinas como para su carga y descarga; y (4) un control que coordine todos estos elementos. En este tipo de sistemas se pueden cargar diferentes clases de partes de manera simultánea ya que el sistema de control almacena información de maquinado y de proceso para cada una de éstas. De esta forma las piezas pueden provenir de máquinas individuales en cualquier secuencia, ya que cada pieza puede ser identificada (o verificada) ya sea leyendo un código de barras en la pieza o siguiendo una serie de instrucciones de supervisión.

Sethi y Sethi (1990) [32] muestran las siguientes características de los sistemas de manufactura flexible. Las capacidades básicas de un SMF que le brindan flexibilidad incluyen:

- *Máquinas.* El rango de operaciones de una máquina que puede desempeñar con pocos ajustes y con ajustes genéricos como son una gran variedad de herramientas y un sistema automático de cambio de éstas.
- *Manejo de material.* Es la habilidad de mover varias partes entre máquinas y un área de almacenaje.
- *Operación.* Basada en un diseño de partes, lo que se refiere a la habilidad para usar diferentes operaciones de proceso para generar las características de las piezas. Todo esto le da al sistema la flexibilidad para procesar la variedad de partes que pueden ser producidas con un mismo equipo.
- *Secuencia.* Es la habilidad de usar diferentes máquinas u operaciones para producir estas partes con el mismo equipo. La secuencia asegura la flexibilidad contra interrupciones en la producción del sistema y contra cuellos de botella

temporales, pero requiere máquinas redundantes y capacidades sofisticadas de control y maquinado.

- *Producto*. Fácil de cambiar sobre el sistema para producir un nuevo grupo de partes.
- *Volumen*. Capacidad para producir en grandes cantidades.
- *Expansión*. Facilidad para añadir nuevo equipo para aumentar la capacidad de producción.

Finalmente, los parámetros de la capacidad de ajuste y el control del sistema se combinan para determinar las medidas de flexibilidad agregadas al programa (capacidad para correr sin atención por un periodo largo).

- *Producción*. El rango de partes que podrían ser producidas sin una gran inversión.
- *Mercado*. La combinación del producto, procesos, volúmenes y expansión. Para todo esto la tecnología del microprocesador ha sido el principal factor detrás del desarrollo de equipo y tecnologías de información que permiten la flexibilidad.

El inicio de los SMF's está en las líneas de ensamble ("link-lines") que aparecieron en los 60's. Estas líneas consistían en máquinas de control numérico (NC) ligadas por bandas transportadoras. Estos sistemas fueron diseñados para una producción por lotes, al contrario de las líneas de producción en masa. Las máquinas de control numérico corrían programas en cintas y requerían un tiempo para el cambio de una pieza a otra. Muchas de las máquinas no tenían cambio de herramienta automático para permitir múltiples operaciones por parte.

Desde entonces se han introducido algunas mejoras en los sistemas; ahora los sistemas modernos de manufactura flexible cuentan con máquinas de control numérico directo (DNC) y control numérico por computadora (CNC), lo que implica

un desarrollo tecnológico tanto para máquinas herramientas como para robots y Vehículos Guiados Automáticamente (AGV's) que aparecen para el manejo de materiales. Es entonces cuando el concepto de SMF se vuelve tecnológicamente posible. La carga y descarga de herramientas en las máquinas se automatizó y ahora toma sólo algunos segundos realizar esta operación.

La evolución de la manufactura la podemos representar en una línea continua, comenzando desde las operaciones manuales, pasando por las islas de automatización, después los sistemas de manufactura flexibles, hasta llegar a lo que se conoce como Manufactura Integrada por Computadora (CIM). Los Sistemas de Manufactura Flexible pueden considerarse como la etapa anterior a la Manufactura Integrada por Computadora.

La Manufactura Integrada por Computadora es el término usado para englobar las actividades involucradas en la manufactura moderna, la cual implica varias tecnologías avanzadas como el control numérico por computadora (CNC), el diseño y la manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), la robótica, etc. El concepto de CIM es una completa y nueva forma de producir y de hacer negocios. La manufactura moderna engloba todas las actividades y procesos necesarios para convertir un material en bruto en un producto terminado y ponerlo en manos de los consumidores, estas actividades pueden resumirse de la siguiente forma:

- Identificar la necesidad de un producto.
- Diseñar un producto que satisfaga dicha necesidad.
- Obtener el material en bruto para elaborar el producto.
- Aplicar los procesos requeridos para convertir la materia prima en el producto terminado.
- Colocar el producto en el mercado.
- Mantener el producto para asegurar su permanencia en el mercado.

En un sistema de manufactura integrada por computadora las actividades antes

mencionadas son realizadas, en su mayor parte, por sistemas automatizados que además están integrados formando un solo conjunto. La integración se refiere a que un sistema cualquiera (que forme parte del CIM) puede proveer o compartir información instantáneamente con el resto de los elementos de CIM. En la manufactura moderna esta integración se da por medio de las computadoras. De esta forma se define a un CIM como la **total integración de todos los elementos de manufactura a través del uso de computadoras.**

Sin embargo, los sistemas de manufactura modernos son complejos y difíciles de implementar, y en consecuencia son costosos. Es por ello que la evolución hacia estos sistemas de producción ha sido más lenta de lo esperado, lo cual se debe en parte al alto costo de desarrollo y mantenimiento del software, así como la dificultad para alcanzar los niveles requeridos de integración entre sistemas (incompatibilidad de equipos).

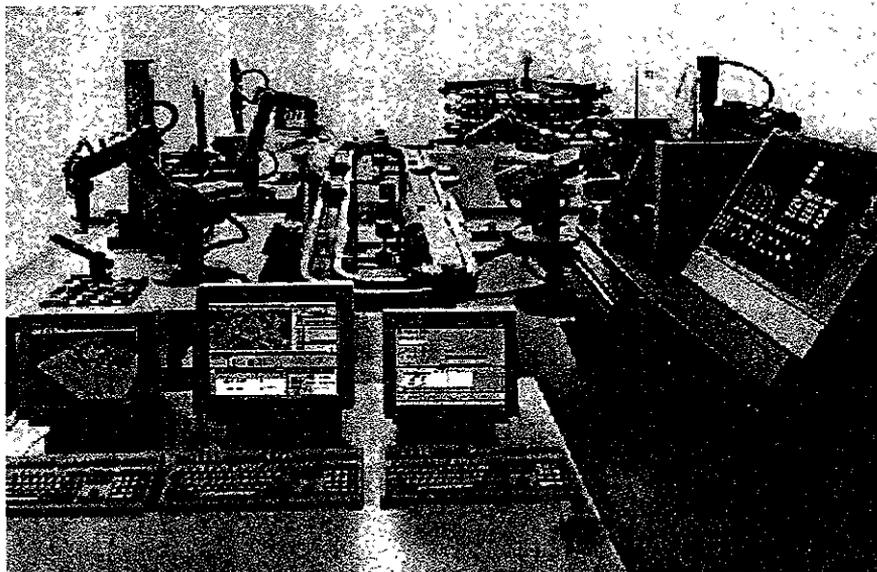


Figura 1.1 Sistema de Manufactura Flexible para la enseñanza.

La actual disponibilidad para la adquisición de computadoras personales ha permitido el desarrollo de sistemas de monitoreo y control digital para una gran variedad de procesos industriales. El desarrollo de equipo automatizado, orientado hacia los procesos de manufactura permite la integración de sistemas flexibles capaces de adaptarse al desarrollo de nuevos productos y a las cambiantes necesidades del mercado.

Un SMF se caracteriza, como ya se dijo, por estar integrado por un conjunto de máquinas programables de diversos tipos, trabajando en conjunto bajo el control y la supervisión de una computadora. Los SMF's pueden ser adaptados o programados para realizar un conjunto específico de tareas sin necesidad de modificar su configuración física original, con un costo menor y en un tiempo más reducido en comparación con los sistemas de manufactura convencionales. Un SMF desempeña en forma automática tareas esenciales en los procesos de manufactura tales como el almacenamiento y transporte de material, corte y conformado de materiales, ensamble y control de calidad, entre otras; es común que cada una de estas tareas se desarrolle de manera independiente en celdas de manufactura automatizadas que están integradas en un solo conjunto con un propósito común.

Muchos investigadores han desarrollado estándares, tratando de definir los requerimientos para el sistema de control de los SMF's. Sin embargo, estas arquitecturas no han sido definidas en suficiente detalle para desarrollar un software genérico para resolver los problemas de mantenimiento asociados con la implementación de estos sistemas. De hecho, los sistemas de control todavía parecen ser extremadamente específicos en su implementación, inclusive si sus diseñadores se apegan a una de las arquitecturas estándares. Una de las explicaciones es que la mayoría de estas arquitecturas son simplemente descripciones textuales de la

estructura general de los sistemas de manufactura y no se concentran en el desarrollo de los sistemas de control requeridos; consecuentemente estas descripciones frecuentemente son ambiguas e incompletas, por lo que son inapropiadas como base para el desarrollo de los programas de control. Además es difícil para los investigadores discutir y comparar diferentes configuraciones de sistemas sin un lenguaje estándar para describir los sistemas de manufactura.

Uno de los principales problemas que se enfrentan en la implementación de sistemas de manufactura flexible es la coordinación y control de los dispositivos que lo integran. La clave en la solución de este problema reside en la representación y la transferencia de información entre cada uno de sus elementos, por lo que el sistema de control (hardware y software) constituye la parte más importante y compleja de todo el conjunto.

Los requerimientos para el manejo de información y el control de las actividades de un SMF, junto con la gran diversidad de configuraciones que éste puede presentar hacen difícil encontrar en el mercado un paquete de cómputo que se ajuste a los requerimientos para el control integral de todo el sistema. Por esta razón es evidente la necesidad de desarrollar las herramientas de cómputo básicas, que permitan la definición en forma general del sistema de control para un SMF.

Uno de los retos que se presentan para el desarrollo de México y en general de cualquier país, es la calidad y cantidad de los artículos manufacturados. Para afrontar este reto es necesario crear nuevas empresas manufactureras, además de modernizar las ya existentes. Con el afán de lograr esto, y ser competitivos en el ámbito mundial, es recomendable el desarrollo de SMF's, lo cual se puede constatar ya en un gran número de empresas tanto en México como en el extranjero. Ahora bien, en la mayoría de los casos esta tecnología es importada, por lo que es conveniente formar

ingenieros que conozcan los fundamentos de este tipo de sistemas y les permita mejorarlos e inclusive diseñarlos de acuerdo a las necesidades particulares de cada empresa.

1.2 Algunos proyectos de investigación sobre Sistemas de Manufactura Flexible

El desarrollo de sistemas de manufactura flexible ha sido, y es, un problema de interés para universidades y centros de investigación. De los trabajos implementados en universidades, en donde también se han obtenido resultados satisfactorios, podemos citar dos ejemplos destacados por la comprensión cabal del problema y por lo avanzado de sus investigaciones. Estos trabajos son los realizados por Anders Adlemo, et. al. (Chalmers University of Technology, Göteborg, Suecia) y el de Jeffrey S. Smith (Texas A&M University) Walter C. Hoberecht y Sanjay B. Joshi (The Pennsylvania State University).

1.2.1 Universidad Tecnológica de Chalmers, Göteborg, Suecia

En esta universidad se han llevado a cabo investigaciones sobre una celda de manufactura flexible que está en desarrollo en Saab Scania Trucks and Buses (Figura 1.2), su descripción es la siguiente:

- Un torno (LA).
- Una fresa multioperacional (MI).
- Una estación de control de calidad (QC).
- Dos bandas transportadoras de salida y una de entrada.
- Una grúa manipuladora (GC).

Los recursos del sistema están conectados entre sí y con el controlador de la celda por medio de una red local de computadoras. Las instrucciones son enviadas a los dispositivos para ser ejecutadas por estos. Para realizar este envío de instrucciones se emplea un protocolo MMS "Read-and Write Variable Messages" [1] que incrementa la fiabilidad en la transmisión de datos.

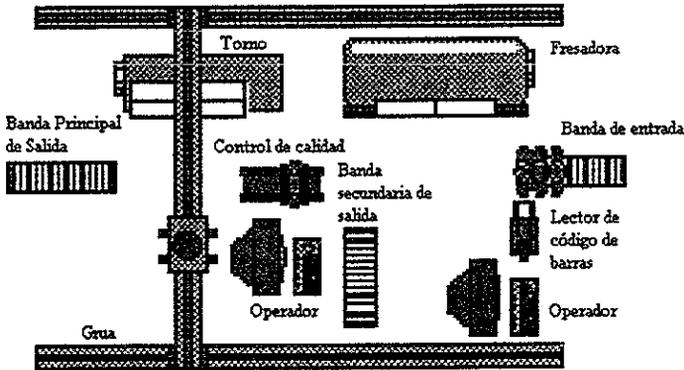


Figura 1.2 Elementos de la celda desarrollada en Saab Scania Trucks and Buses.

En este sistema de manufactura flexible las piezas de trabajo son introducidas manualmente por un operador en la banda de entrada, donde son identificadas por la lectura del código de barras y registradas por el sistema. El operador puede introducir manualmente los códigos de trabajo para aquellas piezas que ya han pasado a través del sistema, pero que han sido rechazadas por la estación de control de calidad. El flujo normal de cada pieza dentro del sistema es visitar primero la fresadora, seguido de la estación de torneado, para su posterior desalajo por la salida principal. Sin embargo, el operador puede en cualquier momento solicitar cualquier pieza para la estación de control de calidad, para verificar que todas sus dimensiones se apeguen a las tolerancias especificadas. La operación consiste en que el material

entrante “empuja” al material que va de salida, es decir, una pieza de trabajo es descargada sólo cuando una nueva pieza esta lista para ser cargada.

Existen varias características en el desarrollo de este trabajo; de las cuales podemos destacar algunas ideas sobresalientes. Por ejemplo, los recursos de manufactura y las capacidades de los recursos del sistema, la forma en que se organizan la secuencia de tareas en listas de operaciones, además de la forma en que se integran todas estas características para generar las leyes de control. En los párrafos siguientes se describen las partes más importantes de este trabajo.

Modelado de los recursos de manufactura

Este tipo de recursos tiene una dinámica muy compleja para permitir el control de la producción. El estado actual de cada recurso** siempre debe ser conocido, esta información que proporciona el estado actual de los recursos debe ser separada de la información que informa al sistema de control qué hacer cuando el sistema ha alcanzado cierto estado. Esta última información es preferible separarla en *información de secuencia e información de control*. Cuando las operaciones sobre un producto dentro de una máquina herramienta han terminado, la información de secuencia dice cuál es el siguiente recurso que manejará la pieza o producto.

La información de secuencia es obtenida por el algoritmo de control, usando un *modelo de operación de producción*, en combinación con un *modelo de capacidades de los recursos*.

** Un recurso del SMF es cualquier elemento que modifique el estado de las piezas a fabricar, (i.e. tornos, robots, AGV, etc.).

Modelo de las capacidades de los recursos

Para lograr el control de la producción, el algoritmo de control debe saber las capacidades de todos los recursos disponibles. Estos recursos pueden ser modelados de manera jerárquica, agrupándolos en un nivel físico o en un nivel virtual. Por ejemplo, un grupo de máquinas herramientas CNC y un robot pueden ser agrupados en un nivel, mientras que los recursos virtuales pueden no sólo ser productores, sino también ser sistemas de transporte o almacenamiento (como los AGV's o los almacenes automáticos).

Estructura del software de control

El diseño de la estructura de control para el software propuesta por A. Adlemo, et. al. (1995) [1] está basado en los conceptos de modularidad y flexibilidad descritos anteriormente y recomiendan una estructura jerárquica modificada.

Los modelos de control sincronizan sus actividades usando *mensajes*. Los controladores superiores deciden qué hacer y dan las ordenes al subordinado de recursos internos para su ejecución. La planeación y las funciones del controlador, incluyendo evitar puntos muertos, manejo y optimización, son tratados por un controlador en un nivel superior.

Entre los controladores se mandan mensajes de alto nivel, pero entre cada recurso interno y su respectiva parte física (llamada recurso externo) hay un protocolo específico.

Lista de operaciones

Las operaciones a las que se someterá la pieza están normalmente dadas en listas de operación. En este tipo de listas las operaciones por sí mismas pueden consistir de una nueva lista de operaciones que describe la producción a un nivel jerárquico más bajo. Una lista de operación debe ser capaz de indicar qué productos pueden ser alterados por un operación parcial, por ejemplo ciertas piezas pueden ser aisladas para una prueba de sus dimensiones, para llevar un control estadístico de la producción.

Síntesis de las leyes de control

El control del SMF de la Universidad de Chalmers incluye un mapeo de los requerimientos del producto en las capacidades de manufactura y esto es alcanzado a través de la sincronización de los modelos de productos con los modelos de los recursos, el algoritmo de control debe evadir puntos muertos y producir seguridad.

En este proyecto se emplea la Teoría de Supervisión Desarrollada por Romadge y Wonham (1987) [30], la cual puede ser usada para sintetizar leyes de control basadas en modelos de recursos y productos en una automatización completa del sistema.

Aplicación de los modelos y algoritmos propuestos

Debido a que el flujo de productos a través de la celda es simple, el modelo de los productos (listas de operación) no necesita ser cambiado dinámicamente por lo que pueden ser considerado estático. En el sistema desarrollado en la Universidad de Chalmers se consideraron dos tipos de listas, la lista normal de operaciones y la lista de mediciones. La lista normal se dedica a las secuencias correspondientes a la

fresadora seguidas por el torno, y posteriormente por la estación de salida. En la lista de mediciones se incluye una ruta alterna para cada enésima pieza para su medición. El modelo de las capacidades de los recursos describe lo que cada herramienta puede realizar, así como las restricciones que éstas tengan; aunque para el caso de estudio no existen restricciones físicas para el flujo de productos entre las máquinas. El elemento encargado de la supervisión y control expresa las leyes que gobiernan las acciones del sistema en cada uno de sus estados, y estas están muy ligadas con la secuencia de cada producto.

1.2.2 Universidad de Texas A&M y Universidad del Estado de Pennsylvania

J. S. Smith et. al. (1996) [34] describen una arquitectura que sigue el modelo jerárquico, sobre el cual desarrollan una metodología para el desarrollo de un software de control. Este modelo jerárquico debe permitir la descomposición del sistema en subsistemas individuales de manera que sigan siendo funcionales. La arquitectura también debe proveer las líneas de desarrollo necesarias para que los nuevos subsistemas se puedan integrar de una manera transparente a las diferentes capas que integran el sistema. Una de las metas de la estructura jerárquica es desarrollar los sistemas de tal manera que los subsistemas sean totalmente independientes uno del otro, de tal forma que puedan ser mejorados y reintegrados sin la necesidad de afectar de una manera importante el resto del sistema. En este tipo de jerarquía se identifican tres niveles naturales (figura 1.3). Desde la parte inferior, hasta la cabeza están el equipo, las estaciones de trabajo y el nivel de control central. El equipo está definido por la parte física del sistema y hay una correspondencia uno a uno entre los controladores y las máquinas. Las estaciones de trabajo (Figura 1.4) están compuestas por un conjunto de máquinas (Procesos, almacenaje, servicios de manejo de materiales, etc.). Finalmente el nivel de control central funciona como un control centralizado y un punto de encuentro para todo el

sistema y su principal responsabilidad es proveer el acceso a los recursos compartidos en el mismo.

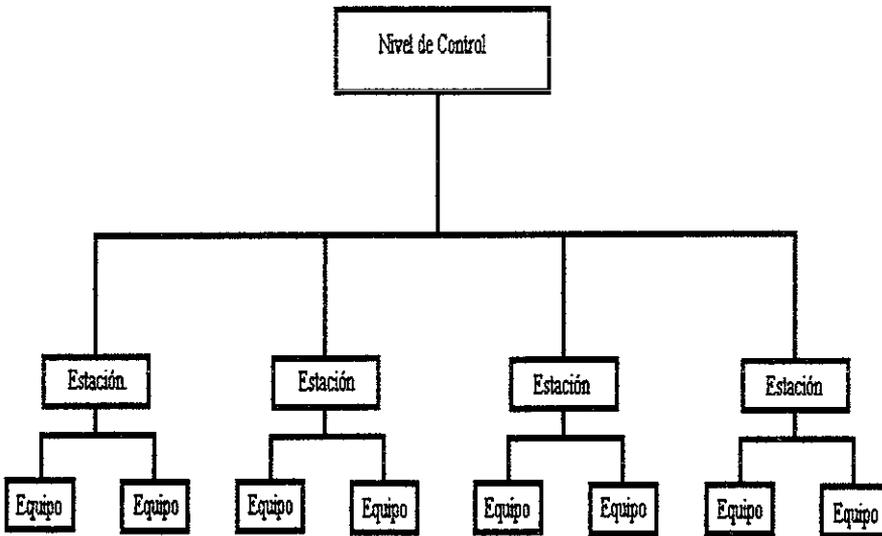


Figura 1.3 Niveles en la arquitectura de control.

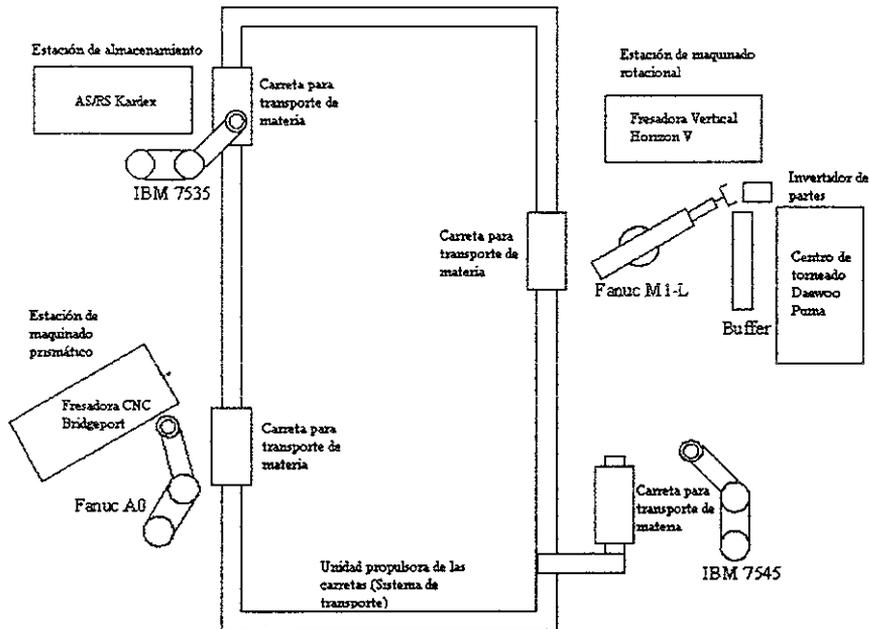


Figura 1.4 Diagrama esquemático del CIM de la Universidad del Estado de Pennsylvania.

Flujo de información y control durante la operación del sistema

El nivel de control principal procesa órdenes que pueden pertenecer a una producción maestra. Los planes generados en este nivel se forman tomando en cuenta la secuencia que se tiene definida y el estado actual del sistema para determinar la ruta que cada pieza debe seguir a través del mismo. Además, la orden puede ser descompuesta en lotes y grupos de partes para facilitar su producción, transporte y manejo. El nivel de control convierte los lotes y los planes asignados a las estaciones de trabajo a *listas de tareas* específicas que deben ser ejecutadas. Estas listas proveen una prioridad para la orden dentro del sistema. Adicionalmente los tiempos de comienzo y fin de maquinado serán ajustados para cada tarea específica en cada estación de trabajo. La ejecución del nivel de control coordina la producción de las ordenes que están abiertas en ese momento en el sistema,

mandando las tareas a las estaciones de trabajo como está especificado por los planes generados anteriormente. Así también el nivel de control facilita la interacción entre las estaciones de trabajo cuando es necesario.

Las estaciones de trabajo dedicadas a procesos (maquinado por ejemplo) producen partes en forma de lotes o grupos. Para ello emplean los planes de trabajo y el estado actual de carga y descarga de material para determinar, sobre la pieza actual, qué equipo es el siguiente en la ruta de la pieza y qué tarea se debe realizar sobre ella. En el caso de maquinado, el sistema de control que se dedica a planear puede optimar los parámetros de maquinado basados en el estado de las herramientas en la máquina. El *módulo de planeación* convierte la secuencia de operaciones en una lista de tareas específicas para el grupo de partes. El *módulo de ejecución* coordina la producción del grupo de partes mandando correr las tareas planeadas por el módulo de planeación, este módulo en el nivel del equipo provee una interfaz directa con el sistema de control y el nivel físico.

Metodología para el desarrollo del software

Para el desarrollo del software se propone como inicio la identificación de las actividades del controlador, de tal manera que las diferentes tareas puedan ser analizadas en sus diferencias y dependencia con cada módulo. Después es conveniente diferenciar los módulos que planean la secuencia de actividades y que no dependen de la configuración del sistema. Posteriormente se deben separar los módulos que planean la secuencia de ejecución y los módulos genéricos de ejecución. El controlador del sistema debe ser diseñado y construido de tal manera que sea útil en el desarrollo, en el caso particular se emplea la descomposición jerárquica. Así, los controladores en un nivel más bajo, heredan las estructuras y métodos del controlador principal. Por todo esto es posible lograr la arquitectura de

control, las funciones de ejecución y las funciones de planeo, que son los principales objetivos para el desarrollo de un software de control para un SMF.

1.3 Comentarios Finales

Como es posible apreciar, el desarrollo de los sistemas de manufactura es un campo en el que se han hecho avances significativos pero aun queda un camino largo por recorrer. Tanto la estructura del software como la jerarquía desarrollada en este trabajo coinciden en varios aspectos con las ideas propuestas en los proyectos antes mencionados como se muestra en los siguientes capítulos.

Capítulo 2

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

2.1 Generalidades

Un SMF consta de un grupo de estaciones de procesamiento (predominantemente máquinas CNC), interconectadas por un sistema de manejo automático de material y un sistema de almacenamiento también automatizado, controlados por un sistema de cómputo. Los procesos de maquinado son la aplicación más difundida de los FMS's, sin embargo, las aplicaciones pueden extenderse a otros campos de los procesos de manufactura, más allá del maquinado de piezas.

Son tres los elementos básicos de un SMF:

1. *Estaciones de procesamiento.* La columna vertebral de cualquier SMF es un conjunto de máquinas usadas para añadir valor a cada pieza (proceso de manufactura). El equipo de procesamiento o ensamble usado en un SMF depende del tipo de trabajo que éste desempeña. En un sistema diseñado para el realizar operaciones de maquinado las estaciones están compuestas principalmente por máquinas CNC que realizan los procesos de corte con arranque de viruta sobre las partes a procesar. Los SMF que se han diseñado en la actualidad consideran otro tipo de equipos, incluyendo estaciones de inspección, sistemas de ensamble, conformado de materiales, etc.

2. Estaciones de almacenamiento y sistemas de manejo de material. Existen varias clases de dispositivos destinados al almacenamiento y transporte de piezas entre las estaciones de procesamiento. Las funciones que estos dispositivos deben desempeñar son: movimiento independiente y aleatorio de partes entre estaciones de trabajo, manejo de una gran variedad de configuraciones de las partes de trabajo, almacenamiento temporal de partes y acceso para carga y descarga de partes.

Los sistemas automáticos de manejo de piezas de trabajo son otro aspecto a considerar en un SMF. Estos sistemas son diseñados para transportar las piezas en "pallets" (o plantillas de almacenamiento) entre las estaciones de trabajo. Las bandas transportadoras, las carretas remolcadas y carretas sobre rieles han sido utilizadas en el pasado, pero en los 80's comenzó a dominar el empleo de AGV's (Vehículos Guiados Automáticamente) y hasta la fecha parecen ser los sistemas mejor adaptables y flexibles para su implementación. Las carretas remolcadas son plataformas similares engarzadas una tras de otra y propulsadas por cadenas que las dirigen a lo largo de la ruta deseada. Las carretas sobre rieles son útiles cuando las estaciones de trabajo están instaladas sobre una línea, las carretas pueden ser autopropulsadas y como ventaja con respecto a los anteriores, pueden viajar en ambas direcciones. Los AGV's son vehículos autopropulsados y en un SMF generalmente transportan una o dos plantillas con una o dos piezas cada una. La mayoría de estos vehículos siguen una ruta sobre el piso, que puede ser un alambre, una cinta magnética, una cinta blanca sobre un fondo negro, etc. El sistema de guía de este tipo de vehículos sigue siendo motivo de investigación en busca de nuevas mejoras.

Las bandas transportadoras son usadas para rutas fijas, transferencia de material de punto a punto, mientras que los montacargas operados por humanos proveen una

total flexibilidad en este aspecto. En un punto intermedio entre estos dos extremos están los AGV's. Estos sistemas pueden transportar material entre un número finito de locaciones. Los AGV's son importantes porque pueden soportar un ensamble asíncrono y pueden integrarse a un sistema totalmente automático de producción. Usando la adquisición de datos y las capacidades del sistema, el AGV provee el control y transporte del material. Una computadora central asigna las tareas de transporte al vehículo, además de monitorear y controlar el tráfico. Esto también se puede realizar por los controladores locales, cada uno de los cuales controla un tramo de la ruta. Los controladores locales pueden almacenar el estado completo y la información de la ruta sobre su dominio y esta información es pasada de un vehículo a otro en los puntos de intersección. El controlador además de ejecutar las instrucciones, monitorea su área inmediata para asegurar la integridad de los vehículos (evitar colisiones).

Se requiere un mecanismo para conectar el movimiento de partes, por ejemplo los AGV's con las máquinas. Las partes y sus plantillas deben ser descargadas del sistema de transporte cuando llegan a la estación destino, para ello un *buffer** recibe la plantilla y la mantiene hasta que la máquina esta lista para recibir la siguiente pieza a maquinar. De la misma manera, la pieza terminada espera en su plantilla dentro del buffer, hasta que un AGV llega a recogerla; de ahí, la pieza puede ser mandada a otra máquina o al almacén automático.

3. Sistemas de apoyo para estaciones de trabajo. En una celda se pueden encontrar varios soportes para las estaciones de trabajo. Como ya se mencionó, deben existir los buffers, para carga y descarga de piezas, debe haber sistemas automáticos para el desalojo de viruta y basura de las máquinas, debe existir un área

* Se designa con el nombre de buffer a todos los contenedores empleados para el almacenamiento temporal de plantillas. Estos contenedores poseen dos compartimentos para albergar a dos plantillas (con sus piezas)

central de almacenaje para las plantillas con sus piezas correspondientes, etc.

4. *Sistema de control.* La función del sistema de control es coordinar las actividades de las estaciones de procesamiento y las estaciones de almacenamiento y transporte de material del SMF. Las funciones del sistema de cómputo destinado al control del sistema son: control de cada estación de trabajo, distribución de instrucciones de control en las estaciones, control de la producción, control del tráfico de piezas, monitoreo y reporte del estado de cada dispositivo y del estado de las piezas, y finalmente control de herramientas.

El cerebro del SMF es el controlador central. El típico controlador es una computadora conectada en red y atendida por una persona que se encarga de mantener el buen desempeño del sistema en caso de ser necesario realizar acciones correctivas. El controlador debe ser capaz de mantener el estado del sistema, el estado se refiere a la localización de todas las partes, y carretas (o el sistema de transporte de material) incluso de aquellas esperando a ser cargadas y del estado en la operación de cada máquina. Basándose en el estado actual y el plan de producción, el controlador manda órdenes a los componentes del sistema; entonces el componente responde si logró completar la orden o si existe algún error en la ejecución.

A menos que las computadoras de las máquinas tengan la suficiente memoria para guardar los programas que van a ejecutar, el sistema de control también debe almacenarlos y enviarlos en el momento adecuado; además, el controlador debe decidir cómo y cuándo las piezas deben ser movidas entre las máquinas y cuándo deben ser cargadas y descargadas.

En los sistemas sofisticados, el controlador está procesando por adelantado,

prediciendo el tiempo de maquinado para cada pieza y poder así mandar un AGV para recogerla, sin necesidad de que la máquina espere un tiempo muy largo; las piezas pueden ser mandadas dinámicamente a la estación más cercana disponible con la herramienta necesaria. Ya sea el controlador, o la máquina CNC pueden predecir el tiempo de cada herramienta y saber cuándo es oportuno cambiarla para evitar problemas de calidad en el acabado superficial de la pieza.

El gran número de decisiones que se deben tomar y los estados de los sistemas hacen del desarrollo del software de control una tarea muy compleja; cada sistema tiene sus propias características y operan con una lógica específica. Las dificultades para alcanzar un control óptimo de sistemas complejos han llevado al desarrollo de SMF pequeños.

2.2 Topología del Sistema

El diseño del SMF se basó en una topología en estrella [23, 30], como se muestra en la Figura 2.1. La topología estrella consiste en un nodo central y un conjunto de nodos independientes conectados a éste. En el nodo central se encuentra el sistema de control (SC) que gobierna a los demás nodos, en los cuales se encuentran distribuidas las estaciones de trabajo.

Cada nodo puede comunicarse únicamente con el nodo central mediante una línea de comunicación propia que es totalmente independiente del resto. Esta característica hace a este tipo de redes altamente confiables ya que, a diferencia de las topologías de anillo y de árbol, una falla en alguno de los nodos no repercute en el funcionamiento de los demás. El costo por incrementar el número de nodos es relativamente bajo; sin embargo, la capacidad de expansión está limitada por el

número de dispositivos que puede soportar el control principal y los elementos de conexión.

Los elementos que componen el SMF se distribuyeron en cuatro estaciones de trabajo, una estación de control y un AGV. Cada una de las estaciones de trabajo tiene asignada una tarea específica de tal forma que se pueden efectuar las siguientes operaciones: Almacenamiento y despacho de material, mecanizado, control de calidad, transporte de material y acabado superficial.

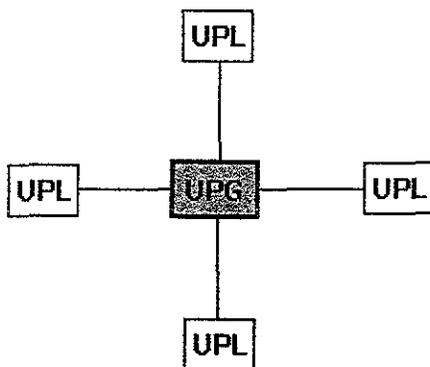


Figura 2.1 Topología del SMF.

La estación uno se destinó al almacenamiento del material procesado por el sistema, ya sea materia prima, productos intermedios o piezas terminadas. Esta estación contará con un Sistema Automático de Almacenamiento y Despacho de Material asistido por un robot manipulador que trasladará las plantillas almacenadas al AGV y viceversa.

La estación de mecanizado cuenta con dos máquinas de control numérico (un torno y una fresadora). Estas máquinas constituyen la parte más importante en el

proceso de fabricación empleado en este sistema. Cada una de las máquinas cuenta con un buffer para el almacenamiento temporal de plantillas. La estación está equipada con un manipulador que lleva a cabo el transporte de plantillas del AGV a los contenedores de las máquinas y viceversa, carga y descarga de piezas en las máquinas CNC y cambio automático de herramientas de la fresadora.

La estación tres está equipada con un manipulador del tipo SCARA que puede realizar operaciones de ensamble de piezas, además de transportar las plantillas del AGV al contenedor de plantillas de la estación. Para el control de calidad de las piezas maquinadas se empleará un Micrómetro Láser.

Para el acabado superficial se implementó una mesa de coordenadas con una serie de cubas para realizar recubrimientos electrolíticos, dicha mesa está controlada por una computadora. La estación cuenta con cuatro contenedores que son alimentados por el robot de la estación tres, el cual es utilizado también para alimentar las piezas a la mesa de recubrimientos. La distribución de las estaciones se muestra en la figura 2.2.

En forma general, los elementos que integran las estaciones de trabajo se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Elementos de control.
- Elementos de comunicación.
- Maquinaria y dispositivos automatizados.
- Sistema de transporte de material.
- Manipuladores.
- Elementos de adquisición de información.

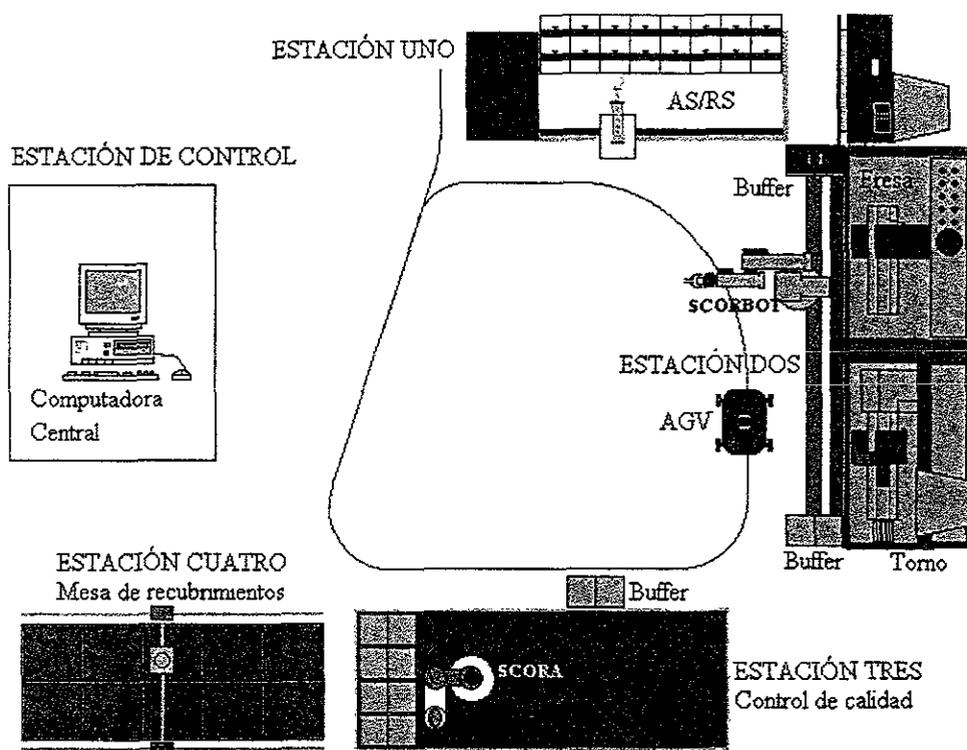


Figura 2.2 Vista de planta del SMF.

2.3 Elementos de Control

Computadora Central

Uno de los principales objetivos que se tuvieron en mente para el desarrollo de este proyecto fue el lograr el control total del sistema a través de un único dispositivo que permitiera programar, monitorear e interactuar en forma directa con los dispositivos que integran el SMF, lo que representa una simplificación en cuanto al equipo requerido para el control, así como una disminución en costos de

instalación en comparación con la mayoría de los sistemas existentes en el mercado, ya que éstos comúnmente emplean redes locales con más de una computadora.

Por esta razón se optó por la utilización de una computadora personal (PC compatible ubicada en el nodo central del sistema) conectada a todas las estaciones de trabajo mediante los elementos de comunicación que se describen más adelante (a través del puerto serial de la PC). Esta computadora será denominada Computadora Central (CC).

El programa principal de control se ejecuta en esta computadora y permitirá la interacción con el operador del sistema quien proporcionará la información necesaria para que el sistema trabaje. La información recibida será procesada y establecerá comunicación con los dispositivos del sistema para enviar y recibir mensajes que permitan el control de los procesos.

Controladores ACL

Para el control de los manipuladores y de las máquinas CNC se dispone de una serie de controladores multitareas de ESHED ROBOTEC (figura 2.3) que emplean el lenguaje de control ACL (Advanced Control Language). Estos controladores se encuentran distribuidos en las estaciones de trabajo y están conectados a la CC que se encarga de ejecutar comandos y programas en estos dispositivos.

Los controladores ACL cuentan con una interfaz RS232 integrada que será utilizada para la transferencia de información con la CC. También cuentan con un puerto programable a través de ACL con 16 terminales de entrada y 16 de salida que serán utilizadas para el control de los siguientes dispositivos:

- Órgano terminal de los robots
- Equipos auxiliares de máquinas CNC (contrapunto y prensa neumáticos)
- Pistón de doble efecto (estación dos)
- Interfaz DNC

Las terminales de entrada y salida de los controladores también podrán ser usadas para el control del AGV.

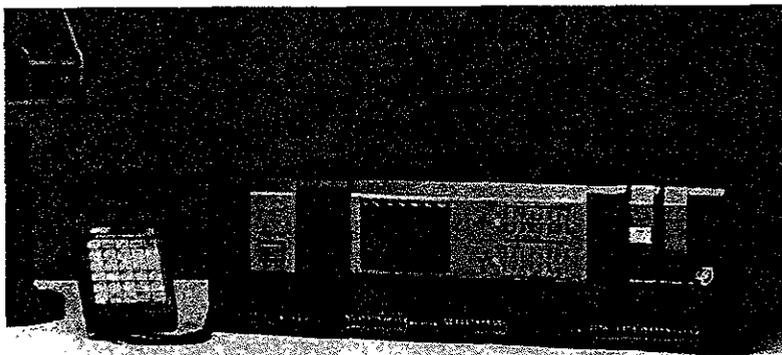


Figura 2.3 Controlador ACL.

2.4 Elementos de Comunicación

Las Unidades de Conexión (UC's) se emplean para la transmisión de datos entre los dispositivos que integran las estaciones de trabajo y la CC. Estas unidades están constituidas por una red de controladores de multipuertos (multiplexores) de la serie F de BayTech.

Los multiplexores constituyen una alternativa viable para la interconexión de los dispositivos del sistema ya que permiten el envío de cualquier tipo de mensaje

constituido por caracteres ASCII. La utilización de estos dispositivos permitió la estructuración de una red local (de tipo estrella) para la transferencia de datos, más simple y económica en comparación con la utilizada en el sistema comercial con el que se contaba originalmente cuya infraestructura de comunicación está basada en tres redes diferentes (LAN, red punto a punto y red conmutada).

Los multiplexores empleados poseen una interfaz estándar RS232 que establece una vía de comunicación bidireccional entre cualquiera de los puertos del mismo. Las salidas de los periféricos y los controladores de cada estación están conectadas a los puertos secundarios de un multiplexor 524F de 5 vías. El puerto principal de cada multiplexor está conectado a un multiplexor maestro 528FP de 9 vías ubicado en la estación de control, el cual es controlado a su vez por la CC a través del puerto serial de la misma. La configuración individual de los puertos de los multiplexores puede ser seleccionada mediante caracteres de control enviados al puerto principal (apéndice B.X). Los multiplexores son el medio de comunicación comúnmente utilizado en topologías del tipo estrella [30].

En la figura 2.4 se muestra un esquema de la conexión de la estación dos, las demás estaciones están conectadas de manera similar.

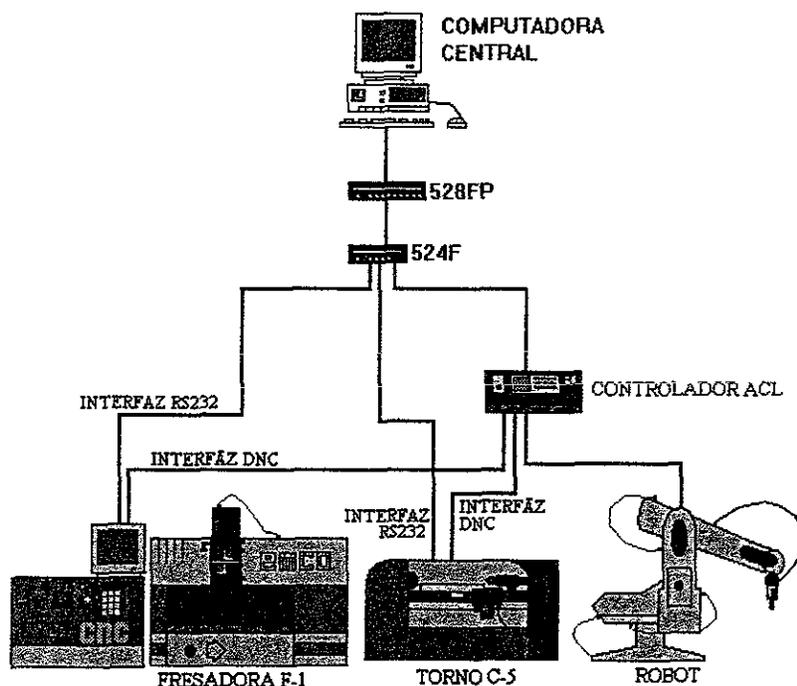


Figura 2.4 Esquema de conexiones de la estación dos.

2.5 Maquinaria y Dispositivos Automatizados

El SMF desarrollado emplea procesos con arranque de viruta y recubrimiento superficial para la transformación de la materia prima en piezas terminadas. Los equipos empleados se describen a continuación.

Máquinas de control numérico

Para el maquinado de las piezas se cuenta con un torno Compact 5 CNC y una fresadora F1-CNC de EMCO, ubicadas en la estación dos. El torno está equipado con un contrapunto neumático y la fresadora está equipada con una prensa

neumática, ambas máquinas están diseñadas para propósitos didácticos. La fresadora no posee una torreta giratoria sin embargo, se fabricó un contenedor de herramientas que se colocó a un costado de la máquina y se desarrollaron algunas rutinas para el manipulador de la estación; de esta forma es posible cambiar automáticamente las herramientas de la fresadora aprovechando los recursos físicos con los que ya se contaba en esa estación. El mecanismo de sujeción de la herramienta es activado por un actuador neumático giratorio que también fue instalado en esa máquina.

Tanto el torno como la fresadora presentan una interfaz de comunicación RS232 (conector V24) normalizada que permite conectar estas máquinas a la CC a través del multiplexor de la estación. Gracias a esto es posible introducir un programa NC en la CC y transmitirlo a la máquina y viceversa. La interfaz RS232 se utiliza únicamente para la transmisión de datos (programas NC) y está conectada directamente al multiplexor de la estación. La interfaz de estas máquinas transmite a 300 bps con 7 bits de datos, 1 bit de paro y sin paridad. Para el control de acciones de **recepción, transmisión y ejecución de programas**, las máquinas poseen una interfaz de Control Numérico Directo (DNC, Direct Numerical Control) [28], esta interfaz también reporta el estado en el que se encuentra la máquina. En la figura 2.5 se muestra el aspecto físico de las máquinas.

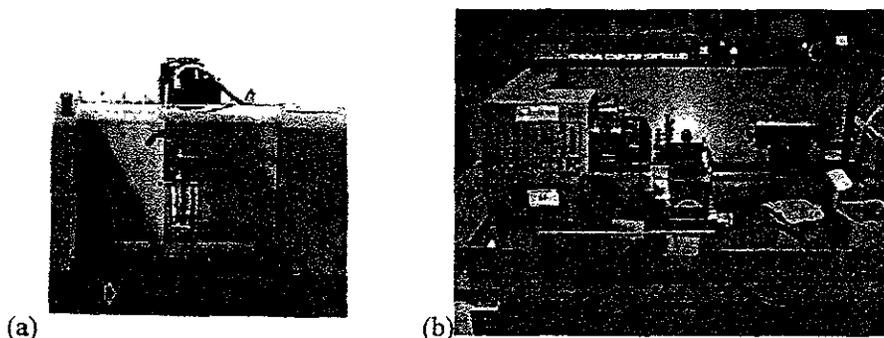


Figura 2.5 Máquinas CNC: (a) Fresadora F-1, (b) Torno C-5.

Sistema Automatizado de Recubrimientos Electrolíticos (SARE)

El proceso de recubrimiento electrolítico es empleado para dar el acabado superficial a las piezas terminadas con el fin de mejorar su resistencia al ambiente o su apariencia. El proceso de recubrimiento se lleva a cabo en un sistema programable que permite su manejo en forma automática, bajo el control de una computadora, de tal forma que podrá ser integrado al SMF [21].

El control del SARE se basa en un microcontrolador (integrado a la mesa de trabajo) que controla los subsistemas de adquisición de datos y control de actuadores e interactúa con una computadora que almacena la información requerida para el proceso. La información es suministrada por el usuario a través de una interfaz gráfica, o bien, es transmitida por la CC a través del puerto serial de la misma.

2.6 Sistema de Transporte de Material

Para satisfacer la necesidad de transportar el material de trabajo entre las diversas estaciones el sistema cuenta con un Vehículo Guiado Automáticamente (AGV, Automated Guided Vehicle). Este vehículo forma parte del proyecto de implementación del SMF en cuestión y fue totalmente diseñado por el personal que colabora en dicho proyecto [10, 11].

El vehículo cuenta con dos sistemas de comunicación bidireccionales. El primero de ellos está formado por un sistema de radiofrecuencia RS232 entre el AGV y la estación central. El segundo sistema está compuesto por células de rayos infrarrojos de corto alcance que establecen comunicación con cada estación de

trabajo [12].

2.7 Sistema de Almacenamiento y Despacho de Material

El Sistema de Almacenamiento y Despacho de Material (AS/RS) constará de un almacén con estructura cilíndrica horizontal que albergará siete repisas con una capacidad de almacenamiento de 49 plantillas en total. El manejo de las plantillas será realizado por un robot. El control de estos sistemas se llevará a cabo por un controlador ACL.

Cabe mencionar que las plantillas tienen una serie de orificios en donde se insertan varios postes de forma cónica que servirán como base para que las piezas queden firmemente asentadas en las plantillas, independientemente de su geometría. Así las piezas pueden ser trasladadas de una estación a otra sin ningún problema.

—

NOTA: cabe mencionar que tanto el AGV como el AS/RS aún se encuentran en la etapa de desarrollo y no han sido integrados plenamente al sistema. Por esta razón es posible que el sistema de control que se propone en este trabajo no cubra en su totalidad los requerimientos que presenten estos elementos. Sin embargo, se tiene la certeza de que con un mínimo de cambios en el programa principal, el sistema puede ser readaptado a las condiciones de trabajo que se presenten una vez que estos u otros dispositivos sean integrados al SMF.

—

2.8 Manipuladores

Los manipuladores se encargan principalmente del transporte de material dentro de las estaciones de trabajo. En el caso del AS/RS, se contará con un manipulador destinado al transporte de plantillas entre el almacén y el AGV. En la estación de maquinado se tiene un robot antropomórfico SCORBOT ER-VII con cinco grados de libertad (manejado por un controlador ACL), el cual se encarga de transportar las plantillas, alimentar piezas a las máquinas y cambiar herramientas de la fresadora. Para el manejo de piezas, la estación tres tiene un robot SCORA ER-14 del tipo SCARA con cuatro grados de libertad (manejado por un controlador ACL del tipo B). Este robot está destinado también al transporte de plantillas y a la alimentación de piezas en la estación cuatro. En la figura 2.6 se muestra el aspecto físico de los manipuladores.

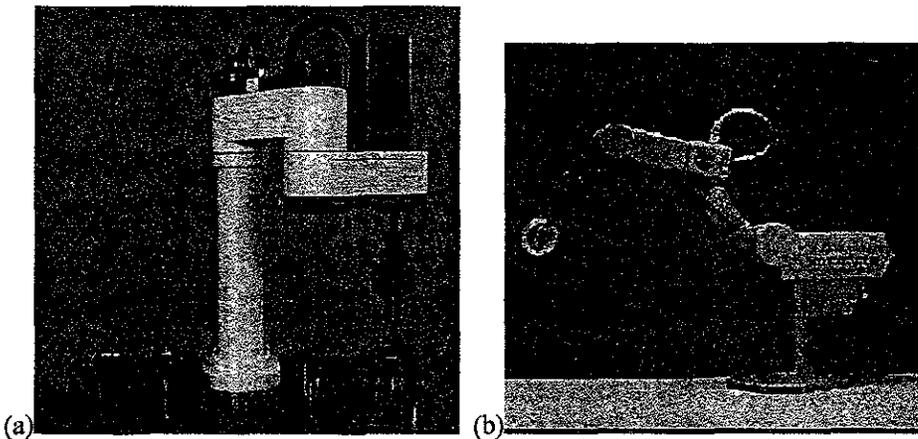


Figura 2.6 Robots manipuladores (a) SCORA ER-14, (b) SCORBOT ER VII

2.9 Sistemas de Adquisición de Información

Micrómetro láser

Este sistema será instalado para medir las piezas ya maquinadas con el objeto de corroborar que las dimensiones se encuentren dentro de las tolerancias especificadas para cada caso.

Computadora Central

La Computadora Central proporciona las interfaces de programación del SMF que sirven al usuario para introducir la información correspondiente a órdenes de producción, piezas, procesos, programas NC, programas de robots y demás información que el sistema requiere para llevar a cabo la producción.

2.10 Comentarios Finales

Como es posible apreciar, el SMF está integrado por equipos de características muy diferentes, prácticamente cada dispositivo utiliza protocolos distintos de comunicación, aunque todos utilicen la interfaz RS232 (excepto la interfaz DNC de la máquinas), lo cual hace difícil la transferencia de datos entre dispositivos (es decir, no hay compatibilidad directa entre dispositivos). No existe similitud entre las tareas que desempeñan los equipos, cada uno puede trabajar de forma independiente, lo que proporciona mayor flexibilidad a todo el conjunto, pero incrementa también el nivel de complejidad del sistema de control. Localmente, cada dispositivo posee un sistema de control individual que difiere de los demás en uno o más de los siguientes aspectos: capacidad de procesamiento, arquitectura, funciones que desempeña, protocolos de transmisión y recepción de datos; por lo

que se dificulta la integración de todos los equipos en un solo sistema.

El objetivo del Sistema de Control (SC) es coordinar las actividades de todos los equipos que forman parte del SMF, a través del procesamiento de la información referente a los procesos de fabricación y al control y supervisión en forma individual de cada uno de los dispositivos. El propósito de los siguientes capítulos será mostrar los fundamentos del SC que permiten la integración de todos estos elementos en un solo sistema.

Capítulo 3

SISTEMA DE CONTROL

3.1 Arquitectura del Sistema de Control

El control del SMF implica la realización de una gran cantidad de actividades relacionadas con el procesamiento y transferencia de información entre los dispositivos que la integran. Por esta razón, el Sistema de Control (SC) fue diseñado siguiendo una jerarquía modular integrada por procesadores de diferentes capacidades que constituyen un sistema heterogéneo de control distribuido [8]. Cada módulo de procesamiento trabaja bajo el control de algún módulo superior y tiene uno o más módulos subordinados (Figura 3.1). Así, el complicado proceso de control y monitoreo del SMF se redujo a un conjunto de tareas simplificadas que son distribuidas y ejecutadas en forma coordinada en los diferentes módulos de procesamiento. Dichos módulos reciben el nombre de unidades funcionales [25]. A continuación se describen las funciones que desempeña cada unidad de control. Por otro lado la arquitectura general de todo el sistema se muestra en la figura 3.2.

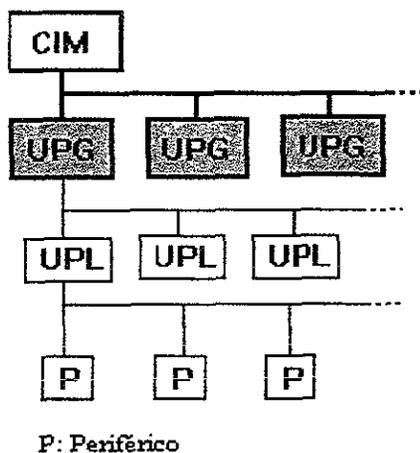


Figura 3.1 Jerarquía modular del sistema de control.

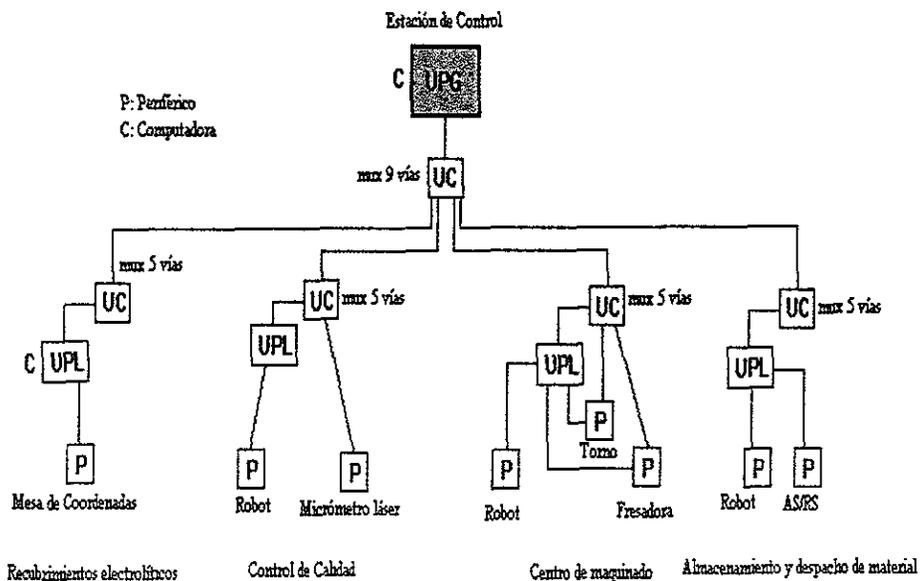


Figura 3.2 Arquitectura del sistema de control del SMF.

Procesadores Especiales

En el nivel inferior se lleva a cabo el control individual de los elementos que integran las estaciones de trabajo. Los Procesadores Especiales (PE) corresponden a los sistemas destinados al control individual de cada componente de las máquinas CNC o cualquier otro dispositivo del sistema. Los PE's se encargan del control de actuadores (motores de pasos, servomotores, elementos neumáticos, etc.), módulos de adquisición de datos (sensores ópticos, sensores de posición, etc.) y módulos de procesamiento de datos (procesamiento analógico/digital de señales). La descripción de estos procesadores escapa a los propósitos de este trabajo, sin embargo, éstos constituyen una parte muy importante de todo el sistema.

Unidades de Procesamiento Local

En este nivel se realizan las tareas básicas del SMF: (1) almacenamiento y ejecución de programas de robots manipuladores (transporte y almacenamiento de material dentro de la estación, control de cambios de herramienta en la fresadora); (2) ejecución de programas y control de procesos en máquinas CNC y en dispositivos automatizados; (3) inspección de piezas para el control de calidad; (4) sincronización de actividades del AGV con las estaciones; y (5) transmisión de información hacia el siguiente nivel de control. Las Unidades de Procesamiento Local (UPL's) están integradas por los controladores ACL, excepto para la estación cuatro en la que se tendrá una computadora personal.

Unidad de Procesamiento General

En el nivel superior, la unidad de procesamiento general (UPG) se encarga de

administrar todos los recursos del sistema y controlar la operación de las estaciones de trabajo. Esta unidad de control establece la comunicación con los dispositivos de cada estación mediante interfaces estandarizadas y protocolos de comunicación específicos para cada dispositivo (Apéndice B). La UPG coordina la actividad de cada subsistema mediante la ejecución de comandos en las UPL's y en máquinas CNC, lleva a cabo el monitoreo de los procesos y la distribución de tareas dentro de las estaciones. La UPG realiza la transferencia de datos y programas hacia los controladores ACL y hacia las máquinas CNC y proporciona los medios para el almacenamiento de programas e información referente a las condiciones de los dispositivos del SMF.

La UPG se encuentra en la estación de control (nodo central) y realiza las siguientes actividades:

- Proporciona la interfaz con el operador para la programación y monitoreo del sistema.
- Lleva a cabo el procesamiento de la información de los niveles inferiores de control.
- Realiza el control y la coordinación de las estaciones y del AGV.
- Almacena información acerca de las ordenes de producción, piezas y procesos de manufactura.
- Distribuye los distintos procesos que se ejecutarán en forma independiente o en coordinación con otros que se realicen en estaciones diferentes.
- Genera reportes de las condiciones del SMF.
- Proporciona las interfaces de programación de robots, máquinas CNC y dispositivos automatizados de las estaciones.
- Maneja mensajes de error y condiciones de alarma generadas en las estaciones de trabajo o directamente en los dispositivos del SMF.

Unidades de Conexión

Las unidades de conexión (UC's) se emplean para la transmisión de datos entre la UPG, las UPL's y los dispositivos que integran las estaciones de trabajo. Las UC's están constituidas por una red de controladores de multipuertos, como ya se mencionó en el capítulo anterior (Figura 3.3).

3.2 Justificación del Software de Control

Uno de los problemas que se tiene para la integración de un SMF es que los programas dedicados tanto a la comunicación como al control de los dispositivos están en ambiente DOS y en ocasiones no existen estos programas (como en el caso de las interfaces de comunicación entre las máquinas de control numérico).

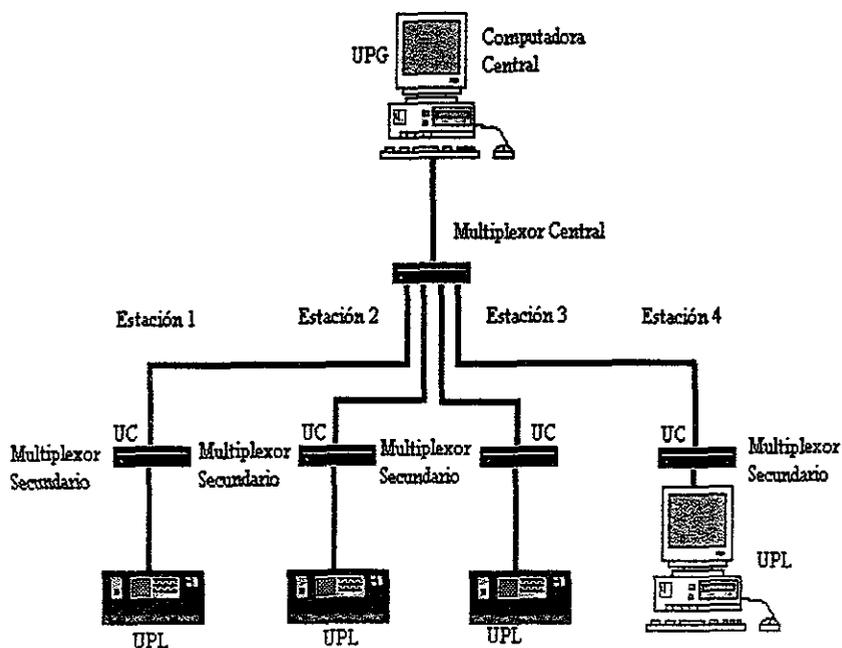


Figura 3.3 Red de multiplexores del SMF.

Por lo anterior es necesario seleccionar un lenguaje de programación que nos permita la integración de todos los dispositivos, así como la integración de los programas existentes; o bien, que permita la creación de éstos. Además, es conveniente que las interfaces presenten un ambiente amigable y estándar, que la mayoría de los usuarios conozca.

Resulta esencial que el software de control del SMF proporcione los medios para el intercambio de información con el operador del sistema. Es necesaria la revisión periódica de la actividad del SMF para corroborar el correcto funcionamiento de los dispositivos que lo integran y para tomar acciones preventivas o correctivas en caso de que se presente alguna condición de error o mal funcionamiento. La interfaz fue diseñada para ser usada fácilmente por cualquier persona y presentar la información con un formato de fácil interpretación en un ambiente gráfico; de tal forma que la programación, el control y el monitoreo del sistema resultan eficientes.

Por lo anterior, todos los módulos (interfaces, módulos del software de control, editores, etc.) que integran el programa general de control fueron desarrollados bajo el sistema operativo Windows, utilizando el lenguaje de programación Visual Basic. De esta forma se garantiza la compatibilidad con otros sistemas de cómputo que soporten este sistema operativo. Aprovechando todos los recursos que ofrece el ambiente gráfico de Windows se logró una mejor presentación de la información ante el usuario, además de facilitar la operación del sistema. De igual forma se simplificó el desarrollo de archivos de ayuda y documentación referente al funcionamiento del sistema haciendo más sencilla la labor de capacitación de usuarios inexpertos. La utilización de un ambiente gráfico mejoró en forma

substantial el desempeño del programa de control en comparación con los programas basados en DOS con los que se contaba originalmente para este proyecto [15].

Las funciones básicas que el software de control debe desempeñar dentro del SMF son:

- Manejo de la información de las partes y los procesos asociados a éstas.
- Almacenamiento de información referente a los procesos de manufactura y programas de control numérico.
- Programación de actividades.
- Manejo de la información referente a ordenes de producción.
- Procesamiento de datos y manejo de algoritmos para la programación de tareas.
- Manejo de situaciones de emergencia.
- Monitoreo de dispositivos.
- Sincronización de eventos.
- Soporte de la comunicación entre dispositivos.

3.3 Estructura General del Software de Control

Dado que la mayoría de los lenguajes de programación están orientados hacia el procesamiento secuencial de instrucciones, y los dispositivos periféricos sólo realizan tareas elementales en forma independiente; el tiempo de procesamiento puede incrementarse en forma excesiva, haciendo insuficiente la capacidad de un solo equipo de cómputo para el control de todo el sistema. Una alternativa que es posible seguir para resolver este problema puede ser el empleo de la programación concurrente [4, 8]. Sin embargo, las pobres características en cuanto a la velocidad de transmisión de datos de las máquinas CNC (300 bps) y la capacidad de

almacenamiento de las mismas, hacen que las computadoras personales actuales cubran perfectamente las necesidades de los elementos del sistema y no sea necesario implementar la programación concurrente. De esta forma es posible establecer el control global de todo el sistema empleando un solo equipo de cómputo.

El software de control consta de un conjunto de procesos autónomos secuenciales, el cual incluye los programas de los manipuladores y los programas CNC, que pueden ejecutarse en los distintos niveles del sistema de control. Estos procesos pueden ejecutarse en paralelo, siempre y cuando se encuentren en distintos procesadores o se ejecuten en los controladores ACL que permiten procesamiento multitarea. Cada proceso puede ser independiente de los demás o estar comunicado con otros para trabajar en sincronía y lograr un objetivo común.

La coordinación de los eventos entre la UPG y las UPLs se obtiene mediante el intercambio de *mensajes*, debido a que estas unidades no poseen memoria compartida. La sincronización de eventos entre el AGV y algunas rutinas de carga y descarga de material dentro de las estaciones se obtiene mediante el uso de *variables compartidas* que residen en la memoria de los controladores ACL. A continuación se describen los módulos que integran al software de control del SMF.

Módulo de Almacenamiento de Datos

El sistema de control requiere almacenar toda la información recibida por la interfaz de usuario y la información generada dentro del SMF. Básicamente existen tres clases de información requeridas por el sistema: (1) información inherente al sistema; (2) información proveniente del operador o de un módulo superior de control y (3) información generada por el propio sistema.

(1) *Información inherente al sistema:*

- Características de estaciones y dispositivos periféricos.
- Códigos de identificación de cada elemento.
- Definición de los recursos físicos disponibles en el FMS.
- Protocolos de comunicación para los dispositivos del sistema.

(2) *Información proveniente del operador:*

- Características de las partes a fabricar y ubicación de los materiales que serán utilizados.
- Definición de las órdenes de producción.
- Procesos de manufactura y programas de CNC asociados a cada parte.
- Estaciones en las que serán realizados los procesos.
- Programas para los manipuladores.
- Contenido del almacén.
- Definición de prioridades en la ejecución de las órdenes y en la ejecución de los procesos de manufactura y tareas en general.
- Códigos de identificación de procesos y partes.

(3) *Información generada por el propio sistema:*

- Condiciones de operación de cada estación y sus dispositivos, y en general del SMF.
- Condiciones del AGV.
- Fallas dentro del sistema (errores de ejecución, protección contra impacto, etc.).
- Secuencia de actividades de los elementos del sistema.
- Mensajes para la sincronización de actividades.

El módulo de almacenamiento de datos (MAD) reside en la UPG y administra los recursos de almacenamiento de dicha unidad (disco duro y memoria de acceso aleatorio). La información proveniente del operador se almacena en bases de datos independientes dependiendo del tipo de información de que se trate: definición de estaciones, definición de procesos, definición de material y ensamble, definición de órdenes, etc. La información generada en el sistema se actualiza en forma cíclica mediante el muestreo secuencial (polling) de la información transferida por las UPL's y es mostrada mediante la interfaz de usuario. En general, las bases de datos utilizadas están constituidas por archivos de acceso aleatorio.

Módulo Local de Almacenamiento de Datos

El módulo local de almacenamiento de datos (MLAD) reside en la UPL de cada estación y resguarda las rutinas de manipuladores y procesos que serán utilizados para la ejecución de instrucciones provenientes de la UPG.

Módulo de Programación de Tareas (Organizador)

La función del módulo de programación de tareas (MPT) es extraer del MAD las ordenes de prioridad alta y seleccionar las piezas y procesos de cada una de ellas para establecer el orden conveniente de ejecución de cada tarea dentro del sistema. El MPT analiza los requerimientos de la producción y genera una lista de mensajes (lista de tareas) que servirán para el control y la coordinación de las actividades de las estaciones. Los mensajes están constituidos por cadenas de caracteres ASCII y contienen los códigos de identificación de la estación a la que serán transmitidos y de las partes y procesos que están relacionados, junto con las instrucciones para los dispositivos involucrados. Los mensajes se almacenan en la memoria de acceso

aleatorio de la UPG y en un archivo en el disco duro para posteriormente ser transferidos a la UPL correspondiente a través del MDET.

Módulo de Despacho y Ejecución de Tareas (Despachador)

El Módulo de Despacho y Ejecución de Tareas (MDET) monitorea la actividad de cada estación mediante la conmutación de salidas de la UC principal y determina si es posible la ejecución de nuevas instrucciones, en base al estado actual de cada componente y al avance en la ejecución de las tareas. El MDET revisa las pilas de mensajes generadas por el MPT y selecciona el más adecuado para ser enviado a la estación en turno, de acuerdo a la prioridad que tenga asignada y a la disponibilidad de los recursos de la estación. El MDET actualiza constantemente la información del MAD con el contenido de los mensajes provenientes de las UPLs. El despachador está habilitado para detectar los mensajes de alarma enviados por las UPLs para alertar al operador en forma inmediata.

El MDET establece la comunicación con los dispositivos incorporados a la estación mediante el manejo de los protocolos establecidos para cada uno de ellos. La comunicación, tanto con los dispositivos como con la UPG, se realiza mediante la conmutación de puertos de salida en un multiplexor secundario. El MDET monitorea las condiciones de los dispositivos de la estación y se encarga de correr los programas en los controladores, y/o en forma directa en los dispositivos de la estación mediante el análisis de la información contenida en los mensajes transmitidos por la UPG. Extrae la información necesaria de los módulos MAD y MLAD y ejecuta las instrucciones cuando las condiciones de los dispositivos involucrados son adecuadas. El MDET genera la información correspondiente al estado de la estación y elabora los mensajes que serán presentados en la interfaz de usuario. Este módulo es el encargado de la detección de fallas en los equipos de la

estación correspondiente y de la suspensión de actividades, en caso de ser necesario. En la figura 3.4 se muestra la relación que guardan entre sí los módulos del software de control.

Los módulos MAD, MPT, MDET y la interfaz de usuario comparten los recursos de la UPG del sistema, mediante rutinas internas de verificación que regulan la actividad de cada módulo.

3.4 Estrategias y Algoritmos de Control en la secuencia de verificación

Cuando se inicia el procesamiento de una orden de producción el sistema realiza una secuencia de inicio y posteriormente establece la comunicación con las máquinas y demás dispositivos que se encuentran en las estaciones de trabajo. La comunicación

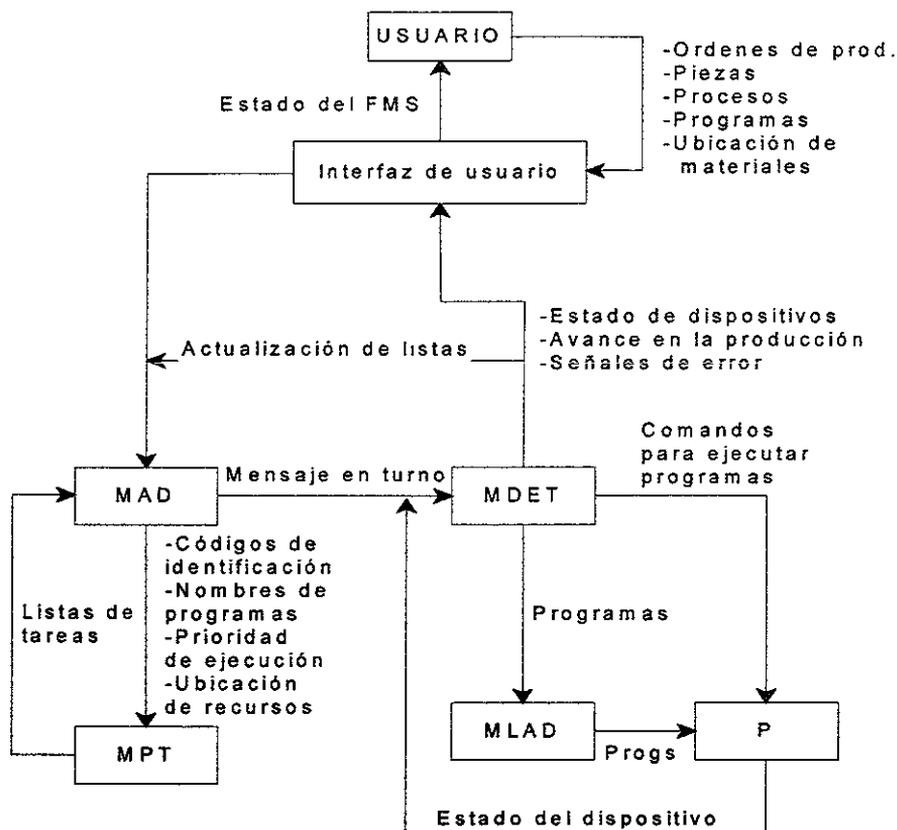


Figura 3.4 Módulos del software de control y flujo de información.

se realiza en forma secuencial mediante la conmutación de las salidas del controlador de puertos central (polling) conectado a la CC. Cuando la CC se conecta a una estación determinada el SC revisa el estado de cada uno de los dispositivos de dicha estación y manda ejecutar los programas de control de acuerdo a la asignación de tareas.

Secuencia de inicio

La Secuencia de Inicio constituye la etapa preparativa del SMF. En esta secuencia el sistema de control ejecuta los siguientes programas de inicio:

- Programas inicio de los manipuladores (HOME).
- Programas para mandar las máquinas CNC a sus respectivas posiciones de referencia.
- Programas de inicio de la mesa de coordenadas.
- Prepara equipos auxiliares (contrapunto y prensa neumáticos).
- Coloca el AGV en la estación del AS/RS.

La secuencia de inicio prepara a todos los equipos para que puedan funcionar adecuadamente y estén dentro de los parámetros que el sistema de control tiene como referencia. Si existe algún problema de iniciación en algún equipo se generará un error de ejecución irrecuperable ya que los únicos dispositivos que cuentan con retroalimentación de información son los controladores ACL de los robots.

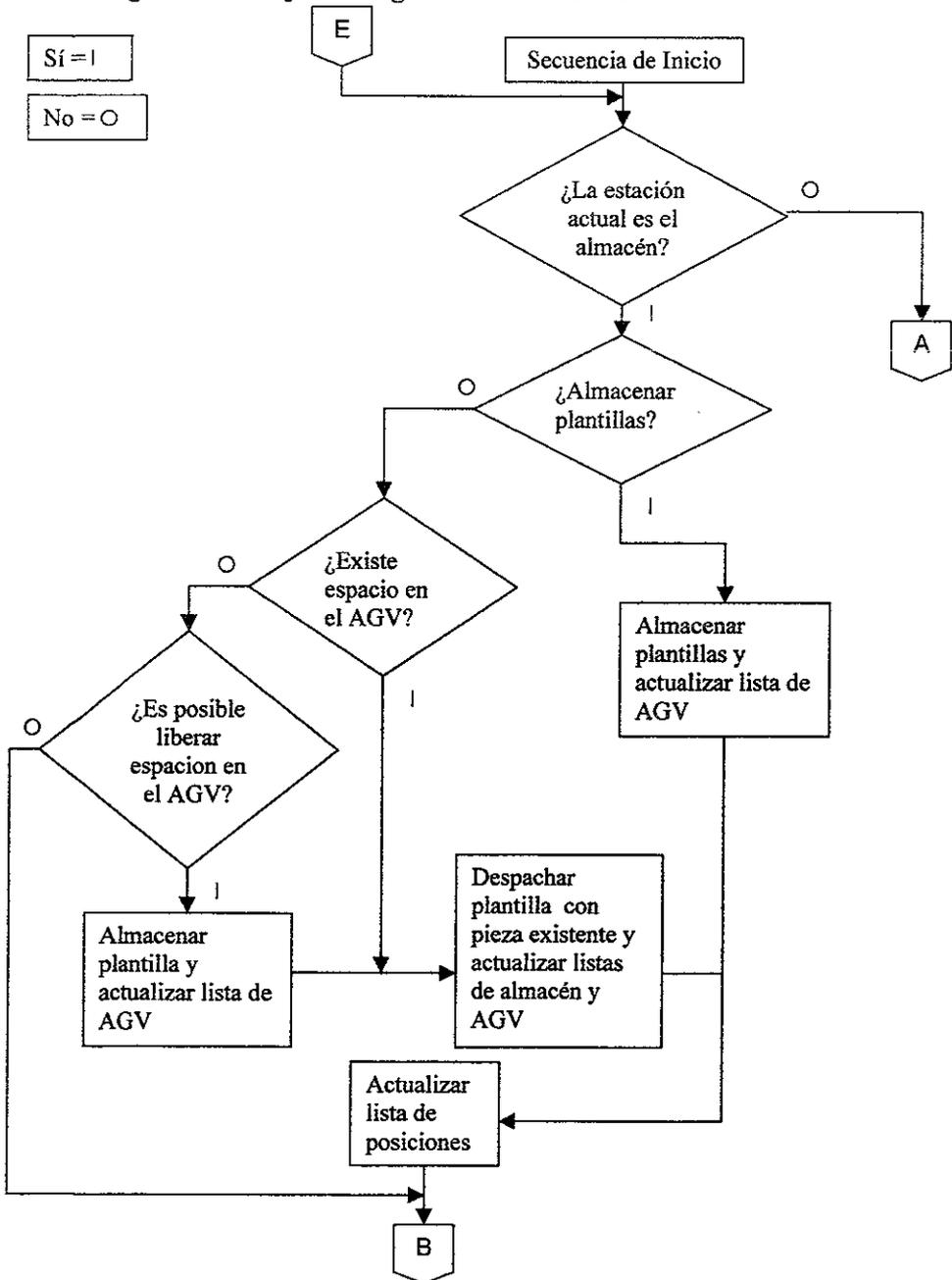
Dentro de la secuencia de inicio el sistema de control consulta la información contenida en el MAD (información definida por el usuario) y determina la orden de producción que debe ser ejecutada. Basándose en esta orden de producción el SC, a través del MPT, genera las listas de tareas que serán asignadas a los dispositivos del SMF y la lista inicial de posiciones de las piezas almacenadas y las almacena temporalmente en el MAD.

Secuencia de control de estaciones

En una estación de trabajo son tres las tareas básicas que se desarrollan: (1)

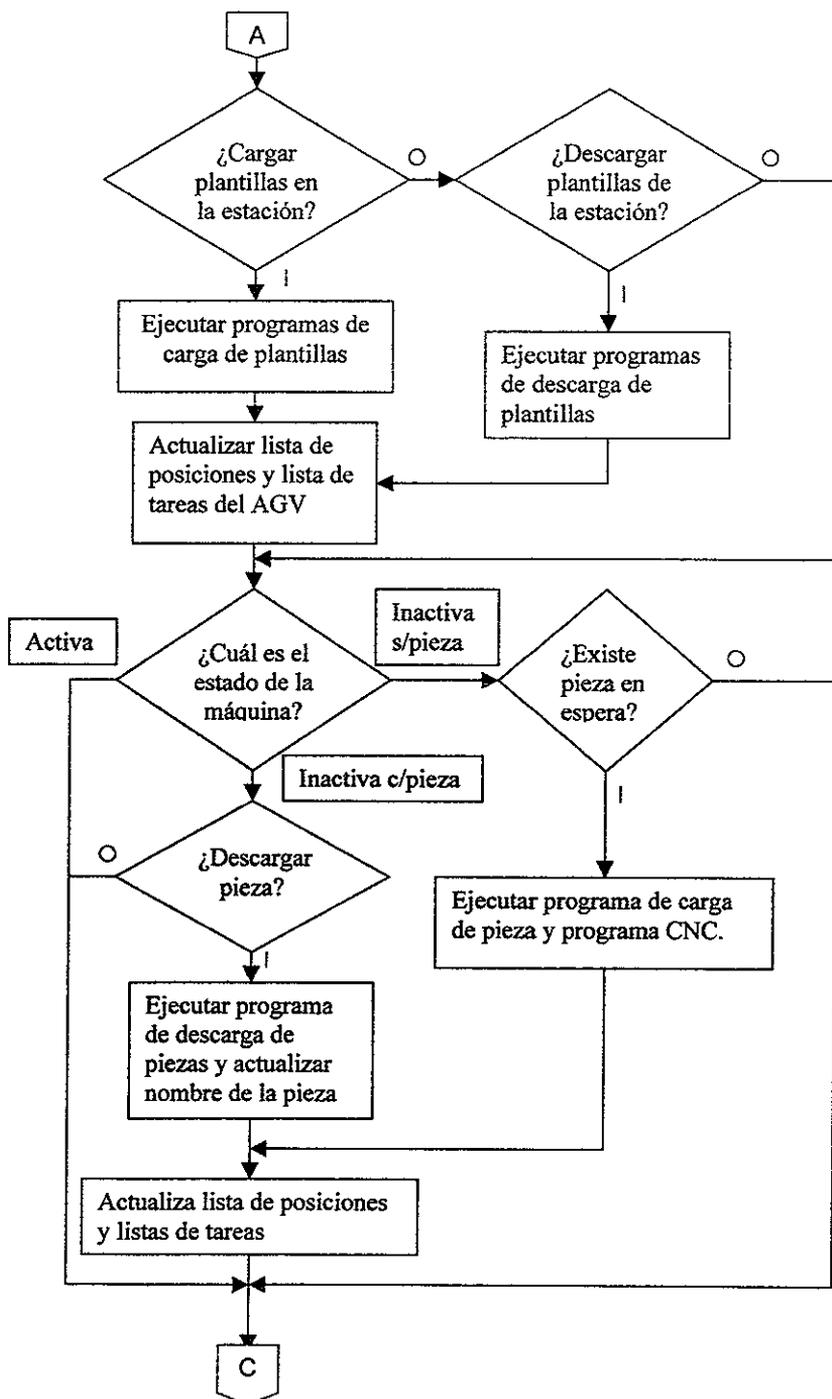
Carga/descarga de plantillas en los buffers de la estación; (2) carga/descarga de piezas en máquinas y (3) ejecución de programas en controladores y máquinas. Cuando el SC se encuentra revisando una estación (MDET) se verifica en primer lugar si el AGV está en esta estación. Si es este el caso se revisa el contenido de los buffers de la misma y se determina si se deben ejecutar los programas de carga o descarga de plantillas. Las lista de tareas del AGV y la lista de posiciones de las piezas se actualiza de acuerdo a las acciones realizadas. Posteriormente el MDET verifica el estado de las máquinas. Las máquinas del sistema pueden presentar dos estados: (1) Máquina activa (procesando pieza); (2) máquina inactiva con pieza (esperando a que la pieza sea retirada o esperando a que se ejecute el programa asociado a la pieza) y (3) máquina inactiva sin pieza (esperando a que el manipulador alimente la pieza siguiente). Cuando la máquina se encuentra procesando una pieza el SC descarta la máquina y continua revisando el resto. Cuando el estado es inactiva con pieza el MDET verifica si la máquina está en una parada intermedia para cambio de herramienta o si se encuentra en espera de que la pieza terminada sea retirada. Cuando se requiere retirar una pieza de la máquina se ejecuta el programa de descarga en el manipulador cuando alguna de las plantillas almacenadas en los buffers de la estación es adecuada para albergar dicha pieza, en caso contrario se solicita una nueva plantilla al almacén modificando la lista de despacho de piezas asignada a esta estación. Si la máquina está esperando la siguiente pieza se elabora el pedido al almacén a través de la lista de despacho. Para el caso del almacén sólo existen dos tareas: almacenamiento o despacho de plantillas. Si el AGV se encuentra ubicado en esta estación el MDET revisa las listas de tareas del AGV y del almacén y, de acuerdo al contenido del buffer del AGV, ejecuta programas de carga o descarga de plantillas para satisfacer los requerimientos de las demás estaciones. El muestreo secuencial de estaciones finaliza cuando las listas de tareas han quedado vacías, entonces el SC da por terminada la ejecución de la orden de producción. En las siguientes páginas se muestra el diagrama de flujo que sigue el SC para el muestreo secuencial de las estaciones y para la ejecución de tareas.

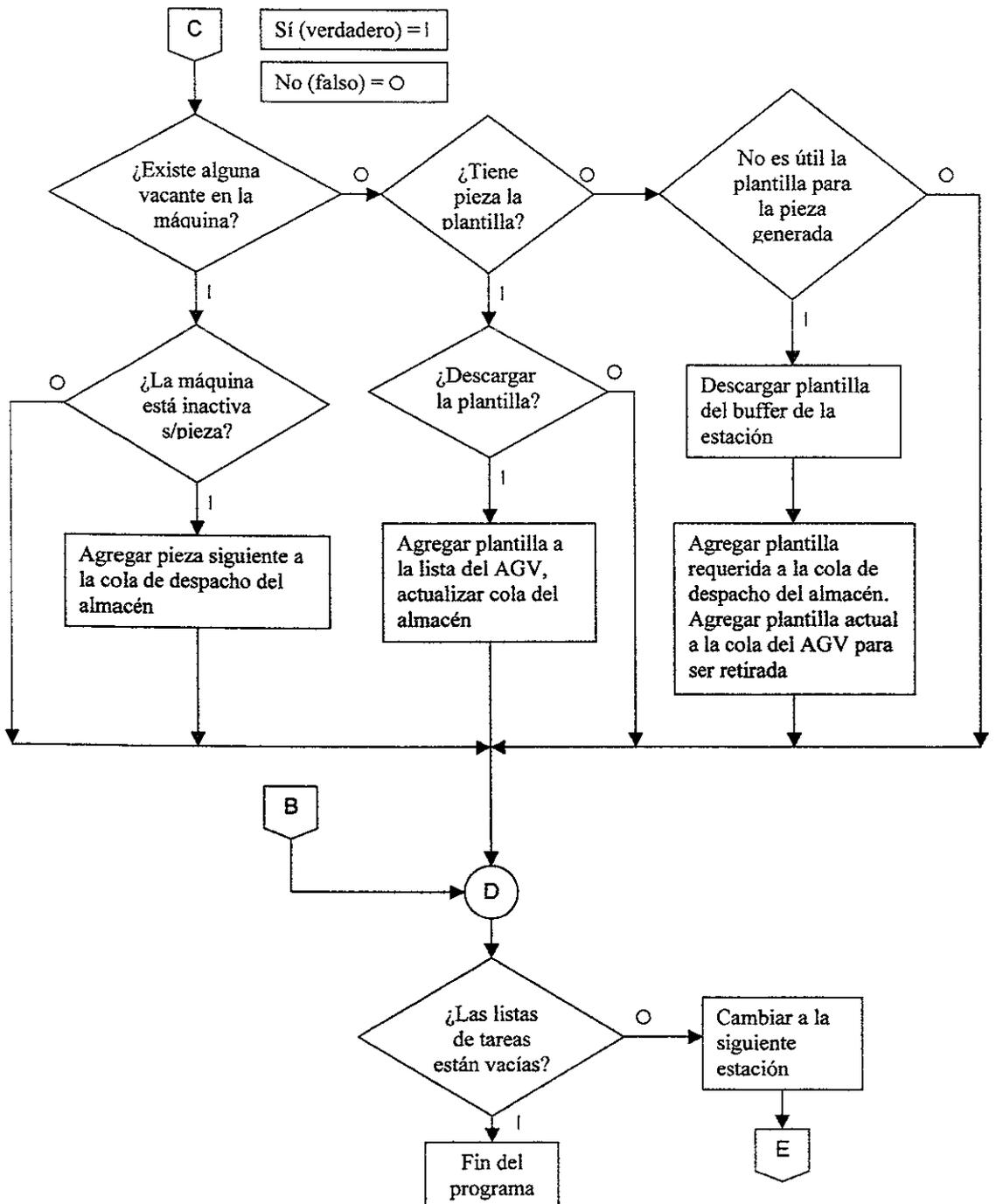
3.5 Diagrama de flujo del Algoritmo de Control



Sí = 1

No = 0





Capítulo 4

INTERFACES DE USUARIO

4.1 Descripción de las interfaces

El programa cuenta con las herramientas para la definición de la configuración física de las estaciones, así como la definición de los procesos, materiales y las partes que integrarán los órdenes de producción. (Procesos, estaciones, piezas, piezas maestras, órdenes, etc.). La interfaz también proporciona los editores ACL de programación de los controladores y manipuladores de las estaciones, así como los protocolos para la programación de las máquinas CNC. Los medios para la definición del contenido del almacén y de las plantillas para las partes también corresponden a este módulo.

El estado del SMF se presenta mediante iconos e imágenes que representan las condiciones de cada elemento del sistema. La interfaz de usuario analiza la información que ingresa al sistema y determina la validez de la misma recurriendo a un conjunto de condiciones preestablecidas en el MAD (Figura 4.1).

Definición de estaciones

La interfaz de Definición de Estaciones está destinada al ingreso de la información que describe el SMF. En este módulo se define el número de estaciones de trabajo, el código de identificación de cada estación, el número de máquinas de

cada estación, su tipo y su código de identificación. También se define el número de buffers que posee cada máquina. La información que ingresa a través de esta interfaz es almacenada en un archivo de acceso aleatorio que formará parte del MAD (Figura 4.2).

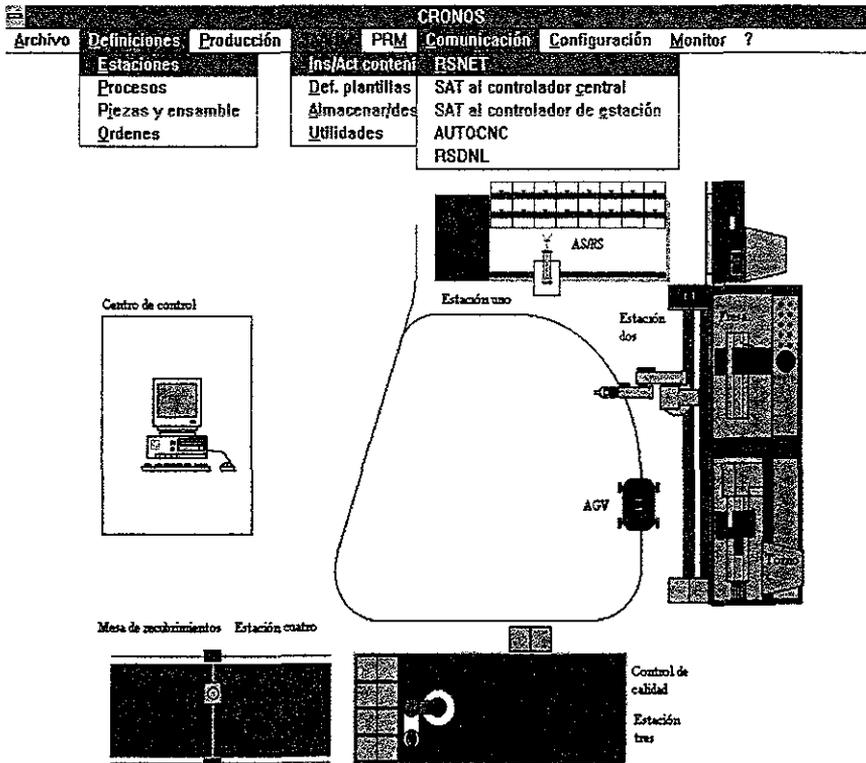


Figura 4.1 Imagen de la interfaz principal.

Definición de procesos

La interfaz de Definición de Procesos permite al usuario definir todos los procesos que serán realizados por el sistema. Los datos que describen un proceso son un código de identificación, número de subprocessos, tiempo estimado de

duración, archivos de programas CNC asociados a éste, y los códigos de la estación y de la máquina en la que será realizado. Al igual que la interfaz anterior, los datos que ingresen mediante esta interfaz serán almacenados en un archivo de acceso aleatorio (Figura 4.3).

Definición de estación - FMS.EST

Número de estaciones: 4

Estaciones

Estación: EST02.ma

Nombre de la estación: Centro de Maquinado

Número de máquinas: 02

Máquinas

Máquina: MAQ01.fr

Nombre de la máquina: Fresadora emco f1-cnc

Tipo de máquina: Fresadora CNC

Figura 4.2 Interfaz de definición de estación.

Definición de pieza y ensamble

Esta ventana tiene como objetivo definir el código de las piezas, el proceso de manufactura que tienen asociado, la estación fuente (estación de donde parte la pieza) y la estación destino (estación a la que será llevada para el siguiente proceso). También se permite al usuario introducir la información extra para la pieza como es el nombre, el material y el tipo de pieza - materia prima, material en proceso,

producto terminado o producto final-.

Definición de procesos - FMS.PRC

Archivo de estaciones: FMS.EST

Procesos

Código de proceso: prc01a

Nombre: Proceso #1 para alfil

Programa CNC: cnc01a.lat

Subprocesos: Sí No Número de subprocesos:

Subprocesos

Subproceso #

Nombre:

Programa CNC:

Tiempo estimado:

Estación

Estación: EST02.ma Nombre: Centro de Maquinado

Máquina: MAQ02.tr Nombre: Torno emco pc turn 50

Tiempo estimado de proceso: 00:10

Figura 4.3 Interfaz de definición de procesos.

La interfaz necesita de un archivo de procesos en donde previamente se ha guardado una lista de procesos que el usuario definió en la interfaz correspondiente. A su vez este archivo de procesos tiene asociado el archivo de estaciones que corresponde al sistema.

Esta ventana contiene un programa que crea un archivo con toda la información

que el usuario introdujo en la interfaz, el cual a su vez servirá para definir otros archivos permitiendo correr la producción completa (Figura 4.4).

Definición de Pieza y Ensamble

Código de pieza:

Nombre:

Material:

Tipo de pieza:

Piezas en [ajedrez.piz]

- CabFrN - Caballo Fresado Negro
- CabRecN - Caballo Recubierto
- CabToB - Caballo Torneado Blanco
- CabToN - Caballo Torneado Negro**
- PeonBrB - Peon en Bruto Blanco
- PeonBrN - Peon en Bruto Negro

Procesos en [fms.prc]

- prc01p
- prc04c
- prc01rec
- prc01t
- prc02t
- prc03t

Estaciones en [fms.est]

Estación fuente: Nombre:

Estación destino: Nombre:

Proceso:

Figura 4.4 Interfaz de definición de pieza y ensamble.

Definición de pieza maestra

En esta ventana se permitirá abrir un archivo de piezas, definido previamente en la ventana de Piezas y Ensamble. Aquí el usuario va a seleccionar una pieza como pieza maestra, o la pieza a la que se debe llegar al final de todos los procesos. Esta pieza tiene asociadas una serie de piezas intermedias o en proceso (que también se definen en la ventana de piezas y ensamble), cada pieza tiene asociado un proceso; por lo que la pieza maestra o final tiene varias piezas asociadas. Esta interfaz genera un archivo de piezas maestras, las cuales van a definir posteriormente una orden (Figura 4.5).

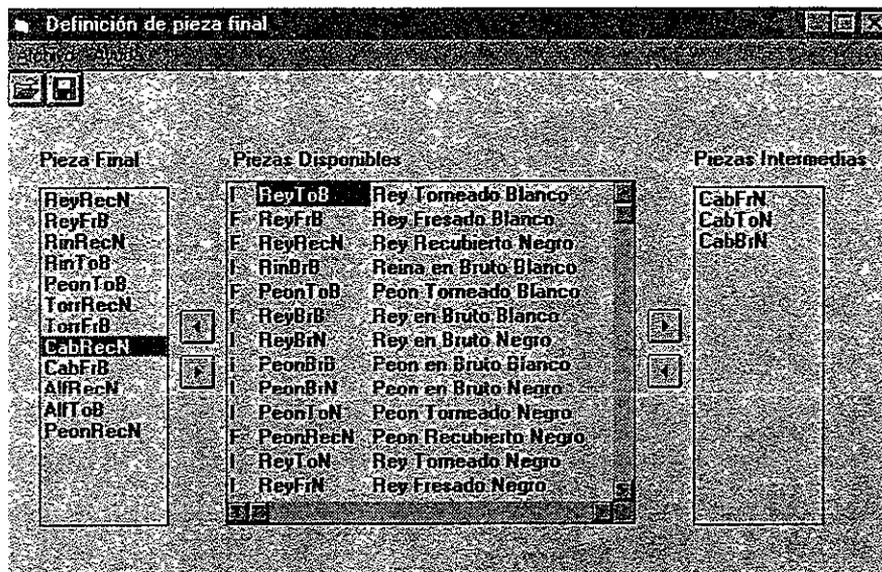


Figura 4.5 Interfaz de definición de pieza maestra.

Definición de órdenes

La interfaz de órdenes tiene como objetivo crear un archivo de órdenes de producción, tomando como base a un archivo de piezas maestras (piezas finales). En un archivo de órdenes se puede definir varias órdenes independientes, en cada una de estas órdenes es posible agrupar una serie de piezas maestras, asignándole a cada una de estas una cantidad por cada producto. La cantidad de productos se especifica en otra parte de la interfaz. Como parte de la ayuda en la ventana se muestran dos listas, una que contiene las órdenes definidas en el archivo y otra lista con las piezas maestras disponibles en el archivo. Además, como datos extra proporcionados por el usuario se introducen la fecha, la prioridad del pedido y algunos iconos de ayuda (Figura 4.6).

Captura de Orden

Orden #

Fecha de la orden (dd-mm-aa)

Fecha de despacho

Prioridad

Número de productos

Ordnes en [ajedrez.ord]

Piezas mst en [ajedrez.mst]

Código Pieza	Cantidad	Nombre Pieza	Material
AlfRecN	2	Alfil Recubierto Negro	Aluminio
AlfToB	2	Alfil Torneado Blanco	Aluminio
TorRecN	2	Torre Recubierta Negra	Aluminio
TorFrB	2	Torre Fresada Blanca	Aluminio
CabRecN	2	Caballo Recubierto Negro	Aluminio
CabFrB	2	Caballo Fresado Blanco	Aluminio
PeonRecN	8	Peon Recubierto Negro	Aluminio
PeonToB	8	Peon Torneado Blanco	Aluminio

Figura 4.6 Interfaz de definición de órdenes.

Definición de plantilla

Esta ventana es muy importante porque aquí se define el código de una plantilla y su nombre; en esta plantilla se podrá depositar algunas piezas definidas por el usuario, las cuales se muestran claramente en la interfaz, así como la pieza que está activa. En esta ventana se puede editar, agregar y borrar las diferentes piezas de la plantilla y definir todas las plantillas con que cuenta el sistema.

La finalidad de la interfaz es generar un archivo con todas las plantillas disponibles en el sistema y el código de las piezas que puede albergar cada plantilla. Esto sirve como base para generar la lista de posiciones (Figura 4.7).

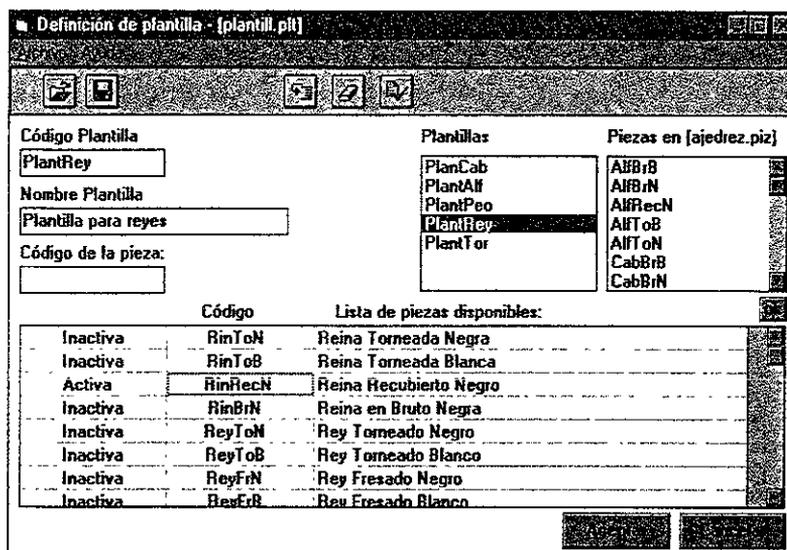


Figura 4.7 Interfaz de definición de plantilla.

Inspección y Actualización de Contenidos

La interfaz de Inspección y Actualización de Contenidos es empleada para configurar el almacén automatizado. Aquí se define el contenido de todas las casillas del almacén, indicando si está vacía o contiene alguna plantilla. Si la casilla contiene una plantilla ésta deberá tener asociado el código correspondiente. La interfaz presenta la información definida mediante un esquema simplificado (bidimensional) que muestra el contenido de todas las casillas, cada casilla mostrará su estado a través de iconos que se actualizarán conforme el SC modifique la posición de plantillas o piezas (Figura 4.8).

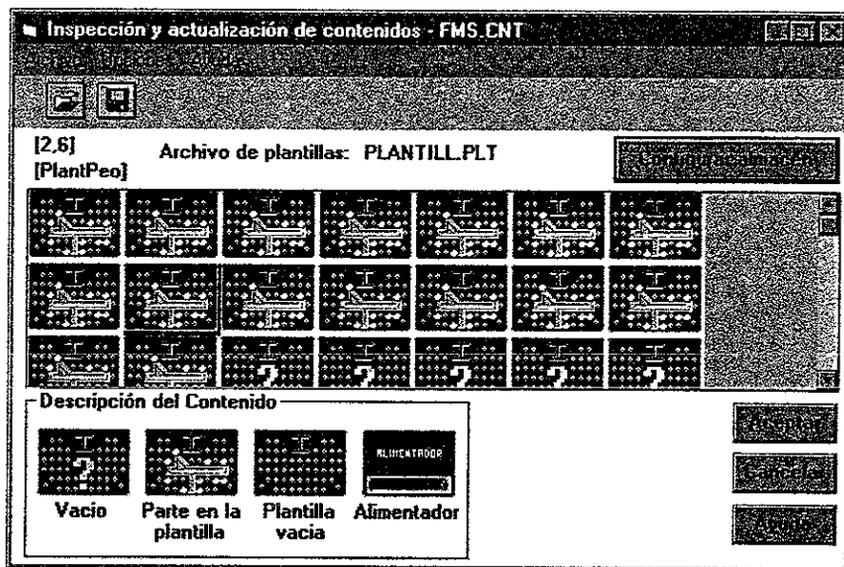


Figura 4.8 Interfaz de Inspección y actualización de contenidos.

Editor de programas CNC

Desgraciadamente, las máquinas de control numérico con las que cuenta el sistema no tienen una herramienta para editar ni transmitir los programas desde una computadora, sino que todo los programas se deben cargar manualmente en la máquina o de un respaldo del programa cargado en cinta magnética. Por esto se creó una ventana donde el usuario tiene una imagen muy similar a la que presenta la máquina físicamente, lo que le facilita la edición de los programas NC, los cuales podrá respaldar en archivos. Dentro de las ventajas que representa para los usuarios esta ventana están la sencillez de la interfaz, una verificación de sintaxis y un post-procesamiento del programa para permitir cambios automáticos de herramienta en la fresadora F-1(Figura 4.9).

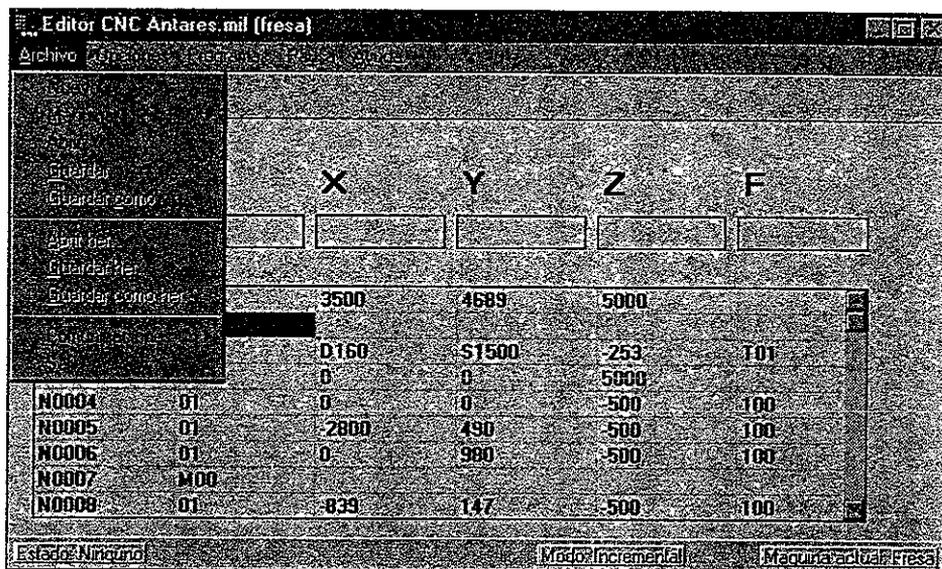


Figura 4.9 Interfaz para la edición de programas de control numérico (Editor CNC).

Interfaz para la comunicación y programación de los controladores ACL (Monitor)

Para la realización de esta ventana se tomó como base el programa comercial de control de los controladores ACL [16], con una estructura en la interfaz muy similar. El principal problema que presenta el programa comercial es que está diseñado para correr sobre DOS, lo cual lo hace incompatible con el programa de control diseñado para el SMF. Por otro lado, el paquete desarrollado incorpora varias mejoras, principalmente la amabilidad que proporciona el ambiente Windows.

La interfaz de los controladores ACL permite el respaldo y la restauración selectiva de programas, parámetros y variables, cuenta con iconos de los comandos más usados en una barra de herramientas. También dentro de sus menús existe la opción de comunicarse con cualquier controlador del sistema de una manera fácil y

rápida, lo que no se tenía con el otro programa. Además, permite el acceso aleatorio a los últimos 20 comandos ejecutados. En esta ventana el usuario tiene acceso al controlador, puede crear sus programas de los movimientos del robot, modificar los valores de los parámetros y posiciones de los robots, etc. (Figura 4.10).

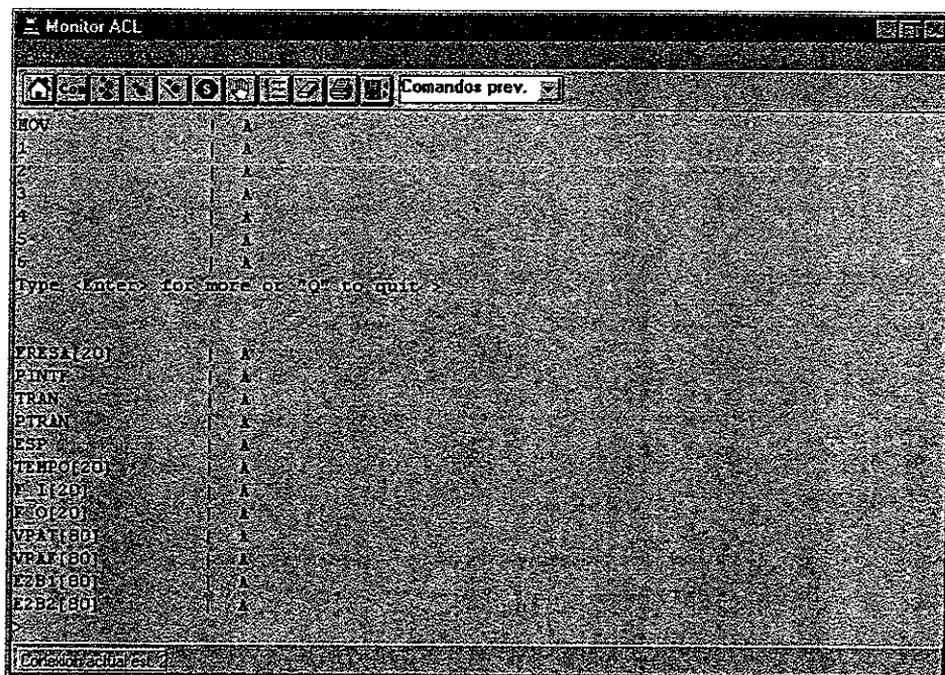


Figura 4.10 Interfaz para la comunicación con los controladores ACL (Monitor).

Interfaz para la asociación de posiciones del robot para la sujeción de las piezas

En esta ventana se debe abrir un archivo de piezas para definir la posición final en la que los manipuladores deberán tomar cada una de estas. A cada pieza se debe asignar un índice en el vector de posiciones del manipulador, el cual está definido en la memoria del controlador ACL correspondiente. Cabe mencionar que es posible

seleccionar un mismo índice para varias piezas del robot, estas posiciones están asociadas a cada buffer en las diferentes estaciones del sistema. El almacenamiento de estas posiciones debe hacerse con las posiciones físicas del robot, para que el SC sepa de qué manera se deben tomar las piezas, debido a la modificación de su forma que se sufren en cada proceso de maquinado.

Correr producción

En esta ventana se permite abrir un archivo de ordenes. Cuenta con una ventana en donde se pueden ver las diferentes ordenes grabadas en el archivo. Aquí se puede escoger si se quiere comenzar a correr la totalidad de la producción o solamente algunas ordenes seleccionadas. Cuenta también con varias listas en donde se muestra las piezas que están en espera de ser maquinadas (Figura 4.12).

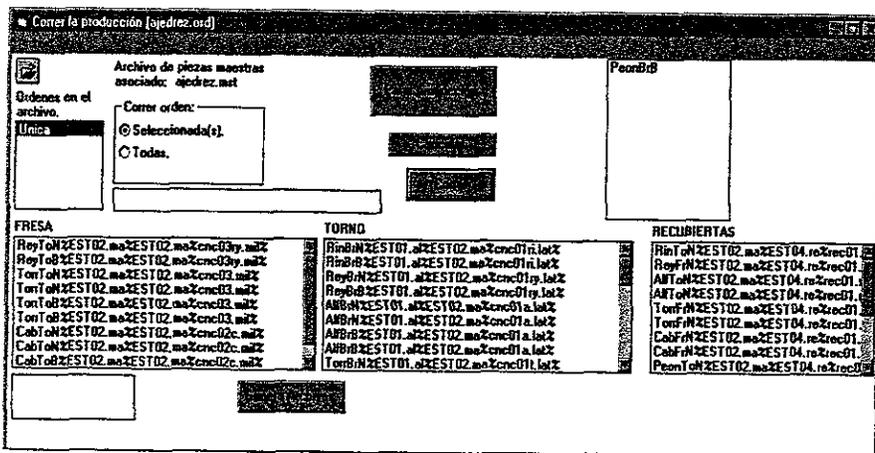


Figura 4.12 Interfaz para correr la producción.

4.2 Secuencia de Programación del Sistema

Una pieza es un objeto individual que es producido por el sistema de manufactura. Cada parte tendrá varios atributos administrativos algunos de estos incluyen el tipo de parte, el número de parte, su fecha de entrega, consumidor, etc. Y también debe tener atributos técnicos los cuales deben describir la pieza y definir las operaciones de manufactura requeridas. Los atributos técnicos son usados para crear los planes de proceso para la pieza. Los planes de proceso dan las instrucciones necesarias para producir la parte.

Definición de las características de las estaciones que integran el SMF. Para que el sistema de control pueda llevar a cabo su función es necesario que el usuario proporcione las características de las estaciones que componen el SMF. Los datos más relevantes son el código de identificación de cada estación, los códigos de identificación de cada máquina o dispositivo automatizado y su tipo, y el número de buffers que tiene cada estación. La definición de las características de las estaciones se realiza en la interfaz de *Definición de Estación*.

Edición de programas de control para dispositivos automatizados. Los programas de control para dispositivos automatizados constituyen una parte fundamental para el funcionamiento del SMF. Estos programas pueden ser programas para una máquina CNC o programas para cualquier otro dispositivo (ej. mesa de coordenadas) y servirán para dar instrucciones a los controladores del nivel más bajo dentro de la jerarquía del SC. El correcto funcionamiento de estos dispositivos, y por lo tanto el desempeño del SMF, depende de la edición y depuración de estos programas.

Definición de procesos de fabricación. La definición de los procesos de

fabricación proporciona al sistema de control toda la información requerida para elaborar un producto. Dependiendo de la complejidad de los procesos éstos pueden dividirse en pequeños procesos (subprocesos) que desempeñen una tarea de menor complejidad. Cada proceso y subproceso tiene asociado un código de identificación y un archivo que contiene el programa que será ejecutado por alguno de los dispositivos del sistema. Para la definición de estos datos se emplea la interfaz de *Definición de Procesos* en la que también se indica la estación y la máquina en donde se ejecutarán los procesos.

Definición de piezas. Las piezas que serán procesadas por el SMF deben ser identificadas por un código único, dependiendo del tipo de pieza y del estado en el que se encuentre (pieza en bruto, pieza intermedia o producto terminado). Para que cada pieza sea procesada en forma adecuada debe estar asociada a algún proceso definido anteriormente. Además, es necesario indicar la estación de donde parte inicialmente cada una de estas (estación fuente) y la estación en la que posteriormente será procesada (estación destino). El sistema de control emplea la interfaz denominada *Definición de Piezas y Ensamble* para recibir toda esta información.

Definición de piezas maestras. Para establecer la secuencia de procesamiento es necesario determinar las piezas que serán consideradas como producto terminado, dichas piezas son consideradas como piezas maestras. Cada pieza maestra tendrá asociado un conjunto de piezas intermedias que será ordenado de acuerdo a la secuencia en la que serán procesadas dentro del SMF, de tal forma que finalmente se obtenga el producto deseado. Las piezas maestras se definen en la interfaz *Definición de Piezas Maestras*.

Definición de órdenes de producción. Para iniciar la fabricación de un producto

el sistema de control requiere que sean definidos los productos terminados y el número de éstos que se desea fabricar (piezas maestras), además de la información descrita en los incisos anteriores. La interfaz denominada *Definición de Orden* permite al usuario indicar esta información.

Definición de plantillas. Las plantillas deben ser identificadas con un código que está asociado al tipo o tipos de pieza que ésta puede almacenar para su transportación dentro del SMF. Cada una de las plantillas tiene asociado el conjunto de piezas que puede albergar, de las cuales solo la pieza que se encuentra actualmente en ella será considerada como *pieza activa*.

Definición del contenido del almacén. En la interfaz de *Inspección y Actualización de Contenidos* se lleva el registro de la ubicación de las plantillas dentro del AS/RS. En este módulo del programa se define el contenido de todas las casillas del almacén (casilla vacía, casilla con plantilla o con plantilla y pieza). A cada posición del almacén se debe asociar el código de identificación de las plantillas que estén contenidas en éste.

Asociación de posiciones de los manipuladores. Los controladores de los robots de las estaciones necesitan conocer las posiciones en las que deben colocar el órgano terminal para sujetar correctamente las diferentes piezas y plantillas que serán manipuladas dentro del SMF. Cada buffer dentro del SMF tiene asociado un vector de posiciones que podrá ser configurado por el usuario para adaptar la trayectoria del manipulador a las condiciones que se presenten.

Ejecución la producción. Una vez que el SC ha recibido la información descrita anteriormente, el usuario debe seleccionar la orden u ordenes de producción que

desea ejecutar e indicar al sistema de control que inicie el procesamiento de estas órdenes. Cuando se inicia el procesamiento de una orden de producción el sistema establece la comunicación con las máquinas y demás dispositivos que se encuentran en las estaciones de trabajo con el objeto de transmitir toda la información que requieran para llevar a cabo las tareas que le son asignadas.

Monitoreo. El SC reporta las condiciones en las que se encuentran los dispositivos del SMF a través de las interfaces gráficas y módulos de programa diseñados para este propósito. Entre estos módulos también se encuentra el de recuperación de errores, que se encarga del monitoreo de las máquinas y robots del sistema.

4.3 Ejemplo de la Producción de un Conjunto de Piezas

El propósito de este ejemplo es mostrar, de forma simplificada, el procedimiento que debe seguirse para producir un grupo de piezas de ajedrez. También se describen los procesos internos que el SC realiza para el procesamiento de la información definida por el usuario. Para este ejemplo se considera la producción de cuatro piezas diferentes: rey negro, rey blanco y sus respectivas reinas. Siguiendo la secuencia de programación del sistema se tienen los siguientes pasos:

Paso uno: Definición de las características físicas del sistema, que en este caso corresponden al SMF en estudio; para el cual ya se cuenta con un archivo definido con todos sus elementos.

Paso dos: Para la producción de estas piezas sólo son necesarios tres programas

CNC, dos para el torno y uno para la fresadora. Estos programas se crearon empleando la interfaz de edición de programas CNC desarrollada para este fin. Para proporcionar el color de las piezas se empleará un proceso de recubrimiento electrofítico, creando un archivo de ejecución especial para esta máquina. Para los propósitos de este ejemplo se considera que los programas se encuentran definidos en los archivos siguientes:

- REYTRN.LAT (torneado del rey).
- REINATR.N.LAT (torneado de la reina).
- REYFRS.MIL (fresado del rey).
- RECUBR.REC (recubrimiento).

Los archivos están definidos de acuerdo al formato necesario para cada dispositivo.

Paso tres: Definir los procesos de fabricación; debido a la simplicidad de las piezas en el ejemplo no es necesario la utilización de subprocesos, así pues, se generó un archivo de procesos que contiene la información siguiente:

Código de pieza	Archivo CNC asociado	Estación de proceso	Máquina
Reytrn	Reytrn.lat	Est2	C-5
Reinatrn	Reinatrn.lat	Est2	C-5
Reyfrs	Reyfrs.mil	Est2	F-1
recubr	Recubr.rec	Est4	Mesa de Coordenadas

Tabla 4.1 Procesos.

Paso cuatro: En este momento se realiza la definición de piezas. Aquí deben considerarse todos los procesos necesarios para obtener las piezas finales. Para lograr una pieza final o maestra se requiere asociar, de alguna manera, una serie de procesos

a la pieza final. La manera en que el sistema asocia estos procesos a la pieza maestra es por medio de agrupar una serie de piezas intermedias con un procesos individual a realizar sobre cada una de éstas. Dado esta secuencia de procesamiento es necesario definir la secuencia total de una pieza, independientemente de que algunas piezas intermedias de dos piezas finales diferentes sean físicamente iguales. Esto es porque cada pieza tiene asociado el proceso de manufactura siguiente, el cual es diferente para cada pieza final, además cada pieza tiene asociada una estación destino, la cual en caso de que sea una pieza final, es el almacén donde concluye el proceso sobre esa pieza. Por esto, las piezas finales no pueden ser piezas intermedias de otras piezas finales. Por ejemplo, para este caso todas las piezas finales parten de una misma pieza en bruto, sin embargo es necesario asociar el proceso inicial para cada pieza en bruto (que como sabemos es diferente para las diferentes piezas finales) y seguir sobre la serie de piezas intermedias asociadas a ésta, hasta llegar a las pieza finales. Si hablamos del rey negro, éste sólo difiere del rey blanco en el último proceso (que es el de recubrimiento electrolítico); pero es necesario asociarle todas sus piezas intermedias, ya que si el sistema procesara el rey negro basándose en el rey blanco (considerando al rey blanco como pieza intermedia del rey negro), el sistema terminaría la ejecución en el rey blanco. De acuerdo con lo anterior las piezas necesarias para la fabricación de las piezas finales del ejemplo quedan mostradas como sigue:

Código de pieza	Nombre de la pieza
Reybrbl	Rey en bruto blanco
Reybrne	Rey en bruto negro
Reinbrbl	Reina en bruto blanca
Reinbrne	Reina en bruto negra
Reytrbl	Rey torneado blanco
Reytrne	Rey torneado negro
Reintrbl	Reina torneada blanca
Reintrne	Reina torneada negra

Reyfrbl	Rey fresado blanco
Reyfrne	Rey fresado negro
Reyrene	Rey recubierto negro
Reinrene	Reina recubierta negra

Tabla 4.2 Códigos de las piezas a procesarse.

Paso cinco: En este paso se emplea la interfaz para crear las piezas maestras; aquí se definen las piezas maestras o finales y se les asocian a cada una las piezas intermedias que tienen los procesos necesarios.

Pieza Maestra	Rey fresado blanco (Reyfrbl)	Rey recubierto negro (Reyrene)	Reina torneada blanca (Reintrbl)	Reina recubierta negra (Reinrene)
Piezas Asociadas	Rey torneado blanco (Reytrbl) Rey en bruto blanco (Reybrbl)	Rey fresado negro (Reyfrne) Rey torneado negro (Reytrne) Rey en bruto negro (Reybrne)	Reina en bruto blanca (reinbrbl)	Reina torneada negra (reintrne) Reina en bruto negra (reinbrne)

Tabla 4.3 Piezas maestras y sus piezas asociadas.

Paso seis: Una vez definidas las piezas maestras es posible formar la orden de producción que contiene las piezas finales, su cantidad (por producto) y el número de productos fabricar.

Orden	Código de piezas	Nombre de las piezas.	Cantidad.
Piezas	Reyfrbl	Rey fresado	1
	Reyrene	blanco.	1
	Reintrbl	Rey recubierto	1
	Reinren	negro	1
		Reina torneada blanca Reina recubierta negra	
Núm. Productos: 1			

Tabla 4.4 Ordenes.

Paso siete: En este paso se definen las plantillas que albergarán las piezas a través del sistema, para el ejemplo se requieren sólo tres tipos de plantilla, la primera contendrá todas las piezas en bruto, la segunda contendrá tanto los reyes como las reinas torneadas y la reina recubierta, y la tercer plantilla contendrá al rey fresado y al rey recubierto.

Código de plantillas.	Plt1 (tipo 1)	Plt2 (tipo2)	Plt3 (tipo 3)
Piezas que puede alojar	Reybrbl Reybrne Reinbrbl Reinbrne	Reytrbl Reytrne Reintrbl Reintrne Reinrene	Reyfrbl Reyfrne Reyrene
Cantidad	4	4	2

Tabla 4.5 Estructura de plantillas.

Paso ocho: Para el almacenamiento y manejo de las piezas dentro del SMF es necesario definir los contenidos del almacén, para este ejemplo se dispone de un total

de diez plantillas*:

- Cuatro plantillas con código Plt1
- Cuatro plantillas con código Plt2
- Dos plantillas con código Plt3

En este caso las plantillas ocupan las primeras diez casillas del almacén.

Paso nueve: En este paso se asocian las posiciones en las que los manipuladores tomarán las piezas para su manejo (en la interfaz correspondiente). Por simplicidad se considera que todas las piezas son tomadas por la base y por lo tanto, son asociadas todas a un mismo índice de las vectores de posiciones de los manipuladores.

Paso diez: Correr la producción. Como ya se mencionó en esta interfaz se abre un archivo de órdenes, del cual se selecciona una orden, en este caso la única existente en el archivo. Una vez seleccionada la orden, el módulo toma la primer pieza maestra del archivo de órdenes y con su código busca en el archivo de piezas maestras correspondiente las piezas intermedias asociadas a ese código. De cada una de las piezas intermedias se obtiene la estación fuente, la estación destino y el proceso o subprocesos asociados a cada una de ellas. Cuando se trata de un sólo proceso, solo se obtiene el nombre del programa de control numérico asociado al proceso, verificando la extensión de éste para determinar a qué máquina corresponde; cuando existen subprocesos asociados a la pieza es necesario ordenarlos para que sean ejecutados de manera correcta. Una vez hecho esto se arma un código (cadena de caracteres) con los datos anteriores en donde se tiene: código de pieza, estación fuente, estación destino y el nombre o nombres de los archivos de los archivos CNC, este código se coloca en la lista de actividades de la máquina correspondiente.

El proceso anterior se repite hasta concluir con todas las piezas maestras que

* Ver tabla 4.5

conforman la orden. De esta manera se generan todas las listas de actividades de las máquinas, en este ejemplo no se considera que las piezas pasen por un proceso de control de calidad, por lo que esa máquina no tiene una lista vacía de actividades, sólo el torno (C-5), la fresa (F-1) y la mesa de recubrimientos electrolíticos tendrán asociada una lista de tareas.

Máquina	Fresa (F-1)	Torno (C-5)	Mesa de recub.
Lista de piezas a maquinar	Reytrne Reytrbl	Reybrbl Reybrne Reinbrbl Reinbrne	Reinrene Reyrene

Tabla 4.6 Listas de tareas de las máquinas (sólo se muestra los códigos de las piezas).

Posteriormente se inicia la secuencia de arranque y secuencia de control de estaciones, descritas anteriormente (Capítulo 3). En la secuencia de inicio se genera la lista de posiciones la cual contiene el código de piezas y plantillas, y un código (cadena de caracteres) que indica su posición dentro del SMF. Cabe hacer notar que ésta es la lista inicial y su contenido va a cambiar durante la ejecución del programa.

De acuerdo con el diagrama de flujo del SC se revisa si el AGV está en el almacén, y debido a que la lista de tareas del AGV está vacía, éste permanece en la estación esperando alguna orden. Dentro de la secuencia del diagrama se revisa la siguiente estación, que en este caso es la estación dos. El SC revisa si el AGV se encuentra en ésta estación, y como no es el caso, revisa el estado de las máquinas. La revisión de máquinas se realiza por turnos, primero corresponde la revisión la fresadora, y dadas las condiciones de inicio (las máquinas se encuentran inactivas sin pieza) se verifica la lista de tareas de la máquina, y como no hay piezas en el buffer de la misma, se genera el código de pedido de la pieza (en este caso el código correspondiente al rey torneado blanco). Se verifica la lista de tareas del almacén y

del AGV si este pedido ya ha sido hecho, como no es así, se agrega a la lista del almacén.

El siguiente paso es revisar la siguiente máquina dentro de la misma estación, que en este caso es el torno, siguiendo la misma secuencia que para la fresadora. En este caso se construye el código de pedido de la reina blanca en bruto y lo agrega a la lista de tareas del almacén.

Continuando con la secuencia de revisión del sistema, toca el turno a la estación tres y dado que al revisar las máquinas y sus listas de tareas se determina que no se realizará ningún proceso en esta estación, se coloca la bandera de fin de tareas por realizar en la única máquina con que cuenta esta estación. Por facilidad, en este ejemplo se considera que no hay procesos de control de calidad para esta producción tan pequeña, por lo que en lo subsecuente la estación tres se revisará pero no habrá ninguna acción que hacer sobre ella.

Al revisar la estación cuatro, se sigue la secuencia de revisión de máquinas, como se describió en la estación dos. Esta estación sólo tiene una máquina que es la mesa de recubrimientos electrolíticos. La estación en este momento requiere de la reina torneada negra, la cual físicamente no existe, pero al verificar el código de la pieza se ve que la estación fuente no es el almacén, por lo que no se genera ningún pedido, ya que esta pieza será enviada a la estación cuando ya exista.

Al verificar por segunda vez el almacén ya existen elementos en la lista de despachos del mismo, entonces se genera el código para el AGV y se manda a ejecutar la tarea, posteriormente se actualiza la lista de posiciones.

Dado que el AGV está en camino a la estación dos, el algoritmo de control no

permite ejecutar ninguna tarea en las estaciones de trabajo, hasta que el AGV se encuentre en alguna de ellas. Cuando el AGV llega a la estación dos, el SC ejecuta el programa de carga de plantilla al buffer de la máquina dos (torno), una vez revisada la máquina uno y actualiza la lista de posiciones y la lista del AGV. Como la máquina está inactiva sin pieza, se manda ejecutar el programa del robot para cargar la pieza a la máquina y después ejecutar el programa CNC correspondiente, actualizando la lista de posiciones nuevamente. En ese mismo momento se verifica si la planilla en donde fue llevada la pieza va a ser útil para la pieza que sale del proceso de maquinado, como en este caso la plantilla no es útil se ejecuta el programa del robot para quitar la plantilla actual y colocarla en el AGV, generando dos códigos, el de entrega de esta plantilla al almacén y el de pedido de la nueva plantilla para colocar la pieza. Posteriormente se manda el vehículo al almacén.

El algoritmo de control no realiza ninguna acción hasta que el AGV esté en el almacén. Aunque la reina en bruto blanca que se estaba maquinando en el torno haya concluido su proceso el SC no ejecuta ninguna acción sobre la estación dos.

Cuando el AGV llega al almacén se ejecutan los programas de carga y descarga de las plantillas y es enviado nuevamente a la estación dos, en donde se carga la nueva plantilla en el buffer y, si la máquina ya terminó, se ejecuta el programa de descarga de pieza. Aquí es cuando el nombre de la pieza se actualiza a reina torneada blanca, actualizando también la lista de posiciones. Se genera el código de la siguiente pieza y se agrega a la lista del almacén.

Posteriormente la plantilla con la pieza terminada es descargada y mandada al almacén, en donde se guardará y se despachará la siguiente pieza, que en este caso es la reina en bruto negra.

Todo el procedimiento anterior será repetido hasta obtener la reina torneada negra, la cual en vez de ser mandada al almacén es mandada a la estación cuatro (recubrimientos electrolíticos), esperando a que se acumulen al menos cuatro piezas o la totalidad de las piezas a recubrir, por lo cual la estación de recubrimientos quedara en estado de espera.

El siguiente paso es atender a la estación dos que en este momento está requiriendo el rey en bruto blanco, para el cual ya se realizó previamente el cambio de plantilla, como se describió anteriormente. Siguiendo la secuencia de revisión de las estaciones, cuando termina el proceso de torneado se coloca la pieza en su plantilla del buffer de la máquina dos en el buffer de la máquina uno (fresadora), que la está esperando. En este momento se requiere de un nuevo cambio de plantilla, para colocar al rey fresado blanco, cuyo destino será el almacén. Para el rey negro se sigue el mismo procedimiento, salvo que en lugar de mandarlo al almacén se manda a la estación cuatro. En donde se comienza con el proceso de recubrimientos tanto para la reina torneada negra como para el rey fresado negro; finalizado su tarea se mandan ambas piezas al almacén, con lo que concluye la producción.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO

5.1 Conclusiones

Aunque el sistema aún se encuentra en la etapa de prueba y todavía no han sido integrados algunos equipos, es posible señalar lo siguiente:

1. La implementación de un sistema de control jerarquizado constituye una opción eficiente para la integración de los dispositivos del SMF. De esta forma es posible designar a una sola computadora como la responsable del control global del sistema, disminuyendo así los costos de instalación.

2. La estructura modular del software desarrollado incrementa la flexibilidad del SMF, permitiendo agregar o quitar componentes físicos de distintos proveedores, sin necesidad de modificar sensiblemente el programa. Además, distribuyendo los módulos del programa en distintos microprocesadores se agiliza el control y la supervisión de los procesos en el ámbito local.

3. Con la infraestructura de comunicación desarrollada se logró el pleno control de la ejecución de programas tanto en máquinas CNC como en robots

manipuladores, aprovechándose de mejor manera los recursos de los controladores ACL y reduciéndose, en la medida de lo posible, los tiempos de espera en estos dispositivos.

Dentro de la estructura básica del software desarrollado se crearon las interfaces gráficas para la programación de las máquinas CNC e interfaces para la programación de los controladores ACL, que incluyen módulos individuales para la revisión de sintaxis de comandos y rutinas para el control y supervisión de los dispositivos que componen al sistema. Esto permitió la integración de todos los dispositivos bajo el control de una sola computadora reduciendo el costo de instalación del sistema.

Resumiendo, las ventajas que se obtuvieron con el nuevo sistema son las siguientes:

- Las interfaces con las máquinas y controladores son más amigables, facilitando la operación del sistema.
- La creación de los mecanismos para el control de flujo garantiza la integridad de la información que es transferida entre los diversos dispositivos del sistema.
- El módulo de comunicaciones es capaz de detectar y recuperar errores de protección contra impacto en robots evitando la interrupción de la producción del sistema.
- La interfaz de programación de máquinas CNC incorpora rutinas para la verificación de comandos y sintaxis, además de permitir al usuario la transmisión y recepción de programas, así como la ejecución de los mismos.
- El post-procesamiento de programas NC permite efectuar cambios automáticos de herramientas en la fresadora F-1, que no posee un mecanismo

para este fin.

- La interfaz de los controladores ACL permite el respaldo y la restauración selectiva de programas, parámetros y variables. Además, permite el acceso a los últimos 20 comandos ejecutados.
- El sistema presenta un módulo de ayuda en línea.

Desventajas del Software comercial	Características del Software desarrollado
<ul style="list-style-type: none"> • Los programas NO tienen interfaces gráficas amigables. • NO tiene un control de flujo de datos. • NO permiten detectar y recuperar errores de impacto de robots. • NO existe un editor de programas CNC. • NO permite cambios de herramienta automáticos. • NO se permite la restauración y respaldo selectivo de programas, parámetros ni variables de los controladores ACL. • NO hay acceso a los últimos comandos introducidos. • Trabaja únicamente con banda transportadora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaces gráficas en ambiente Windows. • Mecanismos para el control de flujo en la transferencia de datos. • Módulo único de comunicaciones. • Módulo de recuperación de errores. • Verificación de comandos y sintaxis en la programación de máquinas CNC. • Post-procesamiento de programas NC que permite efectuar cambios automáticos de herramientas. • Respaldo y la restauración selectiva de programas, parámetros y variables de los controladores ACL. • Acceso a los últimos 20 comandos ejecutados en controladores ACL. • El sistema presenta un módulo de ayuda en línea.

Tabla 5.1 Comparación de las características del software desarrollado y el software comercial.

Con este proyecto se espera contar con un software confiable y robusto que facilite la integración de otros proyectos desarrollados en un Sistema de Manufactura Flexible, la reducción de los tiempos de edición de los programas de control numérico y de los manipuladores, una mayor claridad para los usuarios no

expertos en el ámbito educativo y en la industria. El programa es compatible y puede ser exportado a otros sistemas debido a la disponibilidad del código fuente.

Queda de manifiesto que a pesar de la complejidad que involucra el diseño y la fabricación de un sistema de manufactura flexible, se ha podido desarrollar uno a partir de los trabajos e iniciativa de profesores y alumnos de la FI-UNAM. Una ventaja que se tiene al diseñar el programa de control es que es posible adaptarlo a los requerimientos de la celda, por lo que es posible mejorarlo en base a las experiencia que se tenga en la práctica. Al integrar al sistema elementos como el AGV, el almacén automático y la mesa de recubrimientos electrolíticos, que fueron diseñados y construidos por alumnos y profesores, se reducen en gran medida los costos del equipo; sin mencionar el desarrollo tecnológico que esto implica. Por otro lado, la calidad en la formación de un ingeniero en el área se incrementa notablemente con respecto al uso de otros sistemas didácticos comerciales por el hecho de hacer visibles los errores que cometen los alumnos durante la operación del sistema. Evidentemente todas las experiencias recopiladas en este trabajo pueden ser extrapoladas a un sistema industrial más grande.

5.2 Mejoras Realizadas y Problemas Resueltos

5.2.1 Comunicaciones

Simplificación de la red de comunicaciones

Como se mencionó anteriormente, la transferencia de datos entre los elementos del SMF se lleva a cabo mediante una red RS232 conmutada. A través de este arreglo se transmite cualquier tipo de información que requieran las máquinas o los dispositivos de las estaciones. La estación de control tiene acceso a cualquiera de los

dispositivos de cualquier estación, a través de los multiplexores que componen esta red. De esta forma se simplifica el cableado de los equipos y se simplifican las funciones del módulo de comunicaciones del programa de control.

En contraste, el software comercial (ER CIM) [15] utiliza tres redes diferentes: Una red RS232 punto a punto para comunicar al controlador central con los controladores de las estaciones, una red RS232 conmutada para permitir al usuario interactuar con cualquier estación o dispositivo del sistema, y una red Ethernet LAN para comunicar todas las computadoras de las estaciones que comparten la información de la base de datos del sistema. Esto además de incrementar el costo del sistema, complica el proceso de transferencia de datos a las máquinas.

Interfaz DNC

Para el control de acciones como recepción, transmisión y ejecución de programas, las máquinas poseen una interfaz de Control Numérico Directo (DNC, Direct Numerical Control) [15], esta interfaz también reporta el estado en el que se encuentra la máquina, el cual puede ser alguno de los siguientes: máquina activa, máquina activa con paro intermedio o máquina inactiva. Estas señales se transmiten a través del conector X22 de la interfaz DNC y se conectan al controlador ACL de la estación. La tabla 5.2 muestra la configuración de la interfaz DNC para las máquinas CNC del sistema (ver apéndice A, sección A.4).

Control de Flujo

El principal y único problema que se tenía con la comunicación y edición de

programas CNC es que no existía una interfaz que permitiera al usuario realizar estas tareas. Este problema fue resuelto creando la interfaz de comunicación y edición para estas máquinas de CNC. Para poder entablar la correcta comunicación entre la computadora y la máquina CNC se tuvieron que resolver diversos problemas, entre los que destacan:

- La configuración correcta de la máquina y la computadora para establecer su comunicación.
- La velocidad lenta de recepción de datos de las máquinas (300 bps), que en algunos casos provoca la pérdida de información.

La configuración correcta de las máquinas para permitir la comunicación se resolvió con ayuda de los manuales y principalmente haciendo pruebas sobre las máquinas. La implementación del control de flujo de datos es una característica de los controladores multipuertos que permite asegurar la integridad de los datos transmitidos (apéndice A, sección A.3).

5.2.2 Software

Detección de mensajes de error generados por los controladores ACL

En el SMF en estudio se tienen dos manipuladores, un SCORBOT ER-VII y un SCORA ER-14 para los cuales fue desarrollado el módulo de detección de errores que se describe en este apartado. Ambos manipuladores poseen un controlador ACL que se encarga del control y la ejecución de los programas asociados a estos robots.

Para poder implementar el sistema de detección de mensajes de error es

conveniente fue necesario implementar el control de flujo a lo largo de toda la ruta de comunicación entre el dispositivo a monitorear y la CC, esto con el fin de que los mensajes generados no se pierdan por exceder la capacidad de almacenamiento de las maquinas.

Los controladores ACL generan mensajes en respuesta inmediata al comando que se ha ejecutado, aún y cuando la tarea asociada a ese comando se complete más tarde. Una vez que se haya completado dicha tarea, el controlador no genera mensaje alguno; entonces, sólo la producción de un error durante la ejecución de una tarea específica producirá un mensaje de salida. El SC deberá entonces capturar estos mensajes asociados a errores de impacto.

Cada vez que transmite un comando para su ejecución, el SC espera la recepción de un número de caracteres igual de la respuesta que se espera del controlador, de esta manera se asegura que cualquier mensaje asociado con un error en la ejecución de un programa será separado de aquellos que el controlador da como respuesta normal a la ejecución de un comando.

Antes de pretender enviar cualquier comando nuevo al controlador, la CC debe verificar que el buffer del multiplexor correspondiente se encuentre vacío, porque si llegasen a existir caracteres en este buffer es señal de que existe un mensaje asociado a un error almacenado en el multiplexor. Así mismo, la mayor parte de las interfaces controlador-usuario **no** realizan labores de interpretación de comandos por lo que todos los mensajes asociados a errores de sintaxis son generados por el controlador de los robots, esto nos lleva a que cuando se envía un comando al controlador, este responde haciendo **eco** de todos y cada uno de los caracteres que le son enviados por el puerto de comunicaciones. Así, el SC debe, adicionalmente, retirar del buffer del controlador todos esos caracteres de eco. Por ejemplo, al enviar

el comando *run program*, el controlador responde *run program + mensaje_adicional*, por lo que no solo es necesario capturar la respuesta misma del controlador contenida en el mensaje adicional, sino que es indispensable retirar del buffer la cadena “*run program*”.

Cada vez que se manda ejecutar un programa en el controlador, se debe guardar en una variable global a todo el sistema el nombre del programa que se ha ejecutado con el fin de que en caso de ocurrir un error en la ejecución del mismo, el sistema pueda reestablecer la ejecución del programa. Los parámetros que estos programas utilizan son manejados a través de variables globales en los controladores. Así, si un programa es interrumpido por algún error, no es necesario hacer un llamado a la subrutina que lo mando ejecutar en un principio, ya que los parámetros necesarios están guardados en el controlador mismo. El diagrama de flujo de la Figura 5.1 muestra los pasos mencionados anteriormente.

Lo que si se requiere es que el SC tenga un arreglo de variables globales tipo carácter en las que se almacene el nombre del programa que se está ejecutando actualmente en cada estación. El problema se complica con algunas rutinas como la de alimentación de piezas a la máquina o cambio de herramientas en las que, debido a que los programas que activan estos módulos deben ser ejecutados en una secuencia definida, deben existir variables globales que indiquen cuál ha sido el programa que ESOS módulos han mandado ejecutar en último termino.

Detección de errores de impacto a través del monitoreo de variables internas

Asociado al funcionamiento interno de los multiplexores se encontró un inconveniente que radica en el hecho de que toda vez que se ha desconectado a un puerto específico del puerto servidor (host port) de los multiplexores, los datos que

arriben al puerto cliente se perderán, si un error se produce en un controlador pero su puerto de comunicaciones no está directamente conectado al puerto servidor del multiplexor, aún cuando se hubiese implementado el control de flujo, los datos se perderán. Entonces surge el problema de cómo hacer para detectar que un error se ha producido en el momento en el que el puerto donde se ha generado no es atendido por el SC.

El problema fue resuelto a través del hecho de que al momento de producirse un error asociado a un impacto, el flujo del programa en el controlador se detiene en el punto específico en donde se haya la “instrucción de movimiento” que causo ese error. Si se utiliza una variable contador, interna al programa dentro del controlador, es posible detectar un error, cuando después de un cierto número de revisiones sucesivas, el valor de dicha variable no se haya incrementado.

El software de control desarrollado cuenta con un módulo que permite variar el numero de veces que se permita que el valor no cambie, con el fin de evitar que el sistema reporte fallas donde no las hubo cuando el movimiento sea excesivamente lento en comparación con la velocidad con la que la CC conmuta entre estaciones.

Esta segunda idea se ilustra en el siguiente segmento de código del controlador:

.
. .
. . .

move 1

VAR = VAR +1

moved A[2]

```
VAR = VAR +1  
set x = 5* x  
movel A[1]  
VAR = VAR + 1  
.  
.  
.
```

Para este ejemplo, VAR es la variable contador que se usa para verificar el progreso del programa. Verificando el valor de esta variable y comparándola con el valor que ha tomado anteriormente se puede concluir, después de un cierto número de veces que dicha variable permanezca estática, que el progreso del programa se ha detenido y por lo tanto que ha ocurrido un error atribuible a un impacto en el robot.

Recuperación de errores

Por lo que respecta a la recuperación de los errores de impacto, esta sólo requiere por parte del administrador del sistema que active los termointerruptores manualmente para restaurar la energía a las tarjetas controladoras de los motores. Debido a que el SC ha almacenado los nombres de los programas que se han ejecutado por última vez en los controladores, el módulo de recuperación de errores sabe ya que programa debe ejecutar.

En ocasiones, la sobre carga mecánica resulta tan grande que el robot pierde su referencia por lo que es necesario ejecutar la rutina de home. El sistema desarrollado contempla esa posibilidad y se lo hace saber al usuario, cuando la posición actual del manipulador no coincide con la que se le muestra en la pantalla de la CC.

5.3 Mejoras que es posible implementar

Como en todo tipo de software siempre es posible implementar mejoras, principalmente en la robustez, seguido de las facilidades que pueden implementarse, etc. Específicamente en este sistema es posible integrar otros módulos que por ejemplo permitan un manejo dinámico del almacén, es decir que sin detener la producción se permita cargar nuevas piezas en bruto o materia prima e integrarlas a la producción sin necesidad de esperar a terminar la producción actual.

Con respecto a otras mejoras es factible implementar sistemas CAD/CAM, y llegar entonces a una manufactura integrada por computadora (CIM).

En la estación de control de calidad es posible implementar un sistema de visión que junto con el control estadístico de la producción ayude a determinar cuando es necesario el cambio o afilado de las herramientas de corte en la estación de maquinado.

Para asegurarse de la continuidad de la producción, y evitar que el sistema se detenga de manera innecesaria es posible implementar un control redundante, o sea, trabajar con una computadora de reserva que lleve todas las condiciones del sistema y que pueda entrar en cualquier momento que se presente un estado de emergencia.

Como parte de ayuda al usuario es posible presentar el estado actual del sistema en una pantalla gráfica que represente de manera simplificada las operaciones que se están llevando a cabo dentro del sistema, (operaciones de maquinado, o movimiento del AGV, movimiento de piezas en estaciones, etc.) Es decir, una simulación virtual

del estado del sistema, para que el usuario tenga una idea realmente clara del estado actual.

Sistema de visión

El sistema de visión ROBOTVISION Plus es un sistema diseñado para su integración con los robots SCORBOT ER VII. Este incluye un sistema de captura de imágenes y una computadora para el procesamiento de imágenes y almacenamiento y transferencia de información. Este sistema se conecta con una cámara monocromática RS-170 y a un monitor de vídeo RS-170 para desplegar las imágenes. Este sistema puede ser implementado para el reconocimiento de patrones aplicado al ensamble de piezas.

Apéndice A

Interfaces Eléctricas y Conexiones

A.1 Interfaz RS232

Dadas las características de todo el equipo con el que cuenta el sistema, la comunicación entre los diversos dispositivos es por medio de la interfaz estándar RS232. Cabe mencionar que la velocidad de transmisión de datos varía dependiendo del elemento con el que se quiera comunicar:

- Máquinas CNC: 300 baudios
- Controladores ACL: 19200 baudios
- Computadora Central: 19200 baudios

La velocidad de transmisión de los controladores multipuerto es configurable a través de software, y en algunos casos a través de “dip-switches” [5]. La configuración general de todos los puertos se muestra en la siguiente tabla:

Baudios	Variable
Bits por palabra	7
Bits de paro	1
Paridad	Ninguna

Tabla A.1. Configuración de la interface RS232

A.2 Conexiones entre los dispositivos

La conexión entre la computadora central (CC) y el multiplexor maestro es a través de un cable serial en donde la computadora tiene un conector DB9 (macho) y el multiplexor un conector DB25 (macho). Todos los conectores de todos los multiplexores son DB25 (macho). Los conectores de los controladores son DB-25 (macho), excepto el controlador de la estación tres, que es DB-9. Para la conexión de las máquinas CNC a través de la interfaz RS232 se emplea el conector V24* . Para la conexión de los controladores con la interfaz DNC de las máquinas se emplean las salidas y entradas del panel forntal del controlador ACL (fig. X), conectados al enchufe X22 del panel trasero de las mismas.

Computadora_Central/Com1/DB9	---	Multiplexor_principal/Hostport/DB25
>		
Mux_pirncipal/Puerto_n/DB25	--->	Multiplexor_secundario/Hostport/DB25
Mux_secundario/Puerto_n/DB25	---	Controlador/RS232/DB25 ó DB-9
>		
Mux_secundario/Puerto_n/DB25	---	MáquinaCNC/RS232/V24
>		
Controlador/Panel_In-Out/Cable	---	MáquinaCNC/Interfaz DNC/X22
>		
(Elemento a conectar/Puerto/Conector)	--->	(Elemento conectado/Puerto/Conector)

* Eshed Robotec, "Manual del Controlador ACL tipo B".

A.3 Cableado (Control de Flujo)

La implementación del control de flujo de datos es una característica de los controladores multipuertos que permite asegurar la integridad de los datos transmitidos, en las siguientes tablas se muestran las señales que utilizan los puertos.

Puerto Serial (DB-25)			
Pin	Señal	Dirección	Descripción
1	PGND	---	Tierra
2	TX	Entrada	Entrada de Datos
3	RX	Salida	Salida de Datos
4	RTS	Entrada	Disponible internamente si no hay ningún cable conectado (normalmente no se usa).
5	CTS	Salida	-12V cuando el bufer del DCE está lleno.
6	DSR	Salida	+12V cuando enciende el DCE.
7	SGND	----	Señal de tierra
20	DTR	Entrada	Habilita para transmitir cuando +12V.

Tabla A.2. Señales del puerto serial de los dispositivos del sistema (conector DB-25).

Las figuras A.1 y A.2 muestran el cableado de los puertos de los multiplexores y controladores ACL.

Puerto Serial	
Pin	Señal
1	PGND
2	TXD (Entrada serial)
3	RXD (Salida serial)
4	DTR
5	SGND
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI

Tabla A.3. Señales del puerto serial de los dispositivos del sistema (conector DB-9).

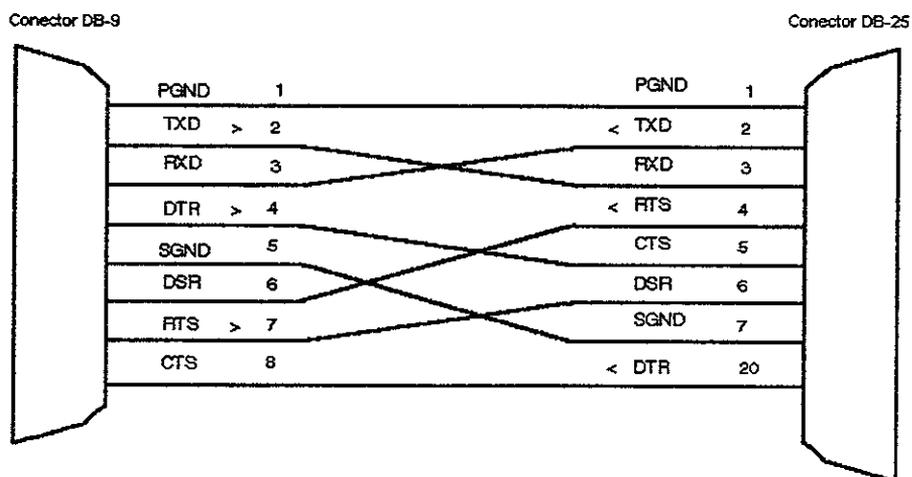


Figura A.1. Cableado computadora-multiplexor y multiplexor-controlador estación 3 (DB-9 a DB-25).

Conector DB-25

Conector DB-25

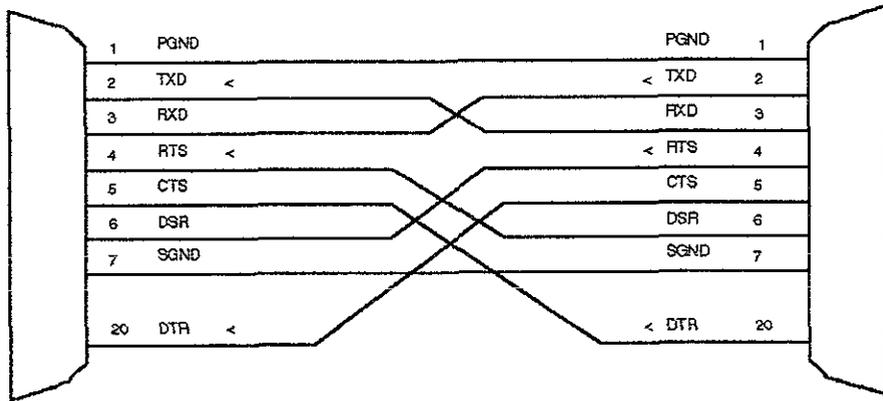


Figura A.2. Cableado multiplexor-multiplexor y multiplexor-controlador estación 1,2,4 (DB-25 a DB-25).

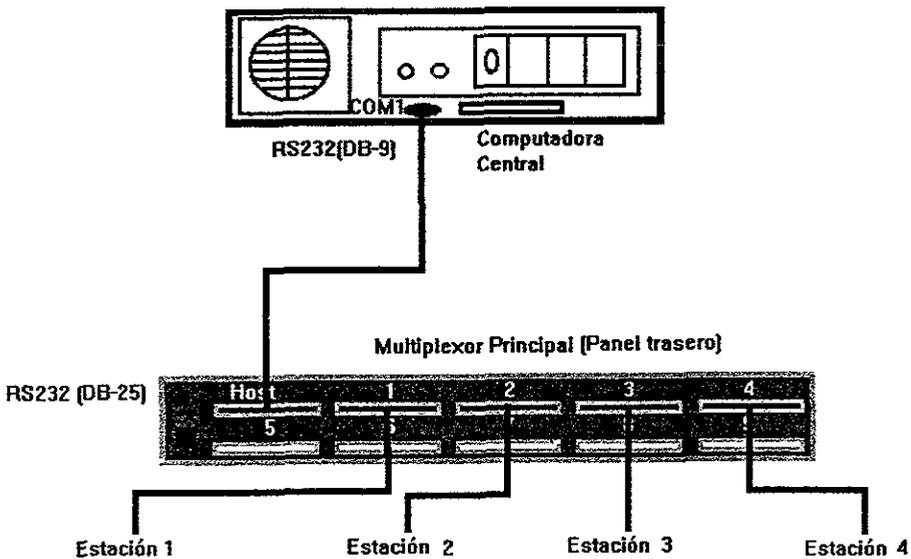


Figura A.3. Diagrama de conexión entre computadora y multiplexor centrales.

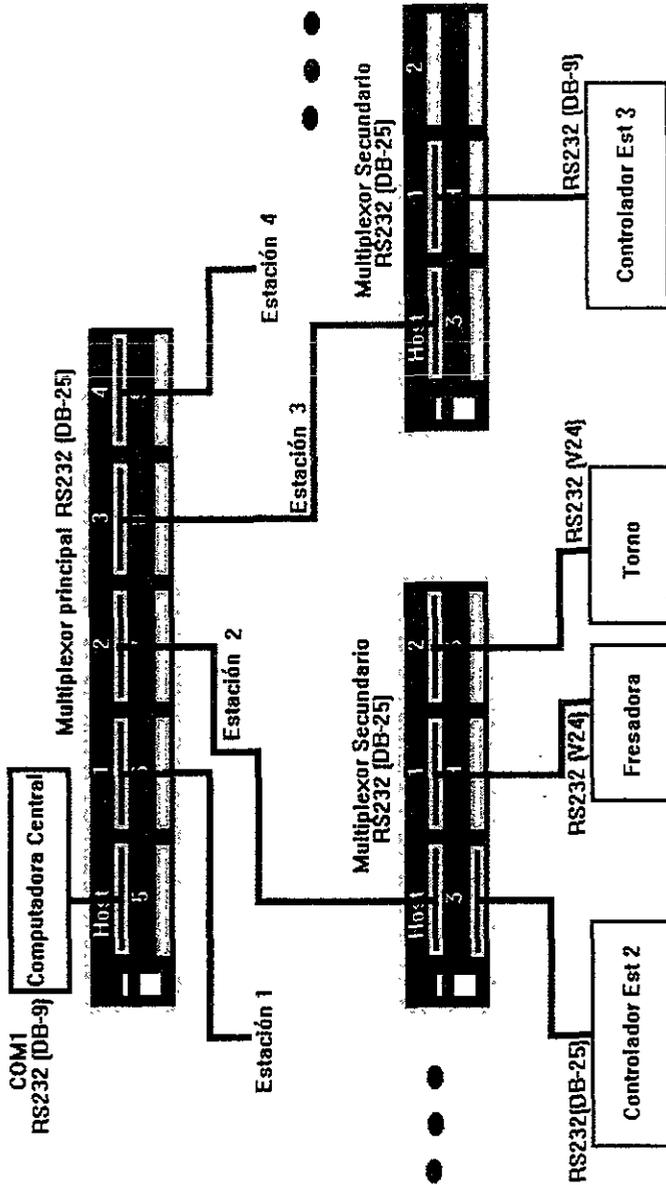


Figura A.4. Diagrama de conexiones entre el multiplexor central y los multiplexores secundarios.

A.4 Interfaz DNC

Tanto el torno como la fresadora presentan una interfaz de comunicación RS232 (conector V24) normalizada que permite conectar estas máquinas a la CC a través del multiplexor de la estación. Gracias a esto es posible introducir un programa NC en la CC y transmitirlo a la máquina y viceversa. La interfaz RS232 se utiliza únicamente para la transmisión de datos (programas NC) y está conectada directamente al multiplexor de la estación. La interfaz de estas máquinas transmite a 300 bps con 7 bits de datos, 1 bit de paro y sin paridad. Para el control de acciones de **recepción, transmisión y ejecución de programas**, las máquinas poseen una interfaz de DNC (Direct Numerical Control) [26], esta interfaz también reporta el estado en el que se encuentra la máquina.

La interfaz DNC también reporta el estado en el que se encuentra la máquina, el cual puede ser alguno de los siguientes: **máquina activa, máquina activa con paro intermedio o máquina inactiva**. Estas señales se transmiten a través del conector X22 de la interfaz DNC y se conectan al controlador ACL de la estación. Las siguientes tablas muestran la configuración de la interfaz DNC para las máquinas CNC del sistema.

	Señal			
Entradas del Controlador	1	2	3	4
Activa maquinando	L	H	L	H
Activa con parada intermedia	L	L	L	H
Inactiva	H	H	L	H
Conector X22	7B	8B	15*	6B

(a) Configuración para la fresadora F-1.

	Señal			
Entradas del Controlador	5	6	7	8
Activa maquinando	H	L	L	L
Activa con parada intermedia	H	H	L	L
Inactiva	L	L	L	L
Conector X22	7B	8B	15	6B

(b) Configuración para el torno C-5.

Tablas A.4(a) y A.4(b). Configuración y conexiones de la interfaz DNC y las entradas de los controladores ACL.

	Señal			
Salidas del Controlador	1	2	3	4
Recibir programa	H	L	L	L
Transmitir programa	L	H	L	L
Ejecutar programa	L	H	L	H
Conector X22	1B	2B	3B	4B

(a) Configuración para la fresadora F-1.

Salidas del Controlador	Señal			
	5	6	7	8
Recibir programa	H	L	L	L
Transmitir programa	L	L	L	H
Ejecutar programa	L	H	L	H
Conector X22	1B	2B	3B	4B

(b) Configuración para el torno C-5.

* Corresponde al conector X62 el cual no forma parte de la interfaz DNC (ver ref. 15, pag. C-7)

Tablas A.5(a) y A.5(b). Configuración y conexiones de la interfaz DNC y las salidas de los controladores ACL.

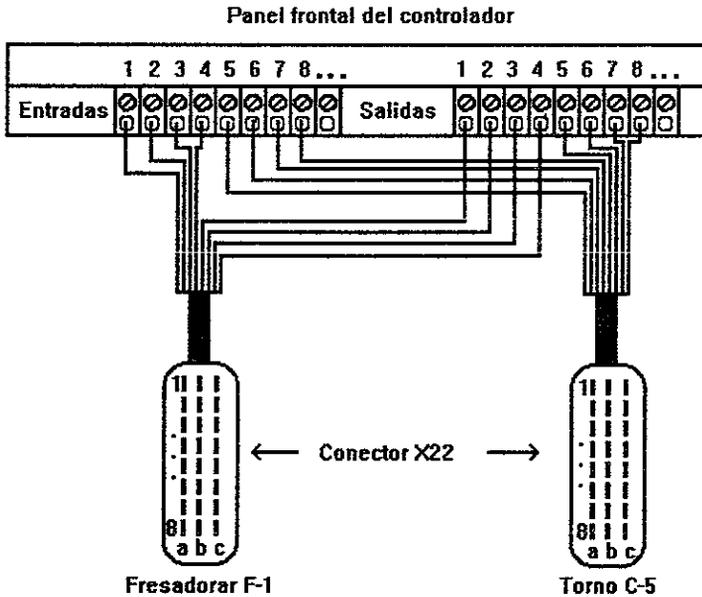


Figura A.5. Diagrama de conexiones de los controladores ACL y las interfaces DNC de las máquinas.

Apéndice B

Protocolos de Comunicación

B.1 Protocolo de las Unidades de Conexión

La comunicación entre dos puertos puede ser iniciada por cualquier dispositivo que la solicite. Sin embargo, la CC es la que controla la conexión entre los dispositivos de las estaciones. Para establecer la comunicación se requiere mandar el carácter “sign-on” (Control-T o 14 hex) seguido por el número del puerto deseado. Un mensaje “On-Line” (^M^JOn line^G^M^J) es devuelto por el multiplexor si la conexión fue exitosa. La comunicación permanece hasta que el multiplexor recibe el carácter de desconexión “sign-off” (Control-T) seguido de un retorno de carro y el mensaje devuelto es “Off-Line” (^M^JOff line^M^J). Si el puerto solicitado está ocupado, el mensaje devuelto es “Busy” (^M^JBusy, no port available^M^J).

El puerto principal de los multiplexores está habilitado para conectar cualquier par de puertos. Para establecer la conexión entre dos puertos se requiere enviar el carácter “sign-on” al puerto principal del multiplexor seguido del carácter ASCII “T” y los dos números de los puertos que se desee conectar. Para desconectar dos puertos se requiere mandar el carácter “sign-off” seguido del carácter ASCII “D” y de los dos números de los puertos.

Acción	La CC envía:	La CC recibe:
Conexión del puerto principal (Host) con otro puerto	<Ctrl+T>+<puerto>	Conexión exitosa: “^M^JOn line^G^M^J” Conexión fallida: “^M^JBussy, no port aviable^M^J”
Desconexión del puerto principal (Host) con otro puerto	<Ctrl+T>+<Return>	“^M^JOff line^M^J”
Conexión de dos puertos secundarios	<Ctrl+T>+<T>+<Puerto1>+ Puerto2>	Conexión exitosa: “^M^JOn line^G^M^J” Conexión fallida: “^M^JBussy, no port aviable^M^J”
Desconexión de dos puertos secundarios	<Ctrl+T>+<T>+<Puerto1>+ Puerto2>	“^M^JOff line^M^J”

Tabla B.1. Resumen del protocolo Computadora Central - Multiplexor.

B.2 Protocolo de los Controladores ACL

Los Controladores ACL manejan exclusivamente el código ASCII extendido. No existe un protocolo para iniciar la comunicación entre el controlador y la computadora central, en el modo monitor (el controlador tiene tres modos: monitor, editor y manual), es decir, el controlador no espera ningún carácter especial para empezar a transmitir, ni tampoco un carácter especial para iniciar la recepción, por

lo tanto la computadora central tampoco, el editor de programas ACL manda al controlador los caracteres que el usuario presiona en el teclado y da formato a los caracteres que el controlador le manda para darle presentación en la pantalla (ordena espacios, saltos de línea y retornos de carro).

Durante la transmisión, los mensajes que devuelve el controlador sólo son de carácter informativo, y el programa monitor usa esos mensajes para la detección de los errores de impacto, cuando así corresponde, o para informar al operador del sistema de las acciones que está realizando el controlador.

El controlador en modo monitor responde a través de la RS232 con un eco (echo) a todos y cada uno de los caracteres enviados salvo el carácter especial (ASCII 126) que conmuta a modo manual.

En modo manual, el controlador sólo responde con acciones a las teclas 1, 2, 3, 4, 5,(grados de libertad en sentido positivo), Q, W, E, R, T..... (para los grados de libertad en sentido negativo); X, J para conmutar entre modos Joint y XYZ. En este modo el controlador no hace eco a ningún carácter. El modo editor se activa cuando se tecléa (dentro del programa monitor) el comando "edit" con un nombre de programa válido existente o nuevo. Para que la pantalla despliegue la información congruente hay que localizar con precisión los caracteres "?:" que son el prompt de ACL el controlador, también es necesario que el programa monitor detecte las palabras "Welcome to ACL editor, type Help....." para cambiar el valor de una variable global del módulo correspondiente al programa monitor que indica en qué modo se encuentra el controlador. Cuando el usuario tecléa la palabra edit + <nombre programa> el controlador primero revisa que el programa exista, si es así aparece el mensaje de bienvenida, en caso contrario pregunta si se quiere crear uno nuevo, entonces el programa monitor identifica esa cadena y utiliza otro algoritmo

para darle formato a los datos que le manda el controlador, ya que el formato utilizado en el modo monitor es diferente al utilizado en el modo editor.

En modo manual, el programa monitor trabaja exactamente igual que en modo monitor. Para los módulos de respaldo de información si hay un protocolo ajeno a la RS232, sólo cuando se restaura la información. El respaldo se inicia con el comando "send", el controlador inicia una transferencia asíncrona de la información contenida en la memoria (caracteres ASCII) mandándola a la CC. Los separadores entre las líneas son el retorno de carro y el salto de línea, además envía un carácter 0 (ASCII 0) que debe ser eliminado del principio de cada renglón (no tiene ninguna utilidad). Para la restauración, el controlador envía el carácter ":" para indicarle a la computadora que puede enviar la siguiente línea, La restauración se inicia con el comando "receive", y no tiene modificadores. Durante todo el proceso de restauración, el controlador manda mensajes que no forman parte del protocolo, pero que son de importancia ya que informan de las alarmas o errores que ocurren durante la restauración, así que es importante mostrarlos en la pantalla para que el usuario los vea.

B.3 Protocolo de las máquinas CNC

Las máquinas del sistema utilizan un protocolo de comunicación unidireccional, es decir, tanto el torno como la fresadora ponen en nivel bajo el voltaje del pin CTS (Clear To Send) para que el dispositivo que les está transfiriendo información se detenga cuando el buffer de la máquina está lleno. Pero no ocurre así cuando la máquina transmite hacia otro dispositivo, simplemente inicia la transmisión sin importar si el dispositivo que va a recibir la información está listo o no.

El protocolo que se utiliza para la transmisión hacia la máquina es el siguiente: La primer línea que la máquina espera recibir es aquella que le indica el formato de la información que va a recibir, la longitud de esta cadena de formato es de 32 caracteres incluyendo el CR (retorno de carro) y el LF (salto de línea).

El formato es el siguiente:

```
bbbbNbbGbb ' Xbbb ' Ybbbb ' Zbbbb ' Hb CR LF
```

Donde:

b = Espacio en blanco

N = Número de línea

G = Letra G del código del programa, cuando es un código como el G00 en el cuerpo del programa en este lugar aparece un espacio, cuando empieza con M aparece el carácter "M" en la columna de "G".

X,Y,Z = coordenadas

' = Apostrofe, el cual es necesario y le indica a la máquina el número de caracteres que se admiten en cada posición, ese número es el total de caracteres entre dos apostrofes consecutivos.

H = Avance.

La última línea del programa debe ser:

```
bbbbM I CR LF
```

I = i latina.

Eso es en cuanto a la transmisión, pero para los pasos previos, es decir pasar al modo edit en la maquina, y prepararla para transmitir/recibir, se utiliza la interfaz DNC (Apéndice A, sección A.4).

REFERENCIAS

- [1] A. ADLEMO, S.-A. Andréasson, M. Fabian, P. Gullander, B. Lennartsson, 1995. "Towards a Truly Flexible Manufacturing System", Control Engineering Practice, vol. 3, no. 4, April.
- [2] ASKIN, RONALD G., Standridge, Charles R., 1993, "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems", John Wiley & Sons, Inc., USA, p.p. 461.
- [3] AYRES R. U., 1991. "Computer Integrated Manufacturing", Chapman & Hall. Vol 1. Great Britain, 265 p.p.
- [4] BACON, J., 1992. "Concurrent Systems: an Integrated Approach to Operating Systems, Database and Distributed systems", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., United States of America.
- [5] BAYTECH, 1993, "500 Series Multiport Controller Owner's Manual", Bay Technical Associates, Inc., USA.
- [6] BEN-ZOIN SANDLER, 1991, "Robotics".Prentice-Hall", New Jersey.
- [7] BURDEN RICHARD L., DOUGLAS FAIRES J., 1985, "Análisis Numérico", Grupo Editorial Iberoamericana. México.
- [8] BURNS, A., Wellings, A., 1990. "Real-Time Systems and their Programing Languages", International Computer Series, Addison-Wesley Publishers Ltd., Great Britain.
- [9] CORNELL GARY, 1995, "Manual de VISUAL BASIC v 5.0 para Windows". McGraw Hill. México.
- [10] DELGADO, H., Rodríguez, J., Ortiz, A., 1996, "Auto Guided Vehicle (AGV)", Fourth IASTED Internaciomal Conference, Honolulu, Hawaii, USA, p.p. 139-141.
- [11] DELGADO, H., Rodríguez, J., Ortiz, A., 1997, "Prototype of an Auto Guided Vehicle of Low Cost", 30a. ISATA Conference, Florencia, Italia.
- [12] DELGADO, H., Rodríguez, J., Ortiz, A., 1997, "Prototipo de un Vehículo Guiado Automáticamente", 3er. Congreso Anual de la SOMIM, Morelia, Michoacán, México, p.p. 379-382.
- [13] EMCO, 1982. "Manual de Programación del Torno EMCO Compact 5 CNC". EMCO Maier Ges. m. b. H. Austria.
- [14] EMCO, 1982. "Manual de Programación de la Fresadora EMCO F1- CNC".

EMCO Maier Ges. m. b. H. Austria.

[15] Eshed Robotec, 1982. "ER CIM Users's Manual". Eshed Robotec, Ltd. Israel.

[16] Eshed Robotec, 1982. "ACL and ATS Reference Guide", 3rd. Edition, Eshed Robotec, Ltd. Israel.

[17] FERRE Masip Rafael, 1988. "La fábrica flexible", Marcombo. Barcelona, 148 p.p.

[18] GALLARDO, A., Reyes, H., Vargas, A., 1997, "Diseño de Software para Simular y Controlar una Celda de Manufactura Flexible", 3er. Congreso Anual de la SOMIM, Morelia, Michoacán, México, pp. 355-359.

[19] GEHANI, N., Mc. Gettrick, A., 1989. "Concurrent Programing", International Computer Series, Addison-Wesley Publishing Co., Great Britain.

[20] GOETSCH, David L., "Advanced Manufacturing Technology". Delmar Publishers Inc., 383 p.p.

[21] GREENWOOD, N. R., 1988. "Implementing Flexible Manufacturing Systems", Mac. Millan Education, Hong Kong.

[22] GROOVER, Mikell P., "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing". Prentice Hall, 808 p.p.

[23] GULLANDER P., Adlemo, A., Andréasson, S., 1996. "Fault Handling in Flexible Machining Cells", Robotic and Manufacturing Systems: Recent Results in Research, Development, and Applications, Vol.3, Proceedings of the World Automation Congress (WAC' 96), TSI Press, Dreams Publishers, Albuquerque.

[24] GULLANDER, P., Fabián, M., Andréasson, S-A., Lennartson, B., Adlemo, A., 1995. "Generic Resource Models and a Message-Passing Structure in an FMS Controller", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nagoya, Japan.

[25] HALANG, W. A., Jung S. -K., 1989. "A Function Oriented Design for Industrial Distributed Real Time Control Systems", Second International Conference on Software Engineering for Real Time Systems, IEE, Great Britain.

[26] JIMÉNEZ R., Lara O. A., Olmos G. L. Ortiz P. A., 1998. "Arquitectura y Software para el Control de un Sistema de Manufactura Flexible", 4º. Congreso de la SOMIM, Cd. Juárez, Chihuahua, pp. 201-207.

[27] KOCHHAR A.K. "Sistemas de Producción Basados en Computadoras", CECSA. México. 1979. 343 p.p.

[28] MALEKI, R. A., 1991. "Flexible Manufacturing Systems: The Technology and

Management", Prentice Hall Inc. USA.

[29] MARTÍNEZ, J., Santos, J., Rodríguez, J., Ortiz, A., 1997. "Desarrollo de un Sistema de Recubrimiento Electrolítico Automatizado", 3er. Congreso Anual de la SOMIM, Morelia, Michoacán, México, p.p. 364-366.

[30] RAMADGE, P. J. y W. M. Wonham (1987). "Supervisory control of a class of discrete event processes", SIAM Journal of control and Optimization, 25, p.p. 206-230.

[31] RONALD G. ASKIN, Charles R. Standridge, 1993. "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems", John Wiley & Sons, Inc, USA, 461 p.p.

[32] SETHI, ANDREA KRASA, y Surech Pal Sethi, 1990. "Flexibility in Manufacturing: A Survey", International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 2, 289-328.

[33] SMITH, J.S. and Joshi, S.B. 1995. "A Shop Floor Controller Class for Computer Integrated Manufacturing", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 8(5).

[34] SMITH, J.S., Hoberecht, W.C. and Joshi, S.B. 1996. "A Shop Floor Control Architecture for Computer Integrated Manufacturing", IIE Transactions, 28(10), pp. 783-794.

[35] TORNERO, J., "Vehículos Autoguiados", Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

[36] WILLIAMS, D. J., Rogers, P., 1991. "Manufacturing Cells: Control, Programming, and Integration", Butterworth-Heinemann Ltd., England.