

Capítulo 2

Estación de trabajo TP-801

Los controladores tradicionales utilizan sensores localizados dentro de las máquinas en las que se requiere medir periódicamente el estado de un proceso. Estos dispositivos detectan los cambios en las condiciones de las mismas; por ejemplo, una señal que llega a una estación de trabajo se detecta y, mediante algún contador, manda el cierre de interruptores. Como resultado, un circuito eléctrico se cierra y una señal se envía al panel de control del sistema. En este panel la señal eléctrica entra a un banco de relevadores los cuales abren o cierran un circuito generando señales eléctricas adicionales que son enviadas a los dispositivos de salida de la máquina. Los controladores programables surgen originalmente como reemplazo de los bancos de relevadores y emulan elementos electro-mecánicos como temporizadores y contadores. Todos estos elementos forma parte del control lógico de procesos. La estación de trabajo TP-801 era utilizada para la enseñanza de este tema. Los alumnos de los últimos semestres de la carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica aprendían en ella principalmente a como adquirir y generar señales que pudieran estar presentes en algún proceso industrial además de como disponer sus elementos para poder constituir una celda de manufactura que finalmente es lo que emula la estación de trabajo. Sin embargo, al tratarse de equipo didáctico su constitución física estaba ideada para poder ser manipulada por los alumnos. Por ejemplo, se podían desconectar sus componentes con facilidad, desmontar los sensores y actuadores y modificar la posición del equipo entre otras cosas. Si bien esto es muy benefico para la enseñanza, para la investigación resulta impráctico ya que lo que se busca es el desarrollo teórico de algoritmos y su posterior experimentación en equipo que no esté sujeto a la limitante de ser modificado en cualquier momento.

En este capítulo se darán a conocer los componentes de la estación de trabajo así como su evolución a un estación más moderna que será utilizada por los miembros del Laboratorio de Robótica y por alumnos de la maestría en Ingeniería Eléctrica opción Control de la Facultad de Ingeniería.

2.1. Reingeniería de la estación de trabajo TP-801

En su concepción más elemental, la estación TP-801 consta de una banda transportadora, un pistón de doble efecto, un cargador por gravedad y un robot de tres grados de libertad en configuración cilíndrica. La reingeniería de este proyecto está orientada a reactivar esta estación aprovechando el equipo que aún se pueda utilizar, prescindiendo del obsoleto y adquiriendo uno nuevo que, además de cumplir con las necesidades del grupo de trabajo del Laboratorio de Robótica, esté orientado más al trabajo de investigación científica y no tanto a la docencia como era el caso del anterior. Todo ello con el fin de obtener una estación experimental de vanguardia con la que se pueda realizar investigación y docencia de alto nivel y que combine tecnologías actuales y anteriores en pro de la labor científica.

2.2. Estación de trabajo original

La función principal de la estación era mostrar como se puede transportar una pieza de trabajo a través de una celda de manufactura en un proceso que se vería en la industria, sin ningún tipo de intervención humana y de manera cíclica.

Los elementos principales que intervenían en este proceso se enlistan a continuación:

- Un pistón de doble efecto
- Una unidad de mantenimiento neumática
- Un bloque distribuidor neumático
- Una electroválvula de cinco vías y dos posiciones (5/2)
- Una electroválvula de tres vías y dos posiciones (3/2)
- Seis sensores de proximidad magnéticos
- Seis sensores de proximidad ópticos
- Una banda transportadora
- Un cargador por gravedad de aluminio
- Cuatro módulos de relevadores
- Un módulo de paro de emergencia
- Un Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés) modelo FPC 404
- Una placa de conexiones para el PLC FPC 404

- Un robot de tres grados de libertad en configuración cilíndrica con pinza neumática como efector final
- Una pieza de trabajo
- Una base de trabajo

La disposición de estos elementos (exceptuando sensores y pieza de trabajo) se muestran en la Figura 2.1.

La secuencia que ha de seguir la pieza de trabajo (véase Figura 2.1) es la siguiente: se deja caer manualmente por la parte superior del cargador por gravedad. Al llegar a la parte inferior es colocada por el pistón fuera de la estructura para después ser tomada y transportada al inicio de la banda por el robot. Ahí la coloca en la banda y esta es accionada. La pieza llega al final de la banda y se detiene. Es tomada nuevamente por el robot y llevada a la parte superior del cargador en donde la deja caer. En ese momento el proceso vuelve a iniciar.

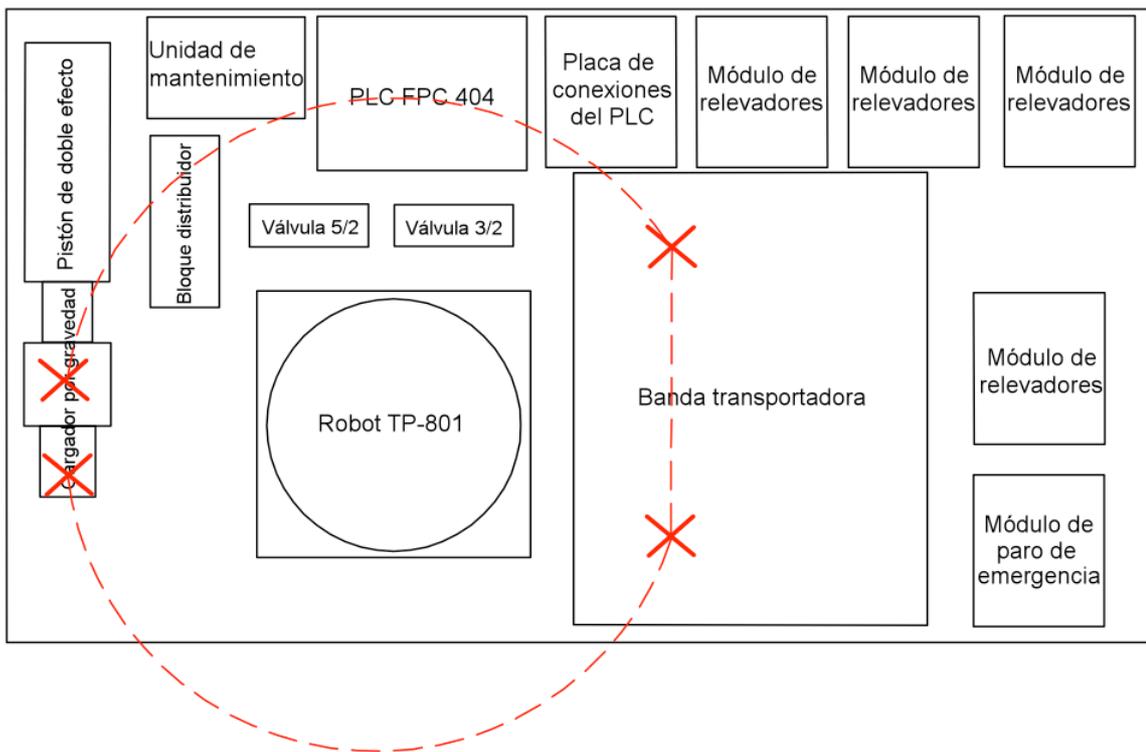


Figura 2.1: Configuración original de la estación de trabajo

La alimentación eléctrica del sistema se obtenía de una fuente de 24 V a 3 A y la alimentación neumática de un compresor ubicado en el Departamento de Control, ambos

externos a la estación.

Todo el accionamiento se realizaba mediante el PLC FPC 404. Al obtener y procesar cierta combinación lógica de señales proveniente de los sensores éste generaba las correspondientes que habrían de activar los motores del robot. Una vez llegado a la posición deseada se obtenía otra combinación de señales que los desactivara. Sin embargo, este proceso no era útil en el Laboratorio de Robótica y los componentes involucrados en él tuvieron que ser removidos de la estación.

A continuación se mencionará muy brevemente el equipo del cual se prescindió¹ y las razones que se consideraron para hacerlo.

2.2.1. PLC FPC 404

El PLC de la Figura 2.2 era el encargado de accionar toda la estación de trabajo. La principal desventaja y por la cual se decidió prescindir de él fue que ya no se encontró ningún tipo de software para configurarlo además de que no se contaba con módulos de expansión necesarios para satisfacer los requerimientos de la estación modernizada.

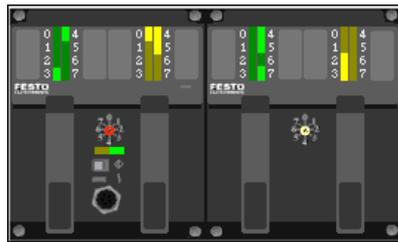


Figura 2.2: PLC FPC 404 (obtenida de [4])

2.2.2. Placa de conexiones

Todas las conexiones de la estación de trabajo estaban diseñadas para ser modificadas en cualquier momento. Esto era ideal para la docencia pero en el caso de la investigación se volvía un asunto bastante complicado y engorroso debido a la forma física de los módulos.

La placa que se muestra en la Figura 2.3 formaba parte de estas conexiones y servía de unión entre el PLC y los módulos de relevadores.

Al prescindir del PLC FPC 404 automáticamente esta placa carecía de utilidad.

2.2.3. Módulos de relevadores

A estos cuatro módulos se conectaban directamente las terminales positiva y negativa de los motores del robot TP-801 y eran los que producían su movimiento. Con sus relevadores

¹La descripción completa de este equipo y de su funcionamiento se encuentra en [4].

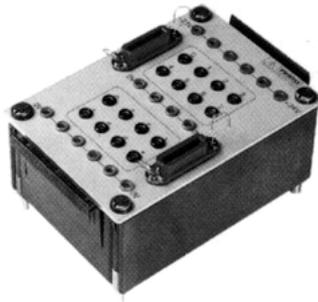


Figura 2.3: Placa de conexiones del PLC FPC 404 (obtenida de [4])

se formaban los puentes H necesarios para generar un cambio de giro en la flecha de los mismos. A su vez, a estos puentes H se conectaban las terminales del PLC FPC 404 por medio de la placa de conexiones.

Además de ocupar espacio excesivo, la forma física de estos módulos estaba adecuada para trabajar solamente con el PLC. Al prescindir de él se prescindió de los módulos. Uno de ellos se puede ver en la Figura 2.4

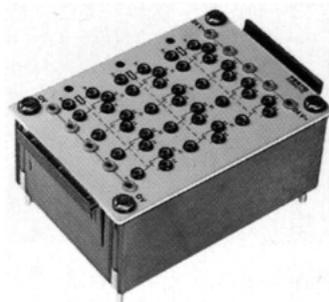


Figura 2.4: Módulo de relevadores (obtenida de [4])

2.2.4. Módulo de paro de emergencia

El módulo que aparece en la Figura 2.5 tiene un botón en forma de hongo que cuenta con enclave. Al ser accionado interrumpía la alimentación principal de la estación haciendo que ésta se detuviera ante una eventual emergencia. La principal desventaja era que su forma física correspondía a los otros módulos: sus conexiones se podían modificar en cualquier momento inhabilitando de esta manera su propósito, es por ello que se prescindió de él.

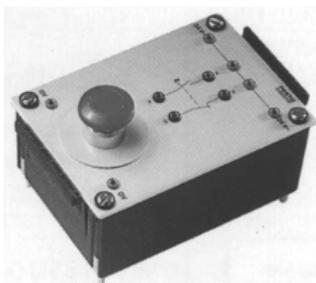


Figura 2.5: Módulo de paro de emergencia (obtenida de [4])

2.3. Estación de trabajo modernizada

Se decidió conservar el enfoque de control lógico de procesos ya que, además de ser muy utilizado en la industria, se pretende mostrar que con esta tecnología se puede trabajar de manera óptima al combinarla con otras más avanzadas o bien más aptas para la labor científica como lo es la tecnología de adquisición de datos. Tomando todo esto en cuenta, el equipo adquirido para la modernización de la estación es el siguiente:

- Un PLC modelo FC20
- Una fuente de 24 V a 10 A
- Tres pastillas protectoras, 2 a 1 A y 1 a 5 A
- Clemas con puentes de tornillo
- Un controlador en tiempo real CompactRIO 9073
- Tres módulos NI 9505
- Un módulo NI 9474
- Tres servomotores para el robot TP-801 con encoders adaptados²

La disposición final de la estación de trabajo se muestra en la Figura 2.6.

Esta configuración fue ideada experimentalmente al observar que la anterior representaba un peligro para el equipo de control ya que el efector final del robot pasaba muy cerca de él (véase Figura 2.1). Con esta nueva configuración que se presenta, el equipo de adquisición de datos queda totalmente fuera del alcance del robot.

Cabe mencionar que la alimentación neumática de la celda se obtiene de un compresor marca Craftsman que ya se encontraba en el Laboratorio de Robótica.

²Una descripción de la estructura de estos motores se da en el Capítulo 4.

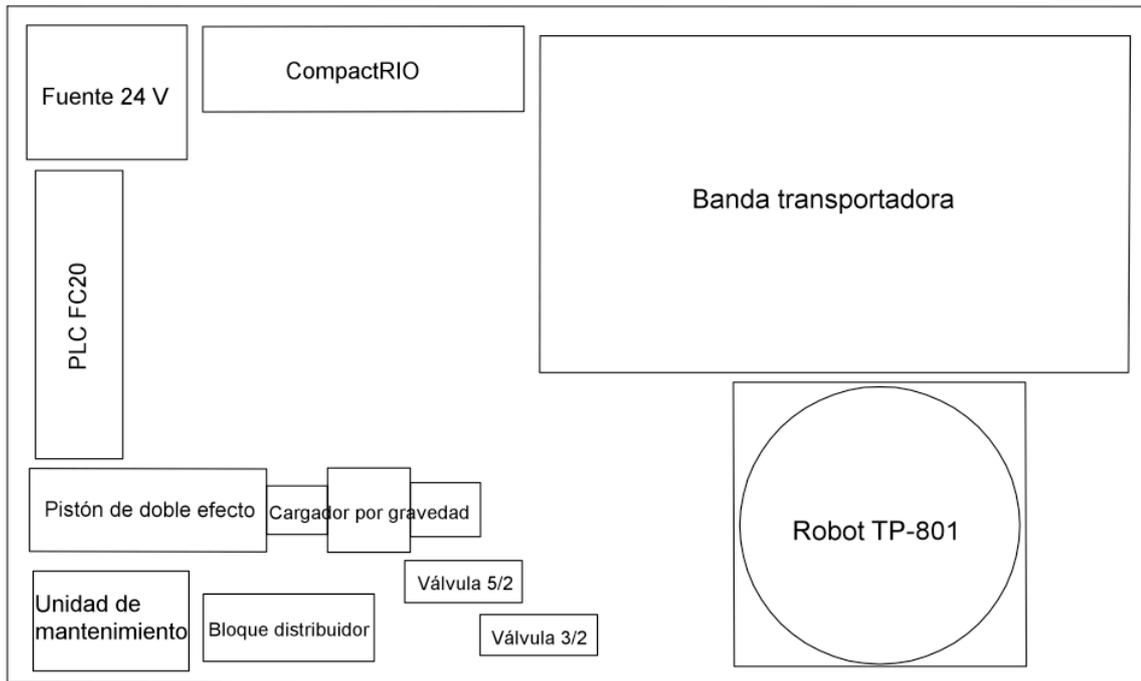


Figura 2.6: Nueva configuración de la estación de trabajo

2.4. Equipo original conservado en la estación de trabajo

Ahora se dará una descripción detallada de todo el equipo utilizado en la versión final de la estación de trabajo. El original fue probado individualmente con el fin de detectar algún posible mal funcionamiento. Una vez corregidas las fallas se procedió a interconectarlo. El nuevo fue simplemente agregado a la estación tomando en cuenta las precauciones necesarias para su correcto funcionamiento.

2.4.1. Pistón de doble efecto

El pistón o émbolo de doble efecto que se muestra en la Figura 2.7 forma parte del equipo neumático de la estación de trabajo. Su vástago, que tiene una carrera de 10.5 cm, culmina con una pieza que funge como adaptador de un sensor de proximidad óptico. La camisa de este pistón cuenta con un riel que sirve para montar sensores magnéticos a lo largo de ella; sus dos cámaras se conectan mediante mangueras de 0.37 cm de diámetro interior a la electroválvula 5/2 desde donde reciben el aire. También cuenta con una base de acero que ayuda a fijarlo a la estación de trabajo. Su función es empujar la pieza de trabajo una vez detectada por el sensor óptico adaptado a él.

Su símbolo se muestra en el Apéndice A.



Figura 2.7: Pistón de doble efecto

2.4.2. Unidad de mantenimiento

Esta unidad recibe aire del compresor del Laboratorio de Robótica y a su vez lo suministra al bloque distribuidor no sin antes combinarlo con aceite, manteniendo lubricados los componentes neumáticos de la estación. La presión se ajustó experimentalmente mediante la válvula manual de la unidad a 3.8 bar ya que a dicha presión el pistón trabaja sin problemas en cuanto a falta o exceso de aire. La unidad descrita se muestra en la Figura 2.8 y su símbolo aparece en el Apéndice A.



Figura 2.8: Unidad de mantenimiento

2.4.3. Bloque distribuidor

El bloque distribuidor de ocho puntos mostrado en la Figura 2.9 se conecta por medio de manguera a la unidad de mantenimiento y, como su nombre lo dice, distribuye el aire a

través de dos conductos a las electroválvulas de la estación. Cuenta con una válvula de corredera manual que bloquea el aire cuando así se requiera.

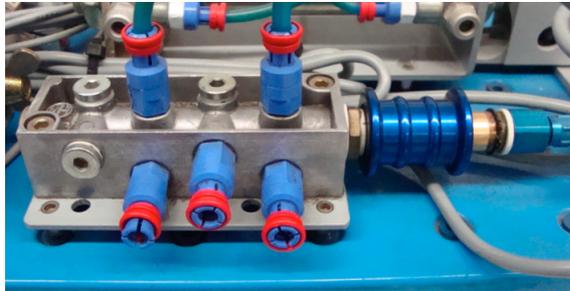


Figura 2.9: Bloque distribuidor

2.4.4. Electroválvula de cinco vías y dos posiciones (5/2)

La electroválvula biestable mostrada en la Figura 2.10 funciona como un relevador neumático: deja pasar el aire que la alimenta por alguna de las dos salidas dependiendo del estado en que se encuentre (activa o inactiva), por lo que no es recomendable que se activen al mismo tiempo. Cada una de las salidas se activa manualmente por medio de un interruptor en forma de tornillo que se encuentra en la parte superior. También se accionan en forma eléctrica, alimentándolas con 24 V. Dependiendo de la salida activada es por donde el aire pasará. Por esta razón se llama biestable. Al regresar al estado de reposo (inactivo), el aire deja de pasar por dicha salida.

Se conecta al bloque distribuidor desde donde recibe aire y a las dos cámaras del pistón de doble efecto que finalmente es al que activa. Su símbolo puede verse en el Apéndice A.



Figura 2.10: Válvula 5/2

2.4.5. Electroválvula de tres vías y dos posiciones (3/2)

Esta electroválvula monoestable funciona como “interruptor neumático”, es decir, deja pasar el aire que la alimenta dependiendo del estado en que se encuentre (activa o inactiva).

Al igual que la válvula anterior se activa manualmente por medio de un interruptor, en forma de tornillo, que está ubicado en la parte superior. También se activa eléctricamente, alimentándola con 24 V; si no se alimenta, regresa al estado de reposo (inactivo). Es por esta razón que se llama monoestable.

La válvula mostrada en la Figura 2.11 se conecta al bloque distribuidor desde donde recibe aire y a la pinza del robot TP-801 a la cual acciona. Igualmente su símbolo se aprecia en el Apéndice A.



Figura 2.11: Válvula 3/2

2.4.6. Sensor de proximidad magnético

Se utiliza para la detección sin contacto actuando de la siguiente manera: al sobrepasarlo por un magneto se enciende el LED mostrado en la Figura 2.12 y se genera una señal de 24 V que es enviada al PLC FC20. En la renovada estación se decidió utilizar un total de seis. Dos en el pistón y cuatro en el robot TP-801. En el caso del pistón los sensores se conectan al PLC FC20 mientras que en el robot se conectan al paro de emergencia del módulo NI 9505.



Figura 2.12: Sensor de proximidad magnético

2.4.7. Sensor de proximidad óptico

Al acercar un objeto opaco sobre la línea de vista del sensor mostrado en la Figura 2.13 se genera una señal de 24 V. En la estación se utilizan tres: uno al final del vástago del pistón como ya se dijo anteriormente y dos en la banda transportadora haciendo uso de un acople de aluminio específico para ello. Todos ellos van conectados al PLC FC20 en donde sus señales son utilizadas.

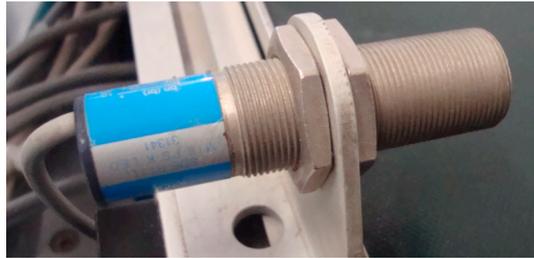


Figura 2.13: Sensor de proximidad óptico

2.4.8. Banda transportadora

Este tipo de dispositivos son muy utilizados en la industria para el transporte de piezas y existe toda una teoría desarrollada para su estudio. En este caso, la banda transportadora simplemente lleva la pieza de trabajo desde una posición a otra. Es accionada por un motor de corriente directa de 24 V a 1.5 A dispuesto en su costado derecho.

Como se puede ver en la Figura 2.14 está montado sobre la banda un dispositivo de clasificación de aluminio adecuado específicamente a la forma de la pieza de trabajo.



Figura 2.14: Banda transportadora

2.4.9. Cargador por gravedad

Trabaja en conjunto con el pistón de doble efecto y el robot TP-801 en el descenso y colocación de la pieza de trabajo. Su forma (véase Figura 2.15) está adecuada en la parte inferior para dejar pasar el vástago del pistón mientras que en la parte superior sólo permite el paso de la pieza si ésta se coloca adecuadamente en posición vertical y se arroja a través del cargador.



Figura 2.15: Cargador por gravedad

2.4.10. Robot TP-801

La estación de trabajo TP-801 era un solo sistema en donde la banda transportadora, el pistón de doble efecto, el cargador por gravedad y el robot TP-801 trabajaban acoplados con la finalidad de transportar la pieza de trabajo. Siendo así, tenía la gran desventaja de que si uno de ellos fallaba todo el sistema fallaba o si uno de ellos estaba ausente, todo el sistema carecía de utilidad. Una de las labores de este trabajo fue desacoplar este solo sistema en dos: uno compuesto por la banda transportadora y el pistón y otro compuesto solamente por el robot TP-801. Con ello se lograba tener un nuevo robot disponible en el Laboratorio de Robótica de la Facultad de Ingeniería con el cual poder probar algoritmos de control.

Al tratarse del elemento más importante de la estación de trabajo, una descripción detallada de la modernización de este robot se da en el Capítulo 4.

2.4.11. Pieza de trabajo

Su forma está específicamente adecuada a la pinza del robot TP-801 y en torno a ella se desarrolla todo el análisis cinemático. Esta pieza se muestra en la Figura 2.16.



Figura 2.16: Pieza de trabajo

2.4.12. Base de trabajo

La base de trabajo mostrada en la Figura 2.17 mide 110 cm de largo por 70 cm de ancho y 2.5 cm de altura. Está diseñada para montar en ella todos los componentes de la estación mediante orificios como los que se aprecian en la Figura 2.17 a excepción de la fuente de 24 V, el PLC FC20, el CompactRIO, las clemas con puentes de tornillo y los interruptores de encendido/apagado.

Esta base tiene la ventaja de que es hueca y por debajo de ella se ideó colocar una gran parte del cableado de la estación, lo que libera espacio en su superficie.

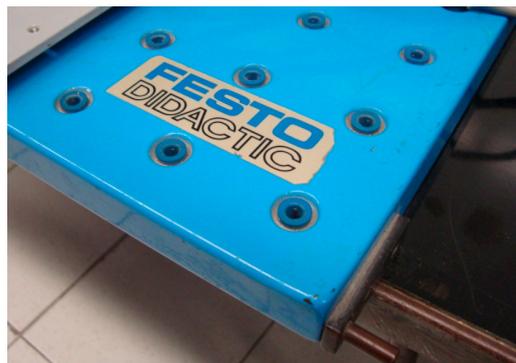


Figura 2.17: Base de trabajo

2.5. Equipo nuevo para control lógico de procesos

La función de este equipo es reemplazar al original que accionaba al pistón de doble efecto y a la banda transportadora. Al decidir continuar parcialmente con el enfoque original de la estación de trabajo, era necesaria la adquisición de un PLC actualizado. Esto también daba la ventaja de que el cableado entre éste y los sensores y actuadores se pudo organizar de una manera más adecuada por medio de clemas con puentes e tornillo y así poder liberar espacio en la estación de trabajo. Con ello se pudo incluir una fuente de alimentación que no fuera externa y tener la posibilidad de que, en un futuro, se puedan agregar más componentes.

El equipo que se adquirió es el que se describe enseguida.

2.5.1. Controlador Lógico Programable Compact FC20

Predecesor del PLC FPC 404, este controlador de la marca *FESTO* fue planeado para sustituir al anterior y accionar las válvulas del pistón de doble efecto y la banda transportadora. Ahora bien, pudiera ser que en un futuro los usuarios de la estación, ya sea los alumnos de maestría o los miembros del Laboratorio de Robótica, deseen explotar aún más la estación de trabajo. Implementar algoritmos de control y no solo accionar el pistón o la banda transportadora, por ejemplo. En este caso la reingeniería planteada permitirá en un futuro prescindir del PLC FC20 y realizar todo el control de la estación mediante el CompactRIO.



Figura 2.18: Controlador Compact FC20 (obtenida de [6])

2.5.2. Fuente de 24 V a 10 A

Como se mencionó en la Sección 2.2 la energía era suministrada a la estación original por una fuente de 24 V a 3 A. Sin embargo, al conectar los nuevos componentes, se constató que la corriente suministrada no era suficiente para activarlos a todos así que

se decidió adquirir la fuente de 24 V a 10 A que se muestra en la Figura 2.19. Si bien es un amperaje mucho mayor, fue elegida previendo que se añadan más elementos a la estación en el futuro. Se conecta directamente a la línea del Laboratorio y cuenta con cuatro bornes independientes de salida a 0 V y +24 V en donde van conectados el PLC FC20 y el CompactRIO.



Figura 2.19: Fuente de 24 V

2.5.3. Compresor Craftsman

Este compresor es de uso general en el Laboratorio de Robótica. Se le conectó la manguera lateral derecha que se aprecia en la Figura 2.20 la cual se conecta en su otro extremo a la unidad de mantenimiento de la estación.



Figura 2.20: Compresor Craftsman

2.5.4. Equipo complementario

Interruptores de encendido/apagado

Además de ser una protección para el equipo ya que son pastillas que conmutan cuando por ellas atraviesa una determinada corriente también fungen como interruptores. En total son tres. Uno principal que energiza la fuente de 24 V y a su vez a toda la estación y otros dos que energizan por separado al PLC FC20 y al CompactRIO. Si es el caso, se podría trabajar sólo con el robot o sólo con el pistón y la banda o con el conjunto completo. El interruptor principal se muestra en la Figura 2.21

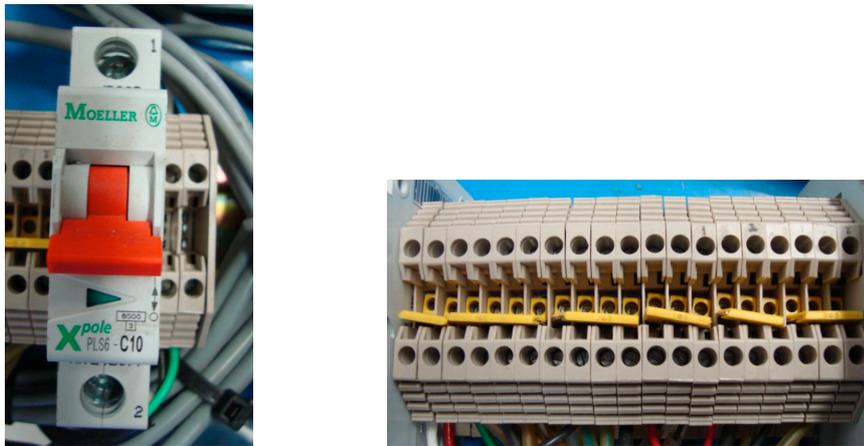


Figura 2.21: Interruptor de alimentación y clemas con puentes de tornillo

Clemas

Estos útiles contactos y sus puentes de tornillo sirven para organizar el cableado que va desde la fuente de 24 V al PLC FC20 y al Compact RIO y desde estos a los sensores y actuadores de la estación (véase Figura 2.21).

Riel DIN

Muy utilizado en la industria, sobre un riel como se muestra en la Figura 2.22 va montado el equipo de control así como la fuente de 24 V. Está dispuesto a lo largo de toda la orilla izquierda de la estación con el objetivo de liberar espacio en su centro y tener la oportunidad de que en un futuro se incluya otro robot que trabajará en conjunto con el ya existente.

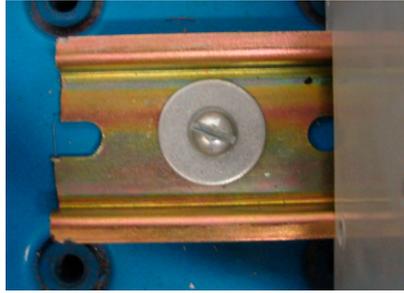


Figura 2.22: Riel DIN

2.6. Equipo nuevo para adquisición de datos

Al inicio de este trabajo de tesis se buscaron varias opciones para el control del robot TP-801. Una de ellas era continuar realizando el control con el PLC FPC 404 de *FESTO*. Esto era poco viable ya que este controlador no contaba con módulos de expansión capaces de procesar las señales provenientes de los encoders que el robot necesitaba. Más aún, en el mercado ya no existía software ni ningún tipo de módulos para el mismo. Otra opción era adquirir un nuevo PLC que sí contara con los módulos requeridos pero en vista de que ya se contaba con el PLC FC20 se llegó a la conclusión de que la estación quedaría limitada a trabajar con un sólo tipo de tecnología y ésto prácticamente sería un retroceso en cuanto a su versatilidad y funcionalidad. Llegados a éste punto se observó que los robots CRS A-465 y CRS A-265 además del pistón PAEA5280760 del Laboratorio de Robótica eran controlados con equipo Compact RIO de la empresa *National Instruments*. Éste, además de ser equipo que cuenta con tecnología de adquisición y procesamiento de datos, tiene la ventaja de que existe una amplia gama de información referente a él ya sea en internet o en manuales y que cuenta soporte técnico por parte de la empresa.

2.6.1. Controlador CompactRIO 9073

El controlador CompactRIO 9073 que se puede ver en la Figura 2.23 combina un procesador en tiempo real y un módulo de arreglo de compuertas programables en campo (FPGA por sus siglas en inglés) en un mismo chasis para control embebido y aplicaciones de monitoreo. Integra un procesador industrial a 266 MHz con un FPGA de dos millones de compuertas y ocho ranuras para los módulos de entrada/salida. De estas ranuras solo se ocupan cuatro. Tres le corresponden a los módulos NI 9505 y uno al módulo NI 9474 dejando libre otros cuatro para futuras aplicaciones de robótica. Su comunicación se lleva a cabo a través del puerto Ethernet a una transmisión de 10-100 Mbps.

Una descripción más detallada de su funcionamiento se da en el Apéndice D además de que sus especificaciones se pueden consultar en el Apéndice E.



Figura 2.23: Controlador Compact RIO (obtenida de [15])

2.6.2. Módulo NI 9505

El módulo de la Figura 2.24 es un puente H completo que se conecta directamente a los servo motores del robot. Trabaja en conjunto con el módulo FPGA e incluye una interfaz para encoder. El módulo FPGA del CompactRIO genera una señal de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés) misma que envía al 9505. La señal PWM es proporcional a la corriente deseada o al torque que se le quiere suministrar al motor. Incrementar el ciclo de trabajo de esta señal PWM resulta en incrementar la corriente y en consecuencia incrementar el torque. En total se utilizaron tres: uno para cada articulación del robot.

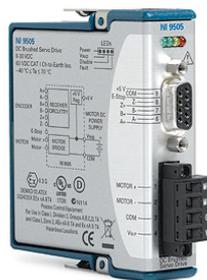


Figura 2.24: Módulo NI 9505 (obtenida de [17])

2.6.3. Módulo NI 9474

Este módulo es una tarjeta de ocho salidas digitales a 24 V. De éstas salidas solo se utiliza una ya que simplemente se requiere que accione la válvula conectada a la pinza del robot para abrirla o cerrarla según sea el caso. Bien se podría prescindir de este módulo ya que alguna de las salidas del PLC FC20 puede realizar su función. Sin embargo esto no es lo ideal ya que se estaría ligando al robot con equipo del que se quería separar. Solo se justificaría hacerlo si se requiere utilizar la ranura ocupada por el módulo en vista de agregar un nuevo robot. El módulo NI 9474 puede verse en la Figura 2.25.

