



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE ING. ELÉCTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**



**PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT “OTC DAIHEN DR-4000” PARA LABORES  
DE PERFORACIÓN EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA  
AUTOMOTRIZ**

**REALIZADO POR:**  
**MIGUEL LUGO**  
**RICARDO CARRILLO**

**BÁRBULA, MAYO 2011**

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ING. ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**

**PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT “OTC DAIHEN DR-4000” PARA LABORES  
DE PERFORACIÓN EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA  
AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRICISTA.**

**REALIZADO POR:  
MIGUEL LUGO  
RICARDO CARRILLO**

**BÁRBULA, MAYO 2011**

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE ING. ELÉCTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado: **Programación de un robot “OTC Daihen DR-4000” para labores de perforación en una línea de producción de una empresa automotriz**, realizado por los bachilleres: **Miguel Lugo**, Cédula de identidad: **18.686.311** y **Ricardo Carrillo**, Cédula de identidad: **19.001.384**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. Wilmer Sanz

TUTOR

---

Prof. Demetrio Rey Lago

JURADO

---

Prof. Oriana Barrios

JURADO

**BÁRBULA, MAYO 2011**

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres, por su sabiduría, fortaleza, ganas de trabajar, crecer y surgir sin importar las condiciones; por el apoyo incondicional, por el sacrificio que han realizado a lo largo de nuestra vida, por darnos vida, educación, amor y respeto desde el inicio de nuestra existencia.

A nuestros hermanos, por ser una inspiración a lo largo de nuestra vida; por inspirarnos a recorrer correctamente el camino para convertirnos en un modelo a seguir para ellos.

Miguel Lugo  
Ricardo Carrillo

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a Dios pues su providencia divina nos ha acompañado desde el inicio de nuestra vida.

A nuestro padre, madre y demás familiares por el apoyo incondicional que han brindado en toda nuestra vida, ya que sin ellos tal vez no hubiésemos logrado lo que ahora somos.

Al profesor Wilmer Sanz, por su incondicional colaboración, por su estímulo, por los conocimientos impartidos y por su valioso apoyo en la realización de este proyecto.

A la Universidad de Carabobo por ofrecernos la oportunidad de adquirir todos los conocimientos obtenidos durante nuestra carrera universitaria, y a todos los profesores que nos han impartido clase dentro y fuera de ella y a los que nos han estimulado para continuar.

A todos nuestros amigos y compañeros de estudios que nos acompañaron durante la carrera. Agradezco también a todas las demás personas que de alguna manera colaboraron con la realización de este trabajo, y a los que nos han apoyado para lograr ser cada día mejor.

A nuestros compañeros de trabajo en la empresa Metalsa C.A., donde día a día nos enseñaron lo que significa la creatividad e inventiva dentro de una industria para la solución de problemas y desarrollo de proyectos.

## ÍNDICE GENERAL

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>INDICE GENERAL</b> .....                               | i    |
| <b>INDICE DE TABLAS Y FIGURAS</b> .....                   | iv   |
| <b>RESUMEN</b> .....                                      | vi   |
| <b>1 - CAPÍTULO I</b> .....                               | 1    |
| 1.1 - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                     | 1    |
| 1.2 - JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....              | 3    |
| 1.3 - OBJETIVOS.....                                      | 4    |
| 1.3.1 - Objetivo General.....                             | 4    |
| 1.3.2 - Objetivos Específicos.....                        | 4    |
| 1.4 - ALCANCE.....  | 4    |
| <b>2 - CAPÍTULO II</b> .....                              | 5    |
| 2.1 - ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....               | 5    |
| 2.2 - BASES TEÓRICAS.....                                 | 7    |
| 2.2.1 - Chasis.....                                       | 7    |
| 2.2.1.1 - Larguero.....                                   | 9    |
| 2.2.1.2 - Travesaño.....                                  | 10   |
| 2.2.2 - Proceso de Corte de Metal por Arco de Plasma..... | 11   |
| 2.2.2.1 - Historia.....                                   | 11   |
| 2.2.2.2 - Fundamentos del Proceso.....                    | 11   |
| 2.2.2.3 - Características del Proceso.....                | 13   |
| 2.2.2.4 - Equipos del Proceso.....                        | 13   |
| 2.2.2.4.1 - Soplete o Antorcha.....                       | 13   |
| 2.2.2.4.2 - Fuente de Poder.....                          | 14   |
| 2.2.2.4.3 - Controles de Corte.....                       | 14   |
| 2.2.2.5 - Calidad de Corte.....                           | 14   |
| 2.2.2.6 - Variantes del Proceso.....                      | 15   |
| 2.2.2.6.1 - Uso de Gas Doble.....                         | 15   |
| 2.2.2.6.2 - Inyección de Agua.....                        | 15   |
| 2.2.2.6.3 - Manto de Agua.....                            | 16   |
| 2.2.2.6.4 - Plasma de Aire.....                           | 17   |
| 2.2.2.6.5 - PAC de Alta Tolerancia.....                   | 18   |
| 2.2.3 - Robótica.....                                     | 19   |
| 2.2.4 - Robots Industriales.....                          | 20   |
| 2.2.4.1 - Componentes de los Robots Industriales.....     | 22   |
| 2.2.4.1.1 - Manipulador.....                              | 22   |
| 2.2.4.1.2 - Controlador.....                              | 26   |
| 2.2.4.1.3 - Dispositivos de Entrada y Salida.....         | 26   |
| 2.2.4.1.4 - Dispositivos Especiales.....                  | 27   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.4.2 - Configuraciones Morfológicas.....  | 27        |
| 2.2.4.2.1 - Cartesiana o Rectilínea.....   | 27        |
| 2.2.4.2.2 - Cilíndrica.....  | 28        |
| 2.2.4.2.3 - Esférica o Polar.....  | 29        |
| 2.2.4.2.4 - Angular o de Brazo Articulado.....   | 30        |
| 2.2.4.2.5 - SCARA.....   | 30        |
| 2.2.5 - Aplicaciones en la Industria.....  | 31        |
| 2.2.5.1 - Transferencia de Materiales.....   | 31        |
| 2.2.5.2 - Carga y Descarga de Máquinas.....  | 31        |
| 2.2.5.3 - Operaciones de Procesamiento.....  | 32        |
| 2.2.6 - Programación a Nivel Industrial.....   | 32        |
| 2.2.7 - DR. Control.....   | 33        |
| 2.2.7.1 - Instrucción Posicionamiento (P).....   | 35        |
| 2.2.7.2 - Instrucción Interpolación Lineal (L).....  | 36        |
| 2.2.7.3 - Instrucción Interpolación Circular (C ).....   | 36        |
| 2.2.7.4 - Instrucción Inicio de Arco (AS).....   | 36        |
| 2.2.7.5 - Instrucción Final de Arco (AE).....  | 37        |
| 2.2.7.6 - Función Copiar (COPY).....   | 37        |
| 2.2.7.7 - Función Insertar (INSERT).....   | 37        |
| 2.2.7.8 - Función Insertar Programa (PRG INST).....  | 38        |
| 2.2.7.9 - Instrucción Desplazamiento (SHIFT).....  | 38        |
| 2.2.7.9.1 - Paralelo 3D.....   | 38        |
| 2.2.7.9.1 - Cilíndrico.....  | 39        |
| <b>3 - CAPÍTULO III.....</b>   | <b>40</b> |
| 3.1 - MARCO METODOLÓGICO.....  | 40        |
| 3.1.1 - Tipo de Investigación.....   | 40        |
| 3.1.2 - Nivel de Investigación.....  | 40        |
| 3.1.3 - Diseño de la Investigación.....  | 40        |
| 3.1.4 - Técnicas de Instrumentación y Recolección de Datos.....  | 40        |
| 3.1.5 - Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....   | 41        |
| <b>4 - CAPÍTULO IV.....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1 - SITUACIÓN ACTUAL DE LA ETAPA DE PUNZONADO<br>EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN DE PESTAÑA<br>EN LA EMPRESA METALSA C.A..... | 42        |
| 4.2 - PERFORACIÓN ROBOTIZADA.....  | 45        |
| 4.2.1 - Método de Corte.....   | 45        |
| 4.2.2 - Programación de las Trayectorias Circulares.....   | 46        |
| 4.2.2.1 - Procedimiento para Definir Trayectorias Circulares.....  | 46        |
| 4.2.2.2 - Procedimiento para Definir Trayectoria del Slot.....   | 50        |
| 4.2.3 - Programación del Corte de una Circunferencia y Slot.....   | 51        |
| 4.2.4 - Circunferencias y Slot sobre Pestañas.....   | 52        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3 - PRUEBAS DE CORTE.....                                       | 54        |
| 4.3.1 - Estimación de Condiciones de Corte.....                   | 54        |
| 4.3.2 - Prueba con Condiciones Estimadas.....                     | 55        |
| 4.3.3 - Variaciones Porcentuales de las Condiciones de Corte..... | 56        |
| 4.3.4 - Calidad de Corte.....                                     | 57        |
| 4.3.5 - Pruebas de Perforación de Agujeros sobre el Larguero..... | 59        |
| 4.4 - MODELADO 3D.....  | 62        |
| <b>5 - CAPÍTULO V.....</b>  | <b>67</b> |
| 5.1 - SITUACIÓN TEMPORAL ACTUAL.....                              | 67        |
| 5.1.1 - Estimación Temporal del Proceso de Punzonado.....         | 67        |
| 5.1.2 - Estimación Temporal del Proceso Robotizado.....           | 68        |
| 5.1.3 - Relación Temporal.....                                    | 68        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                       | <b>71</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                            | <b>72</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 2.1 - Chasis con Estructura Convencional tipo Escalera.....          | 7    |
| Figura 2.2 - Chasis con Estructura Convencional tipo Perimetral.....        | 8    |
| Figura 2.3 - Estructura Monocasco.....                                      | 8    |
| Figura 2.4 - Vista Transversal de Largueros tipo C.....                     | 9    |
| Figura 2.5 - Larguero tipo Caja Cerrada.....                                | 10   |
| Figura 2.6 - Travesaño de Chasis.....                                       | 10   |
| Figura 2.7 - Componentes de la Antorcha de Arco de Plasma.....              | 12   |
| Figura 2.8 - PAC con Doble Gas.....   | 15   |
| Figura 2.9 - PAC con Inyección de Agua.....                                 | 16   |
| Figura 2.10 - PAC con Manto de Agua.....                                    | 17   |
| Figura 2.11 - PAC de Aire.....  | 18   |
| Figura 2.12 - PAC de Alta Tolerancia.....                                   | 19   |
| Figura 2.13 - Componentes de un Robot Industrial.....                       | 22   |
| Figura 2.14 - Elementos Estructurales de un Robot Industrial.....           | 22   |
| Figura 2.15 - Tipos de Articulaciones: Lineal y Rotacional.....             | 23   |
| Figura 2.16 - Punto Terminal de un Manipulador.....                         | 23   |
| Figura 2.17 - Semejanza de un brazo Manipulador con la Anatomía Humana..... | 24   |
| Figura 2.18 - Grados de Libertad de un brazo de Robot.....                  | 25   |
| Figura 2.19 - Teach Pendant.....  | 27   |
| Figura 2.20 - Configuración Rectilínea.....                                 | 28   |
| Figura 2.21 - Configuración Cilíndrica.....                                 | 29   |
| Figura 2.22 - Configuración Esférica.....                                   | 29   |
| Figura 2.23 - Configuración Angular.....                                    | 30   |
| Figura 2.24 - Configuración No Clásica SCARA.....                           | 31   |
| Figura 2.25 - Interfaz inicial de DR Control.....                           | 34   |
| Figura 2.26 - Elección del Programa a Crear o Editar.....                   | 34   |
| Figura 2.27 - Efecto de Solapamiento en la Trayectoria.....                 | 35   |
| Figura 2.28 - Esquema para la Interpolación Circular.....                   | 36   |
| Figura 2.29 - Selección del Método de Desplazamiento.....                   | 38   |
| Figura 2.30 - Desplazamiento Paralelo 3D Manual.....                        | 39   |
| Figura 2.31 - Desplazamiento Paralelo 3D Numérico.....                      | 39   |
| Figura 4.1 - Plantilla de Perforación Para la Pestaña Superior.....         | 42   |
| Figura 4.2 - Yugo Neumático.....  | 43   |
| Figura 4.3 - Punzones de diferentes Diámetros.....                          | 43   |
| Figura 4.4 - Plantilla de Perforación para Pestaña Inferior.....            | 44   |
| Figura 4.5 - Perforaciones sobre Pestaña Superior.....                      | 44   |
| Figura 4.6 - Perforaciones sobre Pestaña Inferior.....                      | 45   |
| Figura 4.7 - Sección Delantera de Pestaña Superior de Larguero.....         | 53   |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.8 - Sección Delantera de Pestaña Inferior de Larguero..... | 54 |
| Figura 4.9 - Resultado de Primera Variación.....                    | 57 |
| Figura 4.10 - Resultado de Segunda Variación.....                   | 57 |
| Figura 4.11 - Resultado a 120 (A) y 130 cm/min.....                 | 58 |
| Figura 4.12 - Agujeros Tipo 13.....                                 | 60 |
| Figura 4.13 - Agujeros Tipo 16.....                                 | 60 |
| Figura 4.14 - Agujeros Tipo 18.....                                 | 60 |
| Figura 4.15 - Slot y Agujero Tipo 10.....                           | 61 |
| Figura 4.16 - Sistema de Coordenadas RoboWorks.....                 | 62 |
| Figura 4.17 - Selección de Herramientas.....                        | 62 |
| Figura 4.18 - Inclusión de Articulaciones.....                      | 63 |
| Figura 4.19 - Estructura con Herramienta de Trabajo.....            | 63 |
| Figura 4.20 - Banco de Trabajo y Larguero.....                      | 64 |
| Figura 4.21 - Sistema en 3D.....                                    | 64 |
| Figura 4.22 - Ventanas de Edición y Muestreo.....                   | 65 |
| Figura 4.23 - Código.....   | 65 |
| Figura 4.24 - Simulación de la Tarea.....                           | 66 |
| <br>  |    |
| Tabla 4.1 - Especificaciones de Agujeros de Pestaña.....            | 53 |
| Tabla 4.2 - Especificaciones de Slot de Pestaña.....                | 53 |
| Tabla 4.3 - Condiciones de Corte para Aceros.....                   | 54 |
| Tabla 4.4 - Condiciones Estimadas.....                              | 56 |
| Tabla 4.5 - Variaciones Porcentuales.....                           | 56 |
| Tabla 4.6 - Dimensiones del Agujero.....                            | 58 |
| Tabla 4.7 - Resultado de Ensayo a 120 (A) y 130 cm/min.....         | 58 |
| Tabla 4.8 - Condiciones Finales.....                                | 59 |
| Tabla 4.9 - Dimensiones Agujeros sobre el Larguero.....             | 59 |
| Tabla 4.10 - Dimensiones Slot sobre el Larguero.....                | 60 |
| Tabla 5.1 - Cálculo de Tiempos.....                                 | 68 |

**Programación de un Robot “OTC DAIHEN DR-4000” para Labores de Perforación  
en una línea de producción de una Empresa Automotriz.**

**RESUMEN**

La empresa Metalsa ubicada en la zona industrial de Valencia (Edo Carabobo) se encarga de realizar la fabricación de chasis para camiones, maquinarias para obras de construcción, vehículos todo terreno de alto rendimiento, entre otros.

Las perforaciones que deben llevar los chasis como producto final son realizadas por operarios mediante el uso de un yugo neumático, lo cual a lo largo de los años debido a distintas condiciones del ambiente de trabajo, entre ellos la fatiga, ha demostrado ser una tarea de alto riesgo para la integridad física de los trabajadores. A fin de proveer una solución, la empresa deseaba una propuesta que permitiera que esta parte de la línea de producción fuera automatizada, para lo cual se dispuso de un robot OTC Daihen modelo DR-4000.

Sin embargo, el personal de la empresa no poseía el conocimiento del lenguaje de programación del robot ni el debido modelo 3D del mismo para realizar la simulación en un entorno virtual del área de trabajo y las subsiguientes pruebas para la implementación del sistema. Dicho esto, mediante este trabajo de grado se logró proponer una solución a lo antes mencionado y estudiar el proceso de corte por plasma a implementar obteniendo como resultado la programación del robot tanto simulada como física para labores de perforación por plasma en la línea de producción de chasis y el análisis del cambio en la productividad del proceso. Para el diseño del modelo 3D se hizo uso del programa de simulación Roboworks.

Palabras Clave: Robot, Celda de Trabajo, Corte por Plasma.

# CAPÍTULO I

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante las últimas décadas la industrialización nos ha brindado la posibilidad de realizar producciones masivas para satisfacer las grandes demandas de productos manufacturados, esto nos ha forzado a idear mecanismos cada vez más eficientes, rápidos y seguros de construcción. La industria automotriz es una de las que más se ha visto influenciada por estas demandas masivas, la necesidad de un transporte fiable y personal es lo que ha impulsado el uso de vehículos automotores.

Por otra parte, la automatización se ha vuelto una parte indispensable de las industrias actuales; la posibilidad de los sistemas automatizados de realizar tareas complejas con gran continuidad, exactitud, y velocidad justifican tal dependencia, considerando además, el alto riesgo que las mismas presentan para las personas que las ejecutan. Dentro de los autómatas de mayor auge actual se hallan los robots antropomórficos, cuya efectividad y eficiencia no poseen precedentes dentro de la industria. Dichos autómatas pueden realizar diferentes tareas haciendo uso de herramientas, tales como: cargar y manipular piezas, cortar, soldar, taladrar, así como también híbridos entre ellas; en algunos se pueden instalar sistemas de visión artificial para el reconocimiento visual. En este orden de ideas, la inclusión de robots en los sistemas automatizados de las líneas de producción vehiculares ha resultado de gran efectividad. Sin embargo, el alto costo de los autómatas industriales hace menester una total eficiencia en el sistema.

Gran parte de los componentes de un vehículo automotor son realizados en líneas de producción, siendo uno de los primarios el chasis. Actualmente sólo los camiones, vehículos todo terreno de alto rendimiento, maquinarias de obras de construcción y similares son las que lo poseen. La razón es porque son estos vehículos los que necesitan gran estabilidad y robustez en diferentes condiciones, prestaciones brindadas naturalmente por un chasis. Así mismo, la implementación de un robot en

una línea de ensamble de chasis resulta de gran utilidad para el incremento de la productividad de la misma.

Debido a los mecanismos constructivos, un chasis necesita gran cantidad de perforaciones para permitir la unión de todas sus partes, normalmente, este trabajo de perforación es realizado por un operario con el uso de un yugo neumático lo cual se traduce en un proceso comúnmente lento y con bajos índices de productividad, al mismo tiempo que conlleva situaciones en las que se compromete la integridad física del mismo. La inclusión de un autómatas podría permitir reducir los puntos de desventaja del proceso realizando los cortes circulares (perforaciones) una vez cumplidos los debidos requerimientos de programación y dotación de herramientas que presenta el mismo.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El rendimiento diario de producción está sujeto a las capacidades y limitaciones humanas del operario, donde factores como el cansancio y la posible incomodidad del ambiente repercuten en la ejecución del trabajo. Así mismo, en el proceso de perforación el operario se encuentra expuesto a diferentes riesgos, entre los cuales se encuentran el paso de carga pesada (incluido por supuesto el propio chasis) y la propensión a sufrir lesiones infligidas por el yugo durante su accionamiento. El uso de un autómatas para la realización de esta tarea provee solución a los problemas antes mencionados así como también garantiza una producción más estable y eficiente.

La puesta en marcha del robot, requiere de la programación de las distintas rutinas a realizar con el uso del software que el fabricante del mismo suministra para tal fin, acto seguido, es necesaria la simulación de la operación del robot con las rutinas generadas en un ambiente virtual emulando el mismo y el lugar real en donde se llevará a cabo su tarea con el fin de obtener una clara idea de las posibles limitaciones físicas del proceso preservando así la integridad del robot, luego, se realizan las pruebas en el lugar de trabajo con lo cual, una vez optimizado el procedimiento, se procede a realizar la implementación del mismo en la línea de producción.

Con el conocimiento de lo anteriormente expuesto se procederá a realizar la programación y simulación para la implementación del autómatas DR-4000 en un proceso de corte por plasma aplicado al chasis del Ford Cargo 1721a en la empresa Metalsa ubicada en Valencia, Edo Carabobo.

### **1.3 OBJETIVOS**

Los objetivos logrados en este proyecto de grado fueron los siguientes:

#### **1.3.1 Objetivo General**

Programar un robot “OTC Daihen DR - 4000” para labores de perforación en una línea de producción de una empresa automotriz.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1) Estudiar el proceso de perforación de un chasis a través de una cortadora plasma, para tomar en consideración todas las implicaciones necesarias que garanticen calidad en los resultados.
- 2) Estudiar el lenguaje de programación del “OTC Daihen DR-4000” para realizar el programa a ejecutar.
- 3) Desarrollar el modelo virtual del Robot “OTC Daihen DR-4000” en el entorno 3D de “RoboWorks” sobre la base del modelo real.
- 4) Simular la tarea programada en el entorno 3D de “RoboWorks”, para probar el programa a ejecutar en el modelo real.

### **1.4 ALCANCE**

El desarrollo de este proyecto de grado se limitó a la generación de rutinas, simulación de las mismas en un entorno virtual, y pruebas del autómata antropomórfico DR-4000 en el procedimiento de corte de láminas de chasis a realizarse en la empresa Metalsa, quedando a posterior disposición de la misma la implementación del proceso.

## CAPÍTULO II

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo especial de grado se tomaron como referencia algunos proyectos e investigaciones realizadas en materia de procesos de corte existentes a nivel industrial y herramientas de simulación de autómatas. Estos estudios fueron realizados como trabajos especiales de grado.

- **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE CORTE POR PLASMA, OXICORTE Y ARC AIR APLICADOS A METALES.** Trabajo de grado realizado por Arcos Villacís, Pablo Antonio y Fiallos Ortiz, Jorge David en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, para la optar por el título de Ingeniero Mecánico, Febrero 2010 [1].

En este trabajo se realizó una revisión de todos los procesos de corte utilizados en la industria hasta la fecha estableciendo ventajas y desventajas de los mismos en función de la productividad y de sus aplicaciones. Se fijan clasificaciones de uso de acuerdo al tipo y espesor del metal a trabajar lo cual permitió obtener las limitaciones de los distintos procesos en cuanto a velocidad de corte y calidad.

Se realizó además, un análisis de los costos involucrados en los distintos procesos de corte.

- **ROBIN: HERRAMIENTA GRÁFICA DE SIMULACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES EN UN AMBIENTE VIRTUAL.** Trabajo de grado realizado por Razo Rodríguez, Antonio Felipe en la Universidad de las Américas Puebla, para optar por el título de Licenciado en Ingeniería en Sistemas Computacionales, Diciembre 1999 [2].

En este trabajo se presentó el diseño de un sistema de simulación y programación fuera de línea (off-line) de robots industriales dentro de un ambiente virtual

tomando especificaciones y diseños de robots comerciales para la época. Se establecen las ventajas que representa la simulación de procesos como paso previo a la implementación en las empresas y se realiza un análisis de los software de simulación existentes a nivel industrial muchos de los cuales siguen vigentes hoy en día.

- **DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN ROBOTIZADA PARA EL CARDADO DE CALZADOS, USANDO EL LENGUAJE RAPID PARA UN ROBOT ABB IRB 6400. CASO DE ESTUDIO: FÁBRICA DE CALZADOS INDUSIM C.A. Trabajo de grado realizado por el Ing. Andrés Simone en la Universidad de Carabobo, para optar por el título de Magister en Ingeniería Eléctrica, Marzo 2011 [3].**

En este trabajo se enfocó el desarrollo y simulación de una estación de cardado de zapatos, usando un robot Abb irb 6400 para la empresa FABRICA DE CALZADO INDUSIM C. A. La cual tiene como principal actividad económica la elaboración de calzados de seguridad.

La empresa realiza la operación de cardado de forma manual, lo cual hace que este proceso sea lento y laborioso, y en algunos casos, resulta en pérdidas de materiales por errores humanos.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Chasis

El chasis es la estructura principal de un vehículo, sobre el cual se apoya toda la carrocería y piezas mecánicas. Este brinda la robustez y forma, así como es el elemento principal para lograr estabilidad y fortaleza en un vehículo en diferentes condiciones. Al ser el elemento estructural del vehículo, debe soportar el peso y los esfuerzos de cada componente, además de la carga.

Un chasis puede ser de estructura convencional, es decir, la carrocería separada y sobre el chasis; o puede ser de estructura monocasco, con el chasis soldado a la lámina del piso de la carrocería. La estructura convencional es usada por vehículos de alto rendimiento, como: camiones, camionetas *todo terreno*, maquinaria pesada, entre otros, pues a pesar de ser de una construcción más costosa y pesada, brinda ventajas importantes como permitir cierto rango de torsión ante los esfuerzos de la carga sin involucrar la carrocería.

Los dos diseños existentes más comunes son del tipo escalera, y perimetral. El tipo de escalera se ha utilizado siempre en camiones pesados.



Figura 2.1 Chasis con Estructura Convencional tipo Escalera.

El tipo perimetral se utiliza en algunos automóviles grandes y la mayoría de las camionetas, pues su perímetro ofrece máxima protección para los ocupantes y la carrocería en caso de una colisión de costado. Con este chasis, que es un poco más ancho, se logra una estabilidad un poco mayor del vehículo. La sección central del chasis para automóviles y camionetas está deprimida, a fin de tener un centro de gravedad más bajo y menor altura total del vehículo, con lo cual se tiene mayor estabilidad.



Figura 2.2 Chasis con Estructura Convencional tipo Perimetral.

La estructura monocasco es la más usada actualmente en los automóviles pequeños o de alta velocidad debido a razones de menor peso, mayor flexibilidad y bajos costos.



Figura 2.3 Estructura Monocasco.

Fuente: [http://www.elchapista.com/chasis\\_carrocerias\\_vehiculos.html](http://www.elchapista.com/chasis_carrocerias_vehiculos.html).

Esencialmente un chasis cuenta con dos elementos principales: Largueros y travesaños.

### 2.2.1.1 Larguero

Posee la función de viga principal de la estructura del chasis, un chasis posee uno a cada lado (larguero izquierdo, larguero derecho) y están unidos por los travesaños. Existen dos diseños principales de largueros usados en chasis convencionales:

- Tipo C: La viga que forma el larguero posee forma de C, es bastante fuerte pero a la vez flexible. La sección central principal del larguero se denomina “Alma” y las secciones laterales son denominadas “Pestañas” (superior e inferior). Tanto el alma como las pestañas poseen un número determinado de agujeros que serán utilizados para fijar las demás piezas del chasis, bien sea con remaches o tornillos.



Figura 2.4 Vista Transversal de Largueros tipo C.

- Tipo Caja Cerrada: Se construye utilizando dos secciones tipo C, uniéndolas mediante soldadura para formar un tubo rectangular. Se usa en especial cuando se requiere de resistencia adicional.



Figura 2.5 Larguero tipo Caja Cerrada.

### 2.2.1.2 Travesaño

Son los soportes que mantienen unido a los largueros ubicados perpendicularmente a estos y que, además, tienen la función de sostener gran parte de piezas mecánicas del vehículo como lo es el ballestas, caja, motor, suspensión, etc.

La unión de estos a los largueros puede ser mediante remachado, soldadura o tornillos, según el modelo del chasis y la función del travesaño.



Figura 2.6 Travesaño de Chasis.

## **2.2.2 Proceso de Corte de Metal por Arco de Plasma**

### **2.2.2.1 Historia**

Durante la 2da guerra mundial, en un esfuerzo por mejorar las uniones de los materiales de aviación, se desarrollo un método de soldadura el cual utilizaba una barrera de gas inerte alrededor de un arco eléctrico para proteger la unión de soldadura de la oxidación. Este nuevo método fue conocido como arco de plasma.

En las siguientes décadas esta nueva tecnología fue objetivo de distintas refinaciones, incluyendo la restricción de la apertura por la cual pasaba el gas inerte, lo cual, aumentaba en gran medida la temperatura de la operación. Al mismo tiempo, se observó que esta restricción también otorgaba un aumento en la velocidad del flujo de gas hacia la pieza de trabajo, lo cual proporcionaba un proceso de corte de hierro y otros metales mucho más simple y seguro que los existentes a la fecha.

El uso de esta tecnología de corte fue muy limitado por los altos costos hasta finales de la década 1950 donde aumento rápidamente su popularidad debido a que para la misma ya se lograban fabricar unidades más compactas y cómodas para pequeñas empresas. Hoy en día, muchos fabricantes lanzan al mercado cortadores de plasma portátiles que llevan inclusive compresores de aire internamente y pueden ser fácilmente transportados en camiones [4].

### **2.2.2.2 Fundamentos del Proceso**

Comúnmente denominado PAC (Plasma Arc Cutting), es un proceso en el cual se divide o separa el metal fundiendo un área localizada de la pieza de trabajo con el uso de un arco eléctrico al mismo tiempo que se remueve el material residual con un chorro de alta velocidad de gas ionizado que se emite desde orificio de la antorcha o soplete. El gas ionizado que trabaja en el proceso es plasma lo cual da origen al nombre del proceso. En este caso, el plasma ha sido generado

calentando el gas con un arco hasta alcanzar un estado de ionización parcial, lo cual, permite la conducción de corrientes eléctricas.

En cualquier arco eléctrico existe plasma, sin embargo, el término “arco de plasma” es utilizado en antorchas que utilizan arco de área localizada, donde existe la particularidad de que para una corriente y tasa de flujo de gas dada, el voltaje de arco es siempre mayor que en otras antorchas de arco [1]. Los componentes de la antorcha de corte de arco de plasma se pueden visualizar en la Fig. 2.1.

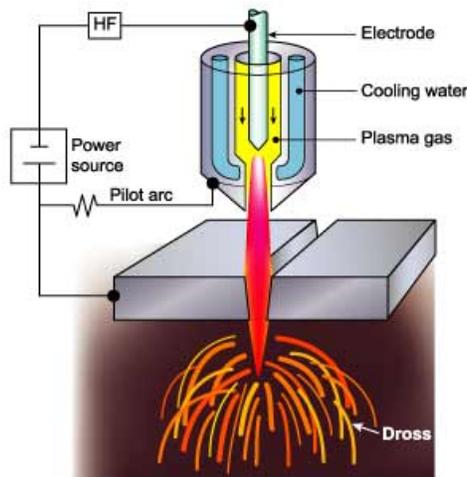


Figura 2.7 Componentes de la Antorcha de Arco de Plasma.

Fuente: TWI, Copyright 2003. Cutting Processes, Plasma Arc Cutting, Process and Equipment Considerations. [7].

El arco generado se denomina arco transferido debido a que el mismo es generado en una zona y como su nombre lo indica transferido a otra. Esto se realiza por medio de un generador de alta frecuencia con lo cual se genera un arco piloto entre el electrodo y la boquilla, por donde atraviesa el gas que es calentado rápidamente y expulsado por el orificio hacia la pieza de trabajo. La conductividad eléctrica permite establecer entonces el arco entre la pieza de trabajo que poseerá polaridad positiva y el electrodo que poseerá polaridad negativa, a la vez que el arco inicial o piloto se apaga. Existe también el denominado arco no transferido el cual es generado directamente acercando la boquilla a la pieza de trabajo [5].

### **2.2.2.3 Características del Proceso**

Los arcos de plasma operan a temperaturas en el rango de 14000 °C (25000 °F) a 25000 °C (45000 °F).

El proceso es usado para el corte de cualquier material metálico conductor, más especialmente en acero estructural, inoxidable y metales no férricos. Permitiendo máximos de corte de espesores desde 48 mm (2 inch) en antorchas de mano hasta 150 mm (6 inch) en fuertes antorchas controladas por computadoras.

Los gases que se utilizan comúnmente para el proceso son argón, nitrógeno, hidrógeno y combinaciones de ellos, además de aire y oxígeno. El sistema de corte por plasma consta de una unidad de poder y un circuito de inicio de arco los cuales están conectados a la antorcha a través de cables que proveen el flujo de gas, agua y corriente a gran frecuencia con lo cual se inicia y mantiene el proceso [6].

### **2.2.2.4 Equipos del Proceso**

#### **2.2.2.4.1 Soplete o Antorcha**

Existen sopletes de mano y sopletes montados mecánicamente, su tamaño dependerá del espesor del material con el cual se vaya a trabajar. Algunos pueden usarse en contacto directo con la pieza de trabajo mientras que otros requieren una separación mínima entre la punta de la antorcha y la pieza de trabajo.

Tanto la boquilla como el electrodo son sujetos al desgaste con la ejecución del proceso, motivo por el cual, el remplazo de los mismos periódicamente es vital para mantener la calidad en el corte.

#### **2.2.2.4.2 Fuente de Poder**

La fuente de poder requerida para el arco de plasma debe ser de corriente continua y gran voltaje. El voltaje requerido para la operación del soplete ronda desde los 50 y 60 V hasta los 200 V, sin embargo, para generar un arco inicial estable se requiere un voltaje de circuito abierto de aproximadamente el doble, por lo cual las fuentes de poder para el PAC se encuentran entre 150 a 400 o más voltios en circuito abierto.

#### **2.2.2.4.3 Controles de Corte**

Las antorchas de mano son controladas en su mayoría mediante interruptores de gatillo que son pulsados para activar el corte y se soltados para detenerlo, mientras que en los dispositivos mecanizados el corte puede ser activado con el uso de pulsadores o automáticamente mediante controles de movimiento del sistema. En los mismos se pueden efectuar secuencias tomando en cuenta inclusive variaciones de nivel de potencia y flujo de gas.

#### **2.2.2.5 Calidad de Corte**

Los factores a más importantes a tomar en cuenta a la hora de evaluar la calidad del corte incluyen:

- Tersura de la superficie.
- Ancho del corte.
- Ángulo del corte.
- Adherencia de la escoria o desechos.
- Rectitud del borde superior.

Estos factores son afectados por el tipo de material a trabajar, el equipo empleado y las condiciones de corte [1].

## 2.2.2.6 Variantes del Proceso

### 2.2.2.6.1 Uso de Gas Doble

El proceso funciona de la manera convencional pero se agrega un segundo gas alrededor de la boquilla. El mismo aporta las ventajas de una mayor focalización del arco, permite una evacuación de las escorias de metal generadas en el proceso más eficiente y un corte del material más rápido [7].

El gas secundario es seleccionado de acuerdo al material a ser trabajado:

- Aire, oxígeno o nitrógeno para el acero.
- Nitrógeno, mezcla de argón con hidrógeno o dióxido de carbono para el acero inoxidable.
- Mezcla de argón con hidrógeno o mezcla de nitrógeno con dióxido de carbono para el aluminio.

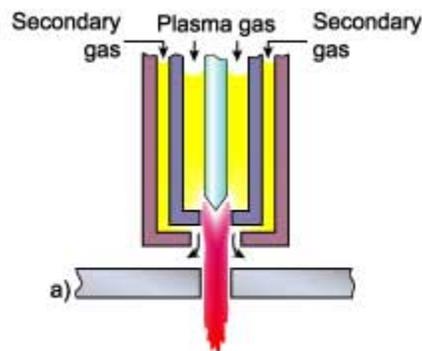


Figura 2.8 PAC con Doble Gas.

Fuente: TWI, Copyright 2003. Cutting Processes, Plasma Arc Cutting, Process and Equipment Considerations. [7].

### 2.2.2.6.2 Inyección de Agua

En funcionamiento se inyecta agua de forma radial al arco de plasma de forma tal de producir un mayor grado de focalización y constricción. Se trabaja con nitrógeno como gas lo cual hace que la temperatura del arco se mayor a la del proceso convencional (30000 °C aproximadamente) [7].

Esta variante además conlleva las siguientes ventajas:

- Mejora la calidad del corte y se produce un corte más recto.
- Incrementa la velocidad de corte.
- Reduce drásticamente el desgaste de la boquilla en el proceso aumentando su tiempo de vida útil.

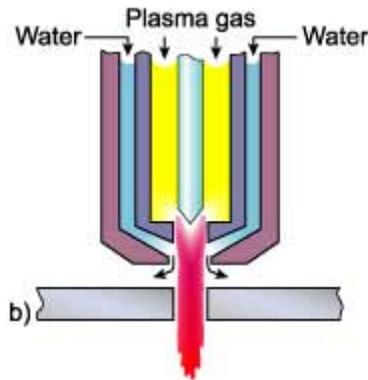


Figura 2.9 PAC con Inyección de Agua.

Fuente: TWI, Copyright 2003. Cutting Processes, Plasma Arc Cutting, Process and Equipment Considerations. [7].

### 2.2.2.6.3 Manto de Agua

En esta variante se puede dar de 2 formas, la primera consiste en rociar agua alrededor de la zona de incidencia del arco y la segunda en realizar el proceso convencional con el material de trabajo sumergido de 50 a 75 mm por debajo de la superficie del agua [7].

Esta variante además conlleva las siguientes ventajas:

- Reducción del humo y vapores generados.
- Reducción del desgaste de la boquilla e incremento de su vida útil.
- Reducción de los niveles de ruido generados en el proceso.

Como ejemplo un valor típico de ruido para el proceso convencional a altos valores de corriente es 115 dB, con manto de agua se reduce a aproximadamente 95 dB y con el material sumergido a 50 mm de la superficie

se reduce a aproximadamente 85 dB. Sin embargo esta es una mejora que no proporciona mejoras a la calidad del corte, ni a la rectitud del mismo, así como tampoco aumenta la velocidad de corte en el proceso.

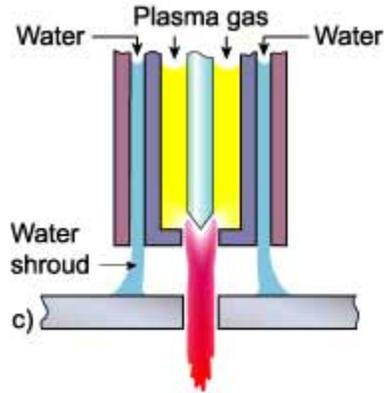


Figura 2.10 PAC con Manto de Agua.

Fuente: TWI, Copyright 2003. Cutting Processes, Plasma Arc Cutting, Process and Equipment Considerations. [7].

#### 2.2.2.6.4 Plasma de Aire

El gas utilizado para la generación del plasma puede ser remplazado por aire pero requiere el uso de un electrodo especial el cual está compuesto de hafnio o circonio envuelto en cobre. El aire también puede remplazar al agua para la refrigeración de la antorcha. La ventaja de esta variante radica en la disminución de los costos de operación global en el proceso [7].

Es de notar que aunque el electrodo y la boquilla son las únicas partes consumibles, el electrodo especial es de mayor costo que el electrodo común de tungsteno.

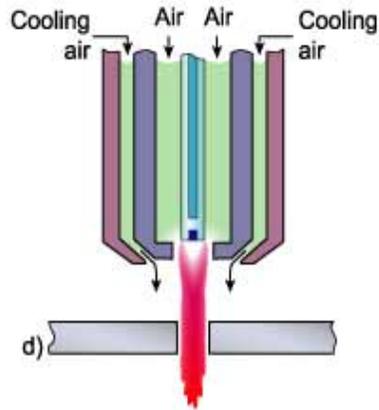


Figura 2.11 PAC de Aire.

Fuente: TWI, Copyright 2003. Cutting Processes, Plasma Arc Cutting, Process and Equipment Considerations. [7].

#### 2.2.2.6.5 PAC de Alta Tolerancia

Para mejorar la calidad del corte y competir con los sistemas de corte laser, se realizó el diseño del sistema HTPAC (High Tolerance Plasma Arc Cutting) el cual opera con un arco de gran focalización. La misma es realizada forzando el gas de plasma a arremolinarse a medida que es introducido, al mismo tiempo que se introduce un flujo de gas secundario por conductos inferiores [7].

Algunos sistemas poseen por separado un campo electromagnético que rodea el arco, lo cual, permite estabilizar el chorro de plasma y mantiene el flujo en forma de remolino tal como es introducido inicialmente.

Esta variante conlleva las siguientes ventajas:

- La calidad del corte se encuentra en un intermedio entre el proceso de corte por arco de plasma convencional y el proceso de corte por rayo laser.
- El corte realizado es mucho más estrecho.
- Se produce menos distorsión en el corte debido a que el área bajo fundición es menor.

HTPAC es una variante que requiere de gran precisión y equipos de alto desempeño. Las grandes desventajas son que los espesores de corte son muy limitados (hasta los 6 mm aproximadamente) y la velocidad de corte generalmente es menor que el proceso de PAC convencional.

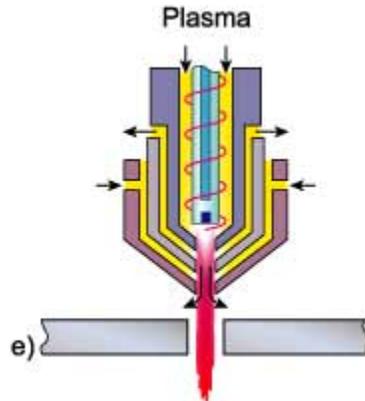


Figura 2.12 PAC de Alta Tolerancia.

Fuente: TWI, Copyright 2003. Cutting Processes, Plasma Arc Cutting, Process and Equipment Considerations. [7].

### 2.2.3 Robótica

La robótica es la rama de la ciencia que se ocupa del estudio, desarrollo y aplicaciones de los robots. Es un área interdisciplinaria formada por la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y sistemas computacionales.

La ingeniería mecánica comprende 3 aspectos en el área: el diseño mecánico de la máquina, el análisis estático y el análisis dinámico. La eléctrica y electrónica le permiten al robot transmitir la información que se le entrega coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos necesarios para la tarea, mientras que la informática provee los programas necesarios para lograr la coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, suministrándole autonomía, adaptabilidad, capacidad interpretativa y correctiva. Se tiene como producto final una máquina que combina destrezas físicas de locomoción y manipulación con cierto grado de inteligencia [8].

#### **2.2.4 Robots Industriales**

Existen ciertas dificultades a la hora de establecer una definición formal de lo que es un robot industrial. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre el mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y lo que es un manipulador. Así, mientras que para los japoneses un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación, el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control. En segundo lugar, y centrándose ya en el concepto occidental, aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es fácil ponerse de acuerdo a la hora de establecer una definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición [9].

La definición más comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias Robóticas (RIA), según la cual:

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como:

Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

- Manipulador: mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico.
- Robot: manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Por último, la Federación Internacional de Robótica (IFR) distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots:

Por robot industrial de manipulación se entiende una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento.

En esta definición se debe entender que la reprogramabilidad y la multifunción se consiguen sin modificaciones físicas del robot.

Común en todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente.

### 2.2.4.1 Componentes de los Robots Industriales

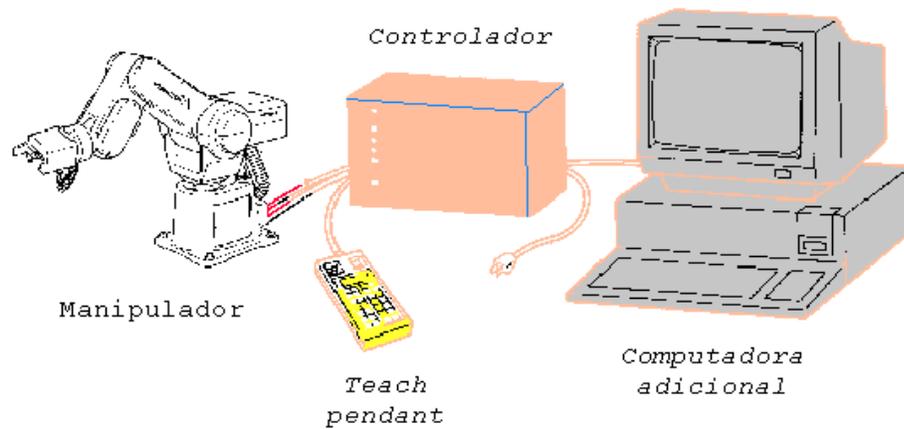


Figura 2.13 Componentes de un Robot Industrial.

Fuente: Estructura de un Robot Industrial (s.f.). [11].

#### 2.2.4.1.1 Manipulador

Un manipulador robótico consta de una secuencia de elementos estructurales rígidos, denominados enlaces o eslabones, conectados entre sí mediante juntas o articulaciones, que permiten el movimiento relativo de cada 2 eslabones consecutivos.

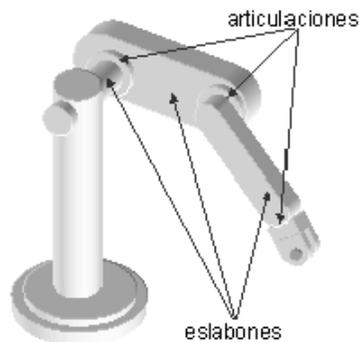


Figura 2.14 Elementos Estructurales de un Robot Industrial.

Fuente: González, V. (s.f.). Robots Industriales. [10].

Una articulación puede ser:

- Lineal (deslizante, traslacional o prismática), si un eslabón desliza sobre un eje solidario al eslabón anterior.
- Rotacional, en caso de que un eslabón gire en torno a un eje solidario al eslabón anterior.

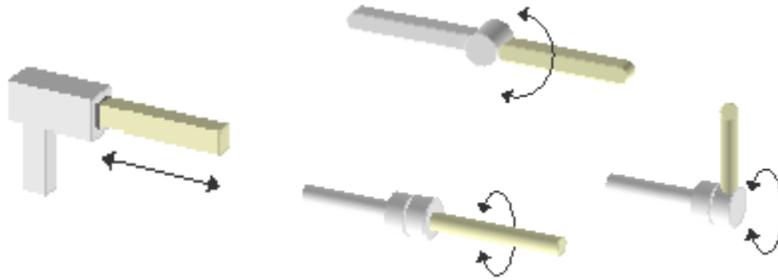


Figura 2.15 Tipos de Articulaciones: Lineal y Rotacional.

Fuente: González, V. (s.f.). Robots Industriales. [10].

El conjunto de eslabones y articulaciones se denomina cadena cinemática. Se dice que una cadena cinemática es abierta si cada eslabón se conecta mediante articulaciones exclusivamente al anterior y al siguiente, exceptuando el primero, que se suele fijar a un soporte, y el último, cuyo extremo final queda libre. A éste se puede conectar un elemento final o actuador final [10].

El elemento final es una herramienta especial que permite al robot de uso general realizar una aplicación particular, que debe diseñarse específicamente para dicha aplicación. El punto más significativo del elemento terminal se denomina punto terminal (PT). En el caso de una pinza, el punto terminal vendría a ser el centro de sujeción de la misma.

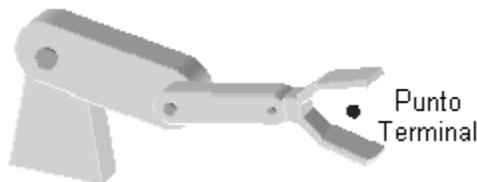


Figura 2.16 Punto Terminal de un Manipulador.

Fuente: González, V. (s.f.). Robots Industriales. [10].

Los elementos terminales pueden dividirse en dos categorías:

- Pinzas (Gripper)

Las pinzas se utilizan para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo, y sujetarlo durante el ciclo de trabajo del robot. Hay una diversidad de métodos de sujeción que pueden utilizarse, además de los métodos mecánicos de agarre entre 2 o más dedos. Estos métodos suplementarios incluyen el empleo de imanes, ganchos y cucharas.

- Herramientas

Una herramienta se utiliza como actuador final en aplicaciones en donde se exija al robot realizar alguna operación sobre la pieza de trabajo. En cada caso, la herramienta está unida a la muñeca del robot para realizar la operación.

A los manipuladores robóticos se les suele denominar también brazos del robot por la analogía que se puede establecer, en muchos casos, con las extremidades superiores del cuerpo humano [10].

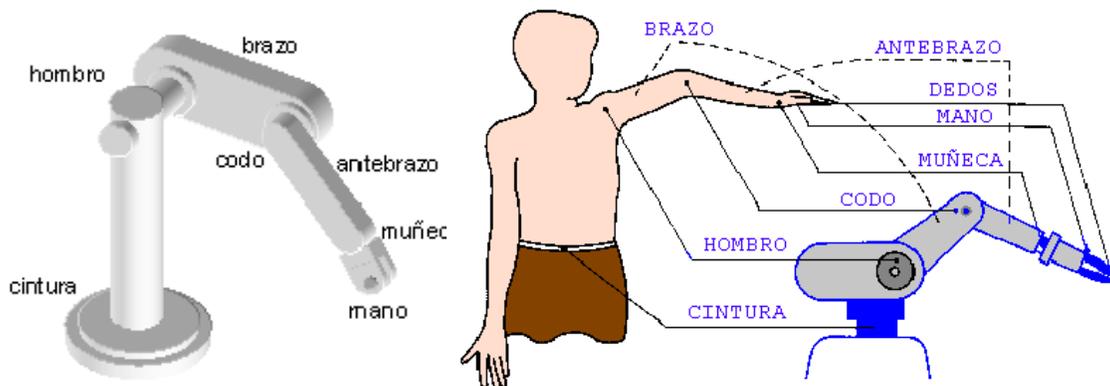


Figura 2.17 Semejanza de un brazo Manipulador con la Anatomía Humana.

Fuente: González, V. (s.f.). Robots Industriales. [10].

Se denomina grado de libertad a cada una de las coordenadas independientes que son necesarias para describir el estado del sistema mecánico del robot (posición y orientación en el espacio de sus elementos). Normalmente, en cadenas cinemáticas abiertas, cada par eslabón-articulación tiene un solo grado de libertad, ya sea de rotación o traslación. Pero una articulación podría tener dos o más grados de libertad que operan sobre ejes que se cortan entre sí.



Figura 2.18 Grados de Libertad de un brazo de Robot.

Fuente: González, V. (s.f.). Robots Industriales. [10].

Para describir y controlar el estado de un brazo de robot es preciso determinar:

- La posición del punto terminal (o de cualquier otro punto) respecto de un sistema de coordenadas externo y fijo, denominado sistema mundo.
- El movimiento del brazo cuando los elementos actuadores aplican sus fuerzas y momentos.

El análisis desde el punto de vista mecánico de un robot se puede efectuar atendiendo exclusivamente a sus movimientos (estudio cinemático) o atendiendo además a las fuerzas y momentos que actúan sobre sus partes (estudio dinámico) debidas a los elementos actuadores y a la carga transportada por el elemento terminal.

#### **2.2.4.1.2 Controlador**

Es el que regula cada uno de los movimientos del manipulador, las acciones, los cálculos y procesado de la información. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas-herramientas por medio de señales de entrada/salida.

Existen varios grados de control que son función del tipo de parámetros que se regulan, lo que da lugar a los siguientes tipos de controladores:

- De posición: el controlador interviene únicamente en el control de la posición del elemento terminal.
- Cinemático: donde el control se realiza sobre la posición y la velocidad.
- Dinámico: además de regular la velocidad y posición, controla las propiedades dinámicas del manipulador y de los elementos asociados a él.
- Adaptativo: engloba todas las regulaciones anteriores y, además, se ocupa de controlar la variación de las características del manipulador para variar la posición [11].

#### **2.2.4.1.3 Dispositivos de Entrada y Salida**

Los más comunes son: teclado del controlador y monitores disponibles así como la caja de comandos o teach pendant.

Los dispositivos de entrada y salida permiten introducir y, a su vez, ver los datos del controlador. Para mandar instrucciones al controlador y para iniciar los programas de control comúnmente se utiliza una computadora adicional, sin embargo, algunos robots poseen solo uno de estos componentes el cual posee todas las funciones.

En especial, se hace uso del teach pendant el cual es un dispositivo de mano usado para controlar el robot y los periféricos conectados al controlador. Es práctico para el movimiento de ejes, grabado de posiciones, direccionamiento de los ejes a posiciones grabadas y ejecución de programas. El mismo, permite

trabajar tanto en las coordenadas de las articulaciones como en coordenadas cartesianas.



Figura 2.19 Teach Pendant.

Fuente: González, V. (s.f.). Robots Industriales. [10].

#### **2.2.4.1.4 Dispositivos Especiales**

Entre estos se encuentran los ejes que facilitan el movimiento transversal del manipulador y las estaciones de ensamblaje, que son utilizadas para sujetar las distintas piezas de trabajo [11].

#### **2.2.4.2 Configuraciones Morfológicas**

La estructura del manipulador y la relación entre sus elementos proporcionan una configuración mecánica, que da origen al establecimiento de los parámetros que hay que conocer para definir la posición y orientación del elemento terminal. Fundamentalmente, existen cuatro estructuras clásicas en los manipuladores, que se relacionan con los correspondientes modelos de coordenadas en el espacio [11].

##### **2.2.4.2.1 Cartesiana o Rectilínea**

El posicionamiento se hace en el espacio de trabajo con las articulaciones prismáticas. Esta configuración se usa bien cuando un espacio de trabajo es grande y debe cubrirse, o cuando la exactitud consiste en la espera del robot. Posee tres movimientos lineales, con lo cual, tres grados de libertad que corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z.

Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales. Interpolación, en este caso, significa el tipo de trayectoria que realiza el manipulador cuando se desplaza entre un punto y otro. A la trayectoria realizada en línea recta se le conoce como interpolación lineal y a la trayectoria hecha de acuerdo con el tipo de movimientos que tienen sus articulaciones se le llama interpolación por articulación.

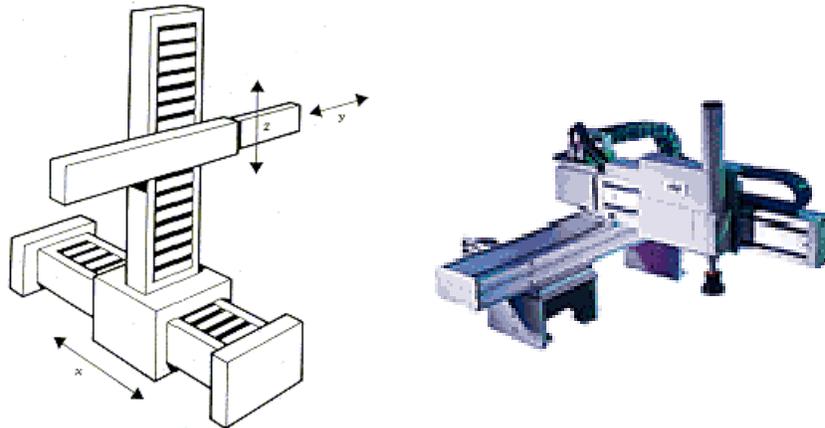


Figura 2.20 Configuración Rectilínea.

Fuente: Estructura de un Robot Industrial (s.f.). [11].

#### 2.2.4.2.2 Cilíndrica

El robot tiene un movimiento de rotación sobre una base, una articulación prismática para la altura y una prismática para el radio. Este robot se ajusta bien a los espacios de trabajos redondos, presenta tres grados de libertad y está diseñado para ejecución de los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación.

La interpolación por articulación se lleva a cabo por medio de la primera articulación, ya que esta puede realizar un movimiento rotacional.

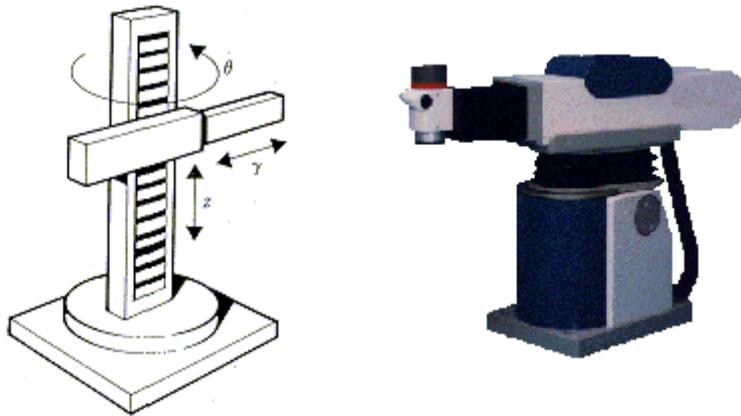


Figura 2.21 Configuración Cilíndrica.

Fuente: Estructura de un Robot Industrial (s.f.). [11].

### 2.2.4.2.3 Esférica o Polar

Dos juntas de rotación y una prismática permiten al robot apuntar en muchas direcciones, y extender la mano a un poco de distancia radial. Los movimientos son: rotacional, angular y lineal. Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la lineal para la extensión y retracción.

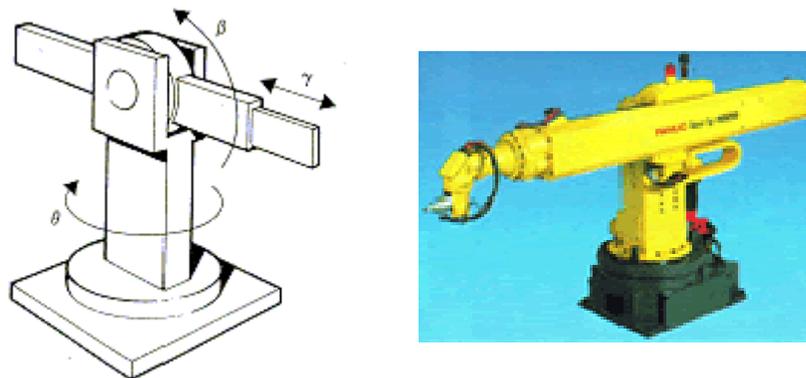


Figura 2.22 Configuración Esférica.

Fuente: Estructura de un Robot Industrial (s.f.). [11].

#### 2.2.4.2.4 Angular o de Brazo Articulado

El robot usa 3 juntas de rotación para posicionarse. Generalmente, el volumen de trabajo es esférico. Estos tipos de robot se parecen al brazo humano, con una cintura, el hombro, el codo, la muñeca. Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares. Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular.

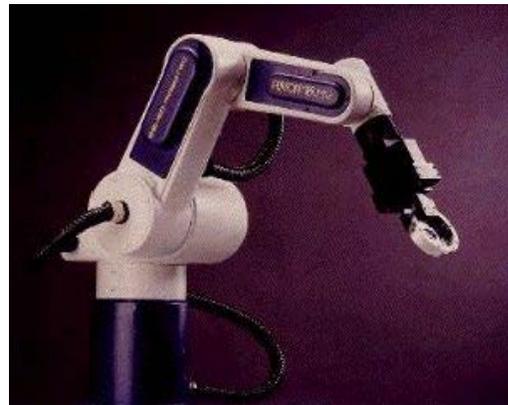
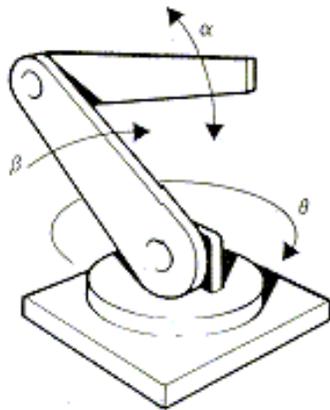


Figura 2.23 Configuración Angular.

Fuente: Estructura de un Robot Industrial (s.f.). [11].

#### 2.2.4.2.5 SCARA

Siglas de Selective Compliance Assembly Robot Arm, esta es una configuración que no es considerada clásica. Similar a la configuración cilíndrica, pero el radio y la rotación se obtiene por uno o dos eslabones. Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales. El robot de configuración SCARA también puede hacer un movimiento lineal (mediante su tercera articulación).

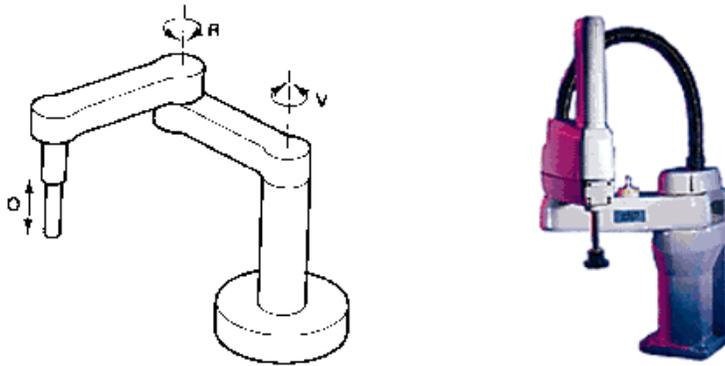


Figura 2.24 Configuración No Clásica SCARA.

Fuente: Estructura de un Robot Industrial (s.f.). [11].

## 2.2.5 Aplicaciones en la Industria

Los robots son utilizados por una diversidad de procesos industriales como lo son: la soldadura de punto y la soldadura de arco, pinturas de espray, transporte de materiales, molienda de materiales, moldeado en la industria plástica, máquinas-herramientas, entre otras [12].

A continuación se dará una breve clasificación de las mismas.

### 2.2.5.1 Transferencia de Materiales

Las aplicaciones de transferencia de materiales se definen como operaciones donde el objetivo primario es mover una pieza de una posición a otra. Consideradas las aplicaciones más sencillas o directas de realizar por un robot industrial. Las aplicaciones normalmente requieren de robots poco sofisticados y requisitos de enclavamiento e interacción con otros equipos simples.

### 2.2.5.2 Carga y Descarga de Máquinas

Estas aplicaciones son manejo de material en las que el robot industrial se utiliza para servir a una máquina de producción transfiriendo piezas a/o desde las máquinas.

### **2.2.5.3 Operaciones de Procesamiento**

Existe una gran clase de aplicaciones en las cuales el robot realmente efectúa trabajos sobre las piezas. Este trabajo generalmente requiere que el efector final del robot sea una herramienta en lugar de una pinza. Por tanto es una característica distintiva en este tipo de aplicaciones y el tipo de herramienta dependerá de la tarea a realizar.

Entre este tipo de aplicaciones las operaciones más frecuentes son:

- Soldadura por puntos.
- Soldadura por arco continuo.
- Recubrimiento con pintura: en cuál a su vez se divide en 2, el método de recubrimiento por flujo e inmersión y el método de recubrimiento por espray.
- Taladro, acanalado y otras operaciones de mecanizado.
- Rectificado, pulido, desbarbado, cepillado y otras operaciones similares.
- Remachado.
- Corte por chorro de agua.
- Corte por plasma.
- Taladro y corte por láser.

### **2.2.6 Programación a Nivel Industrial**

En orden de que el manipulador de un robot realice un trabajo eficiente, debe ser programado para realizar la tarea deseada o ciclo deseado. Hoy en día, los robots generalmente requieren gran cantidad de programación para que sean realmente flexibles. Sus controladores son muy sofisticados y los programas de simulación de entornos comercial comúnmente son cerrados, los lenguajes varían de acuerdo al fabricante.

En la mayoría de las aplicaciones industriales la programación se clasifica en 2 tipos, la programación manual (on-line) o la programación mediante simulación de entorno (off-line).

La programación manual se refiere a impartirle físicamente las trayectorias de trabajo al robot [13], lo cual es realizado normalmente a través del dispositivo denominado Teach Pendant. Esta vía sin embargo, por sí sola, presenta las siguientes desventajas: es muy lenta, permite posibles dificultades en el manejo de equipos y el conocimiento técnico de los mismos, así como también requiere experiencia en el manejo del lenguaje usado por el robot. Es por ello que hoy en día se parte de la aplicación en conjunto de las 2, de forma tal, que se minimicen tiempos de implementación y posibles tiempos de paradas de procesos por reorganización o actualización de los mismos. Esto es parte esencial de la manufactura o fabricación rápida, la cual es definida como la habilidad de realizar cambios rápidos entre líneas de ensamblaje utilizando la misma celda de trabajo [14].

#### **2.2.7 DR. Control**

Es el asistente de programación utilizado por la unidad de control del robot OTC Daihen DR-4000, basado en la programación guiada extendida, que a pensar de necesitar una ubicación directa de puntos y posición del robot, permite tener control sobre la velocidad y trayectoria para el recorrido entre puntos. Este tiene la capacidad para configuración de trayectorias en distintos sistemas de posicionamiento (por articulación ó por ejes coordenados) incluyendo la posibilidad de utilizar diferentes centros de referencia (colocar diferentes orígenes de los sistemas de coordenadas). Posee además operaciones adicionales para configuración de movimiento como lo es retardos “TIMER”, nivelación de superficie “WEAVING”, cambio de posición “SHIFT”, recorrido de espejo “MIRROR”, entre otros.

Esencialmente este asistente viene diseñado para el manejo de una herramienta de soldadura, por lo que sus comandos de acción poseen variables referentes a soldar. Sin embargo, es perfectamente compatible con maquinarias que posean un principio de funcionamiento similar, como lo es una cortadora plasma. Además posee un módulo para señales externas analógicas para el uso de sensores y

actuadores durante el proceso. Es capaz de realizar ejecuciones en modo “manual” (moviendo paso por paso directamente con el Teach Pendant) o en modo “Automático” (sólo iniciando la tarea).

Su programación se establece únicamente mediante el Teach Pendant sobre el cual se manipula su interfaz:

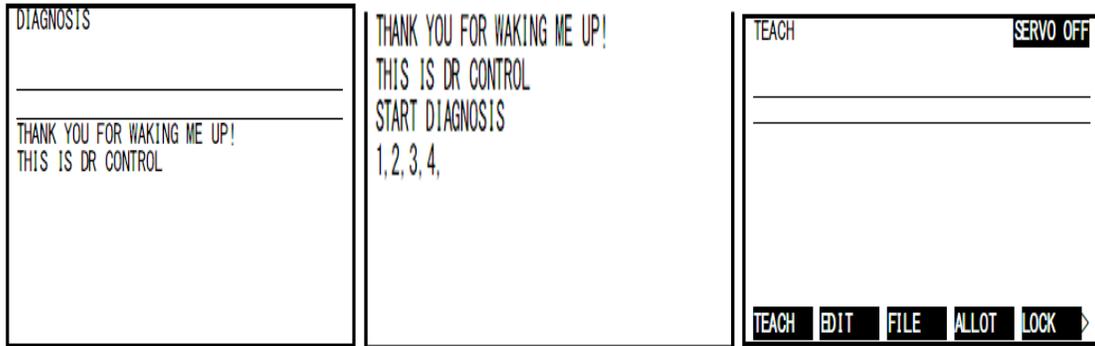


Figura 2.25: Interfaz inicial de DR Control.

Fuente: Manual de operaciones.

Luego de finalizar la inicialización, deben activarse los servos motores del robot con la opción “SERVO ON” del TeachPendant, para luego proceder a ingresar a la sección de edición de programas mediante la opción “TEACH” de la pantalla principal.

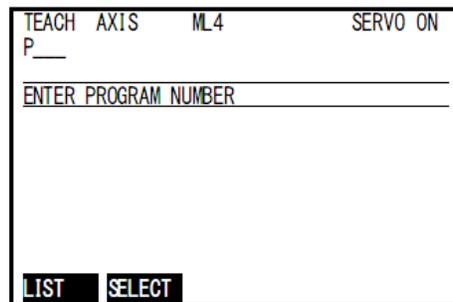


Figura 2.26: Elección del Programa a Crear o Editar.

Fuente: Manual de operaciones.

El DR Teaching posee “999” direcciones para almacenar programas, sin embargo, algunos de estos ya se encuentra ocupados por programas internos con rutinas de movimiento, ejecución de tareas, o desplazamiento hacia el origen de coordenadas;

Programas que están protegidos contra sobre escritura. Pero a pesar de esto, quedan cerca de “950” direcciones para almacenar programas.

Tengamos entonces una reseña de los comandos de mayor relevancia para una tarea de corte por plasma:

### 2.2.7.1 Instrucción Posicionamiento (P)

La instrucción “P” permite que el robot se mueva a la posición registrada conservando su actitud (orientación de las articulaciones) y se utiliza en un punto donde no sea necesaria ninguna tarea, es decir, meramente posicionamiento. Sus condiciones asociadas son:

- Velocidad: Se ingresa en un porcentaje que va desde 1% a 100%, donde 100% es la velocidad máxima de movimiento.
- Solapamiento ON/OFF: es un proceso para mover el robot de un punto a otro sin reducir la velocidad, es decir, no se detiene sobre el punto sino que se acerca y continúa su trayectoria.

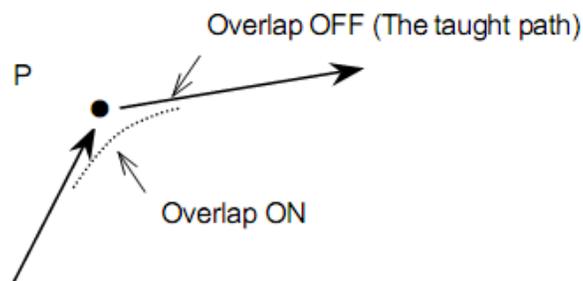


Figura 2.27: Efecto de Solapamiento en la Trayectoria.

Fuente: Manual de operaciones.

### 2.2.7.2 Instrucción Interpolación Lineal (L)

La instrucción “L” permite que el robot realice un movimiento lineal desde su ubicación a la posición registrada, y se utiliza principalmente donde es necesario la tarea de corte. Sus condiciones asociadas son:

- Velocidad: Se ingresa en unidades de “centímetros por minuto” en valores que van desde 1 cm/min a 900 cm/min.
- Solapamiento ON/OFF: Es la misma opción descrita para la función “P”.

### 2.2.7.3 Instrucción Interpolación Circular (C)

La instrucción “C” permite que el robot realice un movimiento circular a partir de un determinado punto. Una circunferencia está definida perfectamente por tres puntos, un punto de partida, un punto medio y un punto final; se debe asegurar el registrar estos tres puntos como P/L para el inicial, C1 para el punto medio y C2 para el punto final. Sus condiciones asociadas son velocidad y solapamientos, las cuales poseen las mismas características que para la interpolación lineal.

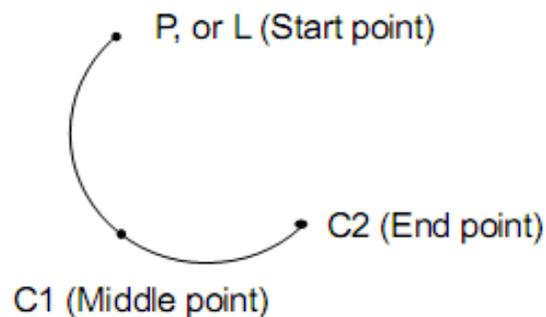


Figura 2.28: Esquema para la Interpolación Circular.

Fuente: Manual de operaciones.

### 2.2.7.4 Instrucción Inicio de Arco (AS)

Esta instrucción se utiliza para iniciar el arco de corte con condiciones específicas, o para modificar estas condiciones durante la operación de corte. Condiciones asociadas:

- Corriente: Determina la cantidad de amperios con los que se realizará el corte.
- Voltaje: Determina la diferencia de potencial entre el electrodo y el terminar de tierra. Opción referente a soldadura.
- Velocidad: Se ingresa en unidades de “centímetros por minuto” en valores que van desde 1 cm/min a 900 cm/min.

#### **2.2.7.5 Instrucción Final de Arco (AE)**

Esta instrucción se utiliza para terminar con el proceso de corte con condiciones específicas. Condiciones asociadas:

- Corriente: Determina la cantidad de amperios con los que se está realizando el corte.
- Voltaje: Determina la diferencia de potencial entre el electrodo y el terminar de tierra. Opción referente a soldadura.
- Espera: Determina el tiempo de espera para detener el arco desde que se inició la instrucción. Opción referente a soldadura, utilizada para terminar el proceso con un punto de soldadura grueso al final llamado “cráter”.

#### **2.2.7.6 Función Copiar (COPY)**

Realiza una copia de la instrucción indicada, almacenando tanto posición como actitud. Si es eliminada una instrucción del programa, ésta quedará almacenada en el espacio dedicado para esta función.

#### **2.2.7.7 Función Insertar (INSERT)**

Inserta en la posición deseada la instrucción que ha sido previamente copiada. Luego de eliminar una instrucción de algún programa, puede insertarse directamente en cualquier otro lugar pues ha quedado almacenada en la sección de copiado.

### 2.2.7.8 Función Insertar Programa (PRG INST)

Realiza la inserción de un programa dentro de otro, definiendo a partir de qué línea del código principal se hará a inserción.

### 2.2.7.9 Instrucción Desplazamiento (SHIFT)

Esta instrucción permite desplazar la posición de un punto, grupo de puntos, o el programa completo.

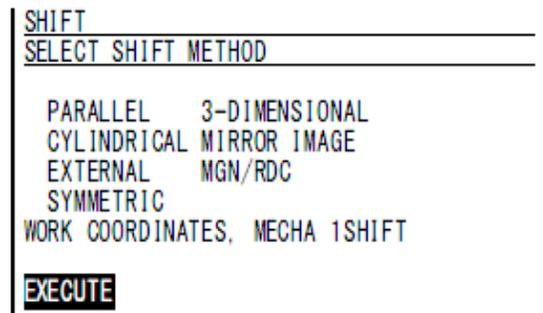


Figura 2.29: Selección del Método de Desplazamiento.

Fuente: Manual de operaciones.

El desplazamiento puede realizarse de dos maneras:

#### 2.2.7.9.1 Paralelo 3D

Es capaz de modificar las coordenadas de manera que la trayectoria se desplace sobre los tres ejes coordenados de referencia del robot, pero conservando su orientación angular. Puede configurarse de dos maneras:

- Manual: Moviendo manualmente el robot hasta el punto en el que se desea se realice el desplazamiento.

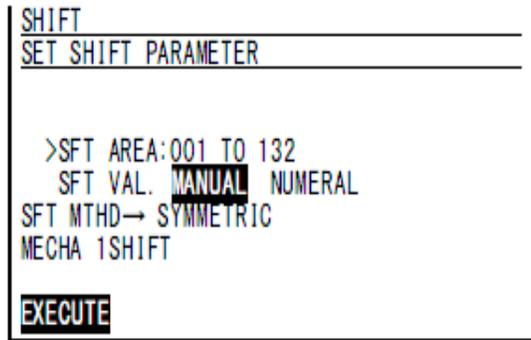


Figura 2.30: Desplazamiento Paralelo 3D Manual.

Fuente: Manual de operaciones.

- Numérico: Indicándole al robot la cantidad de desplazamiento deseado en los ejes coordenados.

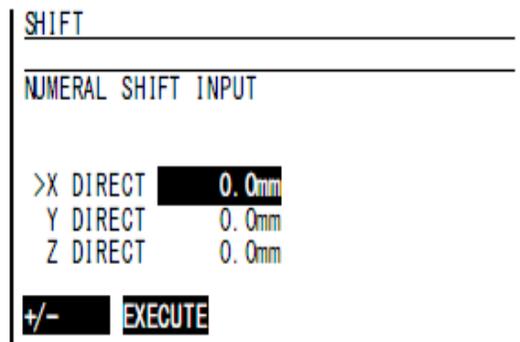


Figura 2.31: Desplazamiento Paralelo 3D Numérico.

Fuente: Manual de operaciones.

### 2.2.7.9.2 Cilíndrico

Es capaz de modificar las coordenadas de manera que la trayectoria se desplace angularmente respecto a los ejes horizontales. Sólo puede configurarse indicándole el valor angular que se desea en el giro.

## **CAPÍTULO III**

### **3.1 MARCO METODOLÓGICO**

En ésta investigación los objetivos se han dispuesto para la programación de un autómatas del fabricante OTC Daihen, que realizará las labores de perforación de agujeros de pestaña sobre chasis en una empresa automotriz.

#### **3.1.1 Tipo de Investigación**

La presente investigación propone un modelo operativo viable, brindando una solución a un problema de tipo práctico, para satisfacer la necesidad de una empresa automotriz, por lo que los lineamientos establecidos para el desarrollo de la investigación quedan enmarcados dentro de la modalidad de Proyecto Factible.

#### **3.1.2 Nivel de Investigación**

La presente investigación se basa en la caracterización de un proceso para establecer una nueva estructura de comportamiento, por lo que queda enmarcada dentro de investigación descriptiva.

#### **3.1.3 Diseño de la Investigación**

Se ha adoptado una estrategia experimental para el diseño de la investigación, ya que mediante el control y manipulación de variables, se ha sometido un proceso existente a modificaciones para observar los efectos producidos, siendo estas modificaciones experimentos de laboratorio.

#### **3.1.4 Técnicas de Instrumentación y Recolección de Datos**

Para la obtención de datos, las técnicas empleadas se desarrollaron principalmente a través de bibliografía electrónica, para apoyar la observación y medición experimental realizada en laboratorio; para las estimaciones sobre la celda de trabajo se hizo uso de la simulación 3D en Roboworks.

### **3.1.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

Para facilitar la interpretación de los datos adquiridos, el investigador debe efectuar una descripción de tipo cualitativa o cuantitativa. Debido a nuestro diseño experimental de la investigación, se realizaron numerosas mediciones sobre dichos experimentos, por lo que nuestra descripción queda definida como cualitativa.

Así mismo, se realizaron múltiples pruebas en el entorno 3D del simulador Roboworks con las que se analizó trayectorias y zona segura de trabajo.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ETAPA DE PUNZONADO EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN DE PESTAÑA EN LA EMPRESA METALSA C.A.

En la compañía Metalsa C.A., el punzonado se realiza haciendo uso de un yugo neumático guiado por unas plantillas de perforación, realizando para ello el proceso descrito a continuación:

Debido a que la pestaña superior e inferior poseen agujeros diferentes, y dichos agujeros tienen posiciones distintas, se utiliza una plantilla para cada una de las pestañas. Comenzando con la pestaña superior (siendo este orden poco relevante) se procede a fijar sobre el chasis la plantilla perforada que posee el diámetro y la distancia exacta entre agujeros. La plantilla es colocada en un lugar específico ya que posee pines que se ubican en agujeros sobre el alma del larguero.



Figura 4.1: Plantilla de Perforación Para la Pestaña Superior.

Colocada la plantilla, se hace uso de un yugo neumático el cual realiza la perforación con un punzón del diámetro necesario para cada agujero.



Figura 4.2: Yugo Neumático.



Figura 4.3: Punzones de diferentes Diámetros.

Al finalizar el punzonado de la pestaña superior, se procede de la misma manera con la pestaña inferior, cambiando por supuesto la plantilla y los punzones a los diámetros adecuados. Sin embargo, una de las perforaciones de la pestaña inferior es un slot, el cual es realizado generando dos agujeros con un punzón y luego limando la parte recta con una fresa manual.



Figura 4.4: Plantilla de Perforación para Pestaña Inferior.

Los resultados obtenidos en este proceso se ven afectados principalmente porque los punzones utilizados son de tamaño estándar y se usan los más aproximados al diámetro requerido para los agujeros, superando algunos los niveles de tolerancia permitidos, y afectando la calidad del proceso. Por otra parte, está el tiempo que toma cambiar de punzón en el yugo y la dificultad que conlleva moverlo entre perforaciones. Sumado a esto, se encuentra el retardo causado por el trabajo con la fresa para la sección recta del slot. De esta manera se observa lo ineficiente que resulta este proceso de perforación, añadiendo ahora el riesgo de manipulación del yugo.



Figura 4.5: Perforaciones sobre Pestaña Superior.

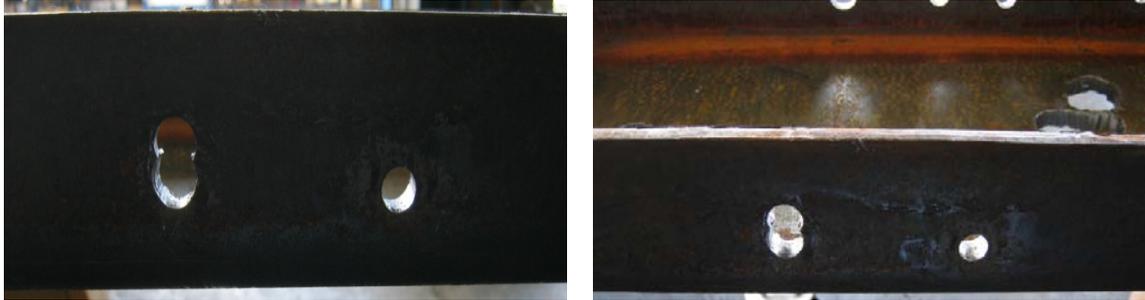


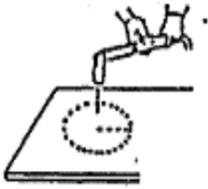
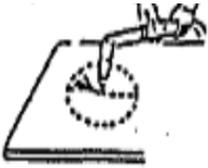
Figura 4.6: Perforaciones sobre Pestaña Inferior.

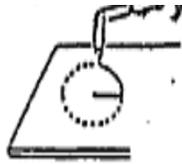
## 4.2 PERFORACIÓN ROBOTIZADA

Como solución a todos los problemas de ineficiencia e inseguridad que conlleva la perforación manual de los agujeros de pestaña, se ha realizado la programación de un robot “OTC Daihen DR-4000” que usará como herramienta de corte una cortadora plasma “OTC Daihen D-12000”.

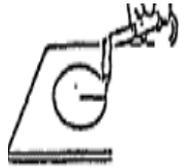
### 4.2.1 Método de Corte

La empresa “OTC Daihen” fabricante de la cortadora plasma modelo “D-12000” propone especificaciones para la realización de cortes circulares en placas, las cuales disponen lo siguiente:

-  Aproxime la antorcha al centro del agujero a cortar para iniciar el arco.
-  Inclíne la antorcha como mínimo a  $10^\circ$  de la superficie a cortar e inicie el corte.



- Realice un corte radial desde el centro hasta el perímetro del círculo y continúe perimetralmente.



- Finalice recorriendo todo el perímetro y luego apague el arco.

#### 4.2.2 Programación de las Trayectorias Circulares

Tomando en cuenta las especificaciones de corte propuestas por “OTC Daihen” se procederá a realizar la programación de las trayectorias circulares haciendo uso del asistente de programación “DR. Control”.

Puesto que DR. Control posee una programación guiada extendida, será necesario indicarle punto por punto el esquema general de movimiento, para luego especificarle la trayectoria que tomará entre dichos puntos. Tomaremos ubicación de puntos singulares al comando “Positioning”, como herramienta principal de determinación general de puntos al comando “Shift”, y para las trayectorias los comandos “Circular” y “Linear Interpolation”.

##### 4.2.2.1 Procedimiento para Definir Trayectorias Circulares

Ya se ha enunciado que para definir una trayectoria circular en el espacio es necesario por lo menos tres puntos que pertenezcan a la circunferencia en cuestión, en este sentido, será necesario definir estos tres puntos partiendo del centro de dicha circunferencia.

A manera de ejemplo, dispondremos de un plano formado por los ejes ( $\pm Y$ ,  $\pm Z$ ) perpendiculares entre sí, con origen común (0,0); siendo este también el centro de la circunferencia. A partir de este punto se pueden determinar cualquier trío de puntos de la circunferencia realizando un movimiento radial en cualquier

dirección; para comodidad didáctica se realizarán los movimientos sobre los ejes coordenados.

Definiendo entonces el centro de la circunferencia como un punto por el comando:

> 001 P 10% (0,0); Origen de la circunferencia.

Partiendo de este punto, se realizarán movimientos radiales sobre los ejes coordenados para definir los puntos necesarios para describir la circunferencia, de manera que se realizó una copia del punto origen con la opción “COPY”, de manera que queda:

> 001 P 10% (0,0); Origen de la circunferencia.

> 002 P 10% (0,0); Copia del punto 001.

Haciendo uso de la opción “Shift” se pueden modificar las coordenadas de un comando, o un grupo de estos. Se utiliza este comando sobre el punto copia para desplazarlo hacia el eje +Z una distancia igual al radio del círculo.

> 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

> 002 P 10% (0,+R); Punto perimetral sobre el eje Z.

De esta manera, se puede hacer la copia de tantos puntos como sean necesarios; agregándose tres copias se tendrá que:

> 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

> 002 P 10% (0,+R); Punto perimetral sobre el eje Z.

> 003 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

> 004 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

Ahora bien, se realizan los cambios de coordenadas de manera que la secuencia describa el círculo con alguna orientación (horaria o anti horaria); se tomó horaria por mera comodidad.

> 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

> 002 P 10% (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

> 003 P 10% (+R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 004 P 10% (-R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

Hasta acá se tienen los puntos que describen nuestra circunferencia perfecta, sin embargo, es necesario incorporar un quinto punto pues, para completar el círculo, se debe retornar al punto perimetral de inicio, por lo que realizamos una copia del punto del punto "002 P".

> 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

> 002 P 10% (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

> 003 P 10% (+R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 004 P 10% (-R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 005 P 10% (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

De esta manera se tiene el esquema general de puntos necesarios para realizar un movimiento circular, sin embargo, la trayectoria actual no es más que una serie de puntos que el robot recorrerá a su conveniencia, por lo que se debe indicarle las trayectorias modificando el tipo de marcador que define al punto. Para el recorrido radial del centro al perímetro, es necesario un comando “L”, y para los demás puntos perimetrales un “Circular”; N es un número arbitrario que determina la velocidad del movimiento en “N centímetros por minuto”.

> 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.

> 002 L Ncm (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

> 003 C1 Ncm (+R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 004 C2 Ncm (-R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 005 C2 Ncm (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

De esta manera se consigue realizar la circunferencia con radio “R” sobre un plano. Si se desea, se puede cambiar la ubicación de la circunferencia seleccionando “Shift” para todas las líneas de código, al desplazarla una distancia “d” hacia el eje +Y por ejemplo, obtendremos:

> 001 P 10% (+d,0) ; Origen de la circunferencia.

> 002 L Ncm (+d,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

> 003 C1 Ncm (R+d,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 004 C2 Ncm (-R+d,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 005 C2 Ncm (+d,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

Estas circunferencias en realidad están definidas en el espacio, por lo que poseen una componente en un tercer eje coordenado, sin embargo, dado el sistema de programación guiado del DR. Control con fijar el centro de la circunferencia ya se estará fijando la tercera coordenada, la cual es igual para todos los puntos.

#### 4.2.2.2 Procedimiento para Definir Trayectoria del Slot

Un slot cuenta con dos medias circunferencias y un tramo recto, definiendo el inicio de corte en la semicircunferencia superior, y D la distancia de la parte recta, se tiene que:

> 001 P 10% (0,0) ; Origen de la semicircunferencia superior.

> 002 L Ncm (-R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 003 C1 Ncm (0,R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.

> 004 C2 Ncm (R 0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.

> 005 L Ncm (R,-D) ; Punto inicio de la semicircunferencia inferior.

> 006 C1 Ncm (0,-D-R); Punto perimetral de semicircunferencia inferior.

> 007 C2 Ncm (-R, -D); Punto perimetral de semicircunferencia inferior.

> 008 L Ncm (-R,0) ; final de recorrido del slot.

### 4.2.3 Programación del Corte de una Circunferencia y Slot

Teniendo la circunferencia previamente diseñada, es cuestión de ajustar detalles e iniciar el arco de corte para que la perforación sea hecha. No se tomará en cuenta para este código de ejemplificación, pero el valor del radio debe ser adecuado para que tome en consideración la sangría de corte, para el caso de la antorcha a utilizar es de 2mm, por lo que debe disminuirse 1 mm al radio de la circunferencia programada.

El principio del corte debe realizarse con la antorcha inclinada, por lo que la primera posición debe ser esta y es justo allí en donde se le dará inicio al arco de corte. Al finalizar el recorrido perimetral debe detenerse el arco pues si se retira la antorcha y hay una pérdida de arco forzada será reconocido como un error y el programa se detendrá. El valor "MA" denotará que el corte se está efectuando a M Amperios.

- Para la Circunferencia
  - > 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia con la antorcha inclinada.  
AS MA Ncm ; Inicio de arco, M Amperios, N centímetros por minuto.
  - > 001 P 10% (0,0) ; Origen de la circunferencia.
  - > 002 L Ncm (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.
  - > 003 C1 Ncm (+R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.
  - > 004 C2 Ncm (-R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.
  - > 005 C2 Ncm (0,+R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.  
AE MA 0.0s ; Final de arco, M Amperios, 0.0 segundos de espera.

- Para el Slot
  - > 001 P 10% (0,0) ; Origen de la semicircunferencia superior.  
AS MA Ncm ; Inicio de arco, M Amperios, N centímetros por minuto.
  - > 002 L Ncm (-R,0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.
  - > 003 C1 Ncm (0,R) ; Punto perimetral sobre el eje Z.
  - > 004 C2 Ncm (R 0) ; Punto perimetral sobre el eje Y.
  - > 005 L Ncm (R,-D) ; Punto inicio de la semicircunferencia inferior.
  - > 006 C1 Ncm (0,-D-R); Punto perimetral de semicircunferencia inferior.
  - > 007 C2 Ncm (-R, -D); Punto perimetral de semicircunferencia inferior.
  - > 008 L Ncm (-R,0) ; final de recorrido del slot.  
AE MA 0.0s ; Final de arco, M Amperios, 0.0 segundos de espera.

#### 4.2.4 Circunferencias y Slot sobre Pestañas

El posicionamiento de las circunferencias sobre las pestañas de los largueros para el chasis 1721a se hará según las especificaciones de la compañía Ford Motor de Venezuela C.A. para el modelo de chasis Ford Cargo 1721a (Tablas 4.1 y 4.2). La referencia para la ubicación de los agujeros es la punta unión entre la pestaña y el alma del larguero como se observa en las figuras 4.7 y 4.8.

Tabla 4.1: Especificaciones de Agujeros de Pestaña.

| Tipo de Agujero | Pestaña  | N# de Agujeros | Diámetro Nominal (mm) | Radio Nominal (mm) | Tolerancia Diametral (mm) | Ubicación de centro (mm;mm)          |
|-----------------|----------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 10              | Inferior | 1              | 11                    | 5.5                | ±1                        | (575;39)                             |
| 13              | Superior | 2              | 13.6                  | 6.8                | ±1                        | (239;40.7)<br>(289;40.7)             |
| 16              | Superior | 3              | 15.4                  | 7.7                | ±1                        | (24;40.7)<br>(89;40.7)<br>(134;40.7) |
| 18              | Superior | 2              | 17                    | 8.5                | ±1                        | (360.5;40.7)<br>(610.5;40.7)         |

Fuente: Especificaciones para CARGO 1721, Ford Motor de Venezuela.

Tabla 4.2: Especificaciones de Slot de Pestaña.

| Tipo de Agujero | Pestaña  | N# de Agujeros | Dimensiones (mm x mm) | Radio Nominal (mm) | Sección Recta (mm) | Tolerancia Dimensional (mm) | Ubicación de centro (mm;mm) |
|-----------------|----------|----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Slot            | Inferior | 1              | 24 x 13               | 6.5                | 11                 | ±1                          | (610.5;39)                  |

Fuente: Especificaciones para CARGO 1721, Ford Motor de Venezuela.

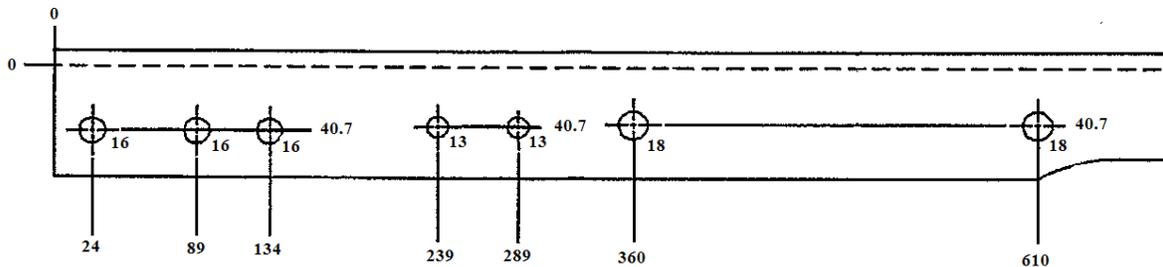


Figura 4.7: Sección Delantera de Pestaña Superior de Larguero.

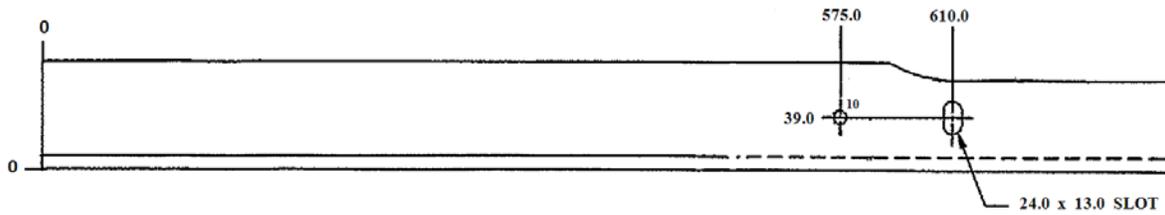


Figura 4.8: Sección Delantera de Pestaña Inferior de Larguero.

### 4.3 PRUEBAS DE CORTE

La lámina que compone el larguero es de acero de 9.5mm de espesor, lo que equivale a 0.37 pulgadas; la transformación es por comodidad pues la tabla de condiciones de corte proporcionada por “OTC Daihen” para espesores de aceros viene dada en pulgadas, con lo cual se puede obtener la corriente consumida, velocidad de corte y altura como se observa en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Condiciones de Corte para Aceros.

| Material | Espesor de lámina (pulg.) | Corriente de corte (A) | Velocidad de corte (pulg./min) | Altura de la punta (pulg.) |
|----------|---------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Acero    | 0.35                      | 80                     | 39 ~ 70.9                      | 0.16 ~ 0.2                 |
| Acero    | 0.47                      | 80                     | 19.7 ~ 39.4                    | 0.16 ~ 0.2                 |

Fuente: OTC Daihen, Manual de Operaciones D-12000.

Con lo que se hace necesaria la interpolación entre los datos suministrados para obtener los valores exactos y partir de ellos para pruebas.

#### 4.3.1 Estimación de Condiciones de Corte

Para un espesor de 0.35 pulg la velocidad promedio de corte es de:

$$\frac{70.9 + 39}{2} = 54.95$$

Con lo que se tiene un primer punto: (X1,Y1)=(0.35 ; 54.95).

Para un espesor de 0.47 pulg la velocidad promedio de corte es de:

$$\frac{39.4 + 19.7}{2} = 29.55$$

Con lo que se tiene un segundo punto: (X2,Y2)=(0.47 ; 29.55).

$$V - 54.95 = \frac{54.95-29.55}{0.35-0.47} (E - 0.35) \quad (4.1)$$

Donde interpolando V es la velocidad de corte incógnita, y E es el espesor de la lámina (Ecuación 4.1); E = 0.37 pulg.

$$V - 54.95 = \frac{54.95-29.55}{0.35-0.47} (0.37 - 0.35) \quad (4.2)$$

$$V = \frac{25.4}{-0.12} (0.02) + 54.95 \quad (4.3)$$

$$V = -4.23 + 54.95 = 50.72 \frac{\text{pulg.}}{\text{min}} \quad (4.4)$$

Se ha obtenido un valor de V = 50.72 pulg./min, sin embargo, tanto el DR. Control como la perilla física de la cortadora poseen graduación en “cm/min”, por lo que transformando se tiene que:

$$V_{cm/min} = 50.72 \frac{\text{pulg.}}{\text{min}} 25.4 \frac{\text{cm}}{\text{pulg.}} = 128.82 \frac{\text{cm}}{\text{min}} \quad (4.5)$$

#### 4.3.2 Prueba con Condiciones Estimadas

Se ha realizado un programa con trayectoria circular para la perforación de prueba, con un radio igual al nominal para los agujeros tipo 16, es decir R = 7.7 mm.

Procediendo a realizar una prueba con las condiciones estimadas anteriormente (Tabla 4.4), tendremos que (0.16 ~ 0.2 pulg. equivalen a 4 ~ 5 mm):

Tabla 4.4: Condiciones Estimadas.

| <b>Corriente de corte (A)</b> | <b>Velocidad de corte (cm/min)</b> | <b>Altura de la punta (mm)</b> | <b>Resultado</b> |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 80                            | 130                                | 4 ~ 5                          | No corta         |

Las condiciones establecidas no son suficientes para perforar la lámina del larguero, por lo que se deben hacer variaciones en estas hasta dar con el valor adecuado. Significativos para el corte son los valores de corriente y velocidad, la altura de la punta (valor que determina el valor mínimo para que la punta no reciba material fundido de la pieza) y el valor máximo para asegurar un arco de corte estable (evitar pérdida de arco).

#### 4.3.3 Variaciones Porcentuales de las Condiciones de Corte

Para brindarle más potencia al corte se debe intensificar la corriente con la que se realiza, ó bien podría aumentarse el tiempo de exposición al flujo de corriente de la zona a cortar (disminuir la velocidad de corte). Realizando variaciones porcentuales iguales para las condiciones de corte se consigue la más influyente en el corte, de manera que se variará aproximadamente un 25% en cada magnitud a la vez que se mantiene la otra como se puede observar en la tabla 4.5:

Tabla 4.5: Variaciones Porcentuales.

| <b>Corriente de corte (A)</b> | <b>Velocidad de corte (cm/min)</b> | <b>Altura de la punta (mm)</b> | <b>Resultado</b> |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 80                            | 105                                | 4 ~ 5                          | No corta         |
| 100                           | 130                                | 4 ~ 5                          | Corta            |



Figura 4.9: Resultado de Primera Variación.



Figura 4.10: Resultado de Segunda Variación.

Conservando los 80 A y disminuyendo la velocidad a 105 cm/min sigue sin lograrse perforar la lámina del largue. Aumentando la corriente a 100 A y conservando la velocidad en 130cm/min la potencia es suficiente para perforar totalmente la lámina. Es la corriente lo que aporta la potencia más significativa para el corte.

#### 4.3.4 Calidad de Corte

Sin embargo, existe factores de calidad que intervienen en la perforación de agujeros, los principales son:

- Limpieza de corte: referido tanto a la corrugación como a la producción de escoria (remanente de material fundido) en la zona cortada.
- Conicidad: se refiere al ángulo cónico que se genera entre el agujero de ingreso y el agujero de salida.

Para el ensayo anterior de 100 A y 130 cm/min las dimensiones del agujero de ingreso y salida se muestran en la tabla 4.6:

Tabla 4.6: Dimensiones del Agujero.

| <b>Corriente de corte (A)</b> | <b>Velocidad de corte (cm/min)</b> | <b>Diámetro de ingreso (mm)</b> | <b>Diámetro de salida (mm)</b> | <b>Diferencia (mm)</b> |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 100                           | 130                                | 16.6                            | 14.2                           | 2.4                    |

Estos valores exceden los límites de calidad para los agujeros, por lo que debe corregirse la conicidad. Puesto a utilizar una antorcha con una baja tolerancia, naturalmente se incorpora cierto grado de conicidad, sin embargo esto puede corregirse aumentando el flujo de corriente de manera que penetre más uniformemente en el material, realizando un incremento porcentual del 20% en la corriente, se realizó el ensayo con 120 A y 130 cm/min obteniendo resultados mostrados en la tabla 4.7 y la figura 4.11:

Tabla 4.7: Resultado de Ensayo a 120 (A) y 130 cm/min.

| <b>Corriente de corte (A)</b> | <b>Velocidad de corte (cm/min)</b> | <b>Diámetro de ingreso (mm)</b> | <b>Diámetro de salida (mm)</b> | <b>Diferencia (mm)</b> |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 120                           | 130                                | 16.3                            | 14.4                           | 1.9                    |

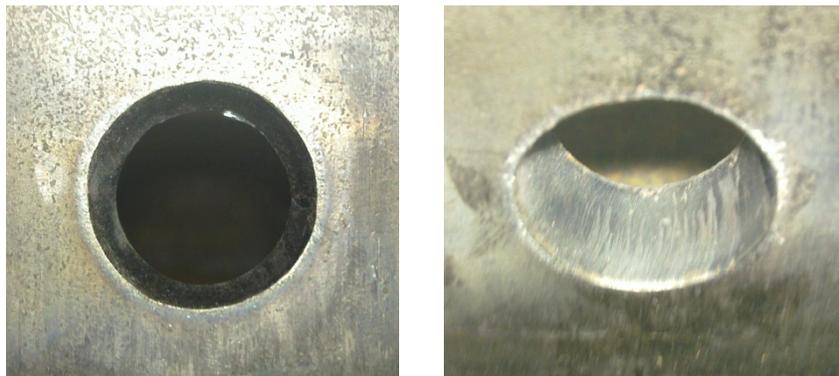


Figura 4.11: Resultado a 120 (A) y 130 cm/min.

El ensayo anterior genera un corte que califica dentro de los estándares de calidad para los agujeros, por lo que las condiciones definitivas para el corte se definen en la tabla 4.8:

Tabla 4.8: Condiciones Finales.

| <b>Corriente de corte (A)</b> | <b>Velocidad de corte (cm/min)</b> |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 120                           | 130                                |

#### 4.3.5 Pruebas de Perforación de Agujeros sobre el Larguero

Se realizaron los programas para la ejecución de los agujeros necesarios sobre el larguero, y se midieron las dimensiones de estos, los cuales se muestran en la tablas 4.9 y 4.10.

Tabla 4.9: Dimensiones Agujeros sobre el Larguero.

| <b>Tipo de Agujero</b> | <b>Corriente de corte (A)</b> | <b>Velocidad de corte (cm/min)</b> | <b>Diámetro de ingreso (mm)</b> | <b>Diámetro de salida (mm)</b> | <b>Diferencia (mm)</b> |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 10                     | 120                           | 130                                | 11.9                            | 10                             | 1.9                    |
| 13                     | 120                           | 130                                | 14.6                            | 12.7                           | 1.9                    |
|                        |                               |                                    | 14.6                            | 12.7                           | 1.9                    |
| 16                     | 120                           | 130                                | 16.3                            | 14.4                           | 1.9                    |
|                        |                               |                                    | 16.3                            | 14.4                           | 1.9                    |
|                        |                               |                                    | 16.3                            | 14.4                           | 1.9                    |
| 18                     | 120                           | 130                                | 18                              | 16                             | 2                      |
|                        |                               |                                    | 18                              | 16                             | 2                      |

Tabla 4.10: Dimensiones Slot sobre el Larguero.

| Tipo de Agujero | Corriente de corte (A) | Velocidad de corte (cm/min) | Dimensiones de ingreso (mm x mm) | Dimensiones de salida (mm x mm) | Diferencias (mm x mm) |
|-----------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Slot            | 120                    | 130                         | 25 x 14                          | 23.1 x 12                       | 1.9 x 2               |



Figura 4.12: Agujeros Tipo 13.



Figura 4.13: Agujeros Tipo 16.



Figura 4.14: Agujeros Tipo 18.



Figura 4.15: Slot y Agujero Tipo 10.

Satisfactorios los resultados obtenidos en las pruebas para los agujeros sobre el larguero como se observa en las figuras 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 quedaron estos como definitivos.

#### 4.4 MODELADO 3D

La construcción del modelo virtual del Robot “OTC Daihen DR-4000” se llevó a cabo con la ayuda del software “RoboWorks”, entorno virtual en el cual se dispone inicialmente de un sistema de coordenadas o grilla de puntos como se observa en la siguiente figura:

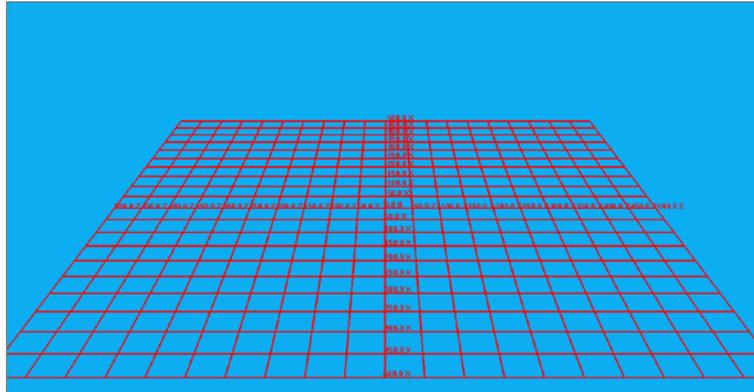


Figura 4.16: Sistema de Coordenadas RoboWorks.

Fuente: RoboWorks.

Con el uso de las medidas reales del robot y de herramientas de básicas de dibujo como cilindros, círculos, rectángulos y conos (Figura 4.17) se procede a realizar la estructura tridimensional del mismo.

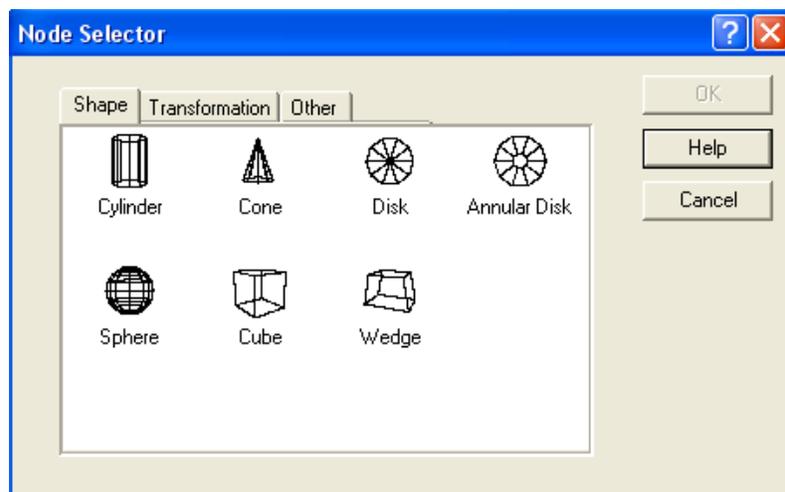


Figura 4.17: Selección de Herramientas.

Fuente: RoboWorks.

De igual manera, en el proceso se incorporan las articulaciones que permitirán un movimiento acorde a la realidad y el debido control del proceso (Figura 4.18).

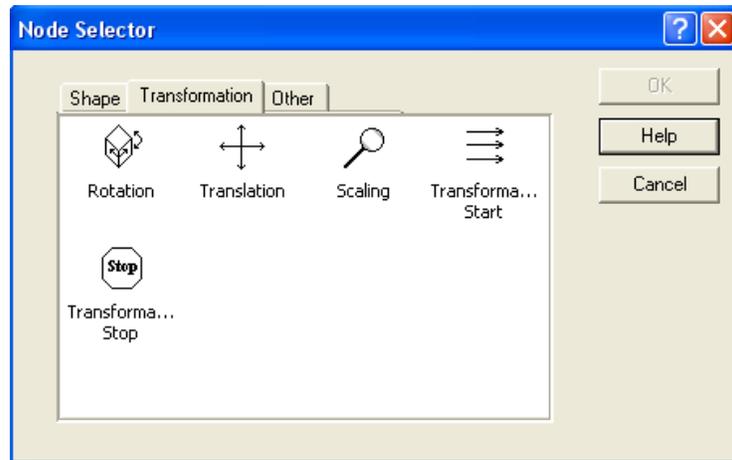


Figura 4.18: Inclusión de Articulaciones.

Fuente: RoboWorks.

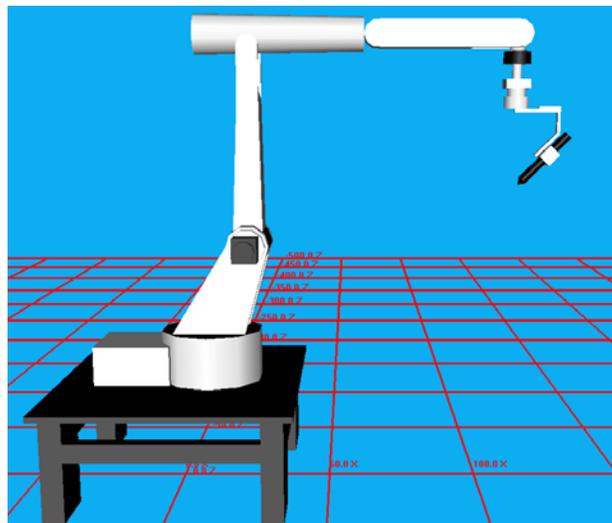


Figura 4.19: Estructura con Herramienta de Trabajo.

Una vez realizada la estructura del robot se procede a modelar su herramienta de trabajo y otros componentes esenciales para la realización de la tarea deseada. El resultado se observa en las figuras 4.19 y 4.20.

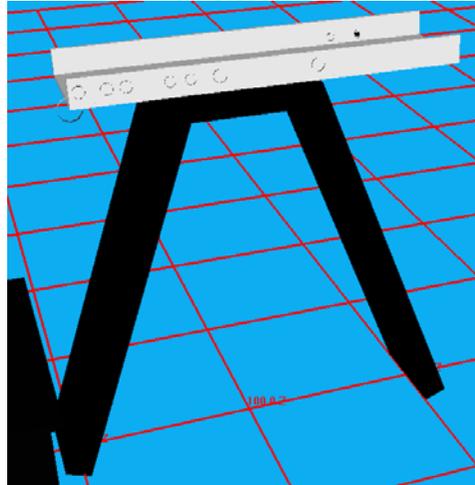


Figura 4.20: Banco de Trabajo y Larguero.

Como producto final se obtiene un sistema completo, el cual, posee las características importantes de la tarea a realizar (Figura 4.21). Esto, permite realizar una simulación que lleva a concluir si el robot está en la capacidad estructural de realizar correctamente el trabajo deseado.

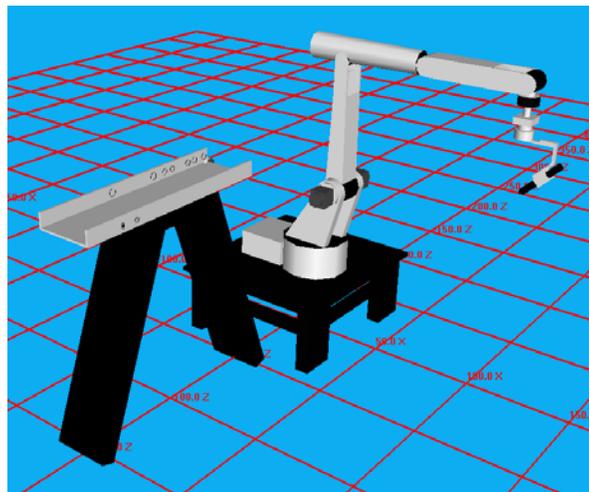


Figura 4.21: Sistema en 3D.

Para la realización de la programación de la tarea se dispone de 2 ventanas las cuales permiten la edición de las características de articulaciones y enlaces, así como también observar los valores actuales de cada una de las articulaciones (Figura 4.22).

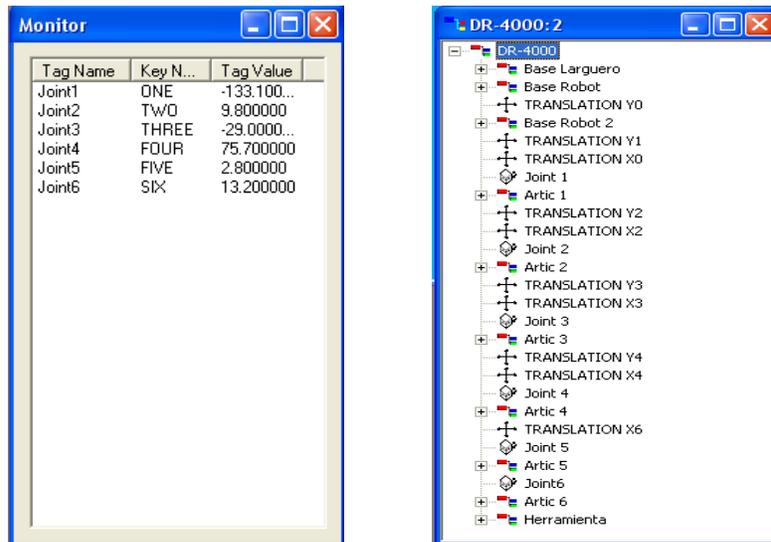


Figura 4.22: Ventanas de Edición y Muestreo.

Fuente: RoboWorks.

Con el uso de un archivo “notepad” se redacta el código que contendrá todas las coordenadas de las articulaciones del robot y, por ende, el programa de todo el trabajo a efectuar por el robot (Figura 4.23).

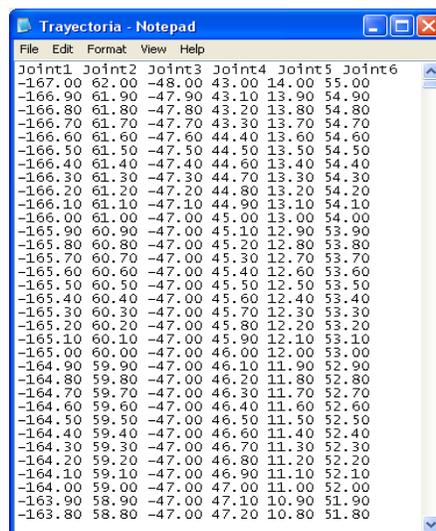


Figura 4.23: Código.

El software RoboWorks permite finalmente la visualización animada del código realizado y la subsiguiente evaluación de la capacidad del robot para realizar el trabajo asignado como se observa en las figura 4.24.

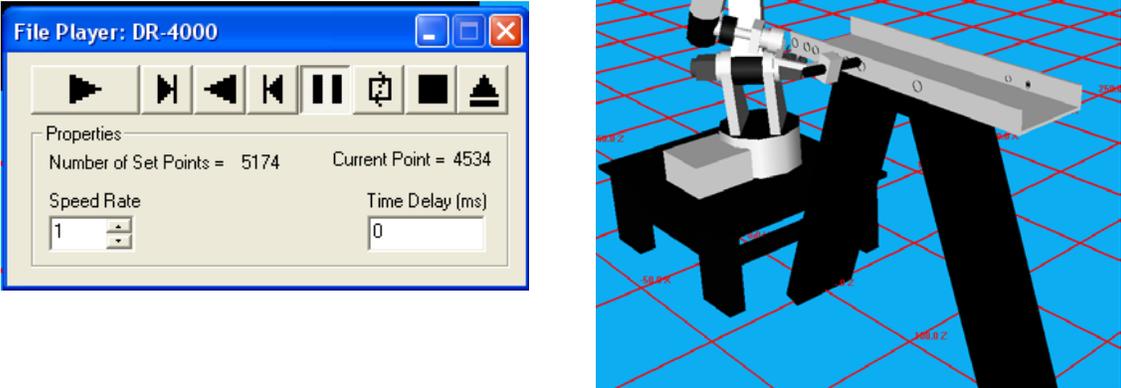


Figura 4.24: Simulación de la Tarea.

## CAPÍTULO V

### 5.1 SITUACIÓN TEMPORAL ACTUAL

El impacto económico de determinado proceso viene expresado en función de su productividad, de manera que es menester una optimización o mejora continua de esta. Así mismo, la productividad puede expresarse como “la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos”; mientras menor sea el tiempo que tome obtener el resultado deseado, más productivo será el sistema. En este sentido, es necesario conocer los tiempos estimados para el proceso de punzonado actual y del sistema robotizado para compararlos a nivel de productividad.

#### 5.1.1 Estimación Temporal del Proceso de Punzonado

Se distingue el proceso en 4 partes generales, sin considerar el cómo llega el larguero a posicionarse, pues este permanece igual tanto en el proceso de punzonado como en el robotizado. Las secciones consideradas son:

- **Colocación y Desprendimiento de Plantilla:** Se debe concebir un tiempo levemente mayor para la colocación respecto al desprendimiento pues requiere de la ubicación en un lugar específico del larguero, a diferencia del desprendimiento que sólo requiere desajustar los soportes. Toma unos 30 segundos colocar una plantilla, y otros 20 para quitarla, por lo que el total sería de 50 segundos. Considerando que se hace uso de dos plantillas durante el proceso se tienen 100 segundos en esta sección.
- **Instalación y Desinstalación de Punzón:** Esta sección es particularmente riesgosa, por lo que se toma el tiempo necesario para realizar una tarea de cambio de manera segura. Entre la instalación y desinstalación de un punzón se toma aproximadamente unos 28 segundos; Se hace uso de cinco punzones durante el proceso, por lo que el total arroja 140 segundos.
- **Ubicación y Accionamiento del Yugo:** El operador debe ubicar el yugo en la posición dentro de la plantilla y luego accionarlo; esta tarea toma aproximadamente 8 segundos. Durante el proceso se realizan ocho

perforaciones singulares, y un slot, el cual conlleva dos más, teniendo un total de diez perforaciones; a un estimado de 8 segundos por perforación, en total comprendería 80 segundos.

- **Fresado del Slot:** El operador debe fresar la zona entre los dos agujeros contiguos para aportarle la forma de slot propiamente dicho. Esta es una labor que le toma alrededor de 300 segundos.

El proceso total para un larguero demanda unos 620 segundos aproximadamente por larguero, o bien 620 seg/larguero, según se observa en la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Cálculo de Tiempos.

| <b>Sección</b>                            | <b>Tiempo</b> |
|---|---------------|
| Colocación y desprendimiento de plantilla | 100           |
| Instalación y desinstalación de punzón    | 140           |
| Ubicación y accionamiento del yugo        | 80            |
| Fresado del slot                          | 300           |
| <b>Total</b>                              | <b>620</b>    |

### 5.1.2 Estimación Temporal del Proceso Robotizado

El proceso robotizado al ser continuo no requiere de la división en secciones, por lo que se puede estimar un tiempo total para la tarea a realizar, el cual es aproximadamente de 77 segundos de su posición de inicio hasta su retorno a esta, con lo que se tiene 77 seg/larguero.

### 5.1.3 Relación Temporal

Estimaremos cuanto es el tiempo del proceso robotizado en relación al tiempo del proceso de punzonado, para compararlos porcentualmente:

$$\Delta Relación_{\%} = \frac{T_{iempo\ robotizado}}{T_{iempo\ punzonado}} * 100\% \quad (5.1)$$

$$\Delta \text{Relación}_{\%} = \frac{77 \text{ seg/larguero}}{620 \text{ seg/larguero}} * 100\% = 0.1241 * 100\% \quad (5.2)$$

$$\Delta \text{Relación}_{\%} = 12.41\% \quad (5.3)$$

Con lo que se tiene que el proceso robotizado toma tan sólo el 12.41% del tiempo del proceso de punzonado.

## CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación permitió llegar a las conclusiones enunciadas a continuación:

- Las simulaciones realizadas con el modelo virtual y las pruebas físicas del sistema robotizado permitieron observar que el robot está apto para realizar el trabajo deseado en la línea de producción.
- Al sustituir el proceso de punzonado con punzones estándar por el proceso robotizado se asegura cumplir con los valores dimensionales de los agujeros, aumentando la calidad del proceso.
- Se eliminan las situaciones de riesgo producidas por la manipulación del yugo neumático, además del agotamiento por el uso constante de esta herramienta.
- No será necesario realizar la operación de fresado sobre el slot ya que el sistema de perforación robotizado lo genera directamente.
- El sistema robotizado dura sólo 77 segundos en realizar el proceso, contrastados con el proceso de punzonado manual que toma unos 620, es exactamente sólo un 12.41% del tiempo requerido para el proceso de punzonado. El ahorro de tiempo se traducirá directamente en un ahorro de dinero, mano de obra, exposición a riesgos, lo que mejora en líneas generales la productividad.

## RECOMENDACIONES

Posterior a la realización de este trabajo de investigación se tienen como recomendaciones las siguientes:

- Se recomienda la implementación de sistema robotizado por sus ventajas frente al sistema manual actual.
- Si se desea realizar agujeros con menor conicidad, se recomienda el uso de antorchas de alta tolerancia para disminución de la sangría de corte.
- Frente a la necesidad de poseer mayor control sobre sistemas de ubicación de piezas para ser cortadas, se recomienda el uso del módulo de entradas y salidas analógicas para la maniobra de dispositivos externos como actuadores con pines, topes mecánicos, sensores, entre otros.
- Optimización de la programación para disminuir el tiempo del proceso de perforación y aumentar la productividad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arcos, Pablo A. y Fiallos, Jorge D. (2010). *Análisis Comparativo de los Procesos de Corte por Plasma, Oxicorte y Arc Air Aplicados a Metales*. Escuela Politécnica Nacional de Quito.
- [2] Razo, Antonio F. (1999). *ROBIN: Herramienta Gráfica de Simulación de Robots Industriales en un Ambiente Virtual*. Universidad de las Américas Puebla.
- [3] Simone, Andrés. (2011). *Desarrollo de una Estación Robotizada para el Cardado de Calzados, usando el Lenguaje Rapid para un Robot ABB IRB 6400. Caso de Estudio: Fábrica de Calzados INDUSIM C.A.* Universidad de Carabobo.
- [4] *Plasma-Arc Cutting Technology*. [On Line]. Última consulta: 20-02-2011, de [http://rockyflats.apps.em.doe.gov/references/129-RFETS\\_Plasma\\_Arc\\_ITC\\_contain.pdf](http://rockyflats.apps.em.doe.gov/references/129-RFETS_Plasma_Arc_ITC_contain.pdf).
- [5] *Corte por Plasma*. [On Line]. Última consulta: 20-02-2011, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Corte\\_por\\_plasma](http://es.wikipedia.org/wiki/Corte_por_plasma).
- [6] *Standard Metal Cutting Processes: laser cutting vs plasma cutting*. [On Line]. Última consulta: 20-02-2011, de [www.teskolaser.com/laser\\_cutting2.html](http://www.teskolaser.com/laser_cutting2.html).
- [7] *Cutting Processes. Plasma Arc Cutting: Process and Equipment Considerations*. [On Line]. Última consulta: 20-02-2011, de <http://www.twi.co.uk/content/jk51.html>.
- [8] *Robótica y aplicaciones*. [On Line]. Última consulta: 22-02-2011, de <http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml>.
- [9] *Robots Industriales*. [On Line]. Última consulta: 22-02-2011, de [http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr\\_01/robotica/industrial.htm](http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/industrial.htm).
- [10] González, V. *Robots Industriales*. [On Line]. Última consulta: 23-02-2011, de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm).
- [11] *Estructura de un Robot Industrial* [On Line]. Última consulta: 26-02-2011, de <http://cmappublic2.ihmc.us/rid=1H2B5THKD-51F5C1-J48/morfologia%20de%20un%20robot.pdf>.
- [12] Viscarra, A. *Robótica*. [On Line]. Última consulta: 26-02-2011, de <http://ariel-aviscarra.blogspot.com/>.

- [13] Botazzi, V. y Fonseca, J. (2005). *Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications*. Universidad de Minho, Portugal.
- [14] Ju-Yeon, J., Yoohwan, K., Podgurski A. y Newman W. (1997). *Virtual Testing of Agile Manufacturing Software Using 3D Graphical Simulation*. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Albuquerque, New Mexico.