



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA



SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE UNA MÁQUINA PARA LA FORMACIÓN DE EXTREMOS DE ESPIRALES CÓNICOS PARA VEHICULOS REALIZADA EN SOLIDWORKS Y CONTROLADA POR LABVIEW

Autores:

Efrain A. Velasco T.

Juan P. Solorzano O.

Naguanagua, noviembre de 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE UNA MÁQUINA PARA LA FORMACIÓN DE EXTREMOS DE ESPIRALES CÓNICAS PARA VEHICULOS REALIZADA EN SOLIDWORKS Y CONTROLADA POR LABVIEW

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Electricista*

Tutor académico:

Ing. Víctor Carrera

Tutor Empresarial:

Ing. Milton Reyes

Autores:

Efrain A. Velasco T. C.I. 20161242

Juan P. Solorzano O. C.I. 18548459

Naguanagua, noviembre de 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica para examinar la Tesis de Pregrado titulada ***“Modelado Virtual De Una Máquina Para La Formación De Extremos De Espirales Realizado En Solidworks Y Controlada Por LabVIEW”***, presentada por los bachilleres Efraín Velasco, portador de la cédula de identidad N° V- 20161242 y Juan Pablo Solórzano, portador de la cedula de identidad N° V-18548459 ,hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Ing. Víctor Carrera
Presidente del jurado

Prof. Ing. Luis Escalona
Miembro del jurado

Prof. Ing. Antonio Franchi
Miembro del jurado

Naguanagua, 09 de noviembre de 2012.

Dedicatoria

A los lectores de este trabajo.

A todo aquel que pueda aprovechar de alguna forma los conocimientos que este trabajo genere, y a las personas que comparta el interés por las conclusiones a las que se llegó.

A nuestros padres, en agradecimientos a su incondicional y constante apoyo.

A los tutores académicos por confiar en nosotros y por brindarnos todo su apoyo, inspiración y tiempo.

A los estudiantes y al Prof. Víctor Carrera de SIMNCO UC, por prestar sus instalaciones y apoyarnos durante toda la realización del proyecto.

Agradecimientos

A Dios, ante todas las cosas y demás fuerzas espirituales, que nos acompañan en todo momento.

A las personas que nos acompañan en esta vida y las que no están.

Al tutor académico Ing. Prof. Víctor Carrera, por confiar en nosotros y brindarnos todo el apoyo, para realizar nuestro trabajo especial de grado.

Al tutor empresarial Ing. Milton Rodríguez, por compartir con nosotros su experiencia en el modelado computación y guiarnos a través del desarrollo de nuestro trabajo.

A las escuelas de ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, por darnos la oportunidad de realizar, un trabajo en conjunto con la Escuela de Ingeniería Mecánica. Y por permitirnos formarnos como Ingenieros Electricistas.

Resumen

El presente trabajo especial de grado, está basado en la simulación de una máquina CNC de 5 ejes utilizando el enlace entre los software LabVIEW y SolidWorks para la empresa MetalCar. Esta máquina es la encargada de realizar espirales cónicas (Cola de cochino) ya que con este diseño mejora el desempeño de la suspensión en los vehículos.

Gracias al enlace entre el software SolidWorks y el software LabVIEW a través de Softmotion, será posible observar el movimiento de la máquina para cada uno de los modelos de espirales. Además del movimiento, será posible realizar gráficas para cada uno de los ejes de distintas variables como par, velocidad, aceleración. Estos modelos de espirales estarán en una base de datos creada para los modelos existentes, también dando la posibilidad al usuario de generar nuevos modelos introduciendo las dimensiones de la espiral.

Palabras Clave:

Simulación, Mecatrónica, Servomotores, LabVIEW, SolidWorks, Diseño CAD 3d, Automatización, Optimización, Ahorro.

Índice general

<i>Resumen</i> -----	<i>I</i>
<i>Índice general</i> -----	<i>III</i>
<i>Índice de figuras</i> -----	<i>9</i>
<i>Índice de Tablas</i> -----	<i>14</i>
<i>CAPÍTULO 1</i> -----	<i>15</i>
<i>El problema</i> -----	<i>15</i>
1.1 Situación problemática -----	15
1.2 Objetivos -----	17
1.2.1 Objetivo general -----	17
1.2.2 Objetivos específicos -----	17
1.3 Justificación -----	17
1.4 Limitaciones y delimitaciones -----	18
1.5 Recursos Utilizados -----	19
1.6 Resultados Esperados -----	19
1.7 Referencias Bibliográficas y Biográficas -----	19
<i>CAPÍTULO 2</i> -----	<i>22</i>
<i>Marco teórico</i> -----	<i>22</i>

2.1	Antecedentes de la investigación	22
2.2	Fundamentos Teóricos	24
2.2.1	Automatización	24
2.2.1.1	Ventajas de la automatización.	24
2.2.1.2	Partes de un sistema Automatizado.	25
2.2.1.3	Control Numérico Computarizado.	26
2.2.1.4.1	La unidad de gobierno.	28
2.2.1.4.2	Los servomecanismos.	28
2.2.1.4.3	Los Transductores de una máquina CNC.	28
2.2.1.4.4	Dispositivos para el cambio de herramientas.	29
2.2.1.4.5	Husillos y ejes de trabajo y avances.	30
2.2.1.4.6	Punto cero de la máquina	30
2.2.1.4.7	Punto cero de la pieza	30
2.2.1.4.8	Punto cero del carro	30
2.2.2	MECATRONICA	31
2.2.2.1	Historia	32
2.2.2.2	Campos de Acción de la mecatrónica.	33
2.2.3	PROTOTIPADO VIRTUAL	34
2.2.3.1	Diseño de Dispositivos Mecánicos y Mecatronicos	35
2.2.3.2	Herramientas disponibles	35
2.2.3.2.1	Diseño Asistido Por Computadora (CAD)	35
2.2.3.2.2	Ingeniería Asistida Por Computadora (CAE)	37
2.2.3.2.3	Ingeniería Inversa	38
2.2.3.3	Ingeniería Convencional	38
2.2.3.4	Ingeniería Concurrente	39
2.2.3.5	Enlaces Paramétricos	40
2.2.3.6	Parámetros Optimizados	40
2.2.4	SOFTWARE LABVIEW	42
2.4.1	Requisitos mínimos de instalación	42

2.4.2	Módulos de LabVIEW	44
2.4.2.1	Módulo LabVIEW Real-Time	44
2.4.2.2	Módulo LabVIEW Mobile	44
2.4.2.3	Módulo LabVIEW Touch Panel	44
2.4.2.4	LabVIEW NI SoftMotion	44
2.4.3	Interfaz de Usuario	45
2.4.4	Conceptos básicos de programación por pantallas graficas	46
2.4.5	Componentes de un proyecto	47
2.4.6	Módulos de instalación y Drives.	48
2.4.7	Comunicación con el software	49
2.4.8	Archivos ejecutable	49
2.4.9	Instrumentación Virtual	49
2.2.5	CONTROL SERVO MOTORES	51
2.2.5.1	Tipos de Servomotores	52
2.2.5.1.1	Motores con escobillas DC	52
2.2.5.1.2	Motores de paso	52
2.2.5.1.3	Motores sin escobillas	53
2.2.5.1.4	Motores de Inducción	53
2.2.5.2	El Propósito de Control de Movimiento	53
2.2.5.3	Lazo de Control Servo PID de National Instruments	54
2.2.6	Hardware de un Sistema de Control Numérico por Computadora	56
2.2.6.1	PXI y Dispositivos NI	56
2.2.6.1.1	Arquitectura del PXI	57
2.2.6.1.2	Controladores Embebidos PXI	58
2.2.6.1.3	Módulos Periféricos PXI	58
2.2.6.2	UMI	59
2.2.6.3	Encoders	60
2.2.6.4	Resolver	63
2.2.6.5	Drive	65
2.2.7	DEFINICION DE TÉRMINOS	65

CAPÍTULO 3	68
Marco metodológico	68
3.1 Nivel y tipo de investigación	68
3.2 Técnicas de Recopilación de Datos	68
3.3 Técnicas de Procesamiento y Recopilación de Datos	69
3.4 Procedimiento Metodológico	70
3.5 FASES DE LA TESIS	70
3.5.1 Fase 1: Estudio preliminar del funcionamiento de la máquina actual. --	70
3.5.2 Fase 2: Enlace y validación del enlace entre SolidWorks y LabVIEW --	70
3.5.3 Fase 3: Determinación de las ecuaciones para el cálculo de nuevas espirales y se creará una base de datos con las espirales ya existentes.	71
3.5.4 Fase 4: Creación del programa de control en LabVIEW	71
3.5.5 Fase 5: Simulación de la máquina a través del enlace entre LabVIEW y SolidWorks. 71	
3.5.6 Fase 6: Análisis de resultados	71
3.5.7 Fase 7: Informe del prototipo y elaboración de planos.	72
3.6 Cronograma de actividades	72
Tabla 4: Cronograma de actividades	72
CAPÍTULO 4	73
Desarrollo de la investigación	73
4.1 ESTUDIO PRELIMINAR	73
4.2 MODELO CAD EN SOLIDWORKS	75
4.2.1 Agregar Componentes al modelo CAD.	76
4.2.1.1 Gravedad.	76
4.2.1.2 Motores.	76
4.2.1.2.1 Eje Giratorio Principal	77

4.2.1.2.2	Sensores.	78
4.2.1.2.3	Fuerzas adicionales	79
4.2.1.2.4	Resortes	79
4.2.1.2.5	Contactos	81
4.2.1	Programa con las trayectorias en LabVIEW	87
4.3	CREACION DEL PROGRAMA PRINCIPAL EN LABVIEW	89
4.3.1	Creación del Proyecto.	89
4.3.2	Creación de un modelo nuevo	92
4.3.3	Elegir modelo	93
4.3.4	Proceso	95
4.3.5	Análisis de Movimiento.	98
4.3.6	Cambiar valores	99
4.3.7	Validar el modelo	100
4.3.8	Calibración de la máquina.	100
4.4	Propiedades de los Ejes en LabVIEW	104
<i>Capitulo 5</i>		105
<i>Resultados</i>		105
5.1	Discusión de Resultados	105
5.1.1	Eje X	107
5.1.2	Eje Y	108
5.1.3	Eje Z	109
5.1.4	Eje giratorio principal	110
5.1.6	Factor de seguridad:	113
5.1.7	Reductores de velocidad	113
5.1.8	Cálculo del par continuo y velocidad.	114
5.1.9	Selección de PXI	116
<i>Conclusiones</i>		117
<i>Recomendaciones</i>		118

<i>Anexos</i>	119
Anexos.1 Generación de Archivo Ejecutables.	119
Anexos.2 Configuración de los Eje.	121
Eje Giratorio Secundario	121
Eje X	123
Eje Y	125
Eje Z	127
Anexos.3 Modelos de reductores a utilizar.	129
Anexos.4 Tablas para Selección de los Motores	131
Anexos.5 Grafica de los Motores Elegidos	134
<i>Apéndices</i>	137
Apéndice.1 Programación del VI para guardar datos en la máquina.	137
Apéndice.2 Programación del manejo de datos de la trayectoria para el motor.	138
Apéndice.3 Programación de Creación de Modelos	141
Apéndice.4 Programación para elegir un modelo	142
Apéndice.5 Programación de la sección de Proceso	143
Apéndice.6 Programación para el cambio de Pasos	146
Apéndice.7 Programación para Crear las Gráficas.	151
Apéndice.8 Programación del Proceso	152
Apéndice.9 : Programación del Ciclo FALSE.	154
<i>Manual de Usuario</i>	155

Índice de figuras

FIGURA 1: MODELO DE UNA MÁQUINA CNC.....	27
FIGURA 2: COMPONENTES DE UNA MÁQUINA CNC.....	31
FIGURA 3: ESTRUCTURA DISCIPLINARIAS DE LA INGENIERÍA MECATRONICA.....	32
FIGURA 4: PROTOTIPADO VIRTUAL USANDO LABVIEW Y SOLIDWORKS.....	34
FIGURA 5: MODELO CAD DE LA MÁQUINA.....	36
FIGURA 6: ESTUDIO DE FUERZAS DINÁMICAS DE UNA PIEZA.	37
FIGURA 7: DISEÑO TRADICIONAL SECUENCIAL	39
FIGURA 8: DISEÑO PARALELO	39
FIGURA 9: GRAFICA COMPARATIVA ENTRE LOS PROCESOS DE DISEÑO.....	41
FIGURA 10: PANTALLAS DE PROGRAMACIÓN DE LABVIEW	45
FIGURA 11: DESCRIPCIÓN DE LA VENTANA TOOL PANEL	45
FIGURA 12: PANTALLAS DE PROGRAMACIÓN DE LABVIEW	46
FIGURA 13: PALETA DE FUNCIONES.....	47
FIGURA 14: VENTANA DE PROYECTO.....	48
FIGURA 15: CONVERGENCIA DE TECNOLOGÍA. ÁREA VISIÓN.....	50
FIGURA 16: MODELO DE UN SISTEMA BASADO EN INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....	51
FIGURA 17: ESQUEMA DE CONTROL BÁSICO.....	52
FIGURA 18: LAZO DE CONTROL NATIONAL INSTRUMENTS.....	56
FIGURA 19: CHASIS PXI Y VARIOS MÓDULOS.....	57
FIGURA 20: CONTROLADOR EMBEBIDO DUAL-CORE NI PXI-8105 DE 2.0 GHZ.....	58
FIGURA 21: EQUIPOS PARA CONEXIÓN UMI.	59
FIGURA 22: ESQUEMA CONEXIÓN DRIVES GENERALES.	60

FIGURA 23: PARTE INTERIOR DE UN ENCODER INCREMENTAL.	61
FIGURA 24: PARTE INTERIOR DE UN ENCODER ROTATIVO.	62
FIGURA 25: PARTES DE UN ENCODER.	62
FIGURA 26: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE ENCODER.	63
FIGURA 27: GRAFICAS DE UN RESOLVER.	64
FIGURA 28: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE UN RESOLVER.	64
FIGURA 29: DRIVE BALDOR.	65
FIGURA 30: VISTA FRONTAL DEL MODELO CAD, DE LA MÁQUINA COLA DE COCHINO.....	75
FIGURA 31: SELECCIÓN DE REFERENCIA PARA LA GRAVEDAD.....	76
FIGURA 32: AGREGAR MOTOR Y SENTIDO DE GIRO DEL EJE GIRATORIO PRINCIPAL EN SOLIDWORKS.	77
FIGURA 33: ENGRANAJES PARA LA TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.	78
FIGURA 34: CÁLCULO DE LA MASA DE LA MÁQUINA.....	80
FIGURA 35: RIELES DE SKF.....	81
FIGURA 36: VISUALIZACIÓN DE LA CARRERA DEL EJE X.	82
FIGURA 37: VISUALIZACIÓN DE LA INTERFAZ PARA EL INGRESO DE LOS DATOS DE LA MÁQUINA.	88
FIGURA 38: PANTALLA PRINCIPAL PARA EL CÁLCULO DE TRAYECTORIAS.	89
FIGURA 39: PROYECTO COMPLETO.	91
FIGURA 40: PANEL FRONTAL PARA LA CREACIÓN DE UN NUEVO MODELO.	92
FIGURA 41: PANEL FRONTAL, PESTAÑA ELEGIR MODELO.	93
FIGURA 42: PANEL FRONTAL PROCESO.....	95
FIGURA 43: PANEL FRONTAL PROCESO, GRAFICAS.	97
FIGURA 44: PROGRAMACIÓN DEL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO.....	98
FIGURA 45: PANEL FRONTAL "PROCESO, MODIFICAR PASOS".	99
FIGURA 46: SUB VI'S PARA BUSCAR REFERENCIA.	101
FIGURA 47: SUB VI'S PARA RESETEAR POSICIÓN.....	101
FIGURA 48: RUTINA DE STOP.....	103
FIGURA 49: PROPIEDADES DE LOS EJES	104
FIGURA 50: VALORES DE LOS PARÁMETROS DE UNA ESPIRAL.....	106

FIGURA 51: GRAFICAS DE POSICIÓN, PAR, VELOCIDAD.....	107
FIGURA 52: GRAFICAS DE POSICIÓN, PAR, VELOCIDAD.....	108
FIGURA 53: GRAFICAS DE POSICIÓN, PAR, VELOCIDAD.....	109
FIGURA 54: GRAFICAS DE POSICIÓN, PAR, VELOCIDAD.....	110
FIGURA 55: GRAFICAS DE POSICIÓN, PAR, VELOCIDAD.....	111
FIGURA 56: GENERACIÓN DE ARCHIVOS .EXE EN LABVIEW.....	119
FIGURA 57: SELECCIÓN DE ARCHIVO A EJECUTAR.....	120
FIGURA 58: AGREGAR MOTOR Y SENTIDO DE GIRO DEL EJE GIRATORIO SECUNDARIO EN SOLIDWOKS.....	121
FIGURA 59: PIEZAS MÓVILES DEL EJE GIRATORIO SECUNDARIO.....	122
FIGURA 60: TORNILLO SINFIN DEL EJE X.....	123
FIGURA 61: MOTOR DEL EJE X EN SOLIDWORKS.....	124
FIGURA 62: DESPLAZAMIENTO DEL EJE X.....	124
FIGURA 63: TORNILLO SINFIN EJE Y.....	125
FIGURA 64: MOTOR EJE Y.....	126
FIGURA 65: DESPLAZAMIENTO DEL EJE Y.....	126
FIGURA 66: TORNILLO SINFIN DEL EJE Z.....	127
FIGURA 67: MOTOR GIRATORIO DEL EJE Z.....	128
FIGURA 68: RECORRIDO DEL EJE Z.....	128
FIGURA 69: MOTOR EJE X, EJE Z, EJE Gs.....	134
FIGURA 70: MOTOR EJE Y.....	135
FIGURA 71: MOTOR GIRATORIO PRINCIPAL.....	136
FIGURA 72: PROGRAMACIÓN PARA GUARDAR LOS DATOS EN UN ARCHIVO.....	137
FIGURA 73: ARCHIVO GENERADO.....	137
FIGURA 74: LECTURA DE DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE TRAYECTORIAS.....	138
FIGURA 75: LECTURA DE DATOS NECESARIOS PARA LA ORGANIZACIÓN DE LOS ARCHIVOS POR EMPRESAS.....	138
FIGURA 76: SUBVIS, SIMPLIFICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL CÁLCULO DE TRAYECTORIAS.....	139

FIGURA 77: CREACIÓN DE UN ARCHIVO TIPO "SPREADSHEET" PARA EL RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DE TRAYECTORIA.....	140
FIGURA 78 TÍTULO: PROGRAMACIÓN PARA LA CREACIÓN DE NUEVOS MODELOS.....	141
FIGURA 79: PROGRAMACIÓN PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA LISTA DE MODELOS EN EL PANEL FRONTAL.....	142
FIGURA 80: PROGRAMACIÓN PARA CARGAR DATOS.....	142
FIGURA 81: PROGRAMACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS INDEPENDIENTES.....	143
FIGURA 82: PROGRAMACIÓN SIMULTÁNEA EN LOS EJES.....	144
FIGURA 83: PROGRAMACIÓN PASO "0".....	146
FIGURA 84: PROGRAMACIÓN PASO "1".....	147
FIGURA 85: PROGRAMACIÓN PASO "2".....	147
FIGURA 86: PROGRAMACIÓN PASO "3".....	148
FIGURA 87: PROGRAMACIÓN PASO "4".....	148
FIGURA 88: PROGRAMACIÓN PASO "5".....	149
FIGURA 89: PROGRAMACIÓN PASO "6".....	149
FIGURA 90: PROGRAMACIÓN PASO "7".....	150
FIGURA 91: PROGRAMACIÓN PASO "8".....	150
FIGURA 92: PROGRAMACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN DE LAS GRAFICAS.....	151
FIGURA 93: PROGRAMACIÓN PARA MODIFICAR LOS VALORES DE EJECUCIÓN.....	152
FIGURA 94: PROGRAMACIÓN PARA MODIFICAR LOS CONTROLADORES NUMÉRICOS AL VALOR 0.....	153
FIGURA 95: PROGRAMACIÓN PARA INSERTAR LOS DATOS MODIFICADOS AL ARCHIVO DE DATOS ORIGINAL.....	154
FIGURA 96: PROGRAMACIÓN PARA INSERTAR O MODIFICAR LOS NUEVOS DATOS AL ARCHIVO EXISTENTE.....	154
FIGURA 97: DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PROYECTO METALCAR UC 2012.....	155
FIGURA 98: CONFIGURACIÓN DE LOS EJES.....	157
FIGURA 99: PESTAÑA DE "ELEGIR MODELO".....	158
FIGURA 100: PESTAÑA DE "CREAR MODELO".....	159
FIGURA 101: PESTAÑA DE "PROCESOS".....	160

FIGURA 102: PESTAÑA DE “PARÁMETROS”	162
FIGURA 103: PESTAÑAS DE “GRÁFICAS”.....	164
FIGURA 104: PESTAÑA DE “VALIDAR MODELOS”.....	165
FIGURA 105: PESTAÑA “MODIFICAR PASOS”	166
FIGURA 106: PESTAÑA DE “VALIDAR”	167
FIGURA 107: VENTANA INICIAL DEL PROYECTO METALCAR UC	168
FIGURA 108: PASO PARA ABRIR EL ARCHIVO EN SOLIDWORKS.....	169
FIGURA 109: ESTUDIO DE MOVIMIENTO EN SOLIDWORKS.....	170
FIGURA 110: VERIFICACIÓN DEL ESTUDIO DE MOVIENDO DE SOLIDWORKS.....	170
FIGURA 111: ABRIR PANEL FRONTAL.	171
FIGURA 112: SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS PARA EL “DEPLOY”	172
FIGURA 113: MODIFICAR EL SCAN ENGINE MODE A MODO ACTIVO.....	173
FIGURA 114: VERIFICACIÓN DEL CAMBIO DE MODO DEL SCAN ENGINE.	173
FIGURA 115: SINCRONIZAR CON EL ENSAMBLADO.	174
FIGURA 116: ACTIVAR EL RUN EN EL PANEL FRONTAL.	175

Índice de Tablas

TABLA 1: REQUISITOS MÍNIMOS PARA WINDOWS	42
TABLA 2: REQUISITOS MÍNIMOS PARA MAC OS X.....	43
TABLA 3: REQUISITOS MÍNIMOS PARA LINUX®	43
TABLA 4: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	72
TABLA 5: CONTENIDO DE LA MATRIZ DE DATOS	94
TABLA 6: CÁLCULO DEL PAR CONTINUO NECESARIO PARA LA BÚSQUEDA DE LOS MOTORES.....	114
TABLA 7: CÁLCULO DE LA VELOCIDAD NECESARIA QUE SE UTILIZARA PARA LA BÚSQUEDA DE LOS MOTORES	114
TABLA 8: ACOPLER LINEALES DE PAR MEDIO.....	129
TABLA 9: ACOPLER LINEALES DE PAR ALTO	129
TABLA 10: ACOPLER DE 90°	130

CAPÍTULO 1

El problema

En este capítulo se describe la investigación a desarrollar para enmarcar el objeto de estudio.

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

METALCAR, C.A fue fundada en 1963 por el grupo de empresas SIVENSA, la primera con el objeto de dar servicio al mercado automotriz venezolano, suministrándole ballestas al entonces creciente mercado de equipo original. Desde sus inicios se encuentra ubicada en la zona industrial sur, 1ra. Avenida Domingo Olavarría, Valencia-Venezuela.

METALCAR, C.A ha evolucionado mediante la introducción de una nueva línea de productos complementarios, resortes helicoidales o espirales, y continúa su crecimiento con el desarrollo de una sólida cadena de distribución para el mercado de repuestos.

El proceso de fabricación, para espirales cilíndricas es de la siguiente manera: Las barras de acero al carbono entran en un horno a una temperatura aproximada de 950°C para hacer un tratamiento térmico y mejorar las propiedades mecánicas de la barra, luego la barra entra a una máquina automatizada que realiza la conversión de barra a espiral, al terminar este proceso se deja caer en unos contenedores metálicos en donde el operador toma la pieza con unas pinzas metálicas y la coloca sobre la máquina cola de cochino; como su nombre lo indica, su función es la elaboración de espirales en forma de cola de cochino. Posteriormente, el operador con unas pinzas toma la pieza terminada y la sumerge en un baño de aceite donde se termina el proceso de la elaboración del espiral.

El funcionamiento de la máquina para realizar la espiral cónica inicia cuando el operador coloca la pieza en el cabezal principal, oprime un botón que asegura la pieza y luego de sujetarla, empieza a rotar y crea el espiral de radio variable. Este tipo espirales tienen mejores desempeño que las espirales rectas, ya que su comportamiento es mejor en régimen de poca y mucha carga.

Actualmente la máquina de construcción de espirales cónicas tiene más de 30 años de uso y tiende a presentar fallas, esto ocasiona pérdidas en el tiempo de fabricación y calidad en el producto. También genera incomodidad para retirar la espiral y el operario tiene que realizar forcejeo con la máquina (con el eje fijo del mandril), cabe destacar que la pieza está a 950°C y esto puede representar un accidente laboral.

Por otra parte, el mercado automotor es muy cambiante y cada vez se incrementan la variedad de modelos nuevos que entran al mercado. La máquina actual no se puede adaptar a los cambios de modelo, ya que los parámetros que la controlan son difíciles de calcular, requieren hasta un mes de trabajo y significan grandes pérdidas para la empresa, ya que el material para hacer las espirales es acero importado de distintos países, el cual es muy costoso y al hacerle pruebas a la máquina si la pieza sale defectuosa este material se desecha.

La empresa METALCAR, C.A por consiguiente se ha visto en la necesidad de elaborar una máquina capaz de realizar espirales cónicas con la posibilidad de poder simular el funcionamiento de la máquina y también de ajustarse al mercado automotor cambiante con mayor facilidad. Cabe acotar que sus equipos de control son fabricados por National Instrument (NI), los cuales son sistemas bastantes específicos y de alto rendimiento con una programación de alto nivel, desarrollada en el lenguaje de programación gráfica, como es el LabVIEW.

Por lo anteriormente expuesto se va a crear un prototipo virtual en el cual se van a ajustar todos los parámetros de la máquina y optimización de todos los procesos antes de ser construida, esto se logrará mediante un enlace entre LabVIEW y el SolidWorks.

Partiendo del software paramétrico se realizará el modelo en tres dimensiones de la máquina y simulará los movimientos de los motores. En el software LabVIEW se realizará todo

el sistema de control que incluye realización de espirales nuevos y base de datos de espirales existentes, control de la velocidad, aceleración y posición en los servomotores, inicio y parada de la simulación, manejo de errores en todo el proceso, entre otros.

Esta unión virtual de los programas, es una ventaja para las empresas al desarrollar equipos nuevos, y optimizarlos antes de construir el primer prototipo en físico. De esta manera se reduce la inversión inicial y puesta a punto de la máquina, en el primer prototipo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar la simulación computacional de una máquina CNC de formación de extremos de espirales cónicas para vehículos, utilizando técnicas de prototipado virtual mediante el software SolidWorks y LabVIEW.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones de trabajo de la máquina ya existente, para conocer su funcionamiento y detallar los problemas existentes.
- Modelar los sistemas de control de posición, velocidad y aceleración de cada uno de los servomotores de la máquina en LabVIEW.
- Automatizar la máquina para distintos modelos de espirales para vehículos, de tal manera que al elegir el modelo, todas las posiciones de los servomotores sean cargados automáticamente.
- Realizar la simulación virtual de la máquina desarrollando un enlace entre el software de programación LabVIEW y el prototipo virtual en el software SolidWorks.
- Preseleccionar los equipos de acuerdo a los resultados obtenidos con la simulación.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se pretende con este trabajo de grado satisfacer las necesidades del mercado cambiante automotor adaptándose a la rápida generación de modelos virtuales para los nuevos modelos,

simulando su automatismo de manera efectiva. También se busca exponer los beneficios de un enlace entre un software paramétrico y un software de control.

Con el desarrollo de la máquina de espirales cónicas se permitirá resolver toda la problemática expuesta en el planteamiento del problema. Se beneficiará principalmente el trabajador y la calidad del producto para los clientes, logrando en un buen tiempo y con buena precisión, la elaboración de los espirales cónicos.

Este proceso de enlace entre LabVIEW y el software paramétrico es una herramienta innovadora y poderosa, esto permite simular la máquina y optimizarla respecto a costos, producción, y verificar la funcionalidad de esta misma antes de que sea construida.

1.4 LIMITACIONES Y DELIMITACIONES

Crear un software de programación para una máquina CNC de 5 ejes con todas las variables optimizadas.

Alcances:

- Se utilizará el modelo CAD resultante del diseño mecánico para la simulación del proyecto especial de grado.
- Los sistemas de control se aplicarán sobre los servomotores y actuadores neumáticos.
- No se va a calcular el tamaño de los actuadores neumáticos.
- Se utilizarán exclusivamente el software LabVIEW y SolidWorks.
- Se considerarán solo equipos de National Instruments para el control de la máquina.

Limitaciones:

- Se utilizará un solo modelo CAD.
- Se utilizará un CPU para la simulación con las siguientes especificaciones:
 - Procesador Phenom X2 1055T de 6 núcleos con velocidad de 2.8 GHz
 - Tarjeta de video Nvidia 9600GT.
 - 8GB de RAM DDR3.

- Sistema operativo Windows 7 ultimate 64 bits.

1.5 RECURSOS UTILIZADOS

A continuación, se nombran los recursos a utilizar:

- Software LabVIEW.
- Computadoras.
- Manuales y Documentación.
- SolidWorks, es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico.

1.6 RESULTADOS ESPERADOS

- Se espera obtener el seguimiento de las trayectorias de los movimientos realizado por los motores al realizar la formación del extremo de las espirales.
- Se espera lograr la integración exitosa entre ambos softwares.

1.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y BIOGRÁFICAS

- Manual *NI MOTION* [1]
- Torre, G.C. *Que es y para qué sirve el prototipado virtual*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. gtorres@cuaao.edu.com [2]
- McHugh,R.P. *Virtual Prototyping of a Mechatronics Device*. RPMcHugh@Purdue.edu [3]
- McHugh,R.P. Zhang, H. *Virtual Prototyping of Mechatronics for 21 Century Engineering and Technology*. Department of Mechanical Engineering Technology. Purdue University. [4]
- Chacón R.R. “*La instrumentación virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica*”. Universidad del Táchira. Acción Pedagógica, Vol.11, No 1/2002. Pp 74-84. Correo: rafael_chacon_itde@emfanet.com [5]
- González, R.C. Pralínés, RP. Prof. Patrocinante: Sr. Pedro Rey Clericus. “*Análisis de software para desarrollo entorno grafica LabVIEW y propuesta de implementación para laboratorio en el instituto de electricidad y electrónica en universidad austral de chile*”. [6]

- *Motion Control*, Julio 2006, National Instruments. [7]
- Dr Stephen J. O’Niel, *Motion Control Handbook*. Vice President Advanced Research and Planning. [8]
- Romero Barcojo, IES A.. *Unidad Didáctica: Control y Robótica. Sección: Sensores*. Departamento de Tecnología. [9]
- *Encoder Incremental*. Eltra. [10]
- <http://www.infopl.net/blog4/2010/12/03/sistema-de-realimentacion-de-posicion-i-encoder-o-resolver/> [11]
- Desarrollo de nuevos productos de consumo mediante el diseño de superficies complejas creadas a partir de ingeniería inversa. [12]
- Correa, J.A. *Control Numérico Computarizado*. [13]
- Roncancio H. Cifuentes, H. *Tutorial de LabVIEW*. Universidad Distrital “Francisco Jose De Caldas”, Laboratorio de Electrónica. 2001. [14]
- Sánchez, V.B, Subiron C.P. *Herramientas y tecnologías para el diseño en tres dimensiones*. [15]
- Yépez, Á. Luis, P. Mendoza, Á. *Ingeniería Mecatrónica: Oportunidad Tecnológica para la gerencia de las empresas familiares*. [16]
- Curipoma Quevedo, Á.P., Henríquez Girino, A. *Aplicación de Visión con LabVIEW para la detección de Frascos entre 50 y 120milímetros de altura*. Guayaquil-Ecuador. 2009. Escuela Superior Politécnica del Litoral. [17]
- http://www.baldor.com/products/servomotors/n_series/bsm_nseries_spec.asp?CatalogNumber=BSM100N-2150AA [18]
- http://www.baldor.com/products/servomotors/n_series/bsm_nseries_spec.asp?CatalogNumber=BSM80N-375AA [19]
- http://www.baldor.com/products/servomotors/n_series/bsm_nseries_spec.asp?CatalogNumber=BSM63N-350AA [20]
- <http://www.baldor.com/support/Literature/Load.ashx/BR1202-E?LitNumber=BR1202-E> [21]

- http://www.skf.com/portal/skf_mec/home/products?contentId=883866&lang=en [22]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial [23]
- http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_I/contenido_menu/Unidad_I/Contenido/pagina3/pagina3.htm [24]

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

“Análisis y Simulación de robot paralelos, para él sol usando pistas a CAD”, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Autor: Domingos M, bomba Massala. Septiembre 2010.

“En la presente tesis se investiga la aplicación de robots paralelos para el seguimiento de la trayectoria solar, utilizando modelos CAD. También se presentan varias estructuras mecánicas de robots paralelos que pueden ser usados para el seguimiento dicha trayectoria solar. Los modelos de Robot van a ser creados en SolidWorks, y posteriormente controlados usando NI LabVIEW, atreves de una integración entre los 2 software, para el control virtual de los robots. ”

“Diseño, Construcción y Control de una Robot industrial con Arquitectura antropomórfica dotado con Visión Artificial”. Ecuador, Quito. Febrero, 2010. Elaborado por Pedro José Arévalo Molina y Andrés Santiago Herrera Ana.

“En el Capítulo 3 se explica el funcionamiento del software de control diseñado mediante LabVIEW, tanto para la Visión Artificial como el control de posición. Para ello se partió del desarrollo de la cinemática directa e inversa para el posicionamiento del extremo del robot.”

“Análisis de Software para desarrollo en el entorno grafico de LabVIEW y propuesta de implementación para el laboratorio en el instituto de electricidad y electrónica en Universidad Austral de Chile”. Elaborado por Rodrigo Gonzales Cayufile y Rodrigo Pradines Pino. Valdivia, Diciembre 2007.

“Una de principales necesidades de la empresa de hoy es el control total o parcial de sus actividades, esto se traduce en un mejor rendimiento tanto del equipamiento de la industria así como de los mismos trabajadores. Es por ello que para nuestro trabajo de titulación, hemos considerado el diseño de un instrumento virtual que se complemente y ajusta las necesidades y actividades de la empresa actual teniendo como principales objetivos la necesidad de centralizar determinados procesos y abriendo además la posibilidad de gradualmente abarcar la totalidad de los procesos realizados en una planta pesquera. El diseño de dicho instrumento se traduce en un mayor control de las actividades y por ende un mayor aprovechamiento de los recursos lo cual es uno de los principales objetivos de la empresa moderna.

Pero para lograr dicho instrumento se necesitó una herramienta, para nuestro caso se titula LabVIEW el cual es proporcionado por la empresa internacional National Instruments. Dicha herramienta es un poderoso software con una plataforma gráfica de diseño de sistemas para el desarrollo de pruebas, control y diseño de sistemas embebidos entre otros.”

“Prototipo Virtual Para dispositivos Mecatronicos”, Autor: Ryne P. McHugh, Purdue University, College of Technology Directed Projects. 7-1-2011.

“La demanda global de mercado y la turbulencia económica, han impulsado a las compañías para innovar en la reducción de costos. Por lo tanto, la primera meta de esta investigación es mostrar la validación del prototipo virtual, junto con el campo de la mecatrónica, y así reducir costos dentro del desenvolvimiento del producto diseñado.

Las ingenierías Mecánica, eléctrica y software embebido, están siendo combinadas para crear productos modernos. Esta combinación se ha convertido a través del tiempo en ingeniería mecatrónica.

“Prototipado Virtual de Mecatrónica para el Siglo 21, Tecnología e Ingeniería. Autores: Ryne McHugh, Henry Zang. Departamento de Ingeniería Tecnológica Mecánica. Purdue University. 2011.”

“El siglo 21 está entrando en una nueva era para las máquinas y métodos para su diseño. La demanda de costos más efectivos y máquinas más funcionales, junto con una economía no sustentable y la competencia global, han colocado una enorme presión sobre los ingenieros. Ellos están esperando productos más complejos, a un menor precio y una tasa de producción más rápida. Esto crea una necesidades para un nuevo paradigma para el diseño.”

El presente trabajo de grado partirá de estas investigaciones preliminares, y haciendo uso de su recopilación de información así como de los logros alcanzados y conclusiones que guardan relación con el presente trabajo de grado, se busca tener una mejor visión y orientación de cómo alcanzar los objetivos planteados al comienzo de esta investigación.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Automatización

Es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar máquinas y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos o mejorando sus condiciones de trabajo.

2.2.1.1 Ventajas de la automatización.

- Se reduce tiempos de Fabricación de materiales.
- Se mejora rendimiento de los equipos y su vida útil.
- Se incrementa la seguridad laboral.
- Mejora en la calidad del Producto.
- Monitoreo de los Equipos y máquinas que intervienen en el proceso.
- Producción constante.
- Reduce el costo del producto debido a la producción masiva. [24]

Desventajas

- Necesidad de Capacitación del Personal.
- Inversión Inicial Elevada.
- Limitación de las máquinas frente al operador humano para sensor ciertas variables: olor, sabor, acabado de piezas, entre otros.
- Escasez de recurso humano especializado.
- Dependencia tecnológica. [24]

2.2.1.2 Partes de un sistema Automatizado.

Por lo general, un proceso automatizado consta de las siguientes partes:

- Controlador: Este dispositivo genera las órdenes que obedecen los elementos actuadores del sistema en base a un conjunto de instrucciones preestablecidas y a un conjunto de señales provenientes del proceso. Por lo general se usan autómatas programables, aunque hay otros equipos como son los equipos basados en computadoras, para sistemas de medidas y automatización (PXI).
- Sensores: Se encargan de convertir los valores de una cierta variable del proceso en señales que el controlador puede interpretar. Hay una gran variedad de sensores y su selección dependerá del proceso a controlar.
- Actuadores: Son elementos encargados de ejecutar las órdenes y realizar trabajos designados por la parte del control. Entre algunos de ellos se encuentran los accionamientos de máquinas tales como motores, cilindros, compresores, entre otros.
- Proceso: Es el conjunto de variables y cambios, para la obtención de un determinado producto. [23]

2.2.1.3 Control Numérico Computarizado.

Una máquina a control numérico, tanto torno como fresa, es una máquina convencional con algunos elementos más sofisticados, como por ejemplo una computadora que la comanda. Esencialmente funciona de esta manera: en base a un plano de una pieza determinada, se elabora un “programa” de pieza. Este programa está compuesto de una serie de códigos, los que son leídos por la computadora y le transmiten a la máquina las órdenes para que trabaje. De esta manera se consigue una pieza en forma prácticamente automatizada.

Para la producción de piezas en serie, existen varios sistemas para permitir la repetitividad de pasos y operaciones en la máquinas convencionales: en los tornos automáticos y semi automáticos, esto se consigue mediante sistemas de levas, pero este sistema es poco fiable, ya que para piezas diferentes requiere una nueva puesta a punto, provocando una considerable pérdida de tiempo.

Tampoco es factible el sistema de fabricación que requiera de máscaras, moldes o modelos, por su elevado costo de fabricación y por su poca probabilidad de transformarlos para piezas distintas. Constituyen, de esta manera, una memoria rígida e inflexible.

En cambio, una máquina CNC, automatiza los movimientos y acciones como; desplazamientos de los carros o mesas, giro del o de los cabezales, las distintas gamas de avances y de velocidades de corte, los cambios de herramientas y piezas, entre otros, simplemente cambiando la programación de la máquina. En la figura 1 se muestra una máquina CNC.



Figura 1: Modelo de una máquina CNC.
Elaboración: Referencia [13]

Puede afirmarse, las siguientes características de una máquina CNC:

- Reducción en los tiempos de producción, por una importante disminución de los tiempos muertos.
- Mayor fiabilidad en la producción de las piezas, dado que existe menos posibilidad de piezas defectuosas.
- Reducción de los tiempos de control de la calidad.
- Reducción de los tiempos de control de proceso por medio de planos de ruta o de procesos.
- Ahorro de herramientas y dispositivos de corte, al optimizarse la utilización de las herramientas.

A continuación, vamos a definir los elementos que componen una máquina CNC, los cuales serán:

2.2.1.4.1 La unidad de gobierno.

Es el elemento que contiene la información necesaria para todas las operaciones de desplazamientos de las herramientas, giro de los husillos, etc.

Está conformada por el computador o procesador, que es donde se encuentra la memoria de almacenamiento de los datos de maquinado, que serán transformados en impulsos eléctricos y transmitidos a los distintos motores de la máquina; y por el tablero o panel de servicio, elemento físico por donde se ingresan los datos requeridos por el control.

2.2.1.4.2 Los servomecanismos.

Estos se encargan principalmente de los movimientos de los carros o mesas de la máquina. Son servomotores con motores de paso a paso, a corriente continua, hidráulicos, etc.

Reciben los impulsos eléctricos del control, y le transmiten un determinado número de rotaciones o inclusive una fracción de rotación a los tornillos que trasladan las mesas o los carros.

Los servomotores con motores paso a paso, constan de un generador de impulsos que regulan la velocidad de giro del motor variando la cantidad y frecuencia de los impulsos emitidos. Estos motores giran un ángulo (paso) de aproximadamente 1 a 10 grados por impulso.

2.2.1.4.3 Los Transductores de una máquina CNC.

La función de los mismos consiste en informar por medio de señales eléctricas la posición real de la herramienta al control, de manera que este pueda compararla con la posición programada de la misma, y efectuar los desplazamientos correspondientes para que la posición real sea igual a la teórica.

Para las mediciones directas, se encuentra una regla graduada unida al carro, en cambio las mediciones indirectas hay un cuenta vueltas que reconoce la cantidad de giros que efectúa el tornillo que mueve el carro.

También se clasifican de acuerdo a sus características del funcionamiento, pudiendo ser absolutos, incrementales o absolutos-cíclicos.

Los absolutos, informan de las posiciones de los carros punto por punto con respecto a un punto de origen fijo previamente determinado.

Los incrementales emiten un impulso eléctrico a intervalos de desplazamiento determinados, los que son acumulados por un contador de impulsos quienes informaran al control de la suma de estos impulsos.

Los últimos, pueden decirse los más difundidos, y funcionan de la siguiente manera:

Pueden medir directamente movimientos angulares o giratorios, lo que se utiliza para determinar la coordinación exacta de los carros con el giro del husillo.

Otros miden la posición del carro o la mesa utilizando una escala metálica con un circuito impreso en forma de grilla, que se encuentra fijo sobre la carrera a dimensionar. Sobre esta se mueven con los carros, un par de lectores (cursores) eléctricos, que informaran sobre la medición efectuada al control.

2.2.1.4.4 Dispositivos para el cambio de herramientas.

El cambio de las herramientas de trabajo en una máquina con CNC, se efectúa de manera totalmente automática, para lo cual se utilizan dispositivos de torreta tipo revolver, con un número importante de posiciones o estaciones, o sistemas de cambio, que constan de una cinta o cadena, que con el auxilio de agarraderas, selecciona las herramientas a emplear de un almacén y la sitúa en posición de trabajo.

2.2.1.4.5 Husillos y ejes de trabajo y avances.

Los husillos de trabajo en las máquinas con CNC son movidos con motores de corriente continua, generalmente, ya que los mismos permiten incrementar o decrementar la velocidad sin escalonamientos.

Cuando se habla de ejes de trabajo o de rotación, se refiere a las máquinas en las cuales la mesa de trabajo o el cabezal del husillo son orientables pudiendo adoptar distintas posiciones angulares, tal es el caso de los centros de maquinado o las fresas, o algunos tornos verticales con varios montantes.

Se conoce como ejes de avances a las direcciones en las cuales se mueven los carros, el husillo o la mesa de trabajo.

Las máquinas CNC cuentan con puntos de referencia, los cuales son:

2.2.1.4.6 Punto cero de la máquina

Este origen de coordenadas está dado por el fabricante, y es un punto interior de la máquina.

2.2.1.4.7 Punto cero de la pieza

Este punto es arbitrario y determinado por el programador, con referencia al cero de la máquina. Los datos de trayectoria de las herramientas y de distancias en avances y penetraciones están referidos a este punto en particular. Es decir, los datos de un programa de pieza, son tomados en base a este.

2.2.1.4.8 Punto cero del carro

Está referido con respecto al cero de la máquina. Se tiene en cuenta para la determinación de los datos de magnitudes de herramientas. [13]

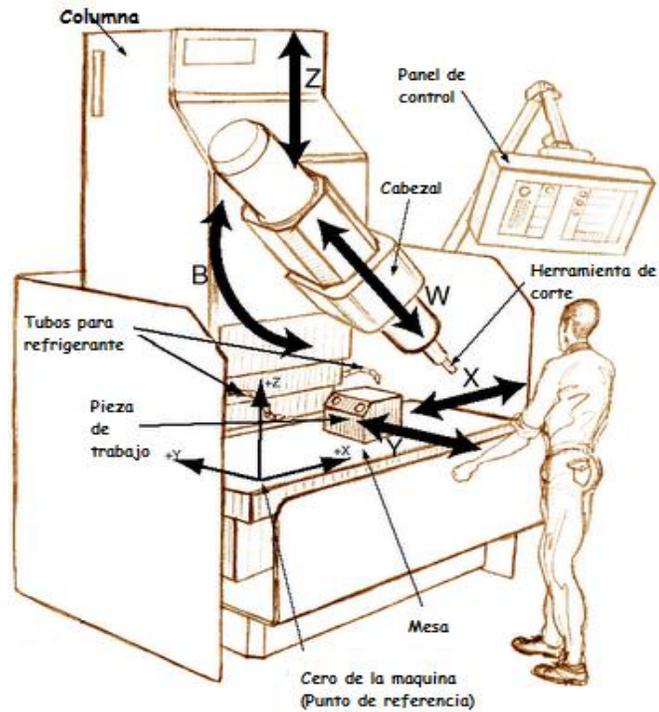


Figura 2: Componentes de una máquina CNC.
Elaboración: Referencia [13]

2.2.2 MECATRONICA

“Es una ingeniería que une la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de control e ingeniería informática; para diseñar y desarrollar productos que involucren sistemas de control para el diseño de productos o procesos inteligentes. Se busca crear maquinarias más complejas para facilitar las actividades del ser humano a través de procesos electrónicos en la industria mecánica principalmente. Debido a que combina varias ingenierías en una sola su punto fuerte es la versatilidad.” [2]

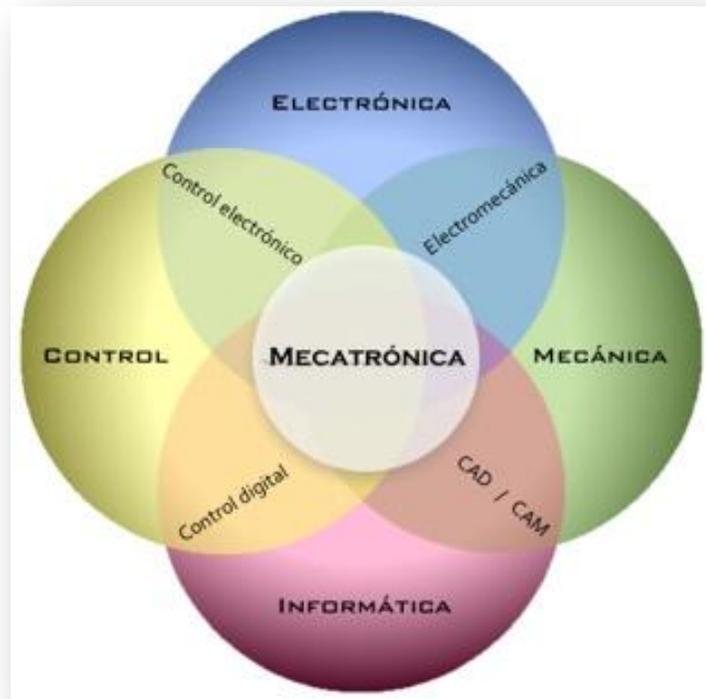


Figura 3: Estructura disciplinarias de la Ingeniería Mecatrónica.
Elaboración propia

2.2.2.1 Historia

“La Mecatrónica tiene como antecedentes inmediatos a la investigación en el área de Cibernética realizada en 1936 por Turing ,en 1948 por Wiener y Morthy, las máquinas de control numérico, desarrolladas inicialmente en 1946 por Devol, los manipuladores, ya sean tele operados, en 1951 por Goertz, o robotizados, en 1954 por Devol, y los autómatas programables, desarrollados por Bedford Associates en 1968.

En 1969, TetsuroMori, un ingeniero de la empresa japonesa Yaskawa Electric Co. acuña el término Mecatrónica, recibiendo aquella en 1971, el derecho de marca.

En 1982 Yaskawa permite el libre uso del término. En los años setenta, la Mecatrónica se ocupó principalmente de la tecnología de servomecanismos usada en productos como puertas

automáticas, máquinas automáticas de autoservicio y cámaras auto-focos. En este enfoque pronto se aplicaron métodos avanzados de control. En los años ochenta, cuando la tecnología de la información fue introducida, los ingenieros empezaron a incluir microprocesadores en los sistemas mecánicos para mejorar su desempeño. Las máquinas de control numérico y los robots se volvieron más compactos, mientras que las aplicaciones automotrices como los mandos electrónicos del motor y los sistemas anti cerrado y frenando se hicieron extensas. Por los años noventa, se agregó la tecnología de comunicaciones, creando productos que podían conectarse en amplias redes. Este avance hizo posible funciones como la operación remota de manipuladores robóticos. Al mismo tiempo, se están usando novedosos micro sensores y micro actuadores en nuevos productos. Los sistemas micro electromecánicos como los diminutos acelerómetros de silicio que activan las bolsas de aire de los automóviles.” [2]

2.2.2.2 Campos de Acción de la mecatrónica.

Algunas de las Áreas de aplicación se tienen:

- Automatización.
- Robótica.
- Servomecanismos.
- Sensores y sistemas de control.
- Ingeniería automotriz.
- Ingeniería aeroespacial.
- Controles computador-máquina.
- Bienes industriales.
- Productos de consumo.
- Sistemas mecatrónicos.
- Ingeniería biomédica.
- Sistemas dinámicos estructurales.
- Sistemas vehiculares y de transporte.
- Técnicas de diagnóstico, fiabilidad y control.

- Diseño asistido por computadora.
- Fabricación asistida por computadora.
- Sistemas de manufactura.

2.2.3 PROTOTIPADO VIRTUAL

El prototipado virtual es el diseño y generación de un producto con suficientes características claves que permitan su evaluación frente a los requerimientos. El término virtual, significa que el producto diseñado aún no está creado físicamente sin embargo se genera su representación visual para observación, análisis y manipulación; el objeto tiene aproximadamente el mismo comportamiento que el modelo físico excepto que el primero está disponible en un ambiente virtual generado en un computador. En un espectro más amplio, el prototipado virtual se puede enmarcar dentro del campo de la realidad virtual, desde este punto de vista los prototipos virtuales son parte esencial de lo que es la realidad virtual.

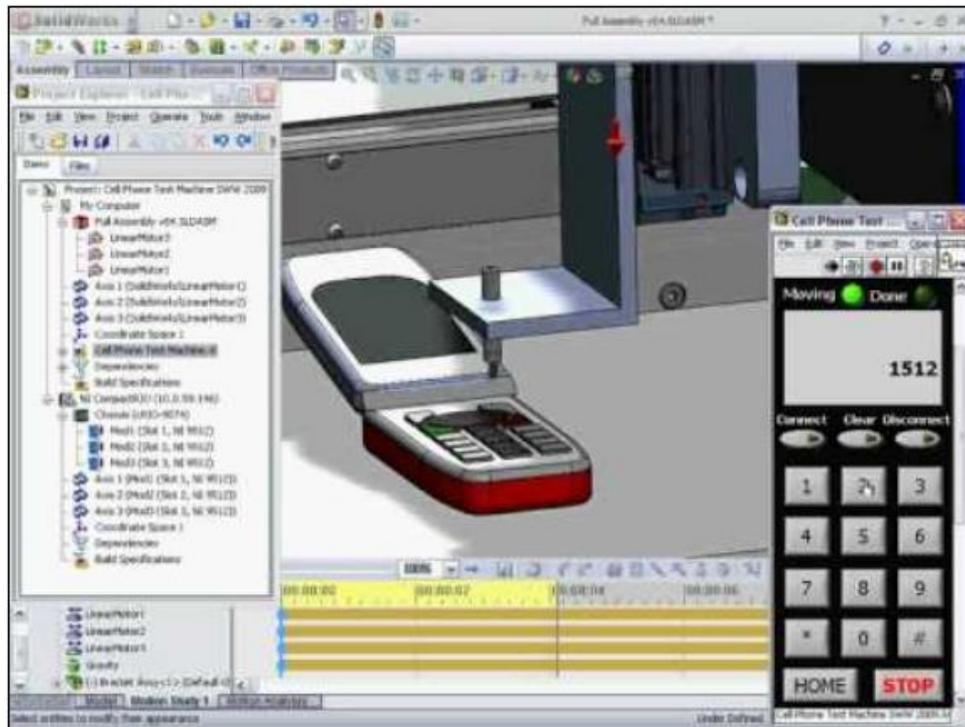


Figura 4: Prototipado Virtual usando LabVIEW y SolidWorks
Elaborado: National Instruments.

2.2.3.1 Diseño de Dispositivos Mecánicos y Mecatronicos

Tal vez el campo en donde más ha incursionado hasta ahora el prototipado virtual sea la industria de elementos mecánicos (automotriz, aviación, etc.), es fácil encontrar en el mercado aplicaciones para los diferentes campos del diseño en ingeniería mecánica, aun mas, ahora se consiguen aplicaciones que permiten una total integración entre los diferentes módulos de modelaciones específicos, esto significa que desde un mismo programa (puede ser donde se genera el modelo CAD) se puedan realizar todas las simulaciones que se requieran, desde simulación dinámica para interferencias o cálculos de fuerzas y velocidades hasta análisis de esfuerzos por elementos finitos para comprobar la validez del diseño desde el punto de vista estructural.

Los últimos avances en este campo se han obtenido al darle a dichas herramientas la capacidad de generar los prototipos paramétricamente, esto significa que un modelo se puede diseñar con base en ecuaciones que relacionen una característica específica, una vez modificada dicha característica, el prototipo se actualiza sin necesidad de generarlo nuevamente permitiendo con esto un ahorro significativo de tiempo en la optimización de los diseños. [2]

2.2.3.2 Herramientas disponibles

2.2.3.2.1 Diseño Asistido Por Computadora (CAD)

Las versiones actuales de la mayor parte de los paquetes de CAD permiten que la geometría de las piezas se codifique como modelos sólidos en una base de datos para tres dimensiones. En un modelo sólido se definen los contornos y las caras de la pieza. De esta información tridimensional (3-D) es posible generar automáticamente vistas ortogonales bidimensionales (2-D), las convencionales, si así se desea.

La ventaja más importante de crear una base de datos geométrica de modelo sólido (3-D) para cualquier diseño es que la información correspondiente a propiedades de la masa se calcula con rapidez. (Esto no es posible en un modelo en presentación alámbrica (2-D) o (3-D).) Por ejemplo, en el diseño de una pieza de maquinaria se necesita determinar la ubicación de su centro

de gravedad (CG), su masa y el momento de inercia de su masa, así como la geometría de su sección recta en diversos puntos.

La determinación de esta información a partir de un modelo en (2-D) debe efectuarse por fuera del paquete CAD. Esto es tedioso, y cuando la geometría es compleja suele resultar sólo aproximada. En cambio, si la pieza está diseñada en un sistema CAD de modelo sólido, las propiedades de la masa se calculan al instante para piezas con geometría de alta complicación.

Los sistemas de modelado sólido proporcionan una interfaz con uno o más programas de Análisis en Elementos Finitos (FEA, por sus siglas en inglés) y permiten una transferencia directa de la geometría del modelo al paquete FEA para análisis de esfuerzos, vibraciones y transferencia de calor. Algunos sistemas CAD contienen una herramienta de creación de mallas, que genera automáticamente la malla FEA antes de enviar datos al programa también nombrado FEA. [15]

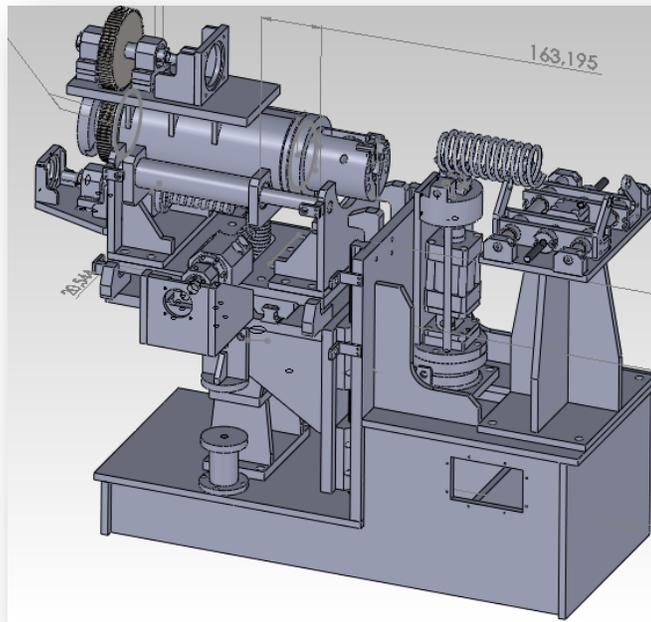


Figura 5: Modelo CAD de la Máquina
Elaboración Propia

2.2.3.2 Ingeniería Asistida Por Computadora (CAE)

Las técnicas referidas anteriormente como CAD son un subconjunto de un sistema más general de ingeniería asistida por computadora (CAE), término que implica que se trata de más que la geometría de las piezas. No obstante, las distinciones entre CAD y CAE siguen desapareciendo conforme vienen surgiendo paquetes de software más complejo. De hecho, la descripción del uso de un sistema CAD de modelo sólido y de un paquete FEA juntos, es un ejemplo de CAE.

Cuando se incluye algo de análisis de fuerzas, esfuerzos, deflexiones y otros aspectos del comportamiento físico del diseño, con o sin los aspectos de geometría de los sólidos, el proceso se conoce como CAE. Muchos paquetes de software comerciales ejecutan uno o más aspectos de CAE. Los paquetes FEA y BEA entran en esta categoría. Las simulaciones de fuerzas dinámicas de mecanismos se realizan con paquetes como el ADAMS y Working Model. Algunos paquetes como el Pro-Engineer combinan aspectos de un sistema CAD con capacidades de análisis generales. Estos programas permiten la aplicación de restricciones al diseño para controlar la geometría de la pieza conforme se van modificando los parámetros de diseño. [15]

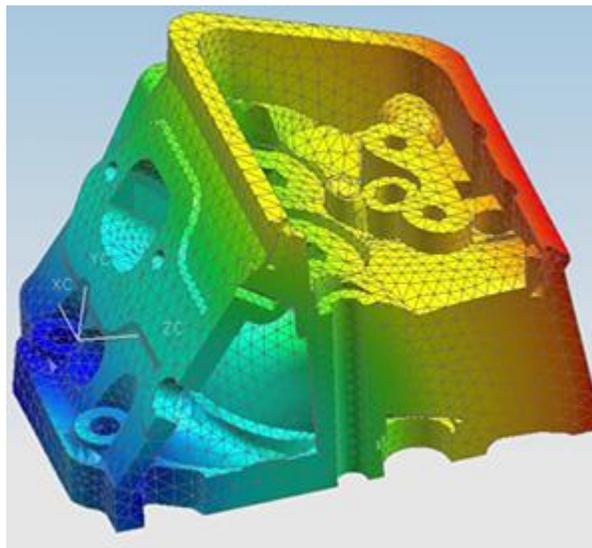


Figura 6: Estudio de Fuerzas dinámicas de una pieza.
Elaboración: Referencia [15].

2.2.3.2.3 Ingeniería Inversa

“Es una disciplina en rápida evolución que cubre multitud de actividades. Su objetivo es obtener información a partir de un producto accesible al público, con el fin de determinar de que está hecho, que lo hace funcionar y como fue fabricado. Esta comunicación presenta una metodología, basada en ingeniería inversa, para generar prototipos virtuales a partir de superficies. El objetivo es exponer una técnica que sirva para diseñar elementos de consumo en los que se buscará una estética y ergonomía para la fabricación del producto.

Aunque los nuevos sistemas de CAD facilitan el diseño del producto, hay que desarrollar nuevas, aplicaciones que permitan obtener un diseño innovador disminuyendo los tiempos de diseño con objeto de minimizar el incremento de coste de fabricación.” [12]

2.2.3.3 Ingeniería Convencional

Los métodos tradicionales han sido usados por décadas para desarrollar productos en la industria. Estos métodos son típicamente un diseño secuencial, como se muestra en la figura 7.

Ese método no es recomendable para un diseño de productos interdisciplinario como son los productos mecatrónicos.

Por otra parte, las numerosas iteraciones y costosos prototipos físicos son usados para evaluar el diseño del producto. [3]

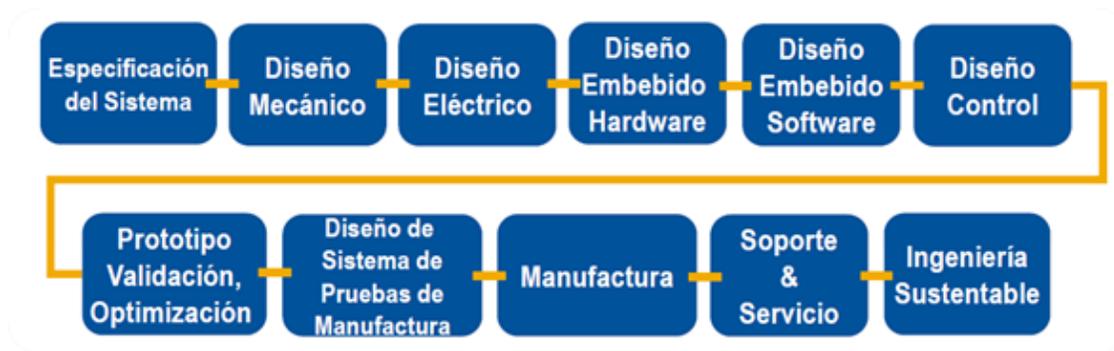


Figura 7: Diseño Tradicional Secuencial
Elaborado: National Instruments

2.2.3.4 Ingeniería Concurrente

El diseño de equipos mecatrónicos requiere la colaboración de numerosas disciplinas. Estas disciplinas contribuyen en el proceso de diseño, las cuales son la ingeniería mecánica, eléctrica, control y diseñadores de software embebido.

Es importante destacar, que todas las ingenierías son depuradas y optimizadas a través del prototipado virtual (simulación). En la figura 8 se muestra el diseño de la ingeniería concurrente.

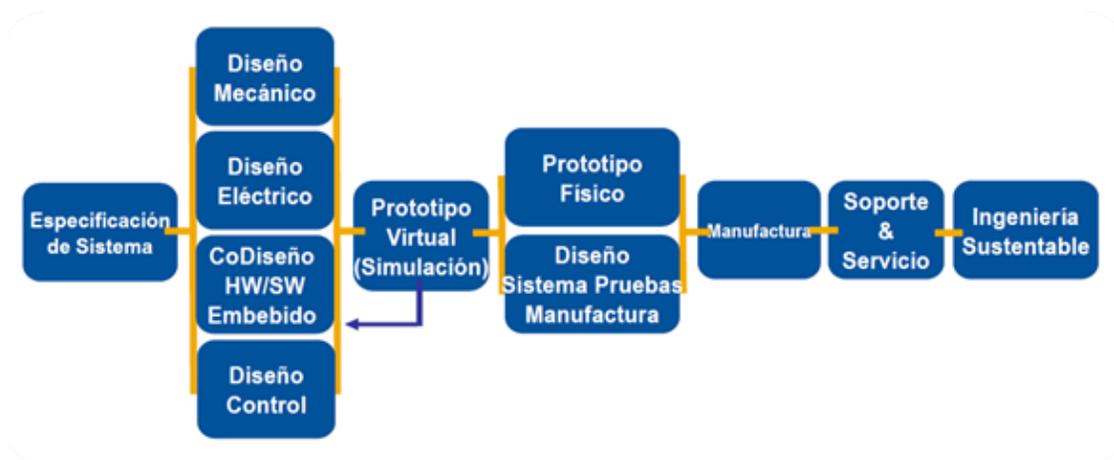


Figura 8: Diseño Paralelo
Elaborado: National Instruments

2.2.3.5 Enlaces Paramétricos

La combinación de SolidWorks y National Instruments LabVIEW mediante el módulo NI's SoftMotion es una herramienta muy efectiva para el prototipado virtual de dispositivos mecatrónicos. Tiene numerosas ventajas antes de realizar el prototipo físico, incluyendo la revisión de la interferencia, optimizando materiales y tamaño de componentes y selección de motores.

Rockwell Automation desarrollo el software conocido como "Motion Analyzer", con muchas similitudes al software desarrollado por NI. Este software también tiene enlace con SolidWorks y transfiere los perfiles de movimiento virtual al sistema físico de Rockwell Automation.

Por otra parte, CADSI desarrollo un software llamado "Motion and Structure Simulation", el cual se enlaza con CATIA. CADSI afirma su utilidad para el diseño y el análisis del equipo.

Siemens entro al mercado con su "Mechatronics Concept Designer" capaz de trabajar con múltiples paquetes CAD.

Finalmente, LMS crea "Virtual Lab Motion". Es un analizador y crea perfiles de movimiento y lógica. Se enlaza con CATIA.

CATIA es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora. [4]

2.2.3.6 Parámetros Optimizados

- Tiempo de Ciclo de la máquina.
- Secuencia de Movimiento y posibles colisiones.
- Tipo de Motor Servo o Stepper.
- Correa de Transmisión o Tornillo sinfín.

- Mejor posición para los sensores.
- Demasiada carga de tensión o fricción.
- Vibración y estructura.
- Identificar posibles fallas mecánicas.
- API Programación.
- Entre otros. [4]

En la figura 9, se muestra un grafico comparativo entre la ingeniería tradicional y la concurrente.

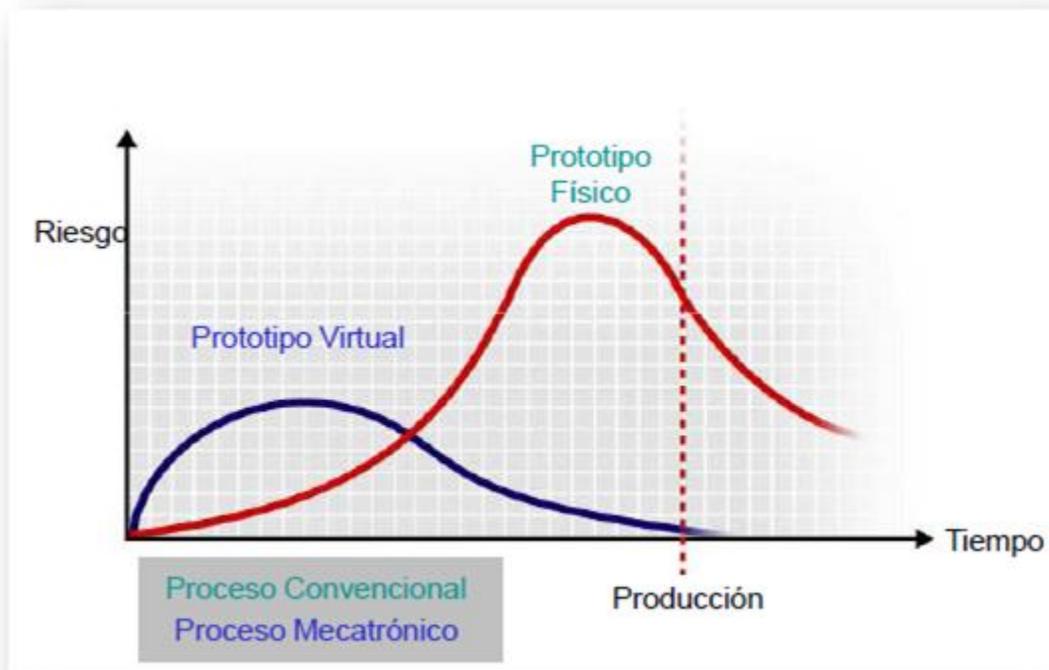


Figura 9: Grafica Comparativa entre los procesos de diseño.
Elaborado: National Instruments.

2.2.4 SOFTWARE LABVIEW

Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.

2.4.1 Requisitos mínimos de instalación

A continuación, se muestra las especificaciones mínimas que requieren las computadoras para un buen desempeño en la ejecución de LabVIEW.

Tabla 1: Requisitos mínimos para Windows

	Mínimo	Recomendado
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4/M o equivalente
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema Operativo	Windows Vista/XP/2000	Windows Vista/XP
Espacio en Disco	1.6 GB	1.6 GB (Nota -- Incluye controladores predeterminados desde CD de Controladores de Dispositivos de NI)

Tabla 2: Requisitos mínimos para Mac OS X

	Mínimo	Recomendado
Procesador	Intel	Intel
RAM	563 MB	1.2 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema Operativo	Mac OS X 10.4 o posterior	Mac OS X 10.4 o posterior
Espacio en Disco	262 MB	828 MB para la instalación completa

Tabla 3: Requisitos mínimos para Linux®

	Mínimo	Recomendado
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4/M o equivalente
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema Operativo	Linux kernel 2.2.x, 2.4.x o 2.6.x, para la arquitectura Intel x86, GNU C Library (glibc) Versión 2.2.4 o posterior	Red Hat Enterprise Linux WS 3, MandrakeLinux/Mandriva 10.0, SuSE Linux 9.1
Espacio en Disco	630 MB	835 MB para la instalación completa

2.4.2 Módulos de LabVIEW

2.4.2.1 Módulo LabVIEW Real-Time

Requerimientos del Sistema de Desarrollo de LabVIEW para Windows además de:

- 200 MB de espacio adicional disponible en disco

2.4.2.2 Módulo LabVIEW Mobile

Requerimientos del Sistema de Desarrollo de LabVIEW para Windows además de:

- Sistema de Desarrollo Base, Completo o Profesional de LabVIEW.
- 2.5 GB de espacio adicional disponible en disco.
- Para Windows 2000, se requiere del Service Pack 4.
- Se recomiendan las utilidades de sincronización ActiveSync para Pocket PC

2.4.2.3 Módulo LabVIEW Touch Panel

Requerimientos del Sistema de Desarrollo de LabVIEW para Windows además de:

- Sistema de Desarrollo Base, Completo o Profesional de LabVIEW
- 2.5 GB de espacio adicional disponible en disco
- Para Windows 2000, se requiere del Service Pack 4

2.4.2.4 LabVIEW NI SoftMotion

Requerimientos del Sistema de Desarrollo de LabVIEW para Windows además de:

- Módulo LabVIEW Real-Time
- 250 MB de espacio adicional disponible en disco
- 2 GB en RAM recomendado si se usa NI SoftMotion para SolidWorks

2.4.3 Interfaz de Usuario

La pantalla de la izquierda es la de programación, y la de la derecha es la pantalla en donde se crea la interfaz de usuario.

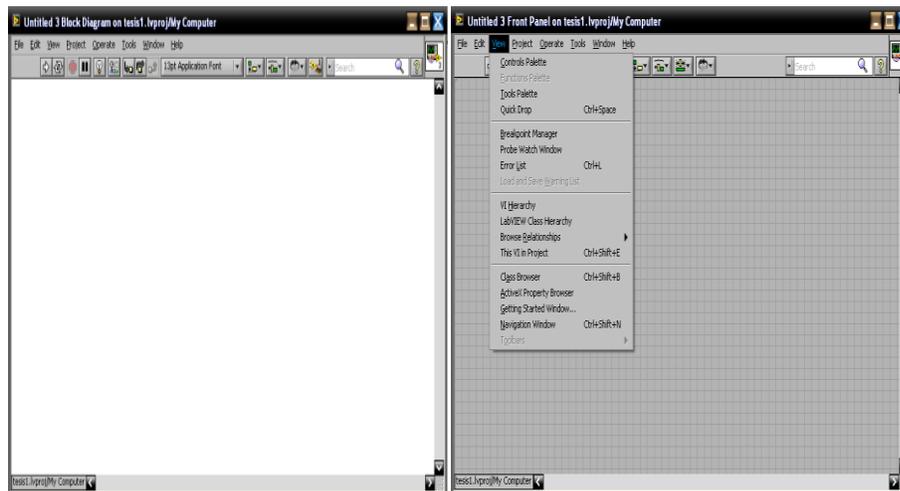


Figura 10: Pantallas de Programación de LabVIEW

Elaboración: Fuente Propia.

En las dos pantallas se usa una herramienta llamada panel de herramientas “TOOL PANEL”, en la figura 11 se describe sus elementos.

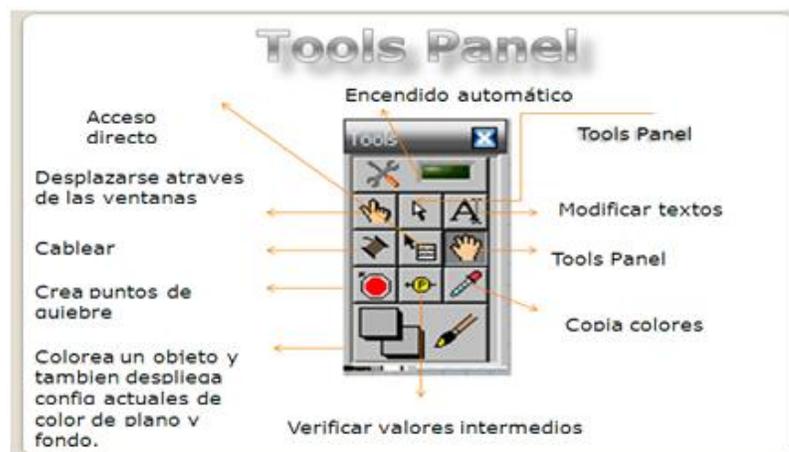


Figura 11: Descripción de la ventana Tool Panel

Elaboración: Fuente propia.

En la pantalla de interfaz gráfica se tiene otra ventana, y como se muestra en la figura 12 hay varios módulos instalados.

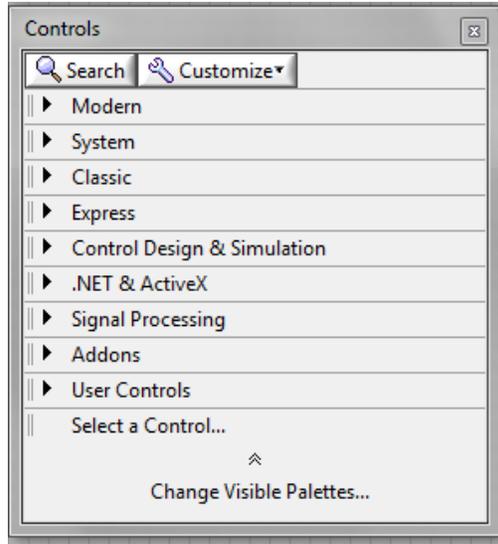


Figura 12: Pantallas de Programación de LabVIEW
Elaboración: Fuente propia.

En la pantalla de programación, también cuenta con su ventana, como se presenta en la figura 13.

2.4.4 Conceptos básicos de programación por pantallas graficas

Los ficheros generados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, VIs, llamados así porque su apariencia y comportamiento simula a instrumentos físicos, como osciloscopios o multímetros. Los VIs utilizan funciones que manipulan las entradas del usuario o datos provenientes de otras fuentes y muestran la información procesada o la pasan a ficheros u otros ordenadores.

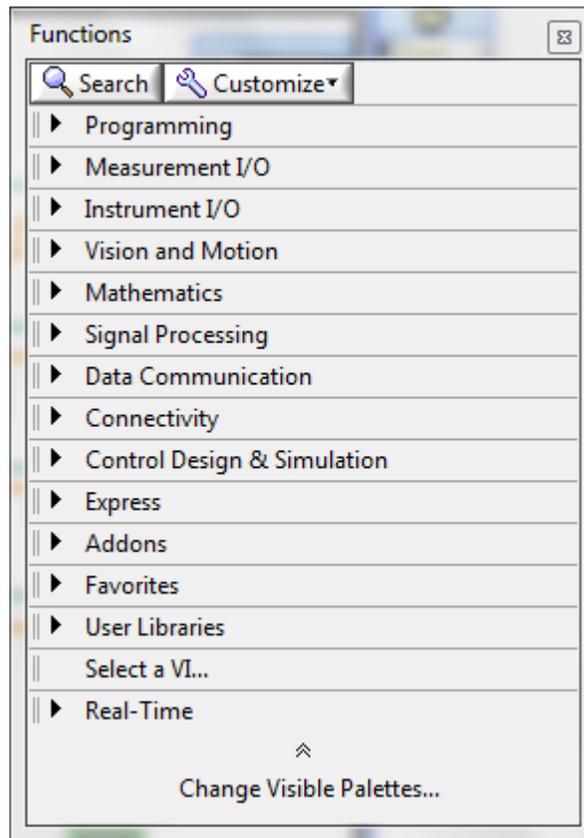


Figura 13: Paleta de Funciones.
Elaboración: Fuente propia.

2.4.5 Componentes de un proyecto

En la figura 14 se muestra la ventana en la que se crean los proyectos, aquí se pueden añadir instrumentos virtuales, ejes de movimientos, piezas en software paramétrico, pantallas, PXI, Celular inteligente, y otros componentes. Al hacer clic derecho con el ratón, se puede adicionar lo antes mencionado.

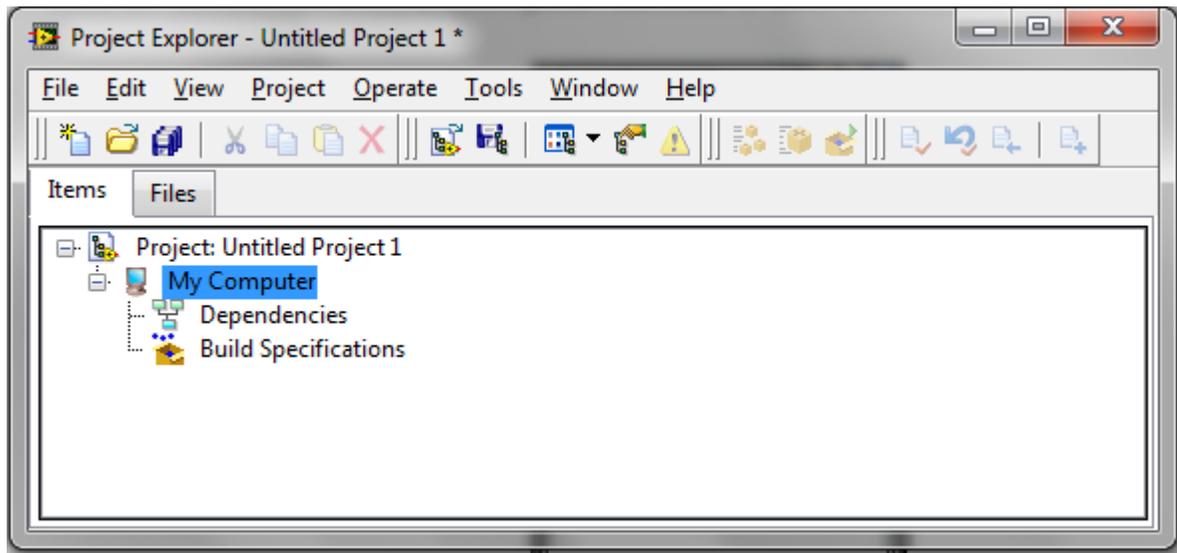


Figura 14: Ventana de Proyecto.
Elaboración: Fuente propia.

2.4.6 Módulos de instalación y Drives.

La plataforma de trabajo de LabVIEW cuenta con los siguientes módulos:

- Run-Time Engine.
- Database Connectivity toolkit.
- Report Generation Toolkit for Microsoft Office.
- Touch Panel Module
- Vision Builder for Automated Inspection.
- Vision Development Module.
- Vision Acquisition Software.
- NI Visa.
- FPGA Module.
- Internet Toolkit.
- Control Desing and Simulation Module.
- Diadem.
- Adaptive Filter Toolkit.

- Advanced Signal Processing Toolkit.
- Digital Design Toolkit.
- Real Time Module.
- SoftMotion Module.
- Datalogging and Supervisory Control Module.

2.4.7 Comunicación con el software

A continuación se presenta la comunicación soportada por el software LabVIEW.

- USB.
- Serial.
- Ethernet.
- Sistemas DAQ.
- Tarjetas de movimiento.
- Interfaz de movimiento universal (UMI)

2.4.8 Archivos ejecutable

Para la generación de archivos ejecutables, los cuales se crean para utilizarlos en pantallas táctiles, computadoras, celulares inteligentes, entre otros. Para la ejecución de estos se necesita instalado en el equipo en el que se va a ejecutar el programa “Run-Time Engine”. Para mayor información de cómo generar un archivo ejecutable, véase anexo 1.

2.4.9 Instrumentación Virtual

Los sistemas de procesamiento basados en PC representan una alternativa a los sistemas convencionales. Impulsado por la convergencia de diversas tecnologías, Los avances tecnológicos conseguidos, juntamente con la asombrosa evolución del PC (con micros más potentes y robustos, sistemas operativos más estables), han hecho posible que el usuario final

pueda hoy en día desarrollar aplicaciones de procesamiento de medidas que antes estaban reservadas a auténticos especialistas o a empresas de gran poder adquisitivo.

Por ejemplo en la instrumentación virtual y a la convergencia de al menos cuatro tecnologías ha sido posible que hoy en día se pueda hablar de aplicaciones de procesamiento de imágenes basadas en PC.

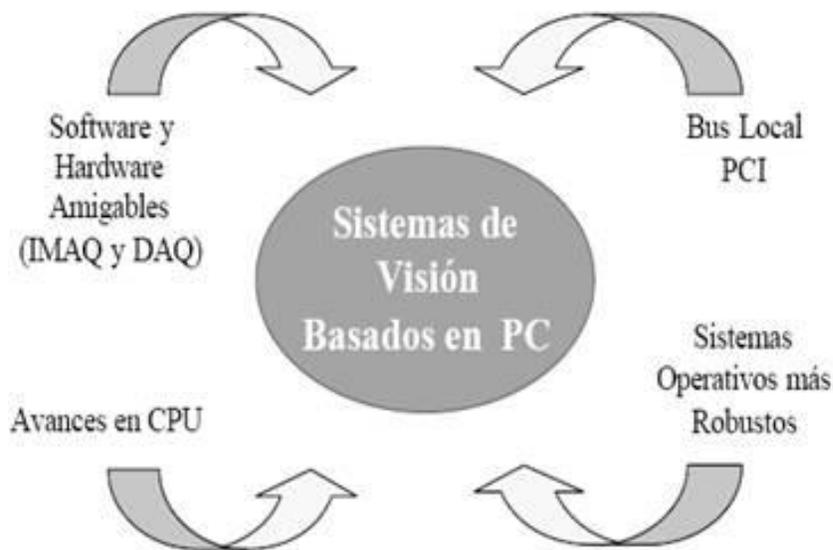


Figura 15: Convergencia de Tecnología. Área Visión.
Elaboración: National Instruments

Cada una de las cuatro tecnologías tiene un papel fundamental en el avance de los sistemas de procesamiento de imagen, en los que el PC ha sido un factor trascendental para el desarrollo de este tipo de aplicaciones. Gracias al PC, la instrumentación virtual, es decir, la utilización del PC para realizar funciones de instrumentos de medida, ha sido una realidad desde hace algunos años. Lógicamente, se han aprovechado los beneficios de los ordenadores más potentes y sistemas operativos más robustos, junto con canales de comunicación (puertos USB) más rápidos y flexibles.

En la Figura 16 se presenta un esquema de lo que se puede considerar como un modelo de un sistema utilizando instrumentación virtual basada en PC.

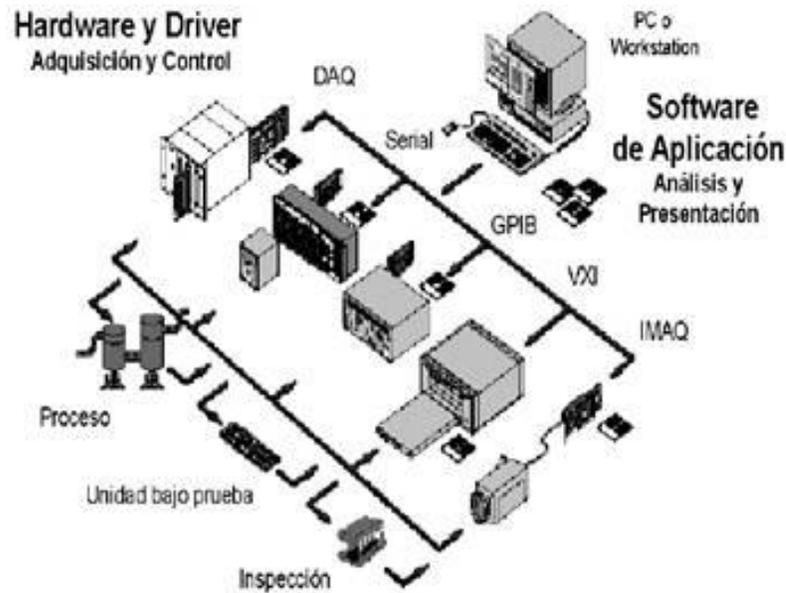


Figura 16: Modelo de un Sistema Basado en Instrumentación Virtual.
Elaboración: National Instruments

En el campo de la electrónica cada vez se hace más propicio el uso de instrumentos virtuales y paralelamente con estos el empleo de modernas técnicas de adquisición de datos especialmente en los sistemas de control. [17]

2.2.5 CONTROL SERVO MOTORES

Es definido por la aplicación de programación del hardware y software, en conjunto con la entrada de sensores, actuadores y otros equipos de retroalimentación, para el control de uno o más movimientos lineales o giratorios.

El sistema se compone de los siguientes elementos básicos: controlador, amplificador, actuador, equipos de retroalimentación. Como se muestra en la figura 17.

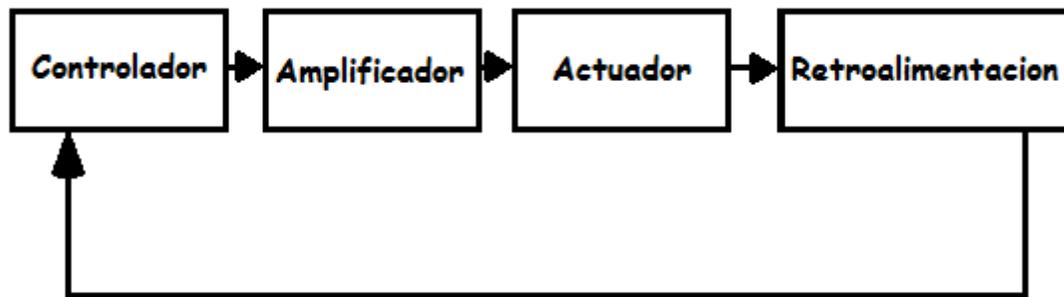


Figura 17: Relación Entre los Componentes de un Sistema de Control
Elaborado: Fuente propia.

El controlador incluye un medio para introducir un conjunto de instrucciones o código en su memoria cual se traduce luego en una serie de impulsos eléctricos o señales analógicas y una salida a un amplificador para controlar algún tipo de actuador. El amplificador recibe las señales desde el controlador y aumenta o amplifica a niveles apropiados para el actuador. [8]

2.2.5.1 Tipos de Servomotores

A continuación, se presenta los tipos de servomotores.

2.2.5.1.1 Motores con escobillas DC

Es el más antiguo tipo de tecnología usado en la industria para el control retroalimentación de servos, y sigue siendo el más visto en los equipos. El principal desgaste es el cepillo de desgaste, pero en la mayoría de las aplicaciones no es considerado.

2.2.5.1.2 Motores de paso

Se usa principalmente en un lazo abierto de control. Se usa para operar a grandes pares y baja velocidad. La desventaja de este tipo de motor, es que si el par requerido es superado momentáneamente, se produce un error de posición y no puede ser corregido.

2.2.5.1.3 Motores sin escobillas

Son muy parecidos en operación a los motores con escobilla a DC; la principal diferencia es que no requiere cepillos para su operación. Y se usa para baja inercia del rotor y su eficiencia en disipación térmica resulta en una rápida aceleración y mejor eficiencia volumétrica.

2.2.5.1.4 Motores de Inducción

Se usan principalmente para aplicaciones donde se requieran alta velocidad, rendimiento y capacidad de posicionamiento. [8]

2.2.5.2 El Propósito de Control de Movimiento

El sistema de control de movimiento, tiene como propósito el control de uno o combinaciones de los siguientes parámetros: Posición, velocidad, aceleración y par.

Los tipos de dispositivos de retroalimentación utilizados en un sistema de control de movimiento dependerá tanto del elemento de control (posición, velocidad y par), así como la precisión requerida. Otro parámetro que se utiliza en la selección de un dispositivo de retroalimentación podría ser las consideraciones ambientales, tales como temperatura, sensibilidad y rigidez.

El fabricante de la máquina que desee automatizar electrónicamente sus productos, debe elegir equipos de control que sean capaces de realizar por lo menos lo siguiente:

- Realizar el control de procesos: Para controlar los procesos donde se interactúe con líquidos, calentadores, refrigeradores, presión atmosférica, y las funciones asociadas.
- Gestionar los fallos del sistema: Para controlar la información de la unidad de control por medio de interruptores de seguridad, sensores, límites control de procesos, etc.
- Realizar un control de movimiento: Controlar y supervisar el movimiento de los objetos móviles en la máquina para que el perfil de movimiento deseado sea igual al programado. Ocasionalmente pueden ser cambiados durante el funcionamiento normal, establecido, o en condiciones de emergencia. Por lo tanto, el controlador de

movimiento debe ser programable, de modo que pueda ser informado con anticipación y realizar las acciones convenientes.[8]

2.2.5.3 Lazo de Control Servo PID de National Instruments

El lazo de control de National Instruments está ligado a una serie de variables fundamentales las cuales son:

- Constante proporcional “Kp”: Es directamente proporcional al error de posición. En cada muestra del periodo, el lazo de control PID calcula el error de posición, el cual es la diferencia entre el valor instantáneo de trayectoria de la posición y la primera posición de la realimentación. Un eje con un valor muy pequeño del Kp es incapaz de mantener dicho eje en su posición y es muy blando.
- Constante integrativa “Ki”: Asegura que el error estático de posición en el lazo de control es forzado a cero. En aplicaciones con pequeño toque estático, el valor puede ser dejado en cero. Para sistemas con alto par estático, se puede cambiar el valor para minimizar el error de posición cuando el eje está detenido. Un valor muy alto, causa inestabilidad en el sistema.
- Constante derivativa “Kd”: Proporciona la tasa de cambio de la posición de error. Un valor distinto de cero es requerido para todos los sistemas que usan bloques amplificadores de par. Para bloques amplificadores de velocidad, es típico dejar Kd igual a cero o un valor muy pequeño positivo.
- Velocidad de retroalimentación “Kv”: Es usado para escalar la velocidad de retroalimentación antes de ser adicionada a los otros componentes de 16-Bit DAC de comando de salida. Si se coloca un valor distinto de cero, se activará el lazo de retroalimentación usando un encoder secundario.
- Aceleración de alimentación hacia adelante “Aff”: Es directamente proporcional a la trayectoria de aceleración instantánea. Es usada para reducir el error de posición durante aceleraciones y desaceleraciones y se puede cambiar en cualquier momento para el lazo PID.

Es una técnica de lazo abierto de compensación y no afecta la estabilidad del sistema. Sin embargo, si se usa un valor muy alto, se degrada el rendimiento del sistema.

- Velocidad de alimentación hacia adelante "Vff": Es directamente proporcional a la trayectoria de velocidad instantánea. Es usada para minimizar el error durante movimiento con velocidad constante. Es una técnica de lazo abierto de compensación y no afecta la estabilidad del sistema. Sin embargo, si se usa un valor muy alto, es degradado el rendimiento del sistema.

- Convertidor analógico digital "Kdac": Es un convertidor Digital Analógico. Su ecuación es la siguiente

Fórmula para un convertidor analógico digital.

$$\mathbf{Kdac} = \frac{20 \cdot V}{2^{16}} \quad (1).$$

- Ganancia del amplificador "Ga".
- "Kt": Es la constante de par del motor.
- "1/J": Representa la inercia del motor.
- "Ke": Representa el factor de conversión a revoluciones. [1]

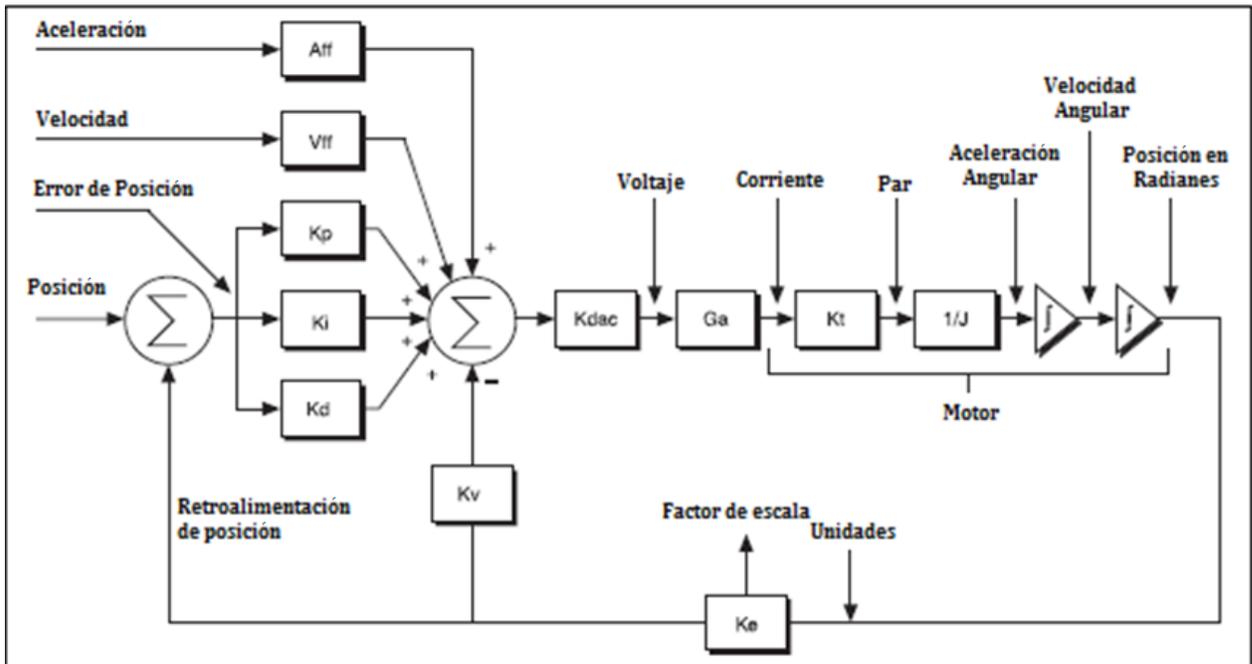


Figura 18: Lazo de Control National Instruments.
Elaboración: National Instruments.

2.2.6 Hardware de un Sistema de Control Numérico por Computadora

Una máquina de control numérico, tanto torno como fresa, es una máquina convencional con algunos elementos más sofisticados, como por ejemplo una computadora que la comanda.

Esencialmente funciona de esta manera: en base a un plano de una pieza determinada, se elabora un “programa” de pieza. Este programa está compuesto de una serie de códigos, los que son leídos por la computadora y le transmiten a la máquina las órdenes para que trabaje. De esta manera se consigue una pieza en forma prácticamente automatizada.

2.2.6.1 PXI y Dispositivos NI

Es un sistema basado en plataforma de PC, para medición, control y automatización. PXI significa Instrumentación de extensión PCI, la combina los buses eléctricos PCI con la rudeza modular, módulos de buses especiales para sincronización y sus software.

2.2.6.1.1 Arquitectura del PXI

El chasis PXI proporciona un paquete modular y robusto para el sistema. El chasis está disponible tanto en tamaños 3U y 6U, generalmente tiene desde 4 a 18 ranuras, y está disponible con características especiales como fuente de poder de DC y acondicionamiento de señales integrado. El chasis incluye el plano trasero PXI de alto desempeño, el cual incluye el bus PCI y los buses de tiempo y disparos. Son estos buses de control de tiempos y disparos los que permite a los usuarios desarrollar sistemas para aplicaciones que requieren de una sincronización precisa.

El PXI Consta de una fuente de poder que puede ser alimentada con tensión de 100 -140 VAC o 200-240 VAC a una frecuencia de 50 o 60 Hz.

Uno de estos puertos estará ocupado por el procesador del PXI el cual es de gran velocidad y además posee una gran capacidad de memoria. Estos puertos sirven para colocarles tarjetas especiales.

Todos los chasis PXI contienen una ranura para el controlador del sistema localizada en la parte izquierda del chasis (ranura 1). Las opciones para el controlador incluyen controladores remotos desde una computadora de escritorio, estación de trabajo o laptop, y controladores de alto desempeño son sistemas operativos de propósito general como Windows 2000/XP o en tiempo real (LabVIEW Real-Time). [2]



Figura 19: Chasis PXI y Varios Módulos.
Elaboración: National Instruments.

2.2.6.1.2 Controladores Embebidos PXI

Los controladores embebidos eliminan la necesidad de una PC externa, por tanto, proporciona un sistema completo contenido en el chasis PXI. Los controladores embebidos PXI están contruidos típicamente con componentes estándares de PC en un paquete PXI pequeño. Esto hace que el sistema sea más robusto y compacto que al utilizar un computador que quizás no pueda ser expuesto a condiciones de trabajo. Para este trabajo especial de grado se utilizará un controlador de este tipo debido al ambiente hostil en el que se encuentra la máquina. [2]



Figura 20: Controlador embebido dual-core NI PXI-8105 de 2.0 GHz
Elaboración: National Instruments.

2.2.6.1.3 Módulos Periféricos PXI

Los módulos más utilizados se presentan a continuación.

- Entrada y Salida Analógica
- Boundary Scan
- Interfaz de Bus y Comunicación
- Carriers
- Entrada y Salida Digital
- Procesamiento Digital de Señales

- Pruebas Funcionales y Diagnóstico
- Adquisición de Imágenes
- Tarjetas con Prototipos
- Instrumentos
- Control de Movimiento
- Fuentes de Poder
- Dispositivos Receptores de Interconexión
- Conmutadores
- Control de Tiempos
- RF y Comunicaciones

2.2.6.2 UMI

Este dispositivo se usa cuando el driver del motor no es de National Instruments. Por lo tanto, es necesario colocar un dispositivo entre el drive y el controlador National instruments (PXI o CompactRIO).+

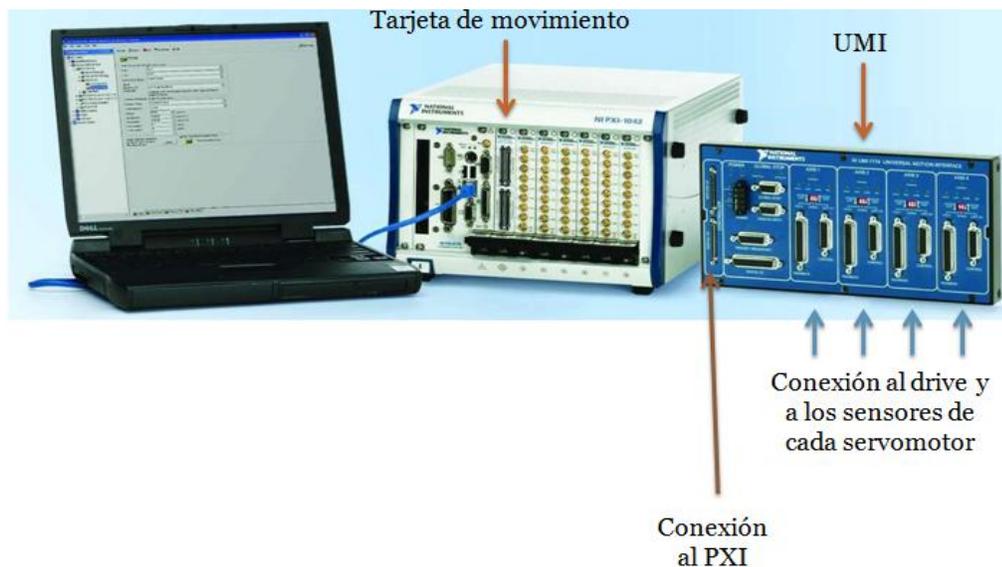


Figura 21: Equipos para Conexión UMI.
Elaboración: National Instruments.

En la figura 22 se observan lo necesario de National Instruments para conectarse a Drives de distintas marcas.

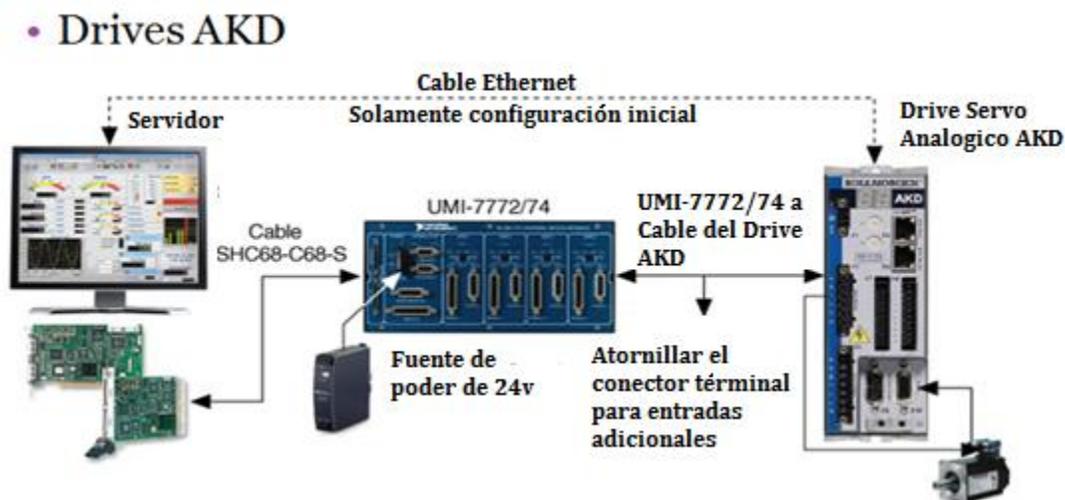


Figura 22: Esquema Conexión Drives Generales.
Elaboración: National Instruments.

2.2.6.3 Encoders

Es un traductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se asocian a cremalleras o a husillos.

Las señales eléctricas de rotación pueden ser elaboradas mediante control numéricos (CNC), controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control, etc. Las aplicaciones principales de estos transductores están en las máquinas herramienta o de elaboración de materiales, en los robots, en los sistemas de motores, en los aparatos de medición y control.

El encoder incremental se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz, es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje.

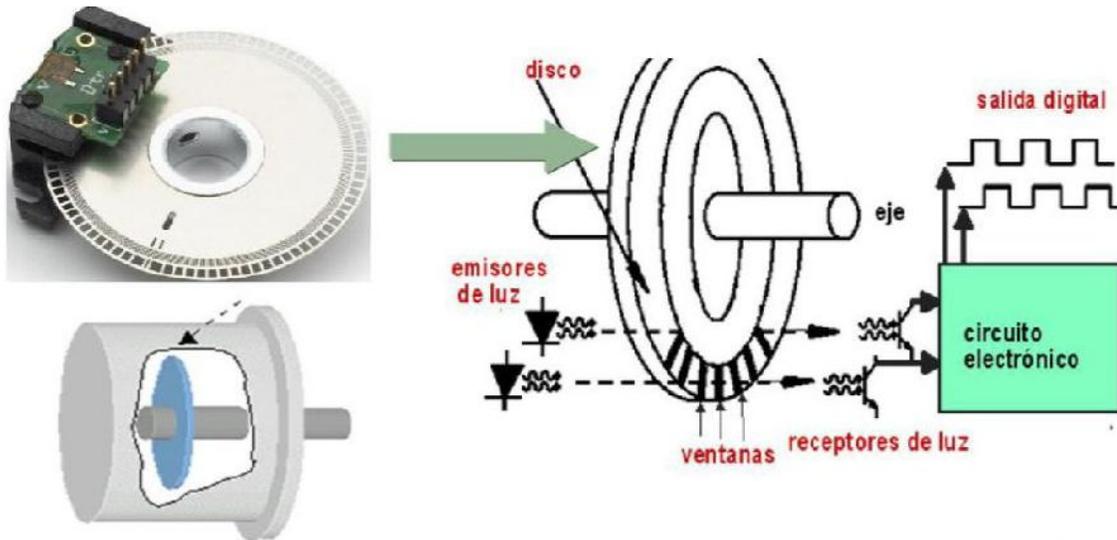


Figura 23: Parte Interior de un Encoder Incremental.
Elaborado: Referencia [10]

En el estator hay como mínimo dos pares de fotoreceptores ópticos, escalados un número entero de pasos más $\frac{1}{4}$ de paso. Al girar el rotor, se genera una señal cuadrada, el escalado hace que las señales tengan un desfase de $\frac{1}{4}$ de periodo si el rotor gira en un sentido y de $\frac{3}{4}$ si gira en el sentido contrario, lo que se utiliza para discriminar el sentido de giro.

En los encoder absolutos, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray.

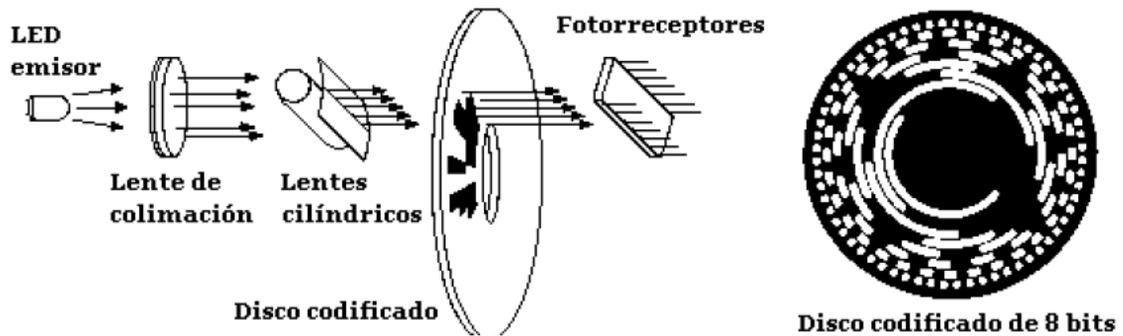


Figura 24: Parte Interior de un Encoder Rotativo.
Elaborado: Referencia [10].

Según la posición del disco, la luz emitida por cada emisor se enfrentara a un sector opaco o transparente.

Las diferentes combinaciones posibles de sectores dan origen a una señal de salida digital formada por cuatro bits que puede ser posteriormente procesada.

Generalmente, los encoders incrementales proporcionan mayor resolución a un costo más bajo que los encoders absolutos. Además, su electrónica es más simple ya que tienen menos líneas de salida. [10]

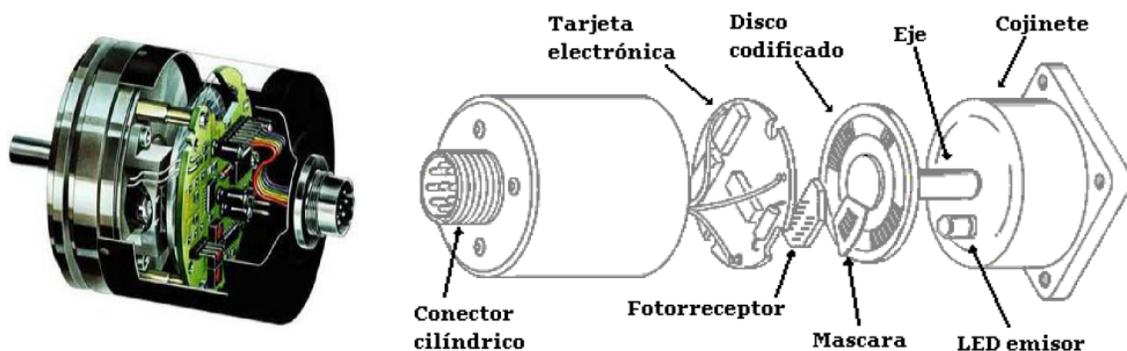


Figura 25: Partes de Un Encoder.
Elaboración: Referencia [10]

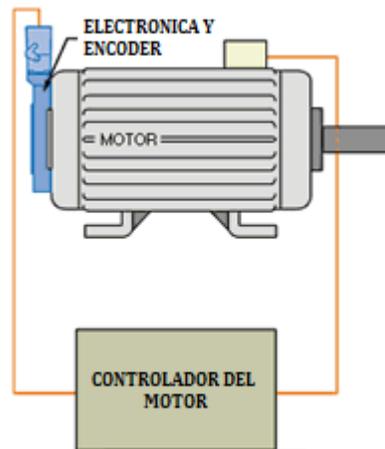


Figura 26: Esquema de Conexión de Encoder.
Elaboración: Referencia [11].

2.2.6.4 Resolver

Es un sistema analógico, el cual, envía el voltaje inducido de dos espiras, que por razones constructivas darán como resultado dos señales senoidales. Al examinar las senoides podremos conocer la posición y el desfase nos da la dirección.

Son alimentados por una referencia de CA de onda sinusoidal, suelen crearse con un suministro de energía específica de resolución, esta fuente de alimentación generalmente se alimenta con una tensión de corriente.

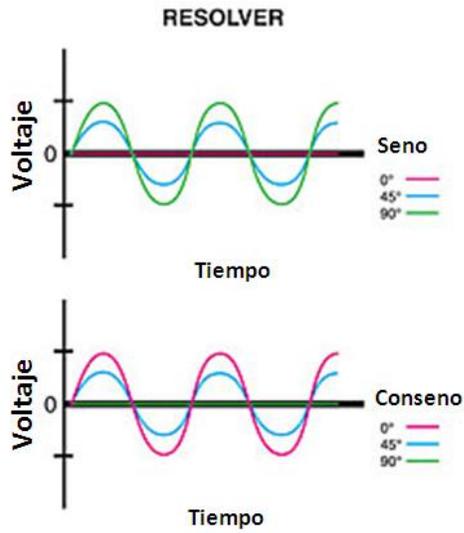


Figura 27: Graficas de un Resolver.
Elaboración: Referencia [11]

Se considera más robusto desde el punto de vista mecánico, pero al tratarse de una señal analógica es más sensible desde el punto de vista electromagnético.

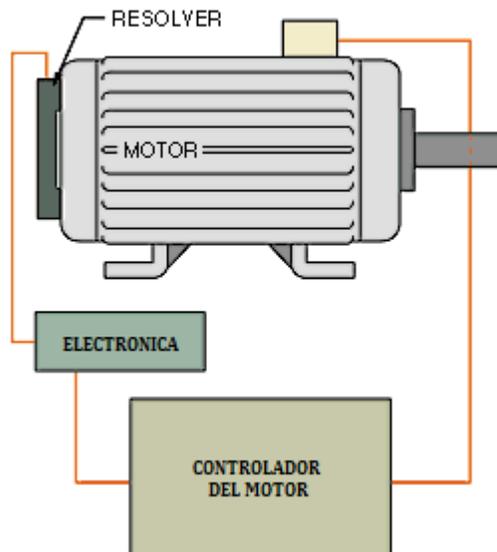


Figura 28: Esquema de Conexión de un Resolver.
Elaboración: Referencia [11].

Se usan para medir imán permanente (PM) del motor de conmutación y control de velocidad AC DC y servo motor de conmutación y control de velocidad. [11]

2.2.6.5 Drive

Son aquellos dispositivos que obtienen una señal de control de posición y envían la señal a un motor controlando a través de pulsos la posición y velocidad del mismo.

Por lo general, cuando el servomotor tiene realimentación, también reciben la señal del encoder que sirve para cerrar el lazo de control. [2]



Figura 29: Drive Baldor.
Elaboración: Baldor.

2.2.7 DEFINICION DE TÉRMINOS

NI: Abreviación de National Instruments.

PC: Abreviación Computadoras personales.

CPU: Es el componente principal del ordenador y otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesa los datos.

PXI: Es un autómata programable, el cual combina las ventajas de los PC's junto a la robustez de los PLC, su tecnología está basada en plataformas para la medición y automatización de sistemas, el cual, combina el slot PCI con la modularidad y tarjetas especializadas de NI.

Protocolos CAN: Es un protocolo de comunicaciones, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. Además ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples CPU's.

OPC: Es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basados en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación que permite que componentes software individuales interactúen y compartan datos.

Módulo NI LabVIEW Real-Time: Es un componente adicional para el sistema de desarrollo LabVIEW que puede usarse para crear y depurar aplicaciones determinísticas y confiables que ejecutan objetivos de hardware embebidos y autónomos.

NI LabVIEW FPGA: Es un módulo que ayuda a crear hardware personalizado de medidas y control de E/S sin lenguaje de descripción de hardware de bajo nivel o destino a nivel de tarjeta.

LabVIEW PID and FuzzylogicToolkit: Es un módulo de software, el cual añade algoritmos de control sofisticados a su sistema de desarrollo de software de instrumentación. Este juego de herramientas combina las funciones de control PID y de lógica difusa para ejecutar una PC, RTOS y un FPGA.

Módulo LabVIEW NI SoftMotion: Incluye funciones para la generación de trayectoria, interpolación spline, posición y velocidad, control PID e implementación de decodificar en LabVIEW Real-Time y/o LabVIEW FPGA.

Modelo OSI: Es el modelo de red descriptivo creado por la OIE, para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

RS 232: Es una interfaz que designa un intercambio serie de datos binarios entre un equipo terminal y un equipo de comunicación de datos.

RS 485: Es un estándar de comunicaciones en bus de la capa física del modelo OSI.

Conectores D-Sub: Se utilizan generalmente para conectar ordenadores con distintos periféricos. Por lo general están rodeados por un escudo metálico en forma de “D”, que proporciona el apoyo metálico y protección contra las interferencias electromagnéticas.

UMI: Interfaces universales de movimiento de la compañía NI, las cuales contienen puertos D-Sub, codificadores diferenciales, y dependiendo del modelo una cierta cantidad de entradas y salidas.

CAPÍTULO 3

Marco metodológico

En este capítulo se presentan los pasos a seguir para desarrollar el trabajo especial de grado. Se muestran aspectos como el tipo de investigación, las técnicas y procedimientos que son utilizados para llevar a cabo dicha investigación.

3.1 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según lo expresado en la programación del seminario y normas para la elaboración del trabajo especial de grado de la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de Carabobo (2002), y el grado de profundidad con el que se abordan los objetivos de la investigación, se puede clasificar el presente trabajo de grado como descriptivo, ya que la investigación consiste en la caracterización de varios fenómenos con el fin de establecer su estructura o comportamiento, trata de obtener información acerca de un fenómeno o proceso, para describir sus implicaciones, sin interesarse mucho (o muy poco) en conocer el origen o causa de la situación.

Fundamentalmente se busca dar una visión de cómo opera y cuáles son sus características. A su vez se puede definir como explicativa por la manera como se busca el ¿por qué?, de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Se centra en buscar las causas o los por qué de la ocurrencia del fenómeno, de cuáles son las variables o características que presenta, y de cómo se dan sus interrelaciones

3.2 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener la información necesaria para el arranque y puesta en marcha del presente proyecto. Dado el nivel y el tipo de

esta investigación, la manera más confiable y precisa de obtener datos es a través de observaciones directas en campo, y a través de anotaciones del proceso en estudio. Dichas técnicas se emplean para comprobar la operación, conocer el proceso y el funcionamiento del sistema desde diferentes puntos de vistas, ya que por tratarse de un proceso lineal hay que tomar en cuenta los otros sistemas que lo rodean.

En cuanto a los instrumentos de recopilación de datos necesarios para el desarrollo de la presente investigación, se tienen:

- Equipos de medición directa tales como: cintas métricas, vernier y tornillo micrométrico. Cuyas unidades de medida corresponden con el sistema internacional de medidas.
- Equipos de medición de tiempo como cronómetros y relojes, siendo su unidad de medida el segundo (s).
- Equipo de procesamiento de datos para organizar y estructurar la información obtenida durante el desarrollo de la investigación, tal es el caso de un computador.

3.3 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y RECOPIACIÓN DE DATOS

La información obtenida tanto por revisión bibliográfica, por entrevistas realizadas a los técnicos y especialistas en el área, y los datos más relevantes del proceso será recopilada mediante el uso de tablas que permiten su rápido acceso. Los datos recabados se presentan organizados de una manera sistemática clasificando la información de la revisión bibliográfica y los trabajos que permiten conocer los fundamentos técnicos necesarios de la composición de la automatización.

Los datos se obtuvieron por observación directa y se presentan por medio de un diagnóstico, selección y organización de aspectos observados en la realidad como comprobación de la operación real del sistema planteado en la presente investigación, tomando como referencia la observación de algún otro sistema.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La información obtenida tanto por revisión bibliográfica, por entrevistas realizadas a los técnicos y especialistas en el área y los datos más relevantes del proceso será recopilada mediante el uso de tablas que permiten su rápido acceso. Los datos recabados se presentan organizados de una manera sistemática clasificando la información de la revisión bibliográfica y los trabajos que permiten conocer los fundamentos técnicos necesarios de la composición de la automatización.

Los datos se obtuvieron por observación directa y se presentan por medio de un diagnóstico, selección y organización de aspectos observados en la realidad como comprobación de la operación real del sistema planteado en la presente investigación, tomando como referencia la observación de algún otro sistema.

3.5 FASES DE LA TESIS

3.5.1 Fase 1: Estudio preliminar del funcionamiento de la máquina actual.

Se realizara un estudio para chequear las variables que se controlan, las entradas y salidas de la máquina y velocidad de funcionamiento.

3.5.2 Fase 2: Enlace y validación del enlace entre SolidWorks y LabVIEW

En esta etapa se hará un estudio de dimensiones del prototipo virtual de la máquina y se colocaran parámetros de los motores en el prototipo, estos parámetros son: Sensor izquierdo, Sensor derecho. Los cuales son sensores de posición de los servomotores que permiten su ubicación en un espacio de coordenadas dentro de la máquina.

3.5.3 Fase 3: Determinación de las ecuaciones para el cálculo de nuevas espirales y se creará una base de datos con las espirales ya existentes.

En esta etapa se creará un programa en LabVIEW en el que podrá ser posible agregar espirales a una base de datos colocándole los parámetros conocidos por el departamento de producción de la empresa, los cuales son: Diámetro de la espiral, Diámetro de cola de cochino, diámetro de la varilla, ángulo inicial de arrollado y ángulo final de arrollado. Con estos datos el programa será capaz de calcular el movimiento necesario para todos los servomotores.

3.5.4 Fase 4: Creación del programa de control en LabVIEW

En esta fase se realizará el VI principal en LabVIEW, en el cual se coordinarán los 5 ejes y será posible elegir el modelo, crear nuevos modelos, modificar modelos existentes, ver el status de los sensores y ver las gráficas para cada eje del motor en tiempo real a medida que se hace la simulación.

3.5.5 Fase 5: Simulación de la máquina a través del enlace entre LabVIEW y SolidWorks.

Se realizará en enlace entre el LabVIEW y SolidWorks mediante los módulos de NI Softmotion. Con esta simulación se permitirá obtener una serie de graficas de variables como posición, velocidad, aceleración.

3.5.6 Fase 6: Análisis de resultados

En esta fase se revisará la información obtenida durante el proceso de simulación. Con estos resultados se elegirá un servomotor real y luego se ajustarán todos los parámetros de los motores como el control PID, velocidad, aceleración, desaceleración, parámetros A y B, entre otros. Al ajustar estos parámetros se realizará una simulación para verificar el comportamiento de la máquina y verificar que los valores de velocidad y aceleración estén dentro del rango del servomotor real elegido.

3.5.7 Fase 7: Informe del prototipo y elaboración de planos.

En esta fase se harán los esquemas eléctricos necesarios para la creación de la máquina real. Así como también una lista de los materiales eléctricos necesarios para la construcción de la misma.

3.6 Cronograma de actividades

Tabla 4: Cronograma de actividades

	4to Trimestre - 2011			1er Trimestre – 2012			2do Trimestre - 2012		
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Estudio preliminar									
Enlace entre SolidWorks y LabVIEW									
Deducir ecuaciones para distintos modelos de espirales									
Creación del programa en LabVIEW									
Simulación de la máquina en SolidWorks y LabVIEW									
Análisis de resultados									
Esquemas de Conexión									

CAPÍTULO 4

Desarrollo de la investigación

En este capítulo se realiza el planteamiento, selección y desarrollo de la configuración y programación de software necesario para integrar el LabVIEW y SolidWorks y a su vez permitan alcanzar la meta de este trabajo especial de grado.

4.1 ESTUDIO PRELIMINAR

Se realizó un estudio de la máquina antigua en el cual se pudo observar la velocidad de funcionamiento, aceleración de los ejes, ajuste de la máquina para los distintos modelos, entre otras cosas.

La máquina se activa por un pulsador el cual coloca la máquina en la posición inicial. Al llegar a esta posición se requiere pisar un pedal para que la máquina sujete la punta y la base de la espiral y luego de sujetarla se pulsa un botón que realizará la formación del extremo de la espiral.

Una vez realizada la formación del extremo de la espiral hay que pulsar un botón para que libere la pieza.

En el diseño actual se mantendrá el sistema con un pulsador para colocar la máquina en posición inicial y el pedal para que la máquina ejecute la formación del extremo de la espiral. pero se le colocará un paso extra en el programa de control que retirará el mandril de la máquina después de realizar la formación del extremo de la espiral lo que permita que el operador pueda sacar la pieza sin ninguna dificultad.

La velocidad de funcionamiento de la máquina es de aproximadamente 9 segundos por ciclo los cuales se distribuyen de la siguiente manera.

- 1,5 segundos para colocarse en la posición inicial en espera de una pieza

- un tiempo aleatorio (usualmente de 1 a 2,5 segundos) en el cual el operario coloca la espiral en la máquina y la posiciona correctamente.
- 2,5 segundos de arrollado en el cual se fija la espiral, se sujeta por un extremo y se realiza el dobléz, al terminar el dobléz se libera el extremo de la pieza.
- 1 segundo en el cual se libera la pieza (manualmente).
- 1 a 3 segundo para que el operador retire la pieza.

Con la máquina se buscan reducir los tiempos de ejecución de algunos ciclos de la siguiente manera:

- 1 segundo para colocarse en la posición inicial.
- Un tiempo aleatorio (usualmente de 1 a 2,5 segundos) en el cual el operario coloca la espiral en la máquina y la posiciona correctamente.
- 2,5 segundos en el arroyado.
- 1 segundo para retirar la máquina.
- 0,5 a 1 segundos para que el operador puede retirar la espiral una vez que la máquina la libera (sin necesidad de hacer algún tipo de forcejeo).

Esto reduce el tiempo de ciclo en aproximadamente 3 segundos y gracias al automatismo de la máquina se logrará mayor precisión en los tiempos de cada ciclo.

- Para lograr estos tiempos es necesario establecer las velocidades de los ejes.
- Para el eje X es necesario tener al menos una velocidad 60 mm/s o 1080°/s.
- Para el eje Y y Z se necesitan velocidades de 40 mm/s o 1440°/s.
- Para el mandril principal se requiere una velocidad 80°/s al realizar el dobléz y 160°/s en movimientos de posicionamiento.
- Para el eje giratorio secundario cualquier velocidad ya que este solo realiza un movimiento y se queda en ese lugar durante todo el proceso se utilizará una velocidad de 30°/s.

Durante la formación del extremo de la espiral los movimientos de los ejes van a estar acoplados al eje giratorio principal que es el eje que realiza la fuerza para doblar la espiral. Este acoplamiento es debido a que se necesita que todos los movimientos estén sincronizados y comiencen y terminen al mismo tiempo. La velocidad de giro será de 60° por segundo y las velocidades lineales dependerán de cada modelo de espiral.

4.2 MODELO CAD EN SOLIDWORKS

Con la máquina ya diseñada, véase figura 30, se procede a realizar el enlace entre el programa de diseño SolidWorks y el programa de control LabVIEW, como se describe a continuación:

Para realizar este proceso es necesario ajustar el programa de diseño colocándole componentes adicionales para su simulación.

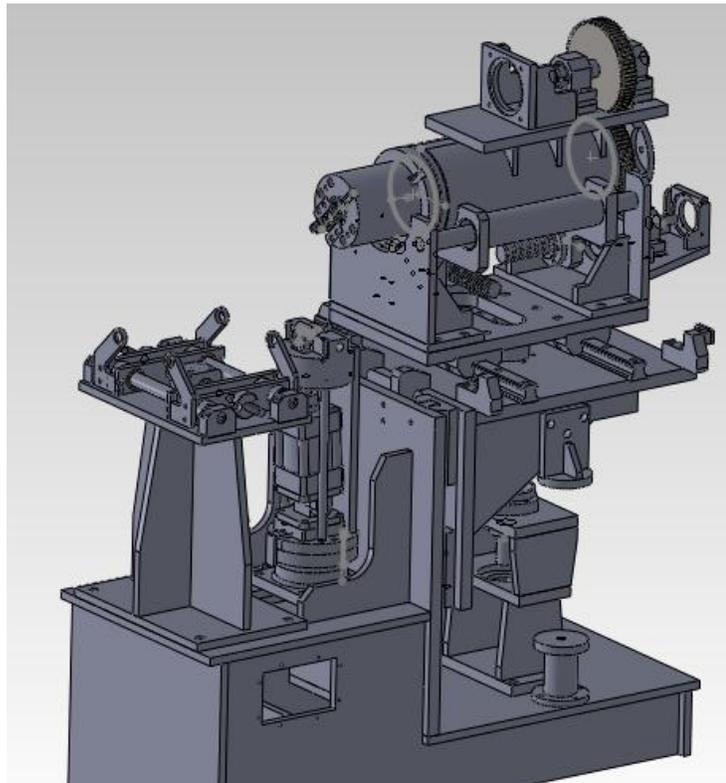


Figura 30: Vista Frontal del Modelo CAD, de la máquina Cola de Cochino.
Elaboración: Fuente propia.

4.2.1 Agregar Componentes al modelo CAD.

Para realizar la simulación entre los dos programas es necesario colocarle componentes adicionales al modelo CAD los cuales serán especificados a continuación.

4.2.1.1 Gravedad.

Para agregar la gravedad se elige una cara de referencia para darle dirección a la gravedad y la magnitud se coloca por defecto como se muestra en la figura 31.

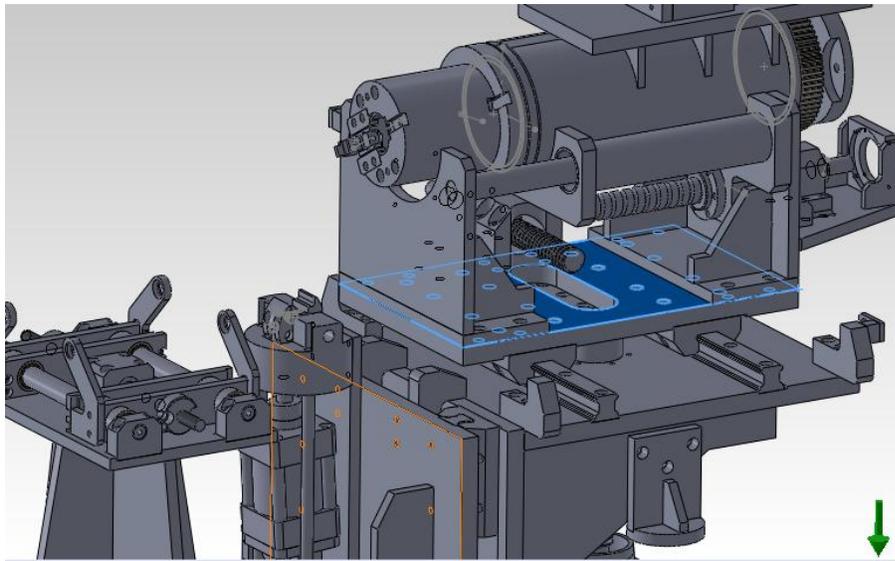


Figura 31: Selección de Referencia para la Gravedad.
Elaboración: Fuente propia.

4.2.1.2 Motores.

Los servomotores simulados en LabVIEW tienen que ser agregados en el dibujo CAD para especificar su ubicación y movimientos que realiza.

4.2.1.2.1 Eje Giratorio Principal

Es el encargado de mover el mandril de la máquina, el cual a su vez es el encargado de darle el giro a la pieza una vez que esta sujeta con el actuador neumático que está colocado en el extremo de esta pieza.

El motor del eje giratorio va en la parte superior de la máquina, acoplado a dos engranajes de 213mm de diámetro y cada uno con 69 dientes que cumplen la función de transmitir el movimiento al mandril, realizando un movimiento de 180 grados, permitiendo colocar el motor en un lugar más estable y céntrico en la máquina.

En el diseño CAD se muestra como se añadió el motor virtual en SolidWorks, primero se elige el componente que se va a mover, luego se elige la dirección y por último se elige el elemento con respecto a que se va a mover.

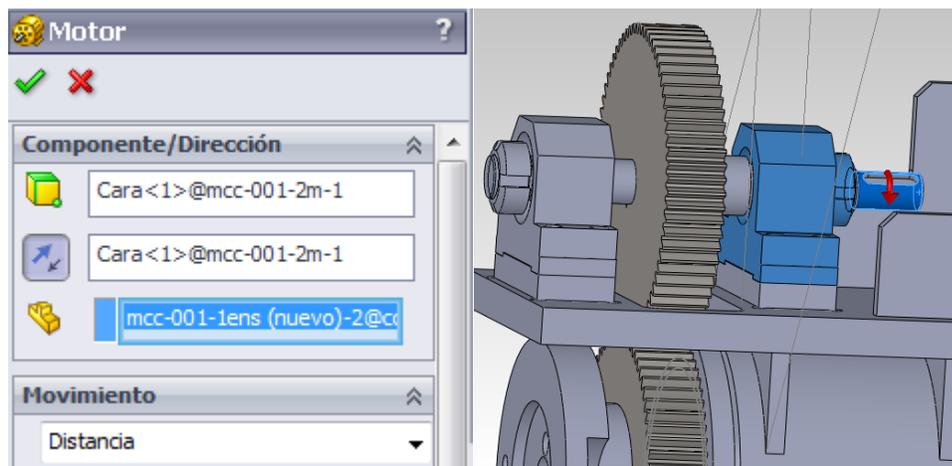


Figura 32: Agregar Motor y Sentido de Giro del eje giratorio principal en SolidWorks.
Elaboración: Fuente propia.

En el SolidWorks se coloca la dirección a la cual va a girar y con respecto a que objeto.

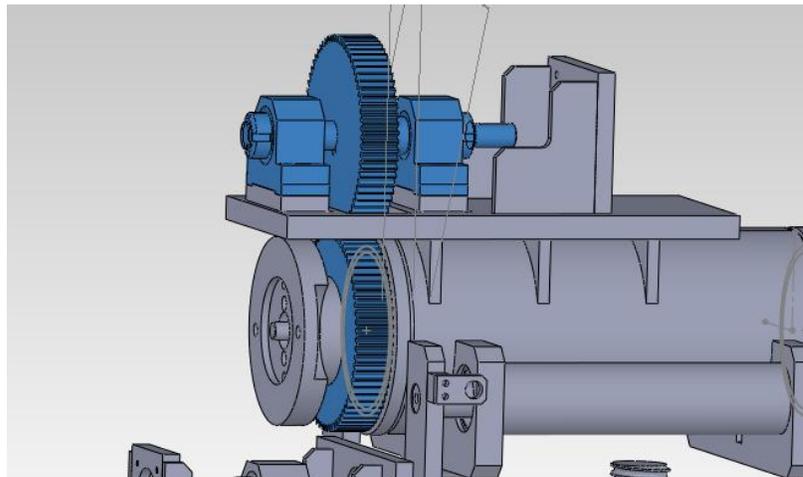


Figura 33: Engranajes para la transmisión de movimiento.
Elaboración: Fuente propia.

En la figura 33 se encuentran todos los elementos que están asociados a este eje.

Los demás ejes de la máquina son configurados de la misma manera y se muestran en el anexo 2.

4.2.1.2.2 Sensores.

Los sensores en la máquina real serán colocados en las bases construidas para estos. Para efectos de simulación, SolidWorks permite utilizar solamente sensores de cota los cuales se describen a continuación.

Los ejes X, Y y Z tendrán 2 sensores límites, uno para cada lado. Estos se identifican como límite de reversa y el límite de adelante, los cuales sirven como protección para la máquina. El límite de reversa actuará adicionalmente como sensor de referencia para los ejes Y y Z, el límite de adelante será la referencia del eje X. Cada sensor límite indicará una alerta cuando el eje se mueva a una distancia menor o igual a 20mm de donde se coloque el sensor, señal que será transmitida de SolidWorks a LabVIEW.

El eje giratorio principal tendrá un sensor límite en la parte superior. Como puede girar infinitamente se le coloca un sensor home para buscar referencia y luego de realizar la calibración se deshabilita para que al pasar por esa posición no deshabilite el drive automáticamente como protección.

El eje giratorio secundario tendrá un sensor de home en la base construida en el modelo, el cual detectara mediante una pieza saliente del eje. Como puede girar infinitamente se le coloca un sensor home para buscar referencia y luego de realizar la calibración.

4.2.1.2.3 Fuerzas adicionales

Para realizar la formación del extremo de la pieza es necesario aplicar una fuerza adicional que permita doblar la espiral a 900 °C, esta fuerza se aplicará a el extremo del mandril de la máquina.

Como hay una gran variedad de piezas con las cuales puede trabajar esta máquina, se le agregará una fuerza de 500N, esta fuerza es capaz de doblar cualquier pieza que se le coloque a la máquina, ya que el acero a 900°C es muy maleable.

4.2.1.2.4 Resortes

Se colocarán dos resortes en la base de la máquina para contrarrestar la fuerza aplicada por el peso de la máquina en el eje Y. Para calcular los resortes es necesario colocar la cantidad de masa que van a soportar, como se muestra en la figura 34 en el SolidWorks se eligen todos los componentes que aportarán presión al resorte y se les calcula su masa en la sección de propiedades físicas en SolidWorks.

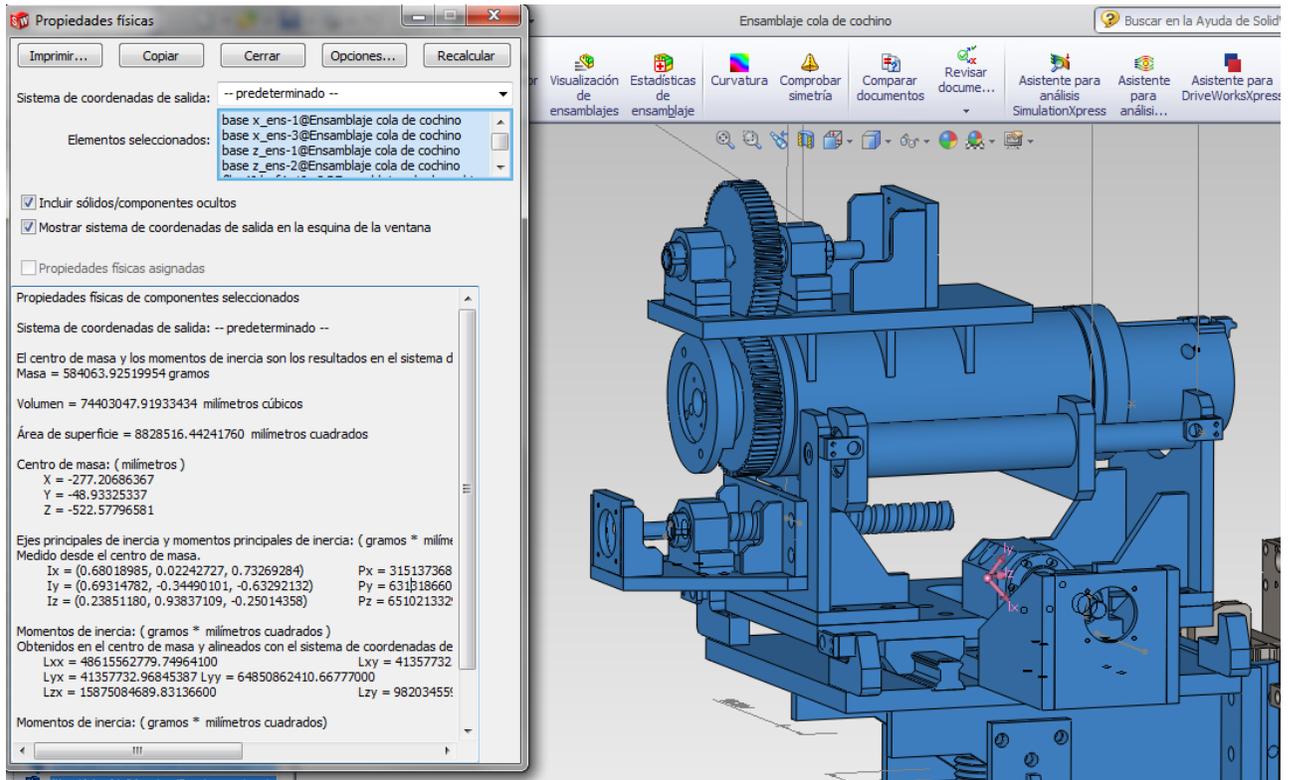


Figura 34: Cálculo de la masa de la máquina.
Elaboración: Fuente propia.

Como puede observarse en la figura 34, la masa es de 584063,92 g. Esto indica una fuerza por efecto de la gravedad de:

$$584,06392 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 5729,66705 \text{ N}$$

Ellos tendrán una compresión de aproximadamente de 123 mm para ubicarse en el punto de trabajo de la máquina por lo tanto, se divide la cantidad de fuerza entre milímetros, que es la unidad que requiere SolidWorks para colocar los resortes.

$$5729,66 \text{ N} / 123 \text{ mm} = 46,6 \text{ N/mm}$$

Luego se divide entre 2, ya que son 2 muelles.

$$46,6 \text{ N/mm} / 2 = 23,3 \text{ N/mm}$$

Se le colocarán 2 muelles a la máquina de 23,3 N/mm en sus respectivas bases.

4.2.1.2.5 Contactos

Los ejes de SKF contienen un diseño complicado para realizar en SolidWorks, el Modelo CAD de la máquina en SolidWorks no tiene el modelo real de los rieles, tiene un riel de igual tamaño pero sin los rodamientos como se muestran en la figura 48. Como SKF garantiza una fricción extremadamente baja se realizará la simulación sin colocarle contactos entre los ejes y rieles de la máquina. Como se muestra en la siguiente ilustración se tiene el modelo del tipo de eje utilizado en la máquina, en este caso utilizando los rodamientos, mostrando que los contactos se hacen mediante bolas que facilitan el movimiento de estos ejes y reducen la fricción a su mínima expresión. [22]

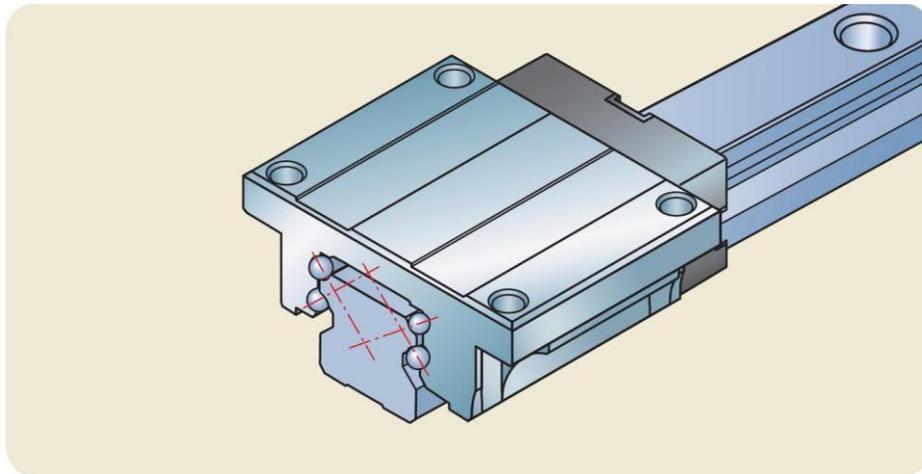


Figura 35: Rieles de SKF
Elaborado: SKF

4.2.2 Cálculo de trayectorias para nuevas espirales almacenando los modelos en una base de datos.

Para poder realizar una base de datos es necesario formar un sistemas de referencias con el cual se pueden plantear ecuaciones para el cálculo de los pasos, para esto se realizó un análisis de la máquina en SolidWorks en donde se distinguen los valores de posición que se pueden tomar como referencia en el espacio.

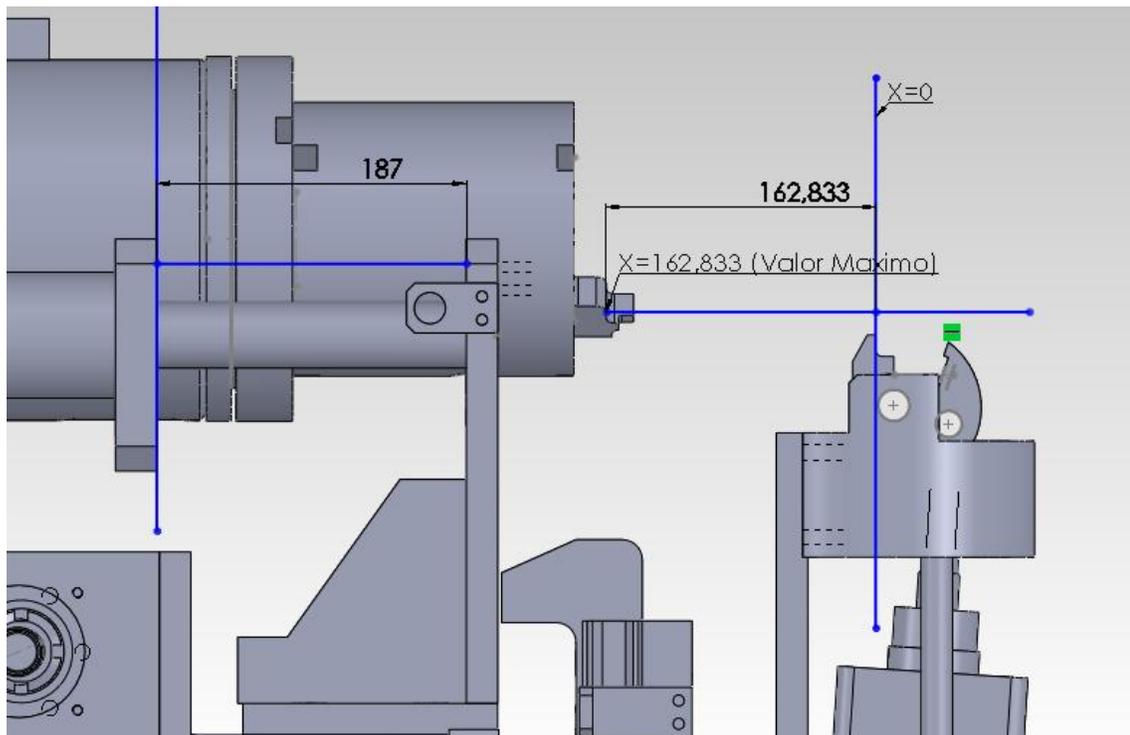


Figura 36: Visualización de la Carrera del Eje X.
Elaboración: Fuente propia.

- El Eje X tendrá su cero en el punto de agarre como lo muestra en la figura 49, está ubicado a 24,167 mm su límite inferior y a 162,833 mm de su límite superior
- El eje Y tendrá su cero en el límite físico inferior, a una distancia de 233,957 mm de su límite superior
- El eje Z tendrá su cero en el límite físico más cercano al motor ubicado en el mismo lugar que el límite de reversa, a una distancia de 191 mm del límite de avance.
- El eje giratorio principal tendrá su cero en la posición que se encuentra la pieza cuando el actuador neumático está en la parte superior perpendicular al plano XZ de la máquina.
- El eje giratorio que mueve el punto de agarre tendrá su cero en la posición que se encuentra la pieza cuando la pinza que sujeta la espiral este paralela al plano YZ

Constantes de la máquina para la elaboración de trayectorias para distintos tipos de espirales:

- Punto de agarre en X (PAX) = 0mm
- Coordenada en Y del punto más bajo de la espira (CYB) = 18,75mm
- Coordenada en Z del centro de la espira en el eje Z (CZC) = 93,22mm
- Distancia desde el centro del mandril hasta el punto de agarre (DCA) = 39,875mm
- De aquí se parte al cálculo para cada una de los distintos modelos de espirales.
- Datos de entrada:
 - Empresa: Empresa a la cual pertenece el nuevo modelo.
 - Modelo: Nombre del modelo de espiral a crear.
 - Angulo inicial: Es la posición inicial del mandril.
 - Angulo final: Es la posición final del mandril luego de terminar el dobléz de la pieza.
 - Diámetro de la espiral: es el diámetro interno de la espira.
 - Diámetro de la cola de cochino: es el diámetro interno de la espira luego del arrollado.
 - Diámetro de la varilla: es el diámetro de la varilla con la que se hace la espira
 - Paso de la cola de cochino: es la distancia entre el punto de sujeción de la pieza y el extremo en el cual comienza el arrollado, por lo general suele ser de 20mm.
 - Distancia que se aleja luego de completar la operación: es la distancia que se aleja el mandril de la máquina hacia atrás luego de terminar la operación del arroyado para que el usuario tenga facilidad en sacarla.

Datos de salida:

- Posición del eje X para los tres pasos a realizar.
- Posición del eje Y para los tres pasos a realizar.
- Posición del eje Z para los tres pasos a realizar.
- Posición del eje giratorio del mandril para los tres pasos a realizar.
- Posición del eje giratorio que sujeta la pieza.
- A continuación se realiza el cálculo de las coordenadas en el espacio XYZ de los puntos de interés de la espiral.

Coordenadas del eje de la espiral

$$C_{yee} = C_{YB} + \frac{D_e + D_v}{2} \quad (2)$$

$$C_{zee} = C_{ZC} \quad (3)$$

Coordenadas del punto de agarre en el paso 1

$$C_{x1} = PAX + P_{cc} \quad (4)$$

$$C_{y1} = \frac{D_e + D_v}{2} * \text{Coseno}(\alpha_i) + C_{yee} \quad (5)$$

$$C_{z1} = \frac{D_e + D_v}{2} * \text{Seno}(\alpha_i) + C_{ZC} \quad (6)$$

Coordenadas del punto de agarre en el paso 2

$$C_{x2} = PAX + P_{cc} \quad (7)$$

$$C_{y2} = \left[\frac{D_{cc}}{2} + \frac{D_v}{2} \right] * \text{Coseno}(\alpha_f) + C_{yee} \quad (8)$$

$$C_{z2} = \left[\frac{D_{cc}}{2} + \frac{D_v}{2} \right] * \text{Seno}(\alpha_f) + C_{ZC} \quad (9)$$

Movimientos para cada uno de los motores en el paso 1

$$P_{x1} = \frac{180^\circ + \alpha_i}{360} * P_e \quad (10)$$

$$P_{y1} = C_{y1} - (DCA * \text{Coseno}(\alpha_i)) \quad (11)$$

$$P_{z1} = C_{z1} - (DCA * \text{Seno}(\alpha_i)) \quad (12)$$

$$P_{gp1} = \alpha_i \quad (13)$$

$$P_{gs1} = \text{Atan} \left[(D_e + D_v) * \frac{P_i}{\left[P_{cc} * \frac{360}{180 + A_i} \right]} \right] * \frac{180}{\pi} - 90 \quad (14)$$

Movimientos para cada uno de los motores en el paso 2

$$P_{x2} = C_{x2} \quad (15)$$

$$P_{y2} = C_{y2} - (DCA * \text{Coseno}(\alpha_f)) \quad (16)$$

$$P_{z2} = C_{z2} - (DCA * \text{Seno}(\alpha_f)) \quad (17)$$

$$P_{gp2} = \alpha_f \quad (18)$$

$$P_{gs2} = P_{gs1} \quad (19)$$

Movimientos para cada uno de los motores en el paso 3

$$Px3 = Da \quad (20)$$

$$Py3 = Py1 \quad (21)$$

$$Pz3 = Pz1 \quad (22)$$

$$Pgp3 = Pgp1 \quad (23)$$

$$Pgs3 = Pgs1 \quad (24)$$

Leyenda:

- **Constantes de la máquina**

CYB= Coordenada en Y del punto más bajo de la espiral

DCA=Distancia desde el centro del mandril hasta el punto de agarre

CZC= Coordenada en Z del centro de la espira en el eje Z

- **Datos de entrada**

De=Diámetro de la espira

Dv=Diámetro de la varilla

Dcc=Diámetro de la cola de cochino

α_i =Angulo inicial

α_f =Angulo final

Pe=Paso de la espira

Pcc=Paso de la cola de cochino

Da= Distancia que se aleja luego de completar la operación

- **Datos de salida**

Cyee=Coordenada en Y del eje de la espiral

Czee= Coordenada en Z del eje de la espiral

Cxn=Coordenada en X del punto de agarre en el paso n

Cyn=Coordenada en Y del punto de agarre en el paso n

Czn=Coordenada en Z del punto de agarre en el paso n

Pxn=Posición del motor en X en el paso n

Pyn=Posición del motor en Y en el paso n

Pzn=Posición del motor en Z en el paso n

Pgpn= Posición del motor del eje giratorio principal en el paso n

Pgsn = Posición del motor del eje giratorio secundario en el paso n

Los cálculos anteriores son exclusivamente para el uso de las coordenadas y pasos para cada uno de los servomotores. En el transcurso de estos pasos serán activados los actuadores neumáticos para sostener la pieza y sujetar la punta de la espira, para realizar la formación del extremo cónico. Estos pasos adicionales serán incluidos en el programa de control automático de la máquina más no en la simulación de la misma.

4.2.1 Programa con las trayectorias en LabVIEW

Este programa tiene como contenido el cálculo de las trayectorias para los servomotores en cada uno de los pasos.

Primero se guardan los parámetros de la máquina en un archivo y para eso se realiza el siguiente VI que permite al usuario colocar todos los valores de unas constantes de la máquina que pueden ser medidas en el modelo físico o en el modelo virtual en SolidWorks.

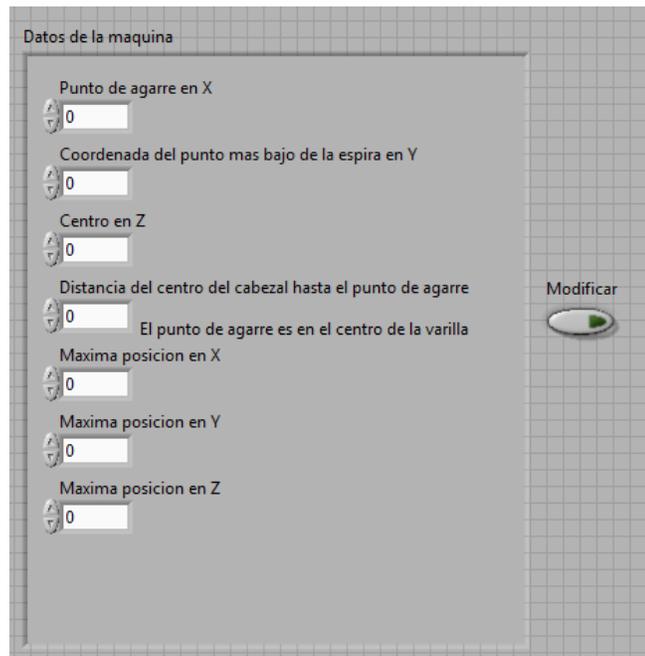


Figura 37: Visualización de la Interfaz Para el Ingreso de los Datos de la Máquina.
Elaboración: Fuente propia.

El VI de la figura 37 guarda la información que se le coloca en el panel frontal, en la carpeta en la que se encuentra guardado el VI con el nombre de "parámetros máquina"

La programación para el SubVI utilizado para modificar parámetros de la máquina puede ser revisada en el apéndice 1.

Para el programa principal de cálculo de trayectorias se crea el panel frontal en el cual se tiene todos los datos de entrada y salida que se necesitan para dicho cálculo.

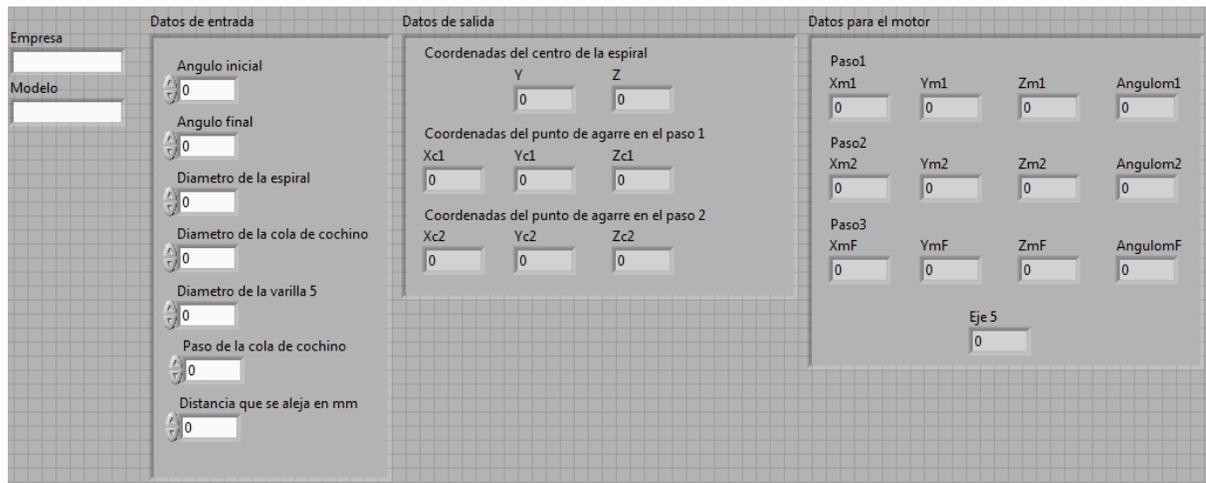


Figura 38: Pantalla Principal para el Cálculo de Trayectorias.
Elaboración: Fuente propia.

Como se puede observar en la figura 38 se tienen los siguientes elementos:

- **Datos de entrada**

Empresa, modelo, ángulo inicial, ángulo final, diámetro de la espiral, diámetro de la cola de cochino, diámetro de la varilla, pasó de la cola de cochino y distancia que se aleja el mandril.

- **Datos de salida**

Coordenadas del eje de la espiral, Coordenadas del punto de agarre en el paso 1 y coordenadas del punto de agarre en el paso 2.

- **Datos para el motor**

Datos para los servomotores para el Paso 1, paso 2 y paso 3. Para el eje 5 se utilizará una sola posición ya que se mantiene fijo durante todo el proceso. Cada paso tiene la posición de cada uno de los servomotores.

Toda esta información se utilizará para obtener las posiciones exactas en las que debe ubicarse el motor en cada uno de los pasos.

La programación del SubVI se encuentra en el apéndice 2.

4.3 CREACION DEL PROGRAMA PRINCIPAL EN LABVIEW

4.3.1 Creación del Proyecto.

Para realizar el enlace con el software LabVIEW y la máquina virtual en SolidWorks es necesario crear un proyecto en LabVIEW y agregar el ensamblaje a dicho proyecto. Una vez agregado el ensamblaje LabVIEW automáticamente reconoce los ejes del ensamblaje en SolidWorks y se procede a crear los ejes para este programa.

En la sección de adicionar ejes simulados de LabVIEW se colocan los 5 ejes y se especifican sus nombres, cuidando que cada eje coincida con los ejes de SolidWorks. Una vez agregados los ejes al proyecto, se crea el VI principal y el VI de home. para los SubVIs se creará una librería en la cual se podrán agregar archivos que serán utilizados durante el proceso.

La creación de un proyecto permite al usuario utilizar rutinas que permita hacer llamado a otros VI's y también permite utilizar los comandos para servomotores como Straight line Move, Arc Move entre otros. Estos movimientos necesitan un proyecto para poder funcionar ya que cada eje simulado se carga en la memoria al iniciar un proyecto y no un VI.

El proyecto permite la utilización de variables globales que son datos que se pueden transferir de un VI a otro que corre al mismo tiempo. Como por ejemplo enviar el estatus de calibración al VI principal.

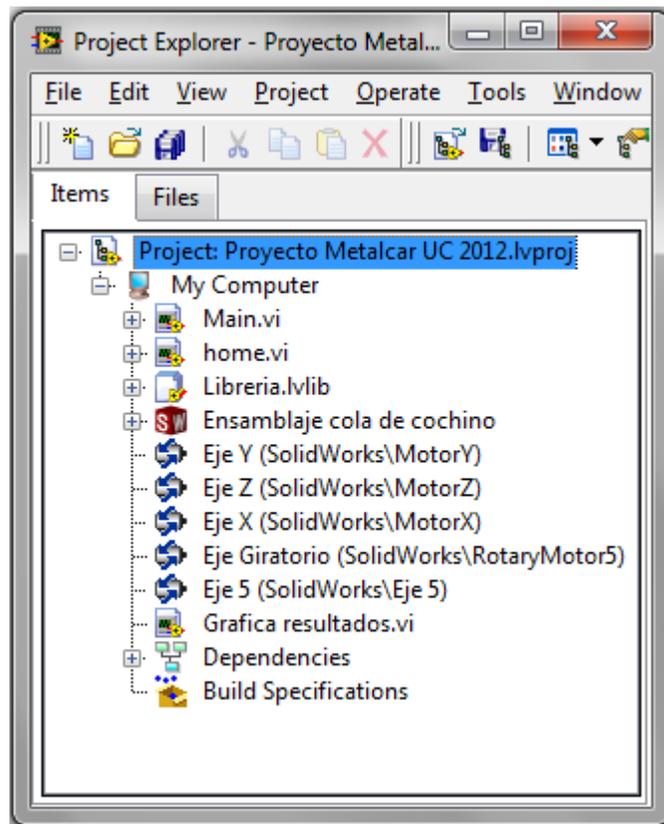


Figura 39: Proyecto Completo.
Elaboración: Fuente propia.

En la figura 39 se muestra la estructura del proyecto para realizar el enlace entre el LabVIEW y el SolidWorks incluyendo los VI's de programación y calibración de los ejes.

Una vez creado el proyecto es necesario colocar "activar el scan engine en el despliegue del proyecto", el scan engine es un método que realiza la ejecución del programa de una forma determinística de tal manera que se coloca un tiempo determinado en el cual se va a realizar un ciclo del programa, en este caso como la gran cantidad procesada por el SolidWorks consume gran cantidad de recursos del computador, se pierde la sincronización y ejecuta cada ciclo de forma tardía. Una forma de solucionar este problema es utilizando un mejor procesador o una tarjeta de video que permita realizar cálculos a alta velocidad.

4.3.2 Creación de un modelo nuevo

Para comenzar con la creación de un modelo nuevo es necesario tener conocimiento de los datos necesarios para la creación del mismo los cuales son:

Empresa, nombre del modelo nuevo, ángulo inicial de arroyado, ángulo final de arroyado, diámetro de la espiral, diámetro de la cola de cochino, diámetro de la varilla, paso de la cola de cochino, distancia que se aleja y el botón de Crear.

Empresa	Nombre del modelo nuevo	Datos creados				
Chrysler		Paso 1				
Daewo		Xm1	Ym1	Zm1	Angulom1	
Fiat		0	0	0	0	
Ford						
GM		Paso 2			Angulo	
Honda		Xm2	Ym2	Zm2	0	
Mitsubishi		0	0	0		
Renault						
Toyota		Paso 3			AngulomF	
Venirauto		X	YmF	ZmF	0	
Otras		0	0	0		
				Eje 5		
				0		

Figura 40: Panel Frontal Para la Creación de un Nuevo Modelo.
Elaboración: Fuente propia.

Cada empresa es elegida desde una base de datos existente. La cual está grabada en el directorio de la aplicación como una carpeta, en la cual se graba cada uno de los modelos existente para cada una de estas empresas.

La programación para crear nuevo modelo se encuentra en el anexo 3.

4.3.3 Elegir modelo

Luego de la sección de creación de modelos se procede a realizar el panel frontal de la interfaz en la que se elige el modelo a realizar.

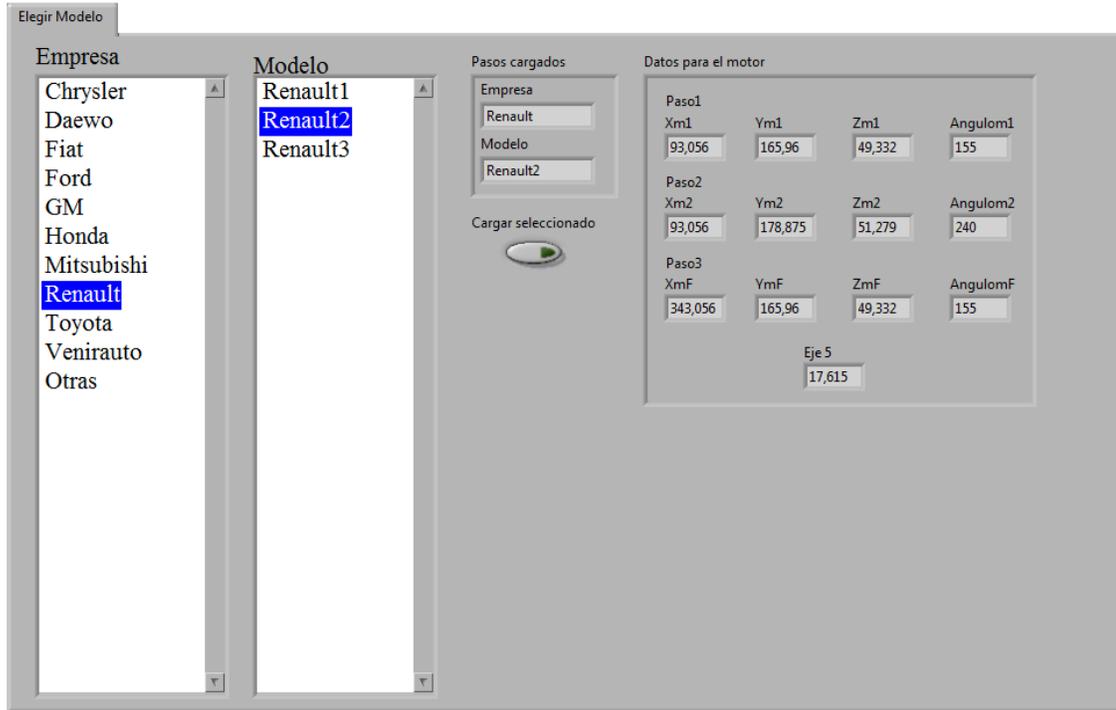


Figura 41: Panel Frontal, Pestaña Elegir Modelo.
Elaboración: Fuente propia.

Como se observa en la figura 41 para cargar los datos correspondientes a un modelo específico, se elige de una lista la empresa y el modelo el cual se quiere realizar, se pulsa el botón "Cargar seleccionado" el cual abrirá los datos de los modelos ya guardados en la base de datos y los mostrará y los cargará en la memoria para poder realizar el proceso de doblez del extremo de la espiral.

Cada carpeta contiene los modelos correspondientes a cada empresa

Los datos guardados vienen en una matriz de 13x4 la cual contiene los datos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Contenido de la matriz de datos

Datos originales	Xm1	Xm2	XmF	Ym1	Ym2	Ymf	Zm1	Zm2	ZmF	Am1	Am2	Am3	Eje 5
Coordenada de los puntos	Cx1	CxF	Ccy	Cy1	CyF	Ccz	Cz1	CzF	X	X	X	X	X
Datos Modificados	Xm1	Xm2	XmF	Ym1	Ym2	Ymf	Zm1	Zm2	ZmF	Am1	Am2	Am3	Eje 5
Modificado	1/0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Xm1, Xm2, XmF = Posición para el motor del eje X en el paso 1, 2 y 3(Final)

Ym1, Ym2, YmF = Posición para el motor del eje Y en el paso 1, 2 y 3(Final)

Zm1, Zm2, ZmF = Posición para el motor del eje Z en el paso 1, 2 y 3(Final)

Am1, Am2, Am3= Angulo para el mandril principal de la máquina en los pasos 1, 2 y 3

Eje 5 = Posición para el eje 5

Cx1 = Coordenada en X del punto de agarre de la espira en el paso 1 y 2

CxF = Coordenada en X de la pinza del mandril cuando se retira luego de realizar el doblez

Ccy = Coordenada en Y del Centro de la espira.

Cy1 = Coordenada en Y del extremo de la espira antes de realizar el arrollado

CyF = Coordenada en Y del extremo de la espira luego de realizar el arrollado

Ccz = Coordenada en Z del centro de la espira.

Cz1 = Coordenada en Z del extremo de la espira antes de realizar el arrollado

CzF = Coordenada en Z del extremo de la espira luego de realizar el arrollado

X = "No se usa"

El programa verifica si los datos están modificados. Si están modificados se elige la fila con los datos modificados pero sin borrar los datos originales en caso de que se necesite usarlos nuevamente.

La programación para elegir modelo se encuentra en el apéndice 4.

4.3.4 Proceso

Luego de culminar la sección de elegir el modelo se entra en la sección de proceso, que tiene la programación de todos los movimientos que la máquina realizara en su recorrido, con opción a modificarlos en la puesta a punto de la máquina.



Figura 42: Panel Frontal Proceso.
Elaboración: Fuente propia.

En el panel frontal de la sección de proceso se tiene dos pulsadores con los cuales se ejecuta el proceso de doblez "Ejecutar c/c" y el otro que devuelve a la máquina a la posición inicial. Además de estos botones se tienen 3 indicadores que muestran si la pieza esta sujeta, si el extremo de la pieza esta sujeta y si la máquina esta en el estado "ocupado" que indica que está realizando un movimiento. Además de eso se tienen tres pestañas principales las cuales son:

Parámetros: en la pestaña de parámetros se muestran los datos que serán enviados a cada servomotor en la máquina, también se tienen indicadores que indican si la pieza está sujeta en la base y/o si está sujeta en el extremo.

La programación de la sección de "proceso" puede ser encontrada en el apéndice 5.

Para la transición de los pasos es necesario crear el control para los actuadores neumáticos que en el caso de la simulación van a ser unos indicadores booleanos llamados "Pieza sujeta" y "Extremo sujeta".

Esencialmente son 3 pasos para los servomotores pero al incluir los actuadores neumáticos estos aumentan y se describen a continuación:

- Paso 0: Es el paso en el cual la máquina empieza cuando es iniciado por primera vez el proceso. Este paso no permite realizar ningún movimiento a la máquina hasta que se encuentre calibrada y se pulse el botón de "Posición inicial" que hace que avance al Paso 1.
- Paso 1: En este paso se ejecutan todos los comandos para mover la máquina hasta la posición inicial. Una vez en la posición inicial se pulsa el botón de ejecutar c/c para avanzar al siguiente paso.
- Paso 2: se activa el actuador neumático que sujeta la pieza y Se espera 0.5 segundos para cambiar de paso
- Paso 3: se activa el actuador neumático que sujeta el extremo de la espira y se espera 0.5 segundos para cambiar de paso.
- Paso 4: se asegura de que todos los servomotores estén detenidos y encendidos para realizar el doblar del extremo de la pieza. En el momento que detecte el status correcto de los motores se avanza al siguiente paso.
- Paso 5: se envían los comandos a los servomotores de realizar el doblar del extremo de la espira y se espera a que el movimiento termine para pasar al siguiente paso.
- Paso 6: se espera un segundo luego de terminar el movimiento para pasar al siguiente paso para darle tiempo a la pieza de ajustarse a esta posición.

- Paso 7: se libera la pieza y se espera 0.5 segundos para pasar al siguiente paso. Esta espera es debido a que la apertura no se hace instantáneamente y si se realiza un movimiento mientras se abre se puede deformar la pieza.
- Paso 8: se envían los datos a los motores para alejar el mandril de la pieza para que la extracción de la misma se haga con mayor facilidad. Una vez que se detenga habrá que pulsar el botón de "Posición inicial" para que vaya al paso 1.

La programación de estos pasos puede encontrarse en el apéndice 6.

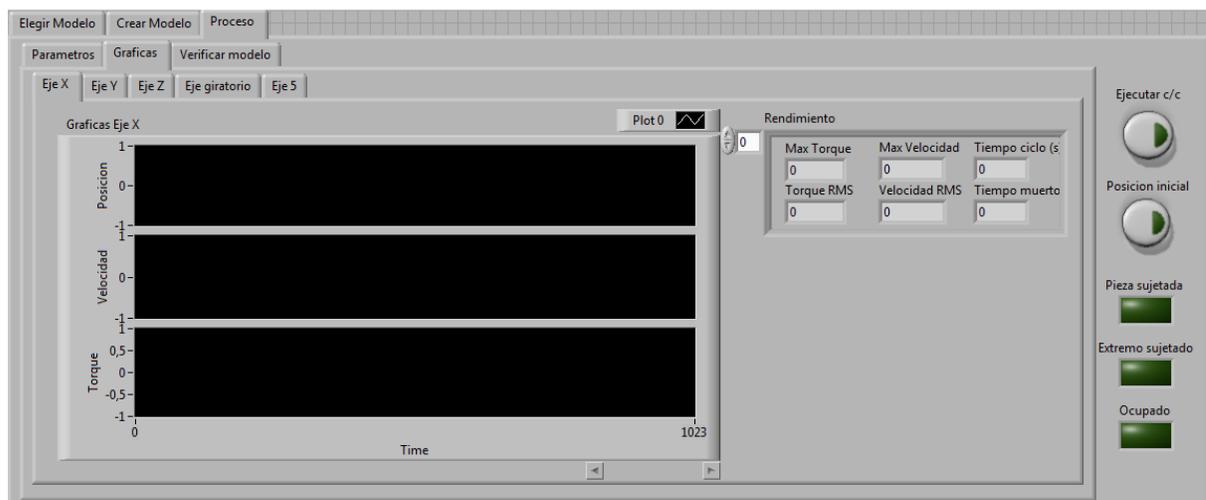


Figura 43: Panel Frontal Proceso, Graficas.
Elaboración: Fuente propia.

En la pestaña de graficas se tiene la información del rendimiento de cada servomotor. Estos datos son obtenidos para cada eje por medio de la simulación y estos son: Graficas de par, posición y velocidad. También se tienen otros valores de interés que son: Máximo par, máxima velocidad, tiempo de ciclo, valor RMS del par, valor RMS de la velocidad, tiempo muerto.

El manejo de datos de las graficas y su diagrama de bloques es encontrado en el apéndice 7.

4.3.5 Análisis de Movimiento.

El procesamiento de la data de cada motor será realizado por un SubVI llamado Motion Analyzer obtenido de la empresa National Instruments. Que como se mostrara a continuación es el que se encarga de recolectar la data de posición, velocidad, par y realiza las operaciones necesarias para calcular valores como par pico, par RMS, velocidad pico, velocidad RMS, tiempo de ciclo, tiempo muerto.

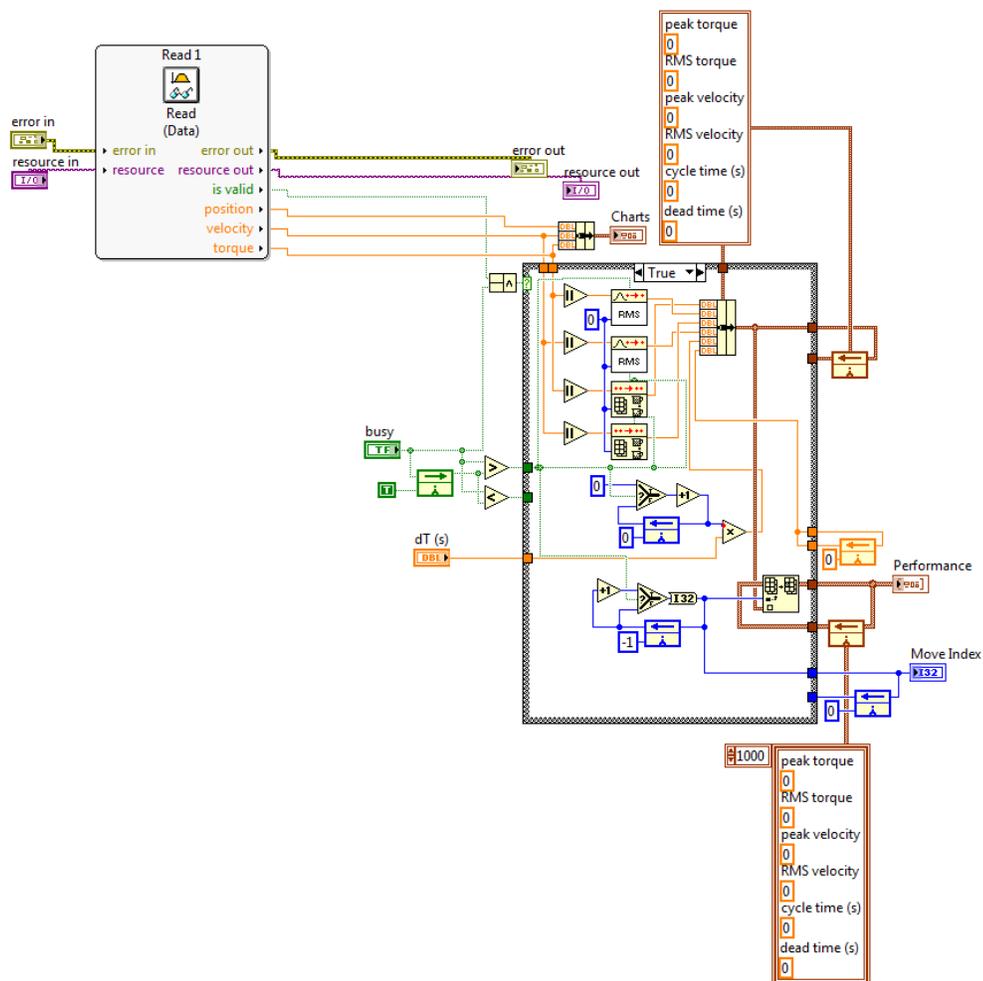


Figura 44: Programación del Análisis de Movimiento.
Elaborado: National Instruments.

4.3.6 Cambiar valores

La compañía MetalCar C.A. exigió una rutina para modificar las rutas realizadas por los servomotores ya que al realizar una pieza por primera vez esta es sometida a un proceso de puesta a punto en el que se puede requerir modificar los valores para cambiarlos a un nivel óptimo.

Como solución planteada se hizo una interfaz de usuario capaz de modificar todos los valores de un modelo.

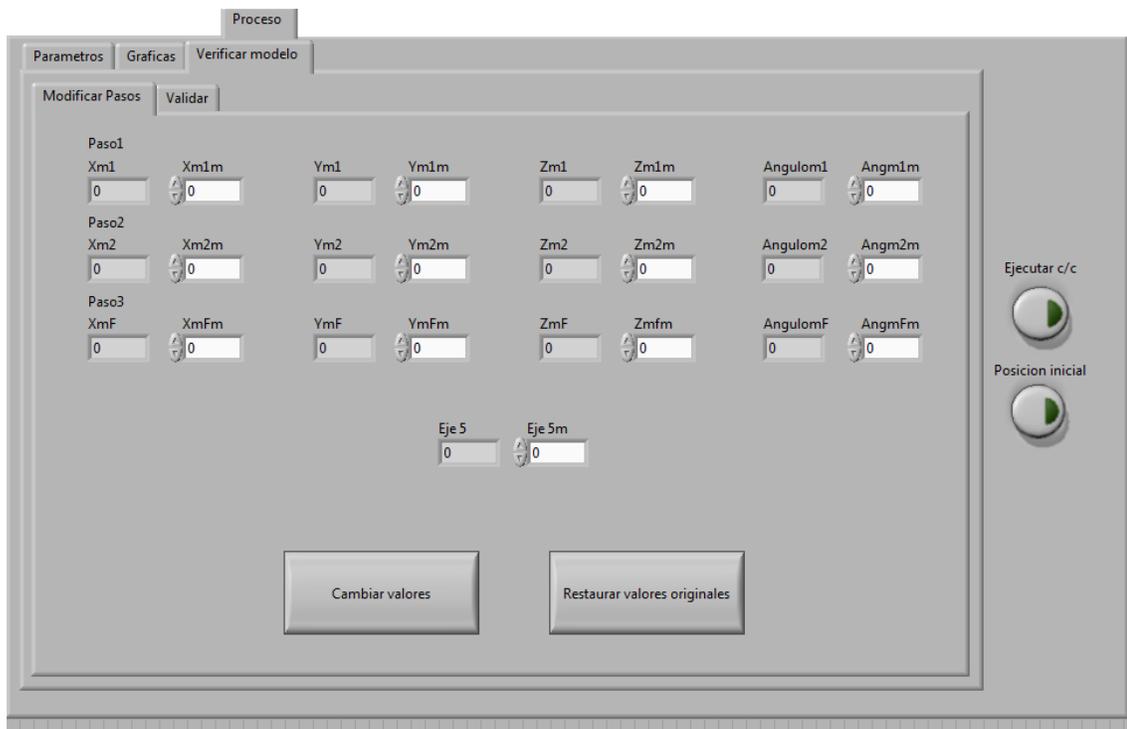


Figura 45: Panel Frontal "Proceso, Modificar Pasos".
Elaboración: Fuente propia.

La pestaña de verificar modelo permite modificar todos los pasos realizados por los motores. Mostrando los valores actuales y permitiéndole añadir por medio de los controles numéricos una diferencia para obtener un valor deseado en caso de que los valores calculados estén desfasados con el modelo real. También se pueden restaurar los valores originales, para este

proceso es necesario verificar los valores pulsando un botón para grabarlos en la base de datos del sistema.

La programación para modificar pasos puede ser encontrada en el apéndice 8.

4.3.7 Validar el modelo

Una vez realizados los cambios deseados en el modelo calculado se oprime el pulsador de validación que permite guardar la data en el archivo de la base de datos correspondiente a este modelo sin borrar los datos originales.

Una vez validados los valores modificados estos pasan a ser los valores principales que el sistema utilizará cada vez que sean cargados los datos en la pantalla de elegir modelo.

Si se modifican los valores y se validan por segunda o más veces los datos se sobrescribirán sobre los datos modificados anteriores, siempre dejando los originales disponibles para el usuario.

4.3.8 Calibración de la máquina.

Para calibrar la máquina es necesario buscar las referencias en el espacio. Para realizar dicha tarea se toma un SubVI del modulo Softmotion que permite buscar referencias en la máquina y posicionar los ejes justo en el borde de transición de los sensores límites de la máquina o en sensores de Home.

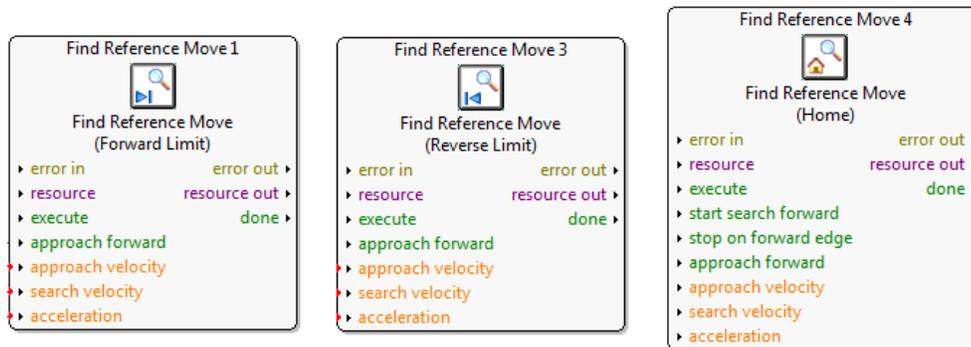


Figura 46: Sub Vi's para buscar referencia.
Elaboración: Fuente propia.

Luego de posicionarse en el eje de activación del sensor, el motor va a estar en un punto conocido por lo tanto se le hace un reinicio de posición y se le coloca la posición correspondiente al punto en el que el eje se detuvo. En el caso de la máquina real habría que medir la distancia desde un punto conocido hasta el lugar en el que se detuvo el eje y colocarle los datos correspondientes a los "Reinicio de posición" para calibrar la máquina. Los "Reinicio de posición" permiten Colocarle a la posición del motor un valor arbitrario. De esta manera si se sabe en qué posición esta cuando se detiene respecto a la referencia con la que se calcularon las trayectorias, se ejecuta el subVI y se le coloca la posición conocida como valor de entrada, con esta acción ya estaría calibrado el eje en el cual se le aplico el comando. Cabe destacar que esta medición se haría una sola vez a la hora de construir la máquina y se requerirá medir de nuevo si se reemplaza o se cambiara de posición el sensor.

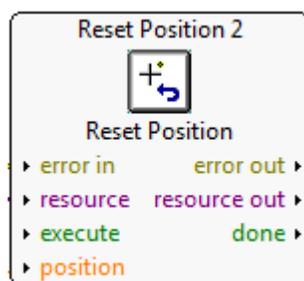


Figura 47: SubVIs para resetear Posición.
Elaborado: Juan Solórzano, Efraín Velasco.

En el caso de los ejes lineales es necesario sacarlos de ese límite inmediatamente ya que el SubVI de buscar referencia deshabilita la parada inmediata de los drives al encontrar un sensor, entonces al resetear la posición se realiza un movimiento lineal para sacarlo de ese límite y evitar errores en la ejecución del programa.

4.3.11 Parada (Stop)

Para la mayoría de los programas en la industria es necesaria una rutina de programación que permita detener el proceso en marcha. En el caso de la máquina cola de cochino es indispensable colocar un botón que desactive los 5 servomotores para una parada de emergencia comandada por el usuario.

En el VI principal se colocará un manejador de eventos que ejecute una rutina cuando detecte cambios en la señal del botón de stop. Una vez pulsado ese botón el programa entra en la rutina y ejecuta en la figura 48.

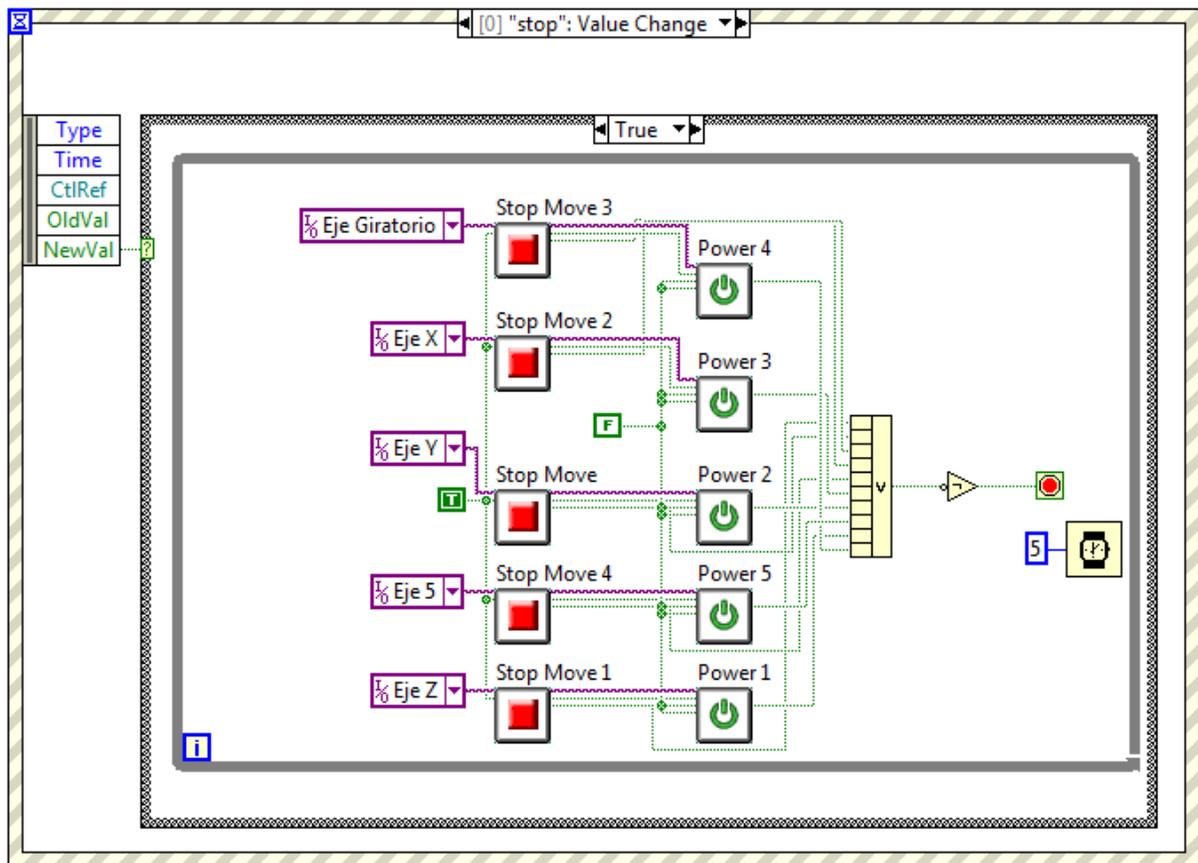


Figura 48: Rutina de Stop.
Elaboración: Fuente propia.

El programa de la figura 48 envía un comando de parada a los drives y luego de que se detienen, deshabilita sus drives hasta que se pulsa el botón de "iniciar" que habilita los ejes y los drives nuevamente para continuar con el proceso.

4.4 Propiedades de los Ejes en LabVIEW

En LabVIEW se tienen 12 bloques para configurar el servomotor como se muestra en la figura 49. Cada servomotor tiene su pantalla de configuración, en el caso de este proyecto solamente se utilizó en la pestaña de "General Settings" (Configuraciones generales) se colocó que al correr el programa se encendieran los drives automáticamente y en la pestaña de "Limits & Home" se colocó para los ejes con movimientos lineales se le activaron los 2 sensores límites y se colocó que se parara automáticamente si llega a detectar un estado activo en estos sensores. Para los ejes que realizan movimiento giratorio se colocó un Home y se le deshabilitaron los sensores de límite. El resto de la programación se dejara tal cual como está configurada por defecto.

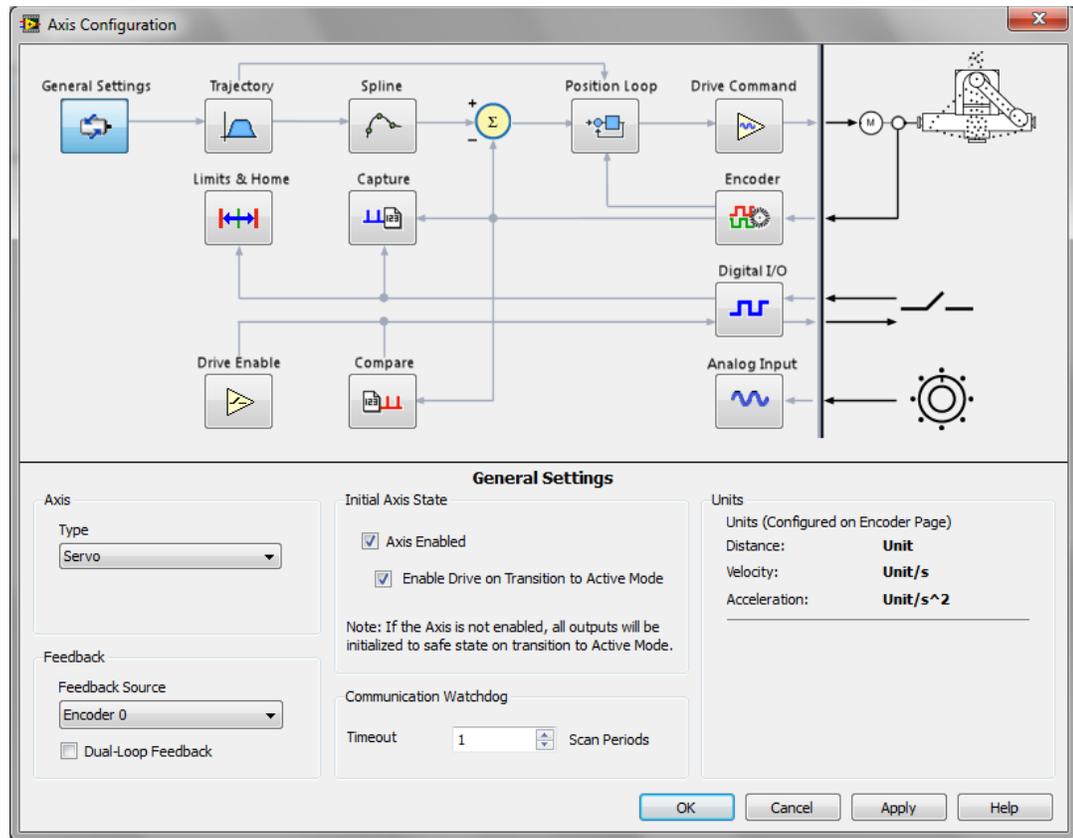


Figura 49: Propiedades de los ejes
Elaboración: Fuente propia.

Capitulo 5

Resultados

En el capítulo anterior se describió un sistema capaz de enlazar dos programas que realizan distintas funciones pero con un mismo fin, en este caso el de la máquina para fabricación de extremos de espirales. Inicialmente se logró realizar movimientos independientes en cada uno de los ejes, permitiendo comandar la máquina desde el LabVIEW. Luego se logró el movimiento de los ejes simultáneamente a través de una trayectoria definida por el usuario incluyendo la calibración de la misma. Por último se aprovechó la capacidad del SolidWorks de realizar el cálculo de fuerzas para cada uno de los ejes independientemente mediante el enlace exitoso entre ambos Softwares.

5.1 Discusión de Resultados

Como resultado se obtuvo la integración entre los dos softwares mediante un enlace exitoso. Gracias a efectividad del enlace se pudo determinar el comportamiento dinámico de la máquina donde se obtuvo el perfil de posición velocidad y par, logrando visualizar todas las variables de interés en el LabVIEW, y también se observa los recorridos de la máquina en SolidWorks. Por consiguiente, verificando si hay colisiones o si hay algún error en cálculo de trayectorias.

En este sentido, se generó un video con el cual se realiza una visualización de la simulación.

Graficas de Par, Velocidad, Posición para cada eje.

Una vez realizada la simulación con el enlace entre SolidWorks y LabVIEW se obtuvieron las siguientes gráficas para cada eje utilizando como modelo la siguiente espiral de prueba, cuyos datos se observan en la figura 50.

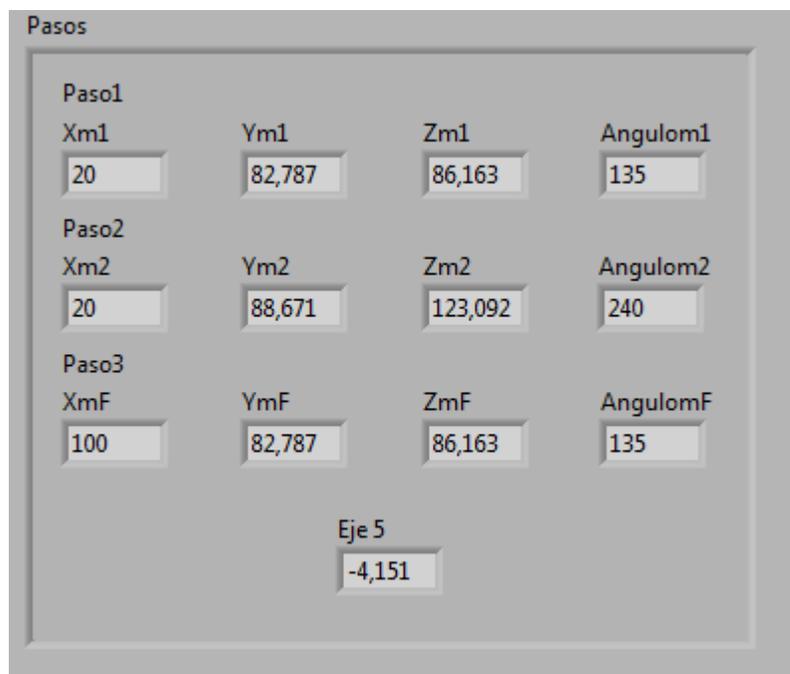


Figura 50: Valores de los parámetros de una espiral.
Elaboración: Fuente propia

Como en la simulación los resultados son mostrados en tiempo real, los datos fueron grabados en un archivo con extensión xml para poder analizarlos después de haber terminado el proceso. Obteniendo las graficas de posición, velocidad y par para cada uno de los ejes y poder realizar el análisis a las mismas.

A continuación se presentan las graficas de cada eje correspondientes a la simulación realizada. Mostrando los extremos operacionales de la máquina que son necesarios para realizar la preselección de los servomotores y drives.

5.1.1 Eje X

Gráficas de posición, velocidad y Par:

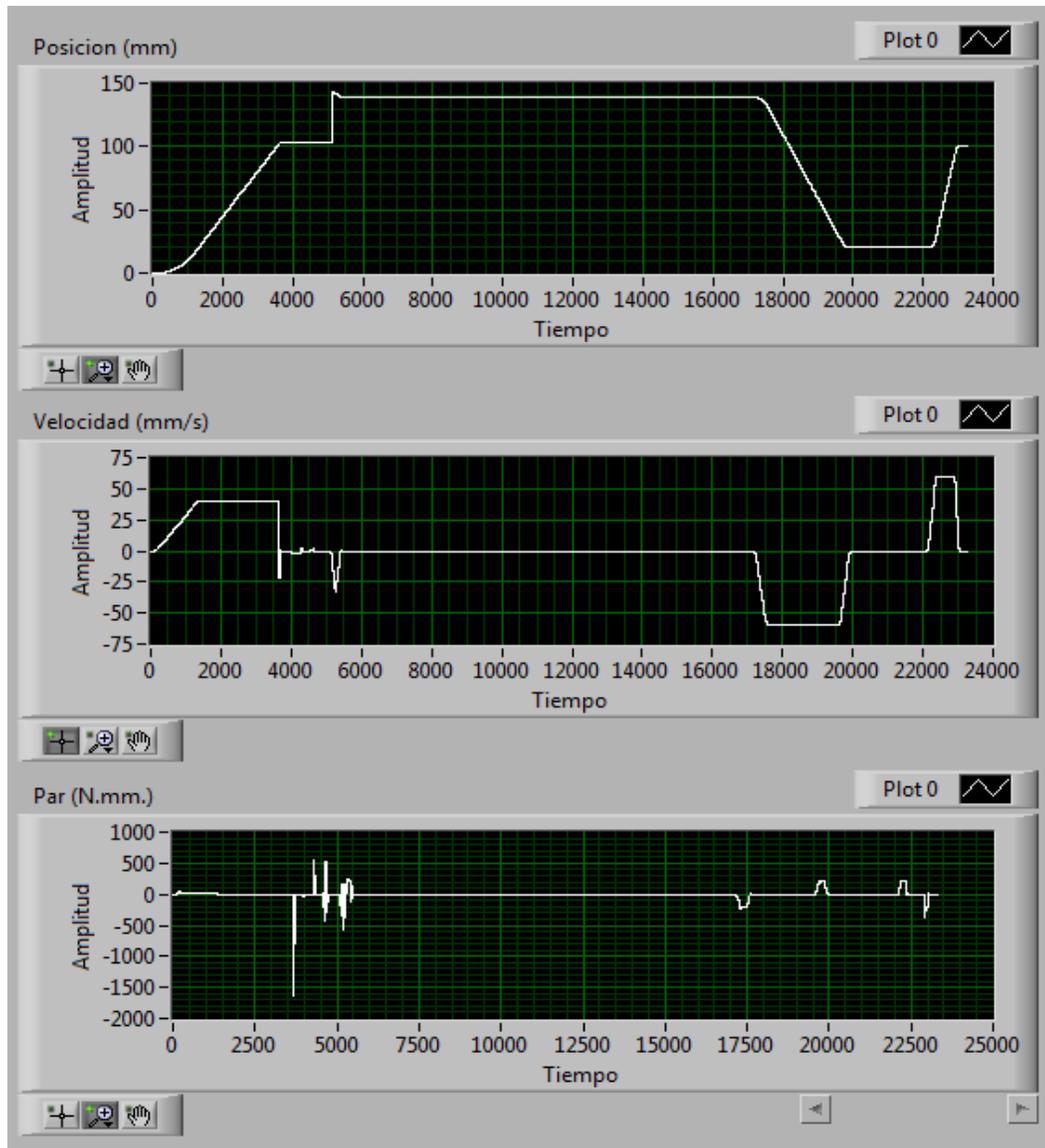


Figura 51: Graficas de posición, par, velocidad.
Elaboración: Fuente propia

Máximo Par: 1638,22 N.mm.

Máxima velocidad: 60 mm/s o 180 RPM

Par continuo: $1/3$ Máximo par = 546,07 N.mm.

5.1.2 Eje Y

Gráficas de posición, velocidad y Par:

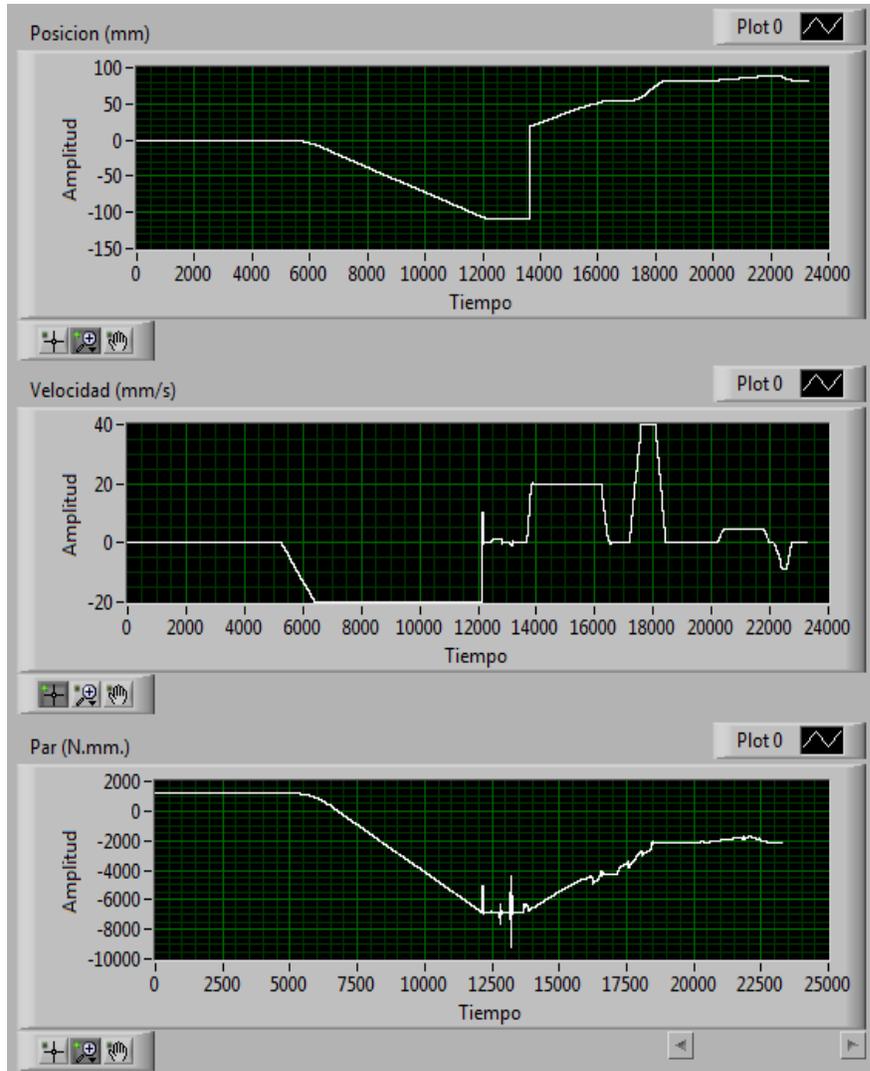


Figura 52: Graficas de posición, par, velocidad.
Elaboración: Fuente propia.

Máximo Par: 9248,15 N.mm.

Máxima velocidad: 40 mm/s o 240 RPM

Par continuo: 6876 N.mm.

5.1.3 Eje Z

Graficas de posición, velocidad y Par:

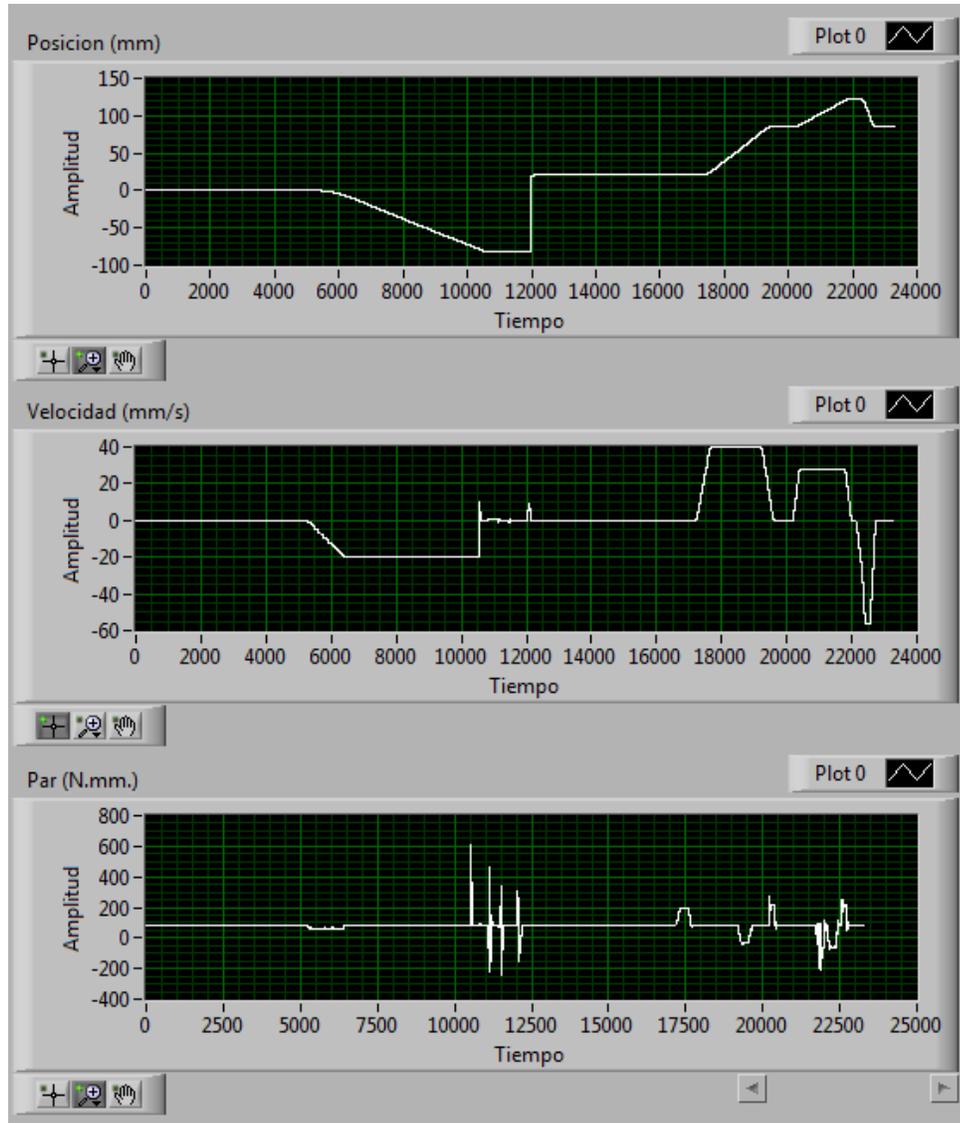


Figura 53: Graficas de posición, par, velocidad.
Elaboración: Fuente propia.

Máximo Par: 611,37 N.mm.

Máxima velocidad: 56,312 mm/s o 377,872 RPM

Par continuo: $1/3$ Par máximo = 203,79 N.mm.

5.1.4 Eje giratorio principal

Gráficas de posición, velocidad y Par:

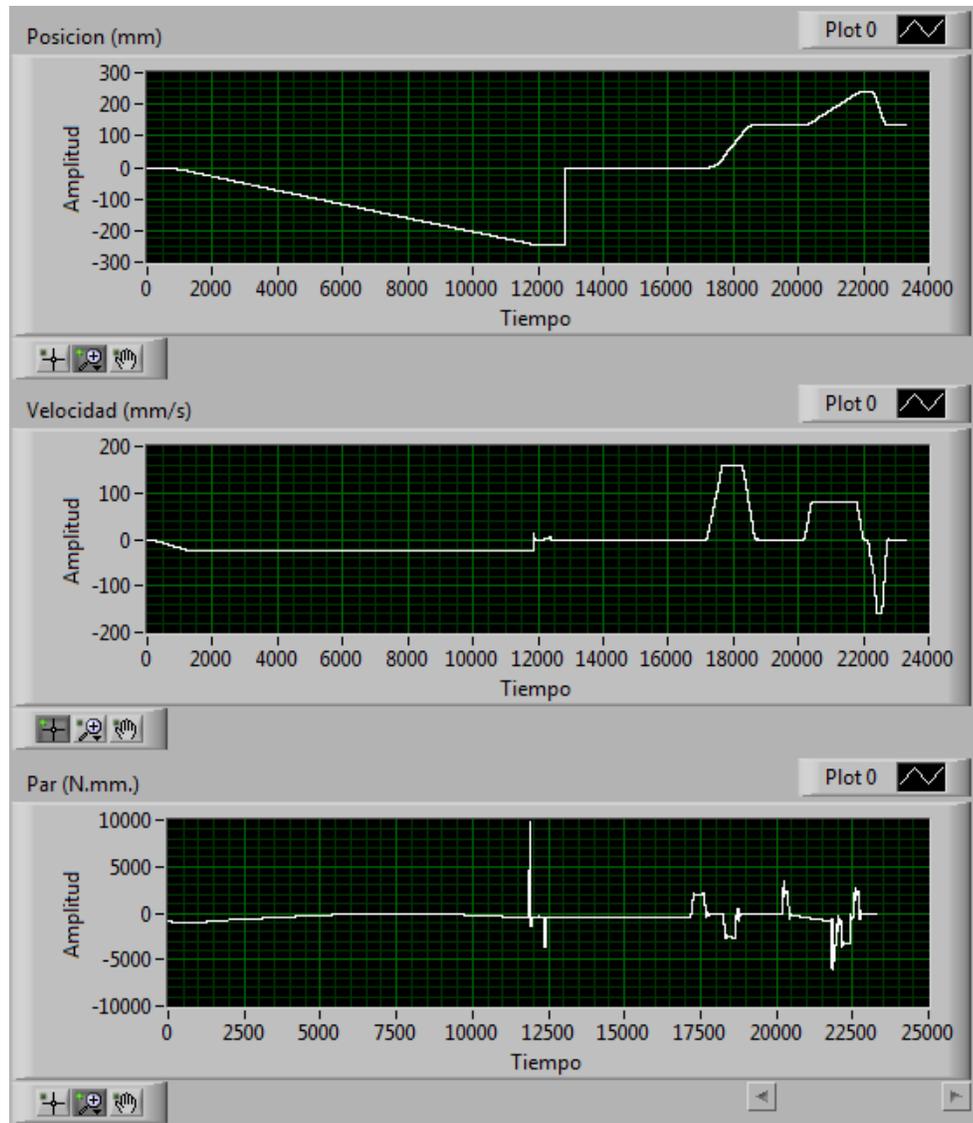


Figura 54: Graficas de posición, par, velocidad.
Elaborado: Juan Solórzano, Efraín Velasco.

Máximo Par: 9758,57 N.mm.

Máxima velocidad: 160°/s o 26,66 RPM

Par continuo: $1/3$ Par máximo = 3252,85 N.mm.

5.1.5 Eje giratorio secundario

Gráficas de posición, velocidad y Par:

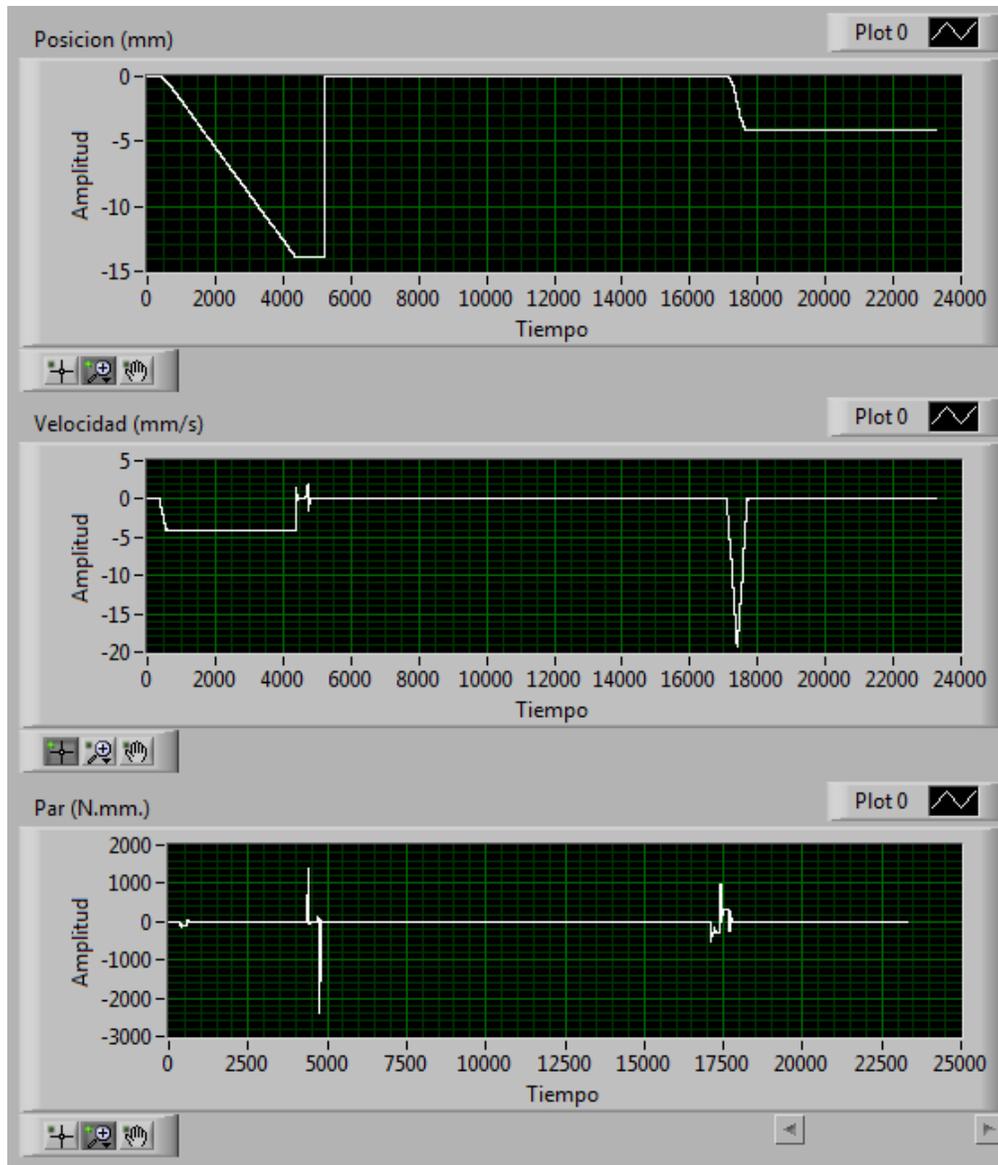


Figura 55: Graficas de posición, par, velocidad.
Elaboración: Fuente propia.

Máximo Par: 2391,28 N.mm.

Máxima velocidad: 20°/s o 3,333 RPM

Par continuo: $1/3$ Par máximo = 797,08 N.mm.

Gracias a estos gráficos que cumplen con un ciclo entero del proceso de la fabricación de formación de extremos de espirales se destacaron los puntos críticos de diseño.

En las graficas de posición se observa que la calibración se hace de la siguiente manera; Los ejes X, giratorio principal y secundario realizan la búsqueda de su referencia. Una vez que el eje X encuentre su referencia el eje Y y Z empiezan a buscar por su límite de reversa. Cabe destacar que esto se hace para evitar colisiones en la máquina.

Como se puede observar en la grafica de Par del eje Y, una vez que empieza la búsqueda de su límite inferior el par aumenta linealmente, esto es debido a que los resortes se encuentran optimizados para la posición de trabajo y el par aumenta a medida que la máquina baja, ya que comprime los resortes un poco más de su posición óptima. Una vez que llega al sensor inferior este ajusta su posición del encoder a la del sensor y sube a la posición de trabajo.

Los cambios bruscos presentes en las gráficas de posición es a causa del reinicio de posición que cambia el valor de posición a uno arbitrario colocado por el usuario ya que se conoce donde se va a detener la máquina por la ubicación de los sensores.

En el caso del eje X se busca el límite de avance, en el caso de este eje, el reinicio de posición fue colocado en 142,83.

Como se puede ver en la gráfica de posición, el motor se comporta de la forma esperada, las cuales para el eje X son 20 para el paso 1 y 2, y 100 para el paso 3.

Para el cálculo del par continuo se realizara una aproximación utilizando los picos de la simulación ya que generalmente el par pico aguantado por el motor es igual a 3 veces el par constante aguantado por el mismo

En los casos en el que el par continuo sea menor a $1/3$ de su par pico se utilizara el valor de $1/3$ del par máximo para su preselección.

Para el caso del eje Y el par continuo es mayor a $1/3$ del par pico. En este caso se utilizara el valor de la grafica en el momento en el que la amplitud del par continuo es máxima.

5.1.6 Factor de seguridad:

En la empresa MetalCar C.A. se utiliza un margen de seguridad del 20% al 40%, como este trabajo se está realizando por primera vez en una empresa se utiliza el valor más conservador que es de 40% de margen de seguridad.

5.1.7 Reductores de velocidad

Para la selección de los servomotores la empresa exigió el uso de la marca "Baldor". Para un mejor funcionamiento en los servomotores adecuado utilizar reductores de velocidad. Un reductor de velocidad permite al servomotor trabajar a una velocidad más estable en la que el motor no tiene que realizar movimientos de pocos grados, utilizando de una mejor manera la velocidad máxima permitida por el servomotor.

La serie más robusta de servomotores Baldor y la que se va a utilizar para la selección de motores para la máquina cola de cochino es la serie BSM-N la cual tiene motores que operan a velocidades hasta los 10000 RPM. Utilizando reductores de 10:1 obtenemos velocidades diez veces inferior pero a su vez obteniendo 10 veces mayor par de torsión generado en el eje.

La velocidad máxima de programación fue de 240 RPM lo cual está en el rango de trabajo de la serie BSM-N y permite tener una holgura para futuros cambios en la programación de la máquina sin tener que cambiar los componentes eléctricos de la máquina.

Estos reductores tienen un rendimiento del 90% incluyendo la eficiencia del motor, tienen aproximadamente 15 mil horas de uso trabajando a temperaturas menores a los 90°C para mantener el lubricante a una temperatura adecuada. Luego de este periodo es necesario cambiar las gomas, lubricante y otros componentes para seguir utilizando el dispositivo.

Los modelos de reductores a utilizar se encuentran en el anexo 3.

5.1.8 Cálculo del par continuo y velocidad.

Tabla 6: Cálculo del par continuo necesario para la búsqueda de los motores.

	Par en el eje de la maquina (N.mm)	Fs. (%)	Eficiencia (%)	Reductor	Fricción (%)	Par en el eje del motor (N.mm)
Eje X	546,07	40	90	5	15	195,3717111
Eje Y	6876	40	90	10	15	1230,04
Eje Z	203,79	40	90	5	15	72,91153333
Eje Gp	3252,85	40	90	10	15	581,8987222
Eje Gs	797,08	40	90	5	15	285,1775111

Tabla 7: Cálculo de la velocidad necesaria que se utilizara para la búsqueda de los motores

	Velocidad del eje de la maquina(RPM)	Fs (%)	Reductor	Velocidad requerida en el motor (RPM)
Eje X	180	40	5	1260
Eje Y	240	40	10	3360
Eje Z	377,872	40	5	2645,104
Eje Gp	26,66	40	10	373,24
Eje Gs	3,333	40	5	23,331

Selección de motores y sus drivers:

Para la selección de los servomotores la empresa exigió el uso de la marca "Baldor", A continuación se muestran los servomotores de la serie BSM-N la cual será la utilizada en este proyecto.

Eje X: BSM50N-175AA

Par necesario = 195.37 N.mm

Par del motor = 450 N.mm.

Velocidad necesaria = 1260 RPM

Velocidad del motor = 4000 RPM

Eje Y: BSM63N-250AA

Par necesario = 1230,04 N.mm

Par del motor = 1470 N.mm.

Velocidad necesaria = 3360

Velocidad del motor = 4000

Eje Z: BSM50N-175AA

Par necesario = 72.91 N.mm

Par del motor = 450 N.mm.

Velocidad necesaria = 2645,1 RPM

Velocidad del motor = 4000 RPM

Eje Gp: BSM50N-275AA

Par necesario = 581,89N.mm

Par del motor = 900 N.mm.

Velocidad necesaria = 373,24 RPM

Velocidad del motor = 2000 RPM

Eje Gs: BSM50N-175AA

Par necesario = 285,17 N.mm

Par del motor = 450 N.mm. [20] [21]

Velocidad necesaria = 23,33 RPM

Velocidad del motor = 4000 RPM

5.1.9 Selección de PXI

Debido a los resultados obtenidos se tiene que para el manejo de datos, calculo de variables se eligió un procesador de alto rendimiento que permita controlar 5 ejes simultáneamente. Se utilizara el siguiente PXI un NI PXIe-8133 RT con las siguientes especificaciones:

Procesador:

- Core i7 1.73 GHz Real-Time Embedded SW
- 4 GB RAM

Módulos:

- NI PXI-7356 Controlador de servos de movimiento para 6 ejes

Chasis:

- Ni PXIe-1071 con 4 ranuras

Extras:

- 2 Universal Motion Interfaces (UMI) ya que cada UMI soporta 4 ejes de movimiento.

Software necesario:

- NI LabVIEW Full Development System for Windows
- NI LabVIEW Real-Time Module
- NI LabVIEW SoftMotion Module
- NI LabVIEW Motion Control

Conclusiones

- Se demostró que incluir las ingenierías de instrumentación y control en una etapa temprana del proyecto, es posible de una forma más conveniente el proceso de diseño de la máquina.
- Ingeniería concurrente es una herramienta muy útil para el diseño de máquinas ya que reduce el tiempo de ejecución de un proyecto y se reducen las modificaciones después de construido el prototipo mecánico significativamente.
- Se identificaron las posibles colisiones entre objetos en la simulación, esto tiene una gran ventaja de poder realizar modificaciones en el prototipo virtual de la máquina antes de que la misma sea construida en el prototipo físico logrando significativos ahorros de material, dinero y tiempo.
- Se Verifico y corrigió los errores de trayectoria, errores en el modelo virtual, puntos críticos de trabajo de la máquina. Por lo tanto, se logra reducir el grado de incertidumbre al momento de realizar el prototipo físico, como se muestra en la figura 9.
- Con el enfoque de la ingeniería concurrente y el enlace mecatrónico, se logra importantes beneficios para los proyectos de ingeniería, los cuales son:
 - ✓ Aumentar las ganancias mediante bajos costos de desarrollo y reducir riesgos a la hora de manejar el sistema por primera vez.
 - ✓ Se incrementa la eficiencia del proyecto, por medio de una mejor comunicación, colaboración e integración, entre diseñador y cliente.

Recomendaciones

- Se requiere una computadora con altas especificaciones para hacer la simulación a una cómoda velocidad.
- Es factible mediante el enlace mecatrónico, considerar la opinión de los operarios y posteriormente de enseñar a los futuros operadores como manejar el sistema de control de un modo fácil y segura a través de un computador.
- Para que la simulación sea lo más real posible es necesario especificar materiales de construcción de la máquina en cada uno de sus componentes, así como es necesario que este construida en su totalidad incluyendo tornillos.
- Se pueden construir laboratorios virtuales en donde los estudiantes pueden maniobrar máquinas industriales en un computador personal, lo que facilitaría el entrenamiento de nuevo personal y adiestramiento de estudiantes y técnicos sin poner en riesgo su integridad física ni la de la máquina y mostrándoles a su vez una interfaz de usuario que se usaría en una máquina real.
- En un futuro cuando la tecnología lo permita se recomienda agregar análisis de elementos finitos para la simulación para observar puntos de esfuerzos críticos a medida que se mueve la máquina. Sin necesidad de detener la simulación.

Anexos.1 Generación de Archivo Ejecutables.

Un archivo ejecutable se genera como en la figura 56.

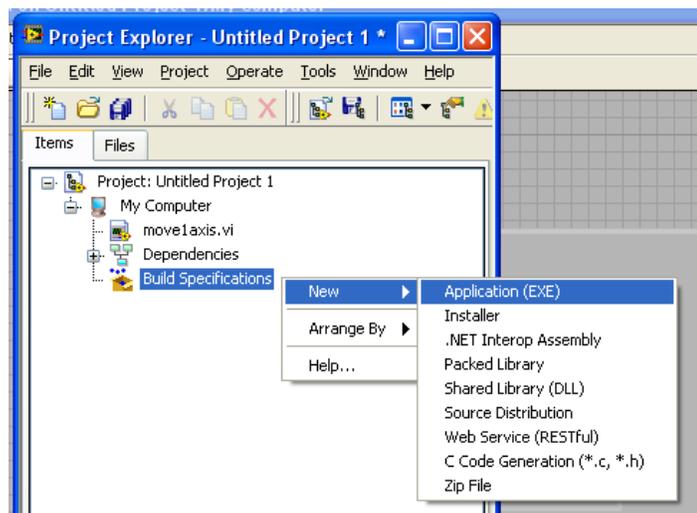


Figura 56: Generación de Archivos .EXE en LabVIEW
Elaboración: Fuente propia.

Luego en la categoría de archivos fuentes (Source Files) se coloca el archivo que se va a ejecutar como programa principal. Ya que se puede tener múltiples Sub programas dentro de un proyecto.

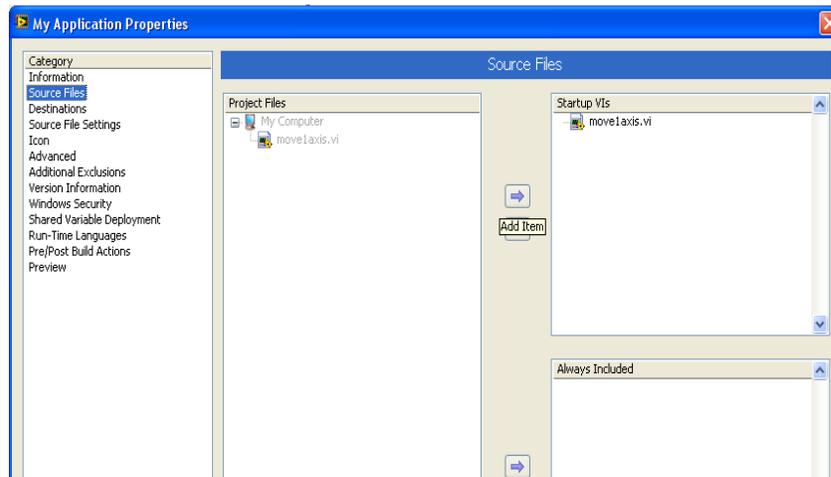


Figura 57: Selección de Archivo a ejecutar.
Elaboración: Fuente propia.

Luego se oprime el botón de "Build" y se genera un ".Exe" en la carpeta "builds" del proyecto.

Es importante destacar que la generación de un archivo ".Exe" no permite al usuario acceder a la parte de programación de dicho programa. Protegiendo al programa contra plagios y cambios inesperados o maliciosos causados por un operador.

Anexos.2 Configuración de los Eje.

Eje Giratorio Secundario

Es el encargado de girar la pieza que sostiene a la espiral a la hora de realizar la formación del extremo de esta, este eje es el único que lleva un acople directo ya que su función es básicamente colocarse en una posición y mantenerla, no va a realizar ninguna fuerza muy grande.

El motor virtual será colocado como se indica en la siguiente ilustración.

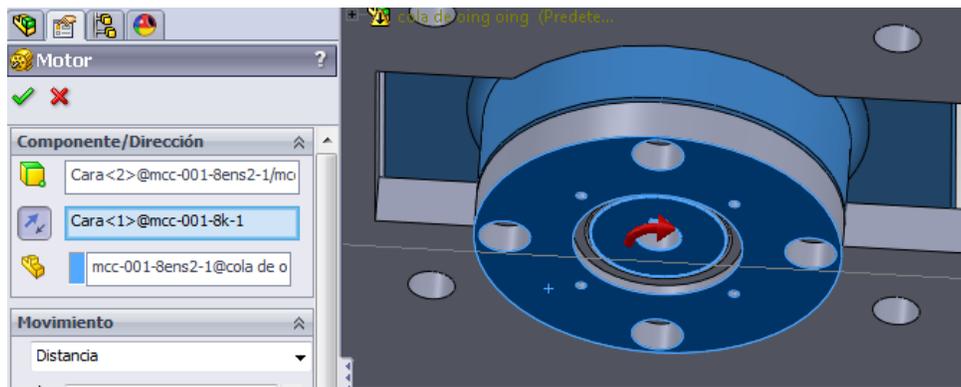


Figura 58: Agregar Motor y Sentido de Giro del eje giratorio secundario en SolidWorks.
Elaboración: Fuente propia.

Como puede observarse en la figura 58 se ve un actuador neumático de gran tamaño encargado de mantener fija la espiral mientras se hace la formación del extremo de la misma. El gran tamaño es para aumentar la presión y evitar que la pieza se deslice durante el proceso.

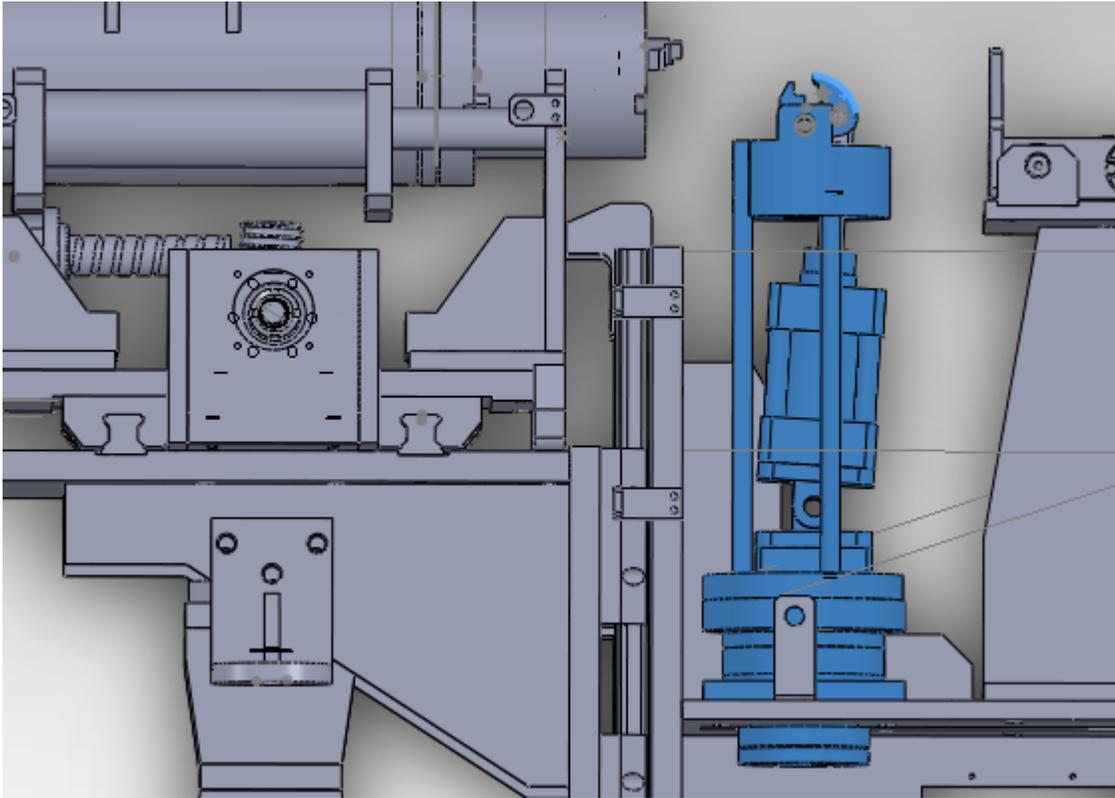


Figura 59: Piezas móviles del eje giratorio secundario
Elaboración: Fuente propia.

En la figura 59 se observa la base del sensor de proximidad, este será utilizado para buscar referencias en la máquina. Para lograr encontrar una referencia es necesario colocar un elemento sobresaliente en el eje giratorio que permita al sensor detectarlo y ubicarse en un espacio de coordenadas, esto se hará luego de la construcción de la máquina, para efecto de la simulación entre los dos programas se le colocara un punto de referencia virtual que permite al usuario calibrar la máquina.

Eje X

El eje X está ubicado en paralelo al cabezal de la máquina, la razón de este eje es alejar la máquina una vez que se dobla la espiral para que el operador retire la pieza con mayor facilidad.

Las especificaciones técnicas del eje X tenemos lo siguiente: un tornillo de 40 mm de diámetro, cada 18 grados de giro del motor equivale a 1 milímetro en el movimiento lineal, como se observa en la figura 60, en la parte superior se observa el elemento móvil, este eje es diseñado por SKF y está creado para trabajar con una alta eficiencia de transmisión de potencia, manteniendo las pérdidas en un nivel mínimo mediante contacto por bolas.

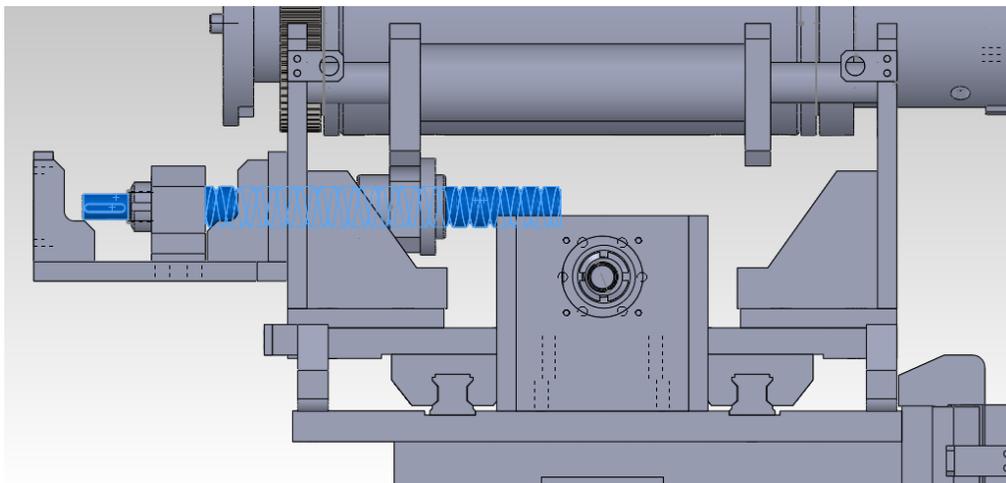


Figura 60: Tornillo Sinfín del Eje X.
Elaboración: Fuente propia.

En la figura 60 se muestra la configuración del eje X en el programa SolidWorks para colocar la dirección y con respecto a que pieza se mueve.

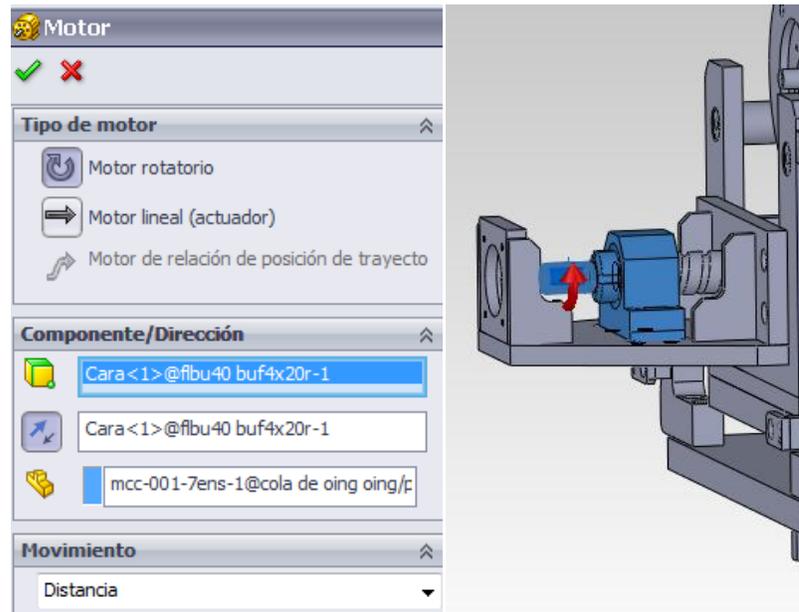


Figura 61: Motor del eje X en SolidWorks.
Elaboración: Fuente propia.

Como se muestra en la figura 62, la carrera es de 187 mm. Para realizar el control en LabVIEW se requieren los movimientos en grados de giro del motor. en esa unidad se tiene un alcance de 3366 grados de movimiento.

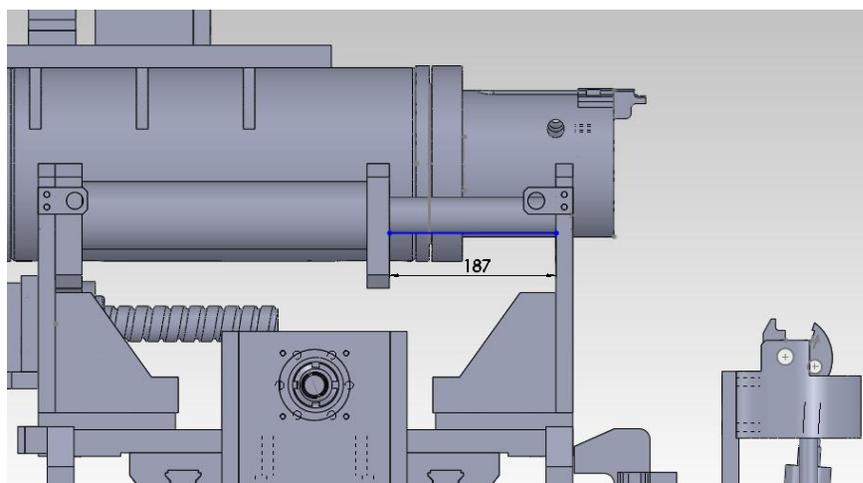


Figura 62: Desplazamiento del Eje X.
Elaboración: Fuente propia.

Eje Y

Está ubicado perpendicular al mandril de la máquina, y en dirección vertical. Este eje es el encargado de posicionar correctamente el mandril de la máquina para realizar un movimiento concéntrico con la espiral, lo que permite utilizar distintos espirales de distinto diámetro con la misma máquina.

Las especificaciones técnicas del eje Y tenemos lo siguiente: se tiene un tornillo de 63 mm de diámetro, cada 36 grados de giro del motor es un milímetro en el movimiento lineal, como se observa en la figura 63 y a la izquierda se encuentran los rieles. Los rieles están diseñados por SKF y están creados para trabajar con una alta eficiencia que utiliza un sistema de bolas para mantener las pérdidas por fricción en un nivel mínimo.

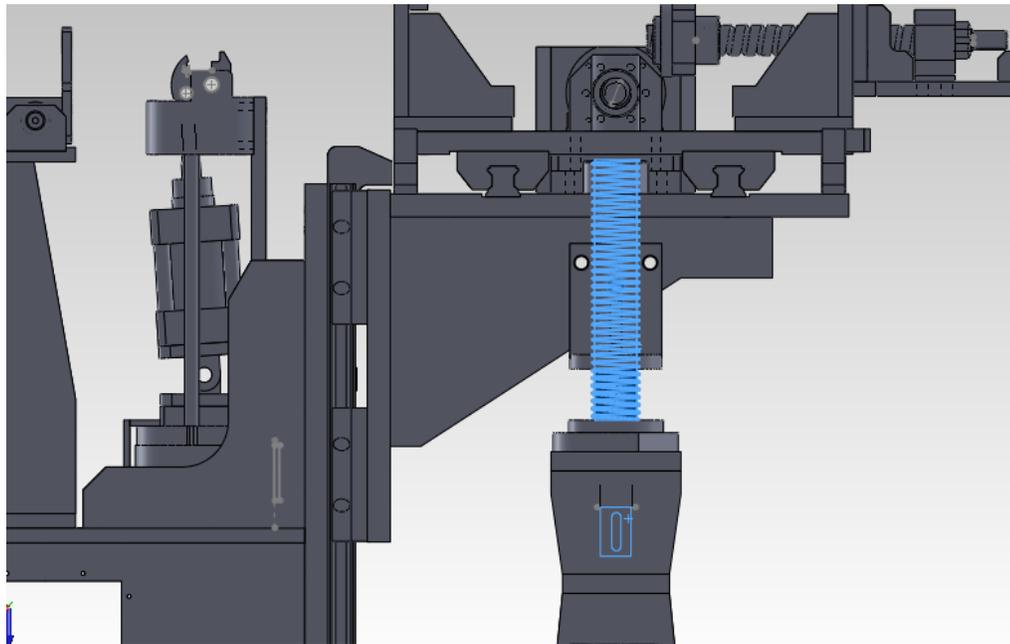


Figura 63: Tornillo sin fin Eje Y.
Elaboración: Fuente propia.

En la figura 64 se muestra la configuración del eje Y en el programa SolidWorks para colocar la dirección y con respecto a que pieza se mueve.

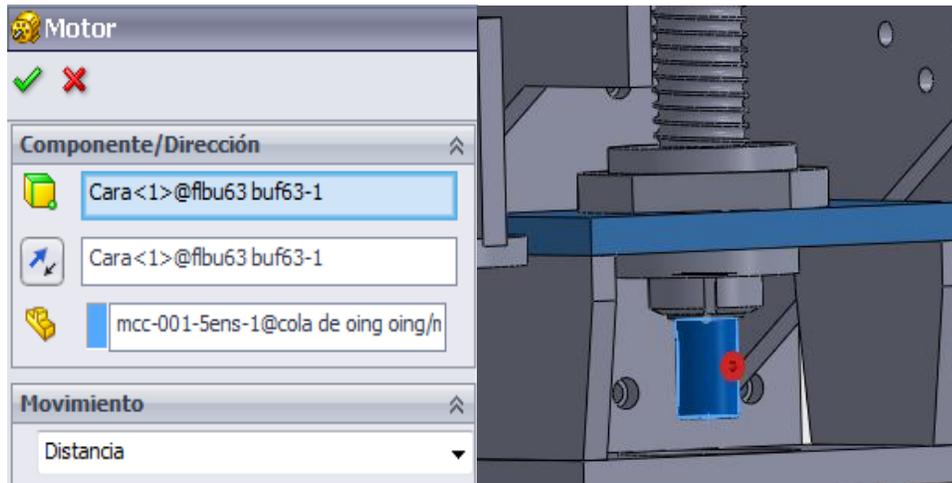


Figura 64: Motor Eje Y.
Elaboración: Fuente propia.

Como se muestra en la figura 65 la carrera es de 233,95 mm. Para realizar el control en LabVIEW se requieren los movimientos en grados de giro del motor. en esa unidad se tiene un alcance de 8422,2 grados de movimiento.

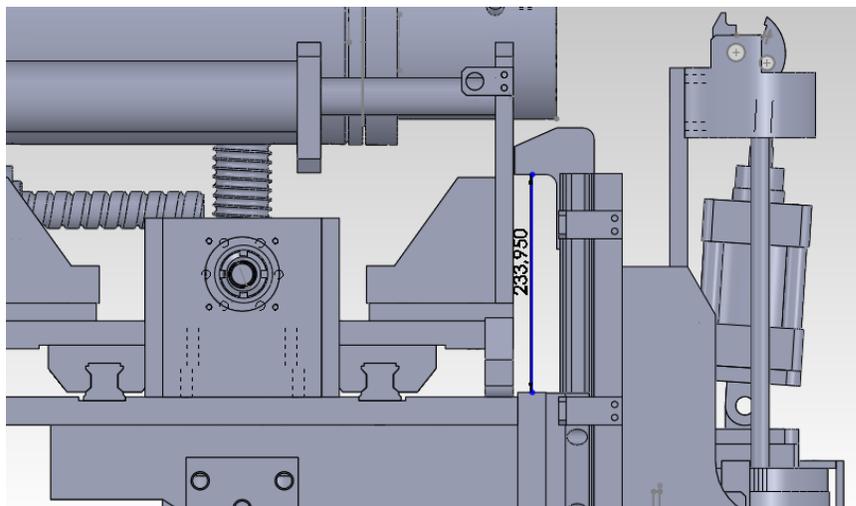


Figura 65: Desplazamiento del Eje Y.
Elaboración: Fuente propia.

Eje Z

Está ubicado perpendicular al mandril de la máquina, y en dirección horizontal. Este eje al igual que el eje Y es el encargado de posicionar correctamente el mandril de la máquina para realizar un movimiento concéntrico con la espiral, lo que permite utilizar distintos espirales de distinto diámetro con la misma máquina.

Las especificaciones técnicas del eje Z tenemos lo siguiente: Tiene un tornillo de 40 mm de diámetro, cada 36 grados de giro del motor es un milímetro en el movimiento lineal, como se observa en la figura 66, en la parte inferior izquierda se encuentran los rieles, estos rieles son diseñados por SKF y están creados para trabajar con una alta eficiencia que utiliza un sistema de bolas para mantener las pérdidas por fricción en un nivel mínimo.

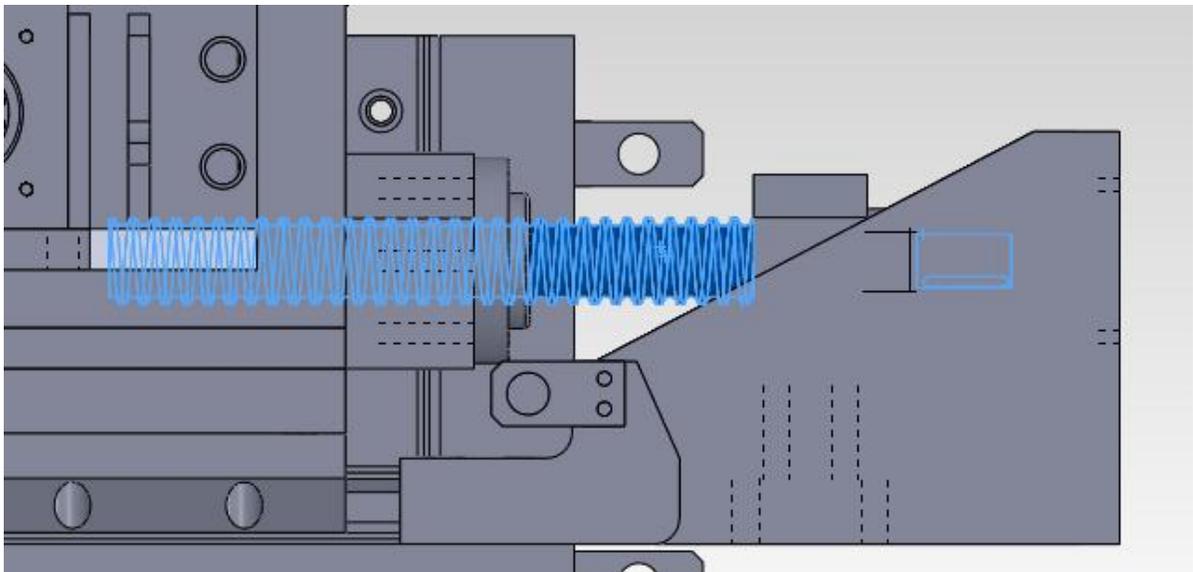


Figura 66: Tornillo sinfín del Eje Z.
Elaboración: Fuente propia.

En la figura 67 se muestra la configuración del eje Z en el programa SolidWorks para colocar la dirección y con respecto a que pieza se mueve.

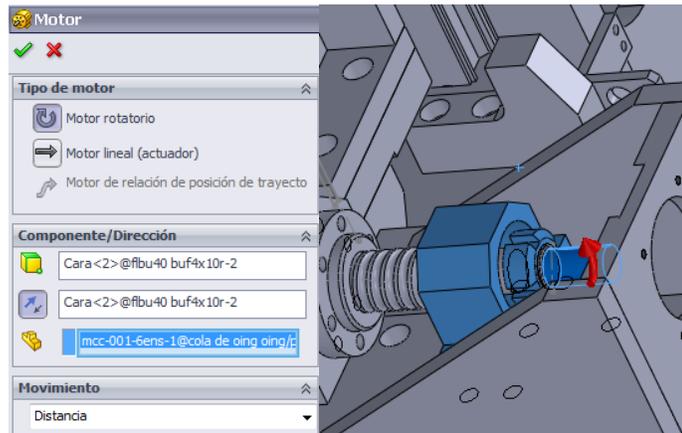


Figura 67: Motor Giratorio del Eje Z.
Elaboración: Fuente propia.

Como se muestra en la figura 68 se muestra que su carrera es de 191 mm. Para realizar el control en LabVIEW se requieren los movimientos en grados de giro del motor, en esa unidad se tiene un alcance de 6876 grados de movimiento.

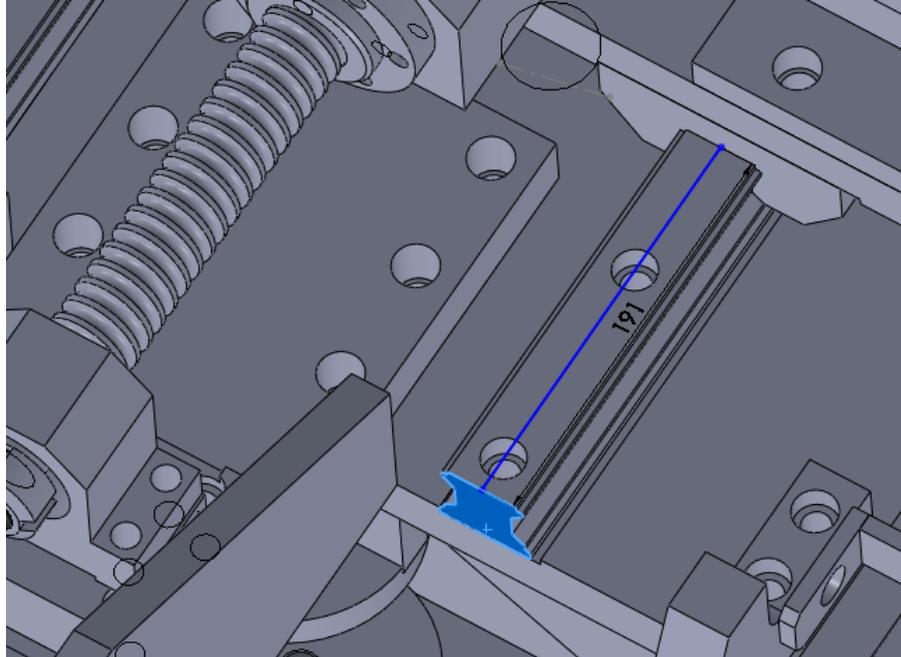


Figura 68: Recorrido del Eje Z.
Elaboración: Fuente propia.

Anexos.3 Modelos de reductores a utilizar.

Tabla 8: Acoples lineales de par medio

MOTOR	SELECTION CHART FOR BSM N-SERIES AND STANDARD GEARHEADS (MRP)												
	BSM Series	1 Stage Ratios					2 Stage Ratios						
3		4	5	7	10	16	20	25	35	40	50	70	100
50N - 1XX	070	050	050	050	050	050	070	090	090	090	090	090	*
50N - 2XX	070	050	050	070	070	070	090	090	090	090	090	*	*
50N - 3XX	070	050	070	070	070	090	090	090	090	090	*	*	*
63N - 1XX	070	070	070	070	070	070	070	090	090	090	090	120	120
63N - 2XX	070	070	070	070	070	090	090	090	090	120	120	120	*
63N - 3XX	070	070	070	070	090	090	090	120	120	120	120	120	*
80N - 1XX	090	090	090	090	090	090	090	090	120	120	120	120	155
80N - 2XX	090	090	090	090	090	090	120	120	120	120	120	155	*
80N - 3XX	090	090	090	090	120	120	120	120	120	155	155	*	*
90N - 1XX	120	120	120	120	120	120	120	120	155	155	155	*	*
90N - 2XX	120	120	120	120	155	120	155	155	*	*	*	*	*
90N - 3XX	120	120	120	120	155	155	155	155	*	*	*	*	*
100N - 1XXX	120	120	120	120	155	155	155	*	*	*	*	*	*
100N - 2XXX	120	120	120	155	*	*	*	*	*	*	*	*	*
100N - 3XXX	120	120	155	155	*	*	*	*	*	*	*	*	*
100N - 4XXX	120	120	155	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 9: Acoples lineales de par alto

MOTOR	SELECTION CHART FOR BSM N-SERIES AND HIGHER TORQUE GEARHEADS (MNT)												
	BSM Series	1 Stage Ratios					2 Stage Ratios						
3		4	5	7	10	16	20	25	35	40	50	70	100
50N - 1XX	065	065	065	065	065	065	065	065	065	065	065	080	080
50N - 2XX	065	065	065	065	065	065	065	065	065	080	080	080	*
50N - 3XX	065	065	065	065	065	065	065	080	080	080	080	*	*
63N - 1XX	065	065	065	065	065	065	065	065	065	080	080	080	115
63N - 2XX	065	065	065	065	065	065	065	080	080	080	080	115	115
63N - 3XX	065	065	065	065	065	065	080	080	080	080	080	115	115
80N - 1XX	080	080	080	080	080	080	080	080	080	080	080	115	115
80N - 2XX	080	080	080	080	080	080	080	080	115	115	115	115	140
80N - 3XX	080	080	080	080	080	080	080	115	115	115	115	140	*
90N - 1XX	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	140	180
90N - 2XX	115	115	115	115	115	115	115	115	140	140	140	180	*
90N - 3XX	115	115	115	115	115	115	115	140	140	180	180	210	*
100N - 1XXX	115	115	115	115	115	115	115	140	140	180	180	210	*
100N - 2XXX	115	115	115	115	140	140	140	140	210	210	*	*	*
100N - 3XXX	115	115	115	140	180	180	180	210	*	*	*	*	*
100N - 4XXX	115	115	115	140	*	210	210	210	*	*	*	*	*

Tabla 10: Acoples de 90°

MOTOR	SELECTION CHART FOR BSM N-SERIES AND RIGHT ANGLE GEARHEADS (MRA)												
	1 Stage Ratios					2 Stage Ratios							
BSM Series	3	4	5	7	10	16	20	25	35	40	50	70	100
50N - 1XX	065	065	065	065	065	065	065	065	065	080	080	80	080
50N - 2XX	065	065	065	065	065	065	065	080	080	080	080	115	*
50N - 3XX	065	065	080	080	080	080	080	080	080	080	115	115	
63N - 1XX	065	065	065	065	065	065	065	065	080	080	080	115	115
63N - 2XX	065	065	065	080	080	080	080	080	080	080	115	115	115
63N - 3XX	065	065	065	080	080	080	080	080	080	080	115	115	115
80N - 1XX	080	080	080	080	080	080	080	080	080	080	115	115	*
80N - 2XX	080	080	080	080	080	080	080	080	115	115	140	180	*
80N - 3XX	080	080	080	080	080	080	080	115	115	140	180	*	
90N - 1XX	115	115	115	115	115	115	115	115	140	180	180	*	*
90N - 2XX	115	115	115	115	115	115	115	140	180	*	*	*	
90N - 3XX	115	115	115	115	115	115	180	180	*	*	*	*	
100N-1XXX	115	115	115	115	115	140	180	180	*	*	*	*	
100N-2XXX	115	115	115	115	140	180	*	*	*	*	*	*	
100N-3XXX	115	115	115	140	180	*	*	*	*	*	*	*	
100N-4XXX	115	115	140	180	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Anexos.4 Tablas para Selección de los Motores

BSM N-Series Brushless Servo Motors					
Catalog Number	Continuous Stall Torque		Continuous Stall Amps	Motor Inertia	
	N-m	Lb-in		Kg-cm ²	Lb-In-s ²
BSM50N-133AA	0.45	3.90	1.49	0.06774	6e-005
BSM50N-133AF	0.45	3.90	1.49	0.06774	6e-005
BSM50N-175AA	0.45	3.90	0.79	0.06774	6e-005
* BSM50N-175AF	0.45	3.90	0.79	0.06774	6e-005
BSM50N-233AA	0.90	7.90	2.87	0.12419	0.00011
* BSM50N-233AF	0.90	7.90	2.87	0.12419	0.00011
BSM50N-275AA	0.90	7.90	1.42	0.12419	0.00011
BSM50N-275AF	0.90	7.90	1.42	0.12419	0.00011
BSM50N-333AA	1.36	12.00	4.56	0.18064	0.00016
* BSM50N-333AF	1.36	12.00	4.56	0.18064	0.00016
BSM50N-375AA	1.36	12.00	2.38	0.18064	0.00016
BSM50N-375AF	1.36	12.00	2.38	0.18064	0.00016
BSM63N-133AA	0.77	6.80	2.01	0.20322	0.00018
* BSM63N-133AF	0.77	6.80	2.01	0.20322	0.00018
BSM63N-150AA	0.77	6.80	1.83	0.20322	0.00018
* BSM63N-150AF	0.77	6.80	1.83	0.20322	0.00018
BSM63N-175AA	0.77	6.80	1.01	0.20322	0.00018
BSM63N-175AF	0.77	6.80	1.01	0.20322	0.00018
BSM63N-175RF	0.77	6.80	1.01	0.20322	0.00018
BSM63N-233AA	1.47	13.00	3.93	0.38386	0.00034
* BSM63N-233AF	1.47	13.00	3.93	0.38386	0.00034
BSM63N-250AA	1.47	13.00	2.82	0.38386	0.00034
* BSM63N-250AF	1.47	13.00	2.82	0.38386	0.00034
BSM63N-275AA	1.47	13.00	1.94	0.38386	0.00034
BSM63N-275AF	1.47	13.00	1.94	0.38386	0.00034
BSM63N-275RA	1.47	13.00	1.94	0.38386	0.00034
BSM63N-275RF	1.47	13.00	1.94	0.38386	0.00034
BSM63N-333AA	2.09	18.50	6.03	0.5645	0.0005
* BSM63N-333AF	2.09	18.50	6.03	0.5645	0.0005
BSM63N-350AA	2.09	18.50	4.05	0.5645	0.0005
* BSM63N-350AF	2.09	18.50	4.05	0.5645	0.0005

BSM63N-375AA	2.09	18.50	2.82	0.5645	0.0005
* BSM63N-375AF	2.09	18.50	2.82	0.5645	0.0005
BSM63N-375RA	2.09	18.50	2.82	0.5645	0.0005
* BSM63N-375RF	2.09	18.50	2.82	0.5645	0.0005
BSM80N-133AA	1.65	14.60	4.7	1.02	0.00091
* BSM80N-133AF	1.65	14.60	4.7	1.02	0.00091
BSM80N-150AA	1.65	14.60	3.05	1.02	0.00091
* BSM80N-150AF	1.65	14.60	3.05	1.02	0.00091
BSM80N-175AA	1.65	14.60	2.14	1.02	0.00091
* BSM80N-175AF	1.65	14.60	2.14	1.02	0.00091
BSM80N-233AA	3.20	28.30	8.76	1.82	0.00162
* BSM80N-233AF	3.20	28.30	8.76	1.82	0.00162
BSM80N-250AA	3.20	28.30	5.61	1.82	0.00162
* BSM80N-250AF	3.20	28.30	5.61	1.82	0.00162
BSM80N-275AA	3.20	28.30	3.93	1.82	0.00162
BSM80N-275AF	3.20	28.30	3.93	1.82	0.00162
BSM80N-275RA	3.20	28.30	3.93	1.82	0.00162
BSM80N-275RF	3.20	28.30	3.93	1.82	0.00162
* BSM80N-333AA	4.52	40.00	12.9	2.51767	0.00223
* BSM80N-333AF	4.52	40.00	12.9	2.51767	0.00223
BSM80N-350AA	4.52	40.00	8.61	2.51767	0.00223
* BSM80N-350AF	4.52	40.00	8.61	2.51767	0.00223
BSM80N-375AA	4.52	40.00	5.54	2.51767	0.00223
BSM80N-375AF	4.52	40.00	5.54	2.51767	0.00223
BSM80N-375RA	4.52	40.00	5.54	2.51767	0.00223
BSM90N-1150AA	6.00	53.00	4.03	3.387	0.003
* BSM90N-1150AF	6.00	53.00	4.03	3.387	0.003
BSM90N-1250AA	6.00	53.00	2.6	3.387	0.003
* BSM90N-1250AF	6.00	53.00	2.6	3.387	0.003
BSM90N-175AA	6.00	53.00	7.81	3.387	0.003
* BSM90N-175AF	6.00	53.00	7.81	3.387	0.003
BSM90N-2150AA	10.00	88.00	6.15	6.3224	0.0056
BSM90N-2150AF	10.00	88.00	6.15	6.3224	0.0056
BSM90N-2250AA	10.00	88.00	4.19	6.3224	0.0056
* BSM90N-2250AF	10.00	88.00	4.19	6.3224	0.0056
BSM90N-275AA	10.00	88.00	11.6	6.3224	0.0056
* BSM90N-275AF	10.00	88.00	11.6	6.3224	0.0056
BSM90N-3150AA	13.30	117.00	8.6	9.2578	0.0082
* BSM90N-3150AF	13.30	117.00	8.6	9.2578	0.0082
BSM90N-3250AA	13.30	117.00	5.59	9.2578	0.0082
* BSM90N-3250AF	13.30	117.00	5.59	9.2578	0.0082
BSM90N-375AA	13.30	117.00	19	9.2578	0.0082
* BSM90N-375AF	13.30	117.00	19	9.2578	0.0082
BSM100N-1150AA	14.00	123.90	9.47	13.548	0.012

BSM100N-1150AA	14.00	123.90	9.47	13.548	0.012
* BSM100N-1150AF	14.00	123.90	9.47	13.548	0.012
BSM100N-1250AA	14.00	123.90	5.9	13.548	0.012
* BSM100N-1250AF	14.00	123.90	5.9	13.548	0.012
BSM100N-2150AA	23.00	203.50	15.51	22.1284	0.0196
BSM100N-2150AF	23.00	203.50	15.51	22.1284	0.0196
BSM100N-2250AA	23.00	203.50	9.97	22.1284	0.0196
* BSM100N-2250AF	23.00	203.50	9.97	22.1284	0.0196
BSM100N-3150AA	34.00	300.00	21.08	30.8217	0.0273
BSM100N-3150AF	34.00	300.00	21.08	30.8217	0.0273
BSM100N-3250AA	34.00	300.00	14.75	30.8217	0.0273
* BSM100N-3250AF	34.00	300.00	14.75	30.8217	0.0273
BSM100N-4150AA	40.00	354.00	26.99	39.4021	0.0349
* BSM100N-4150AF	40.00	354.00	26.99	39.4021	0.0349
BSM100N-4250AA	40.00	354.00	16.87	39.4021	0.0349
* BSM100N-4250AF	40.00	354.00	16.87	39.4021	0.0349
* For delivery information, contact your local ABB or Baldor office.					

Anexos.5 Grafica de los Motores Elegidos

Eje X, Eje Z, Eje Gs:

Selección de motor:

BSM N-Series: BSM50N-175AA

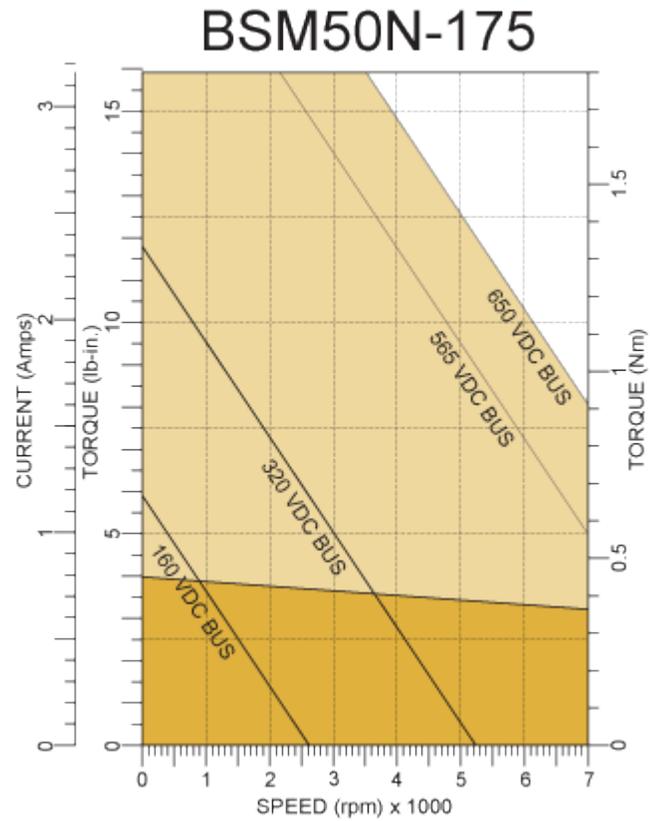


Figura 69: Motor Eje X, Eje Z, Eje Gs
Elaborado: Baldor.

Eje Y:

Selección de motor:

BSM N-Series: BSM63N-250AA

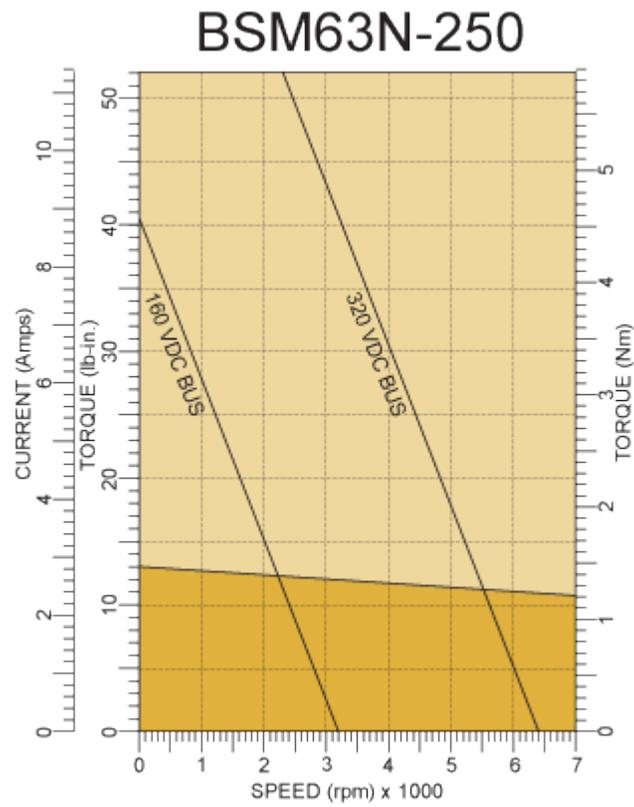


Figura 70: Motor Eje Y
Elaborado: Baldor.

Eje giratorio principal:

Selección de motor:

BSM N-Series: BSM50N-275AA

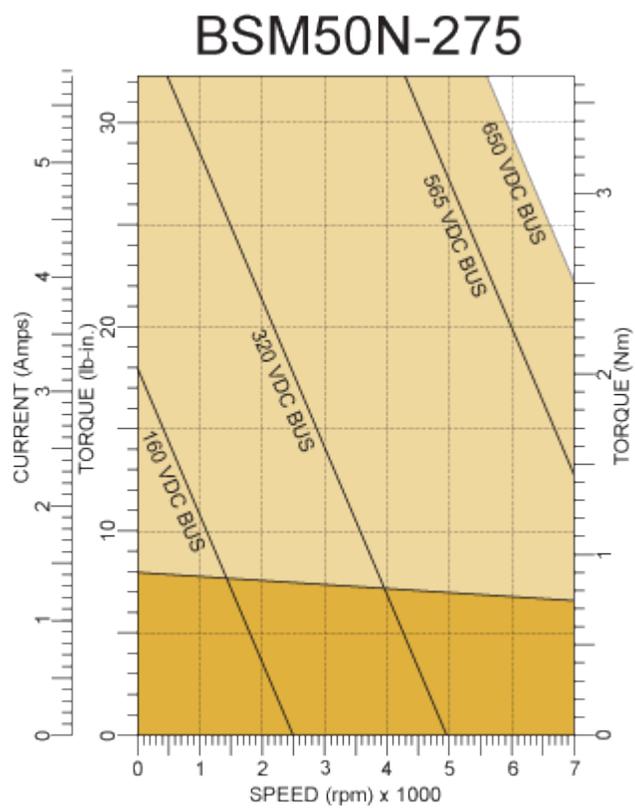


Figura 71: Motor Giratorio Principal
Elaborado: Baldor.

Apéndice.1 Programación del VI para guardar datos en la máquina.

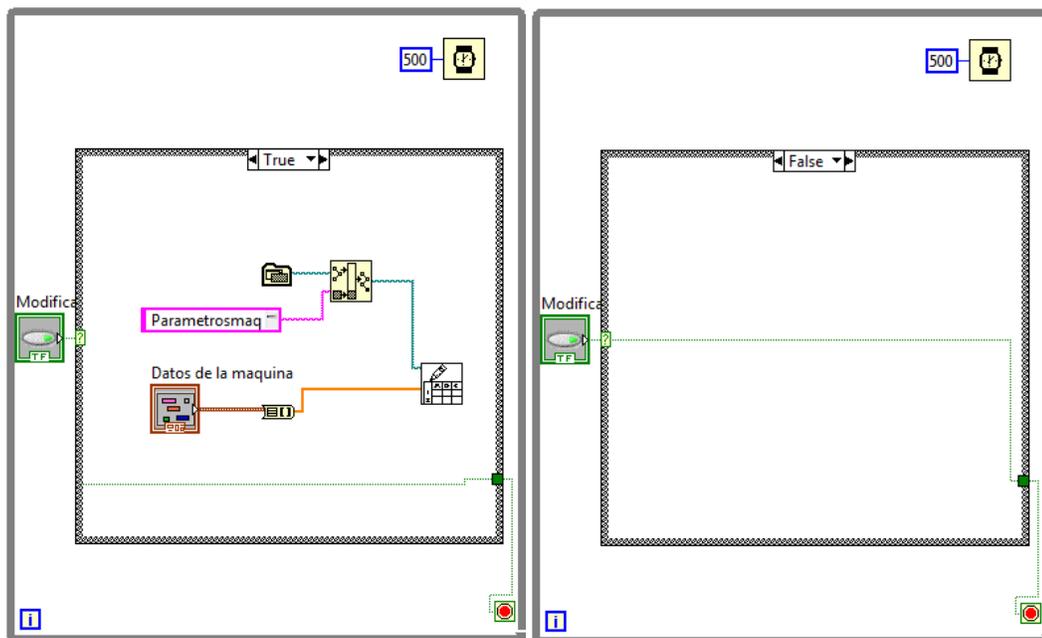


Figura 72: Programación Para Guardar los Datos en un Archivo.
Elaboración: Fuente propia

.Este VI guarda la información que se le coloca en el panel frontal, en la carpeta en la que se encuentra el mismo con el nombre de "parámetros máquina".

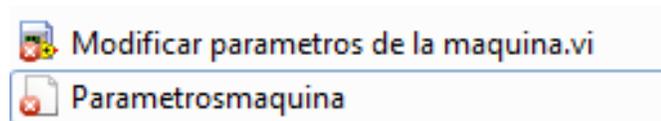


Figura 73: Archivo Generado.
Elaboración: Fuente propia

Apéndice.2 Programación del manejo de datos de la trayectoria para el motor.

Luego de realizar el panel frontal se realiza la programación como se muestra a continuación

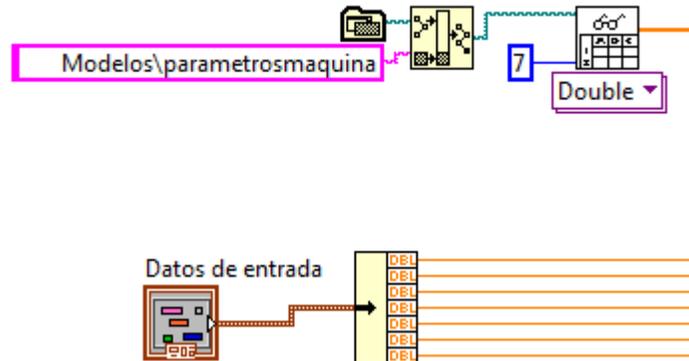


Figura 74: Lectura de Datos Necesarios Para el Cálculo de Trayectorias.
Elaboración: Fuente propia

En la ilustración anterior se muestra como mediante un VI de lectura de archivos se obtienen los parámetros de la máquina y mediante el clúster de "Datos de entrada" se leen los datos introducidos por el usuario en el panel frontal.

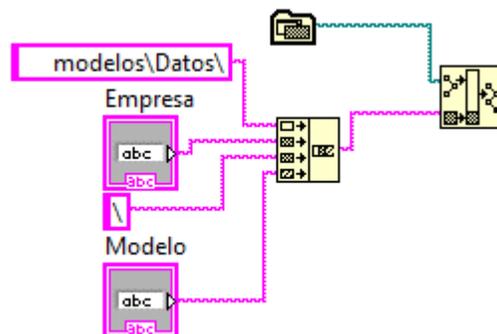


Figura 75: Lectura de Datos Necesarios Para la Organización de los Archivos por Empresas.
Elaboración: Fuente propia

Para generar una base de datos organizada por empresas se requiere que el usuario elija la empresa de una lista y le coloque un nombre al modelo, el cual se añadirá a la carpeta correspondiente a la de la empresa elegida.

Después de obtener los datos de entrada se procede a realizar el manejo de los datos

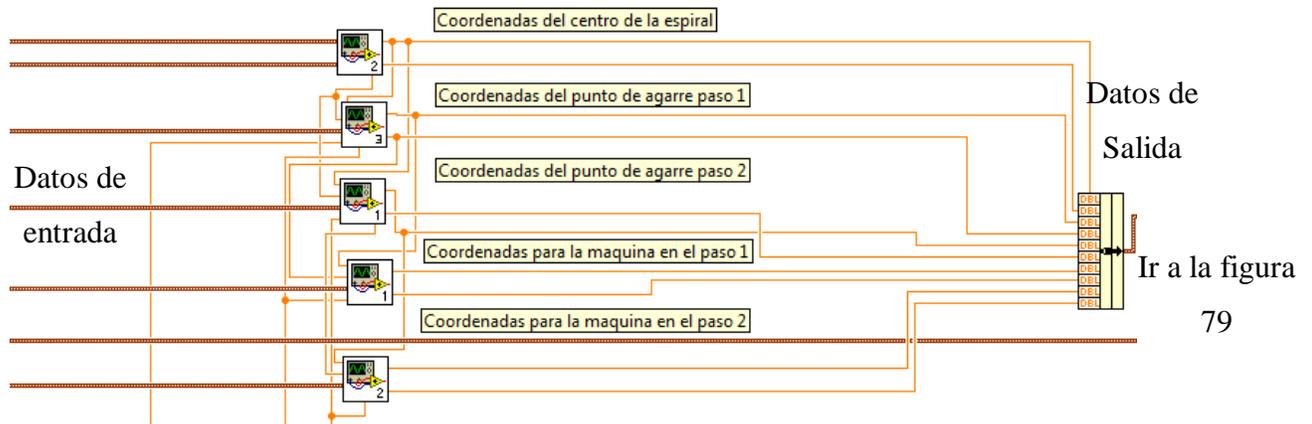


Figura 76: SubVIs, Simplificación de la Programación del Cálculo de Trayectorias.
Elaboración: Fuente propia

Por estética se colocaron las ecuaciones en SubVIs para que no recargan visualmente el VI de cálculo. Cada SubVI mostrado en la ilustración anterior tiene las ecuaciones del cálculo mostradas anteriormente (Ecuaciones 1-23).

Luego de realizar el manejo de los datos se pasa a la transcripción y almacenamiento de los datos

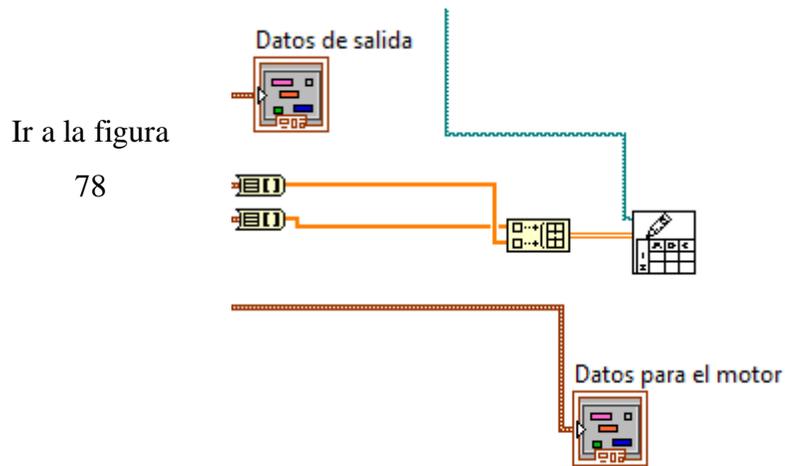


Figura 77: Creación de un Archivo tipo "Spreadsheet" para el resultado de los cálculos de Trayectoria.
Elaboración: Fuente propia

En la ilustración anterior se colocan los datos de salida y los datos para el motor en un archivo tipo "Spreadsheet" el cual estará ubicado en la carpeta con el nombre de la empresa elegida y con nombre igual al nombre del modelo que se colocó en el panel frontal del VI.

Apéndice.3 Programación de Creación de Modelos

La programación de "Creación de modelos" se realiza organizando los datos de entrada y cableándolos hasta el SubVI-"Cálculo de Trayectorias" el cual tiene como salida los datos para los motores y a su vez se guarda en la base de datos con el nombre del modelo y la empresa a la cual pertenece.

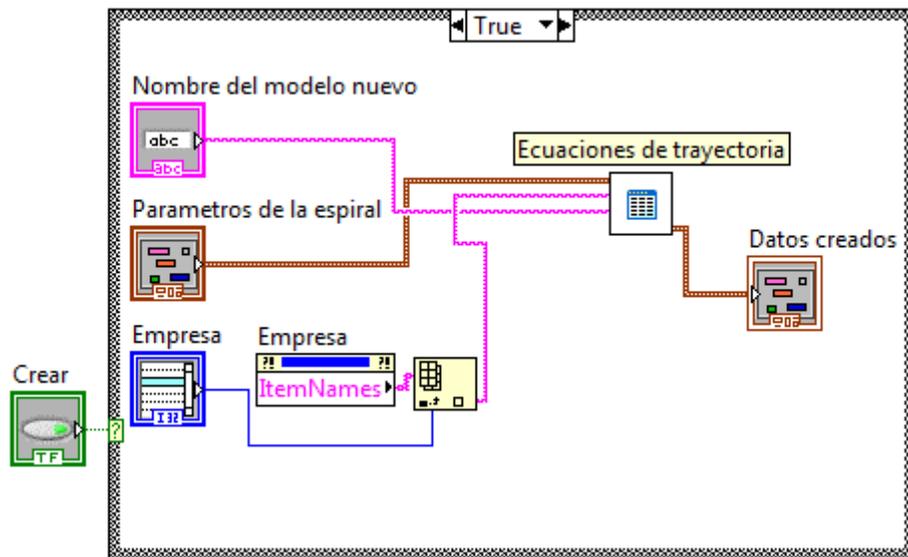


Figura 78 Título: Programación Para la Creación de Nuevos Modelos.
Elaboración: Fuente propia.

Apéndice.4 Programación para elegir un modelo

Se llena la lista con los modelos existentes dentro de la carpeta de cada empresa. Como se puede ver en la figura 79.

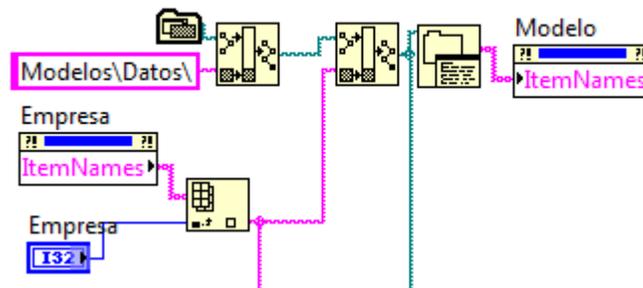


Figura 79: Programación Para la Actualización de la Lista de Modelos en el Panel Frontal
Elaboración: Fuente propia

Al pulsar el botón de cargar en el panel frontal, el programa procede a buscar el archivo correspondiente al ítem que está seleccionado en la lista de modelos y a cargar los datos dentro de este archivo.

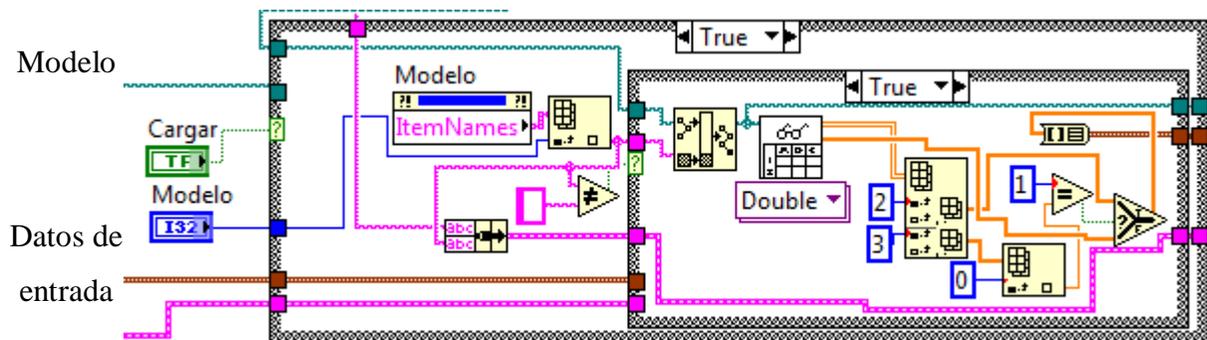


Figura 80: Programación Para Cargar Datos.
Elaboración: Fuente propia

Apéndice.5 Programación de la sección de Proceso

Para la programación de la sección de "proceso" se genera un código capaz de enviar la información para realizar movimientos lineales en cada uno de los ejes como se muestra en la figura 81.

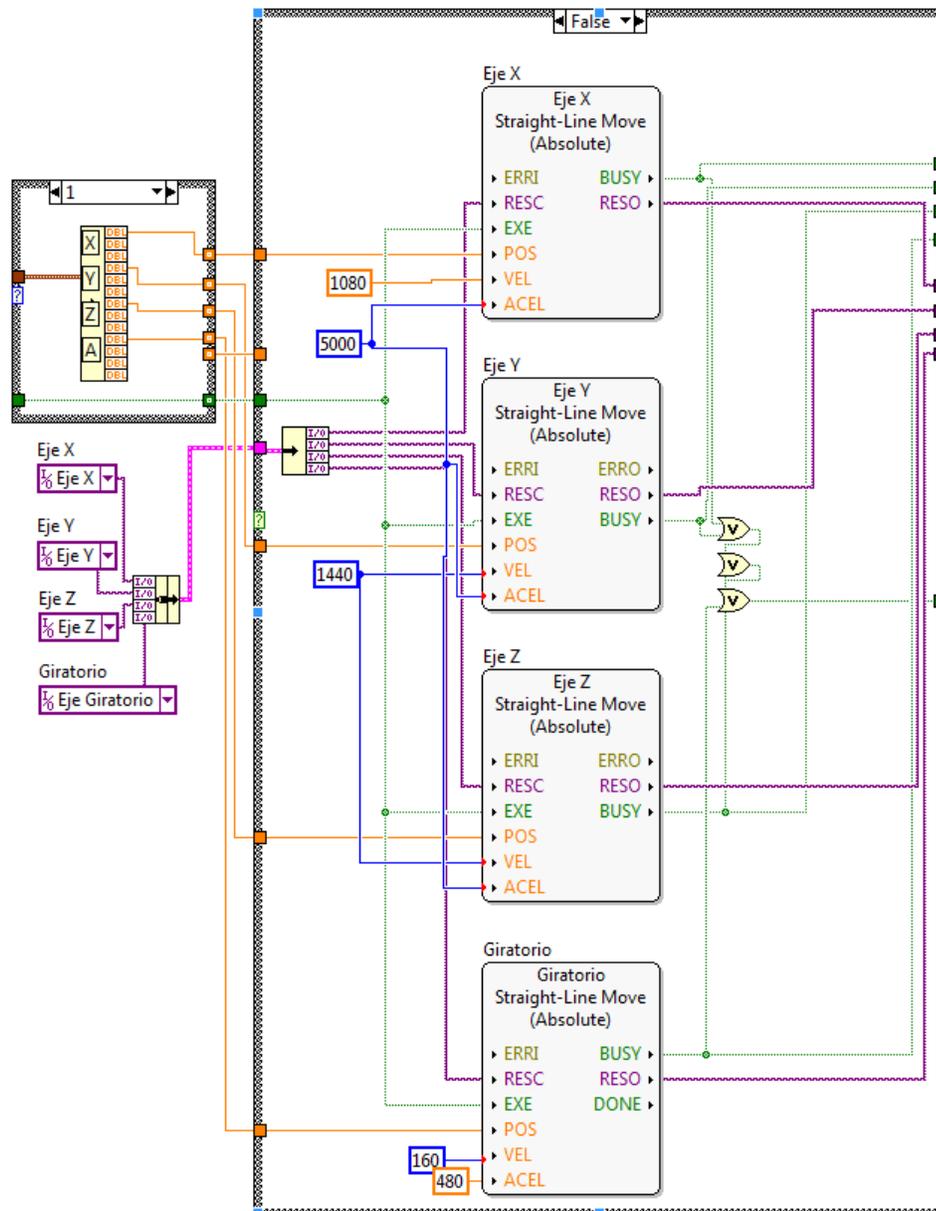


Figura 81: Programación de los movimientos independientes.
Elaboración: Fuente propia

En el transitorio del paso 1 al paso 2 es necesario crear un movimiento simultáneo y esto se conoce como "Gearing" el cual acopla a los ejes electrónicamente y su programación es la figura 82.

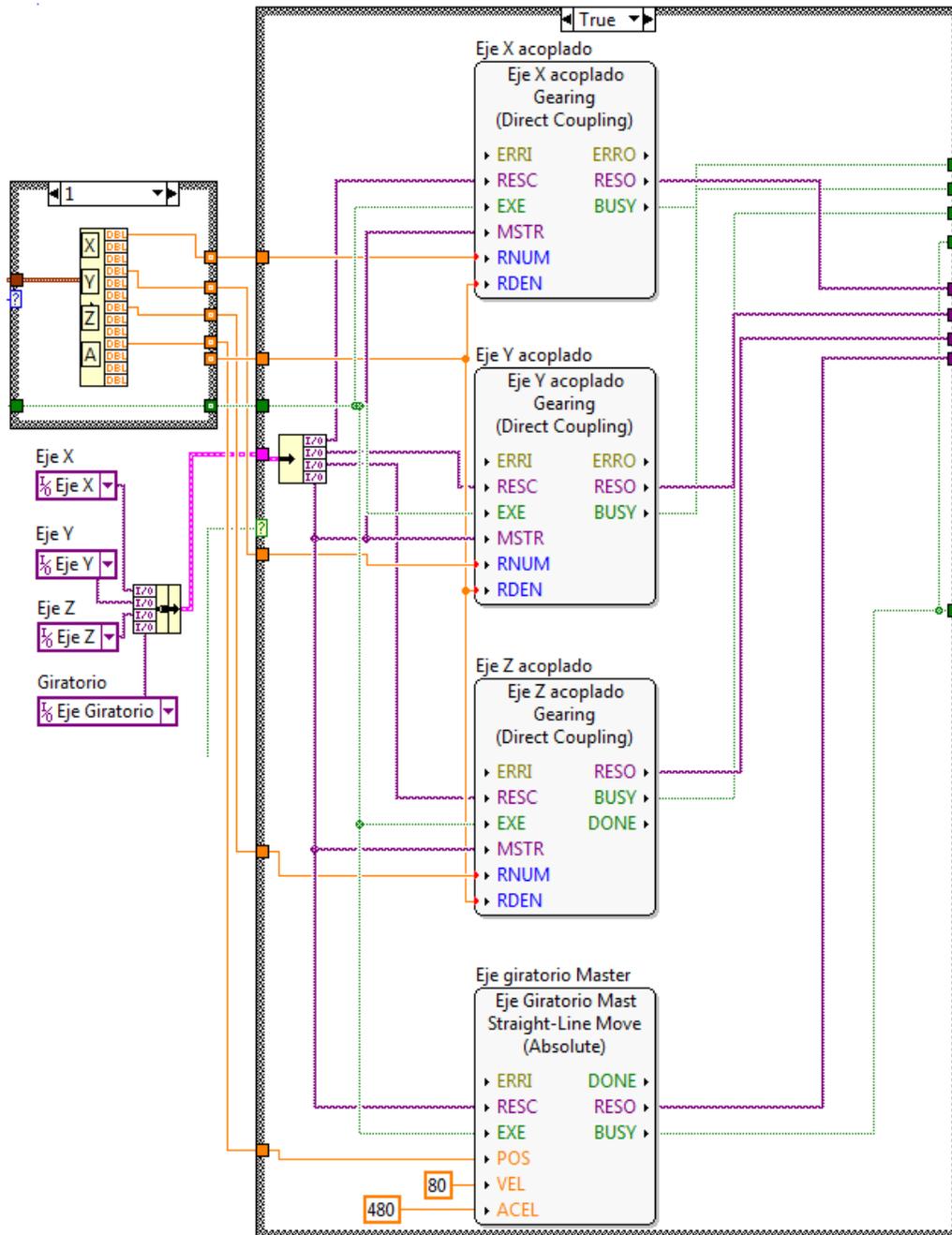


Figura 82: Programación Simultánea en los Ejes.
Elaboración: Fuente propia

Este programa realiza el acoplamiento virtual de los ejes X, Y, Z con el movimiento del mandril principal en el momento del doblez del extremo de la pieza. Es decir que el movimiento de los 4 ejes se realizará simultáneamente con una duración controlada por el movimiento del mandril de la máquina.

Apéndice.6 Programación para el cambio de Pasos

Para el control de secuencia del programa se tienen 4 entradas:

Cable que indica si ya culminó el movimiento, botón que indica si se ejecutó el movimiento, botón de "Posición inicial", botón de "Ejecutar c/c" y realimentación del paso actual de la máquina.

Como salidas se tiene: Led de "Pieza sujeta", led de "Extremo sujeta", cable de realimentación que indica el paso en el que se encuentra el programa, cable que ejecuta el movimiento en los servomotores.

Paso 0: en el paso 0 se espera que el botón de "Posición inicial" sea pulsado para avanzar al siguiente paso.

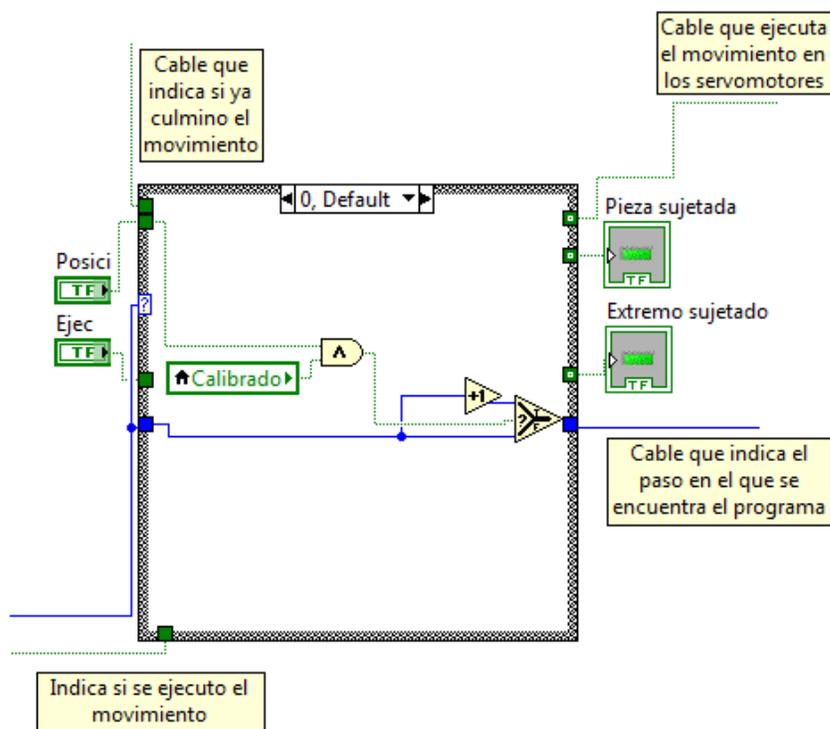


Figura 83: Programación Paso "0".
Elaboración: Fuente propia

Paso 1: se ejecuta los comandos para que se muevan a la posición inicial y se espera que el operador pulse el botón de "Ejecutar c/c" para pasar al siguiente paso

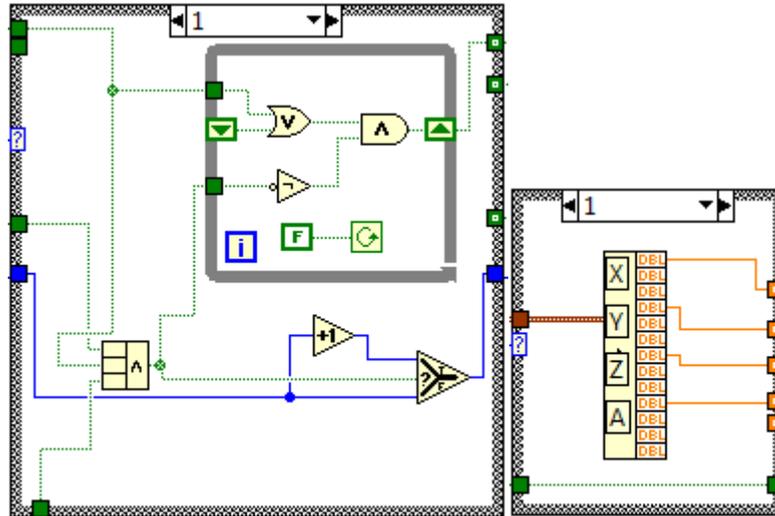


Figura 84: Programación Paso "1".
Elaboración: Fuente propia

Paso 2: se activa el actuador neumático que sujeta la pieza y Se espera 0.5 segundos para cambiar de paso

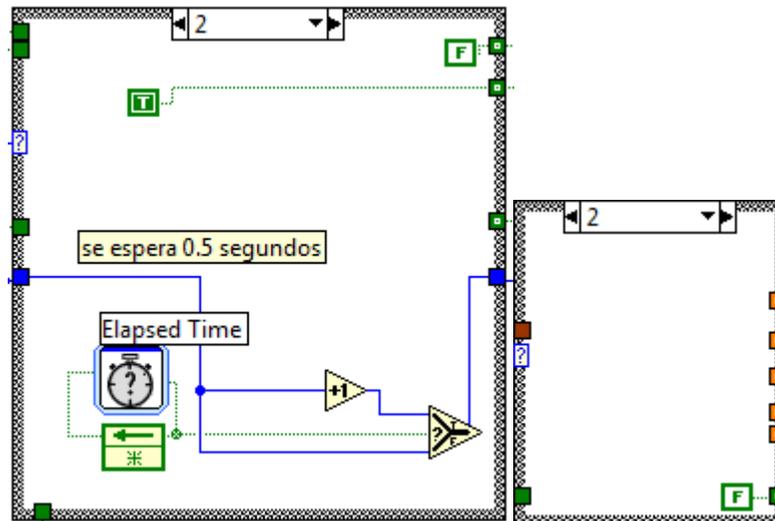


Figura 85: Programación Paso "2".
Elaboración: Fuente propia

Paso 3: se activa el actuador neumático que sujeta el extremo de la espira y se espera 0.5 segundos para cambiar de paso.

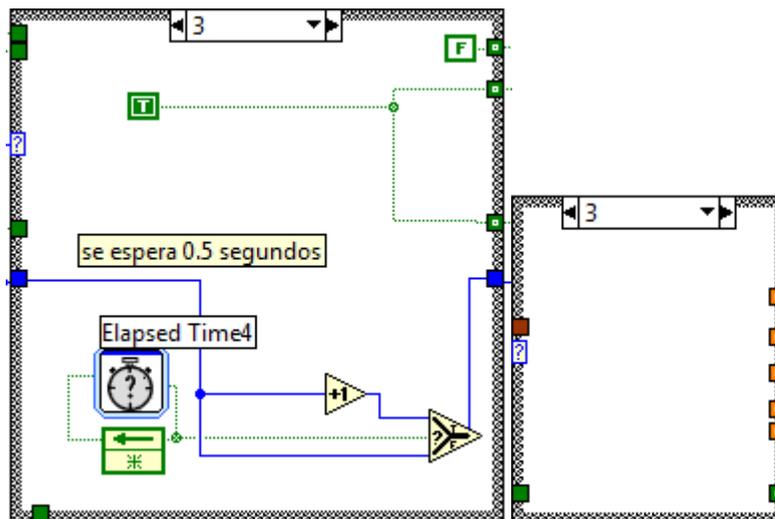


Figura 86: Programación Paso "3".
Elaboración: Fuente propia

Paso 4: se asegura de que todos los servomotores estén disponibles para realizar el doblado del extremo de la pieza.

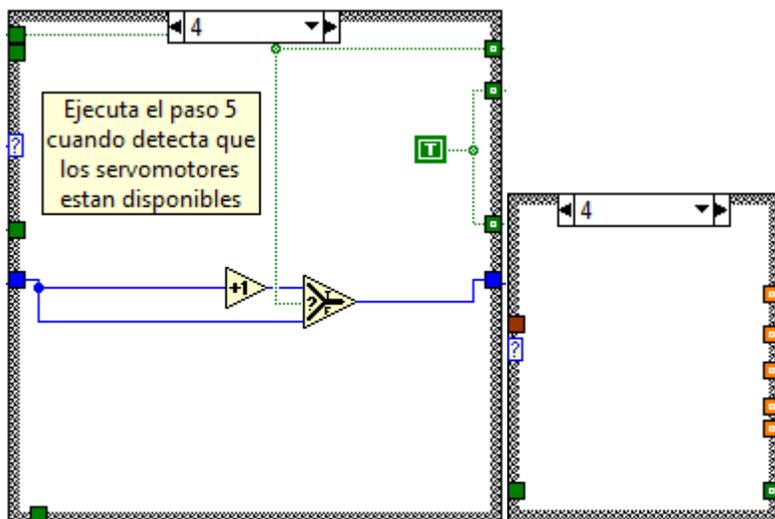


Figura 87: Programación Paso "4".
Elaboración: Fuente propia

Pasó 5: se envían los comandos a los servomotores de realizar el dobléz del extremo de la espira y se espera a que el movimiento termine para pasar al siguiente paso.

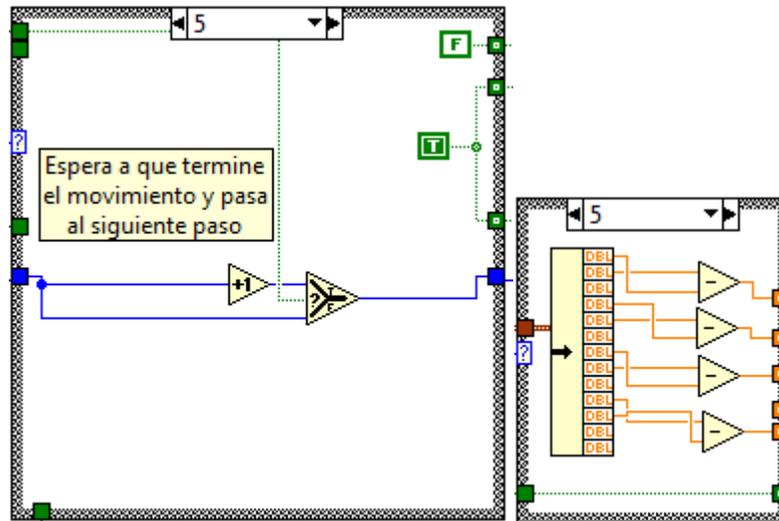


Figura 88: Programación Paso "5".
Elaboración: Fuente propia

Paso 6: se espera un segundo luego de terminar el movimiento para pasar al siguiente paso.

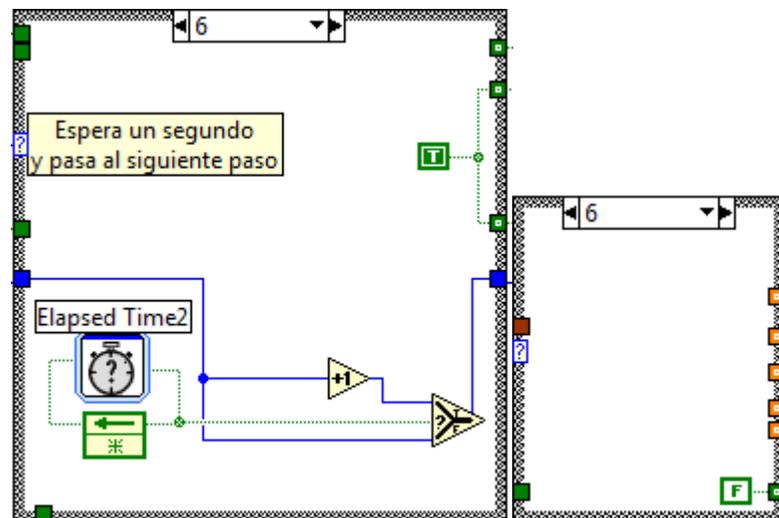


Figura 89: Programación Paso "6".
Elaboración: Fuente propia

Paso 7: se libera la pieza y se espera 0.5 segundos para pasar al siguiente paso.

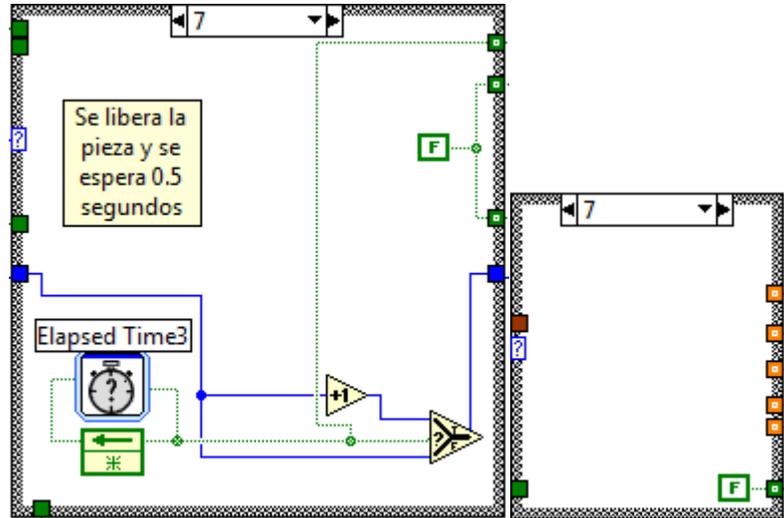


Figura 90: Programación Paso "7".
Elaboración: Fuente propia

Paso 8: se retira el mandril de la máquina para que la extracción de la pieza se haga con mayor facilidad.

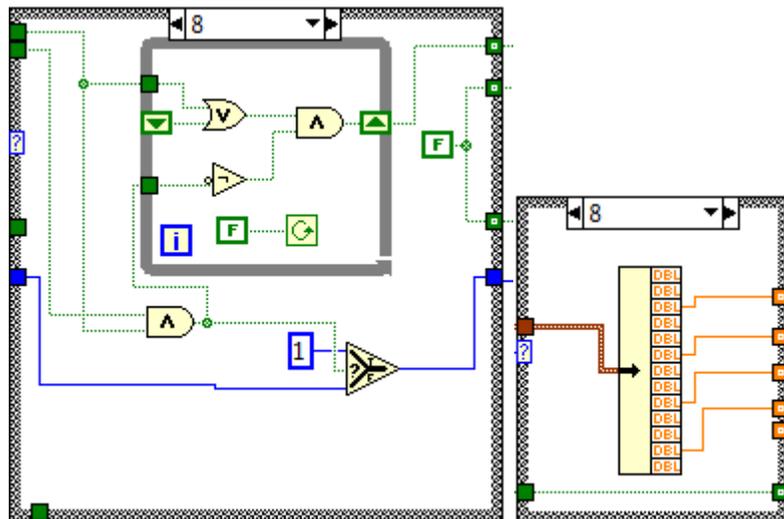


Figura 91: Programación Paso "8".
Elaboración: Fuente propia

Apéndice.7 Programación para Crear las Gráficas.

Las gráficas serán colocadas luego del programa de control de la máquina el cual permite leer información necesaria de los ejes que se utilizarán.

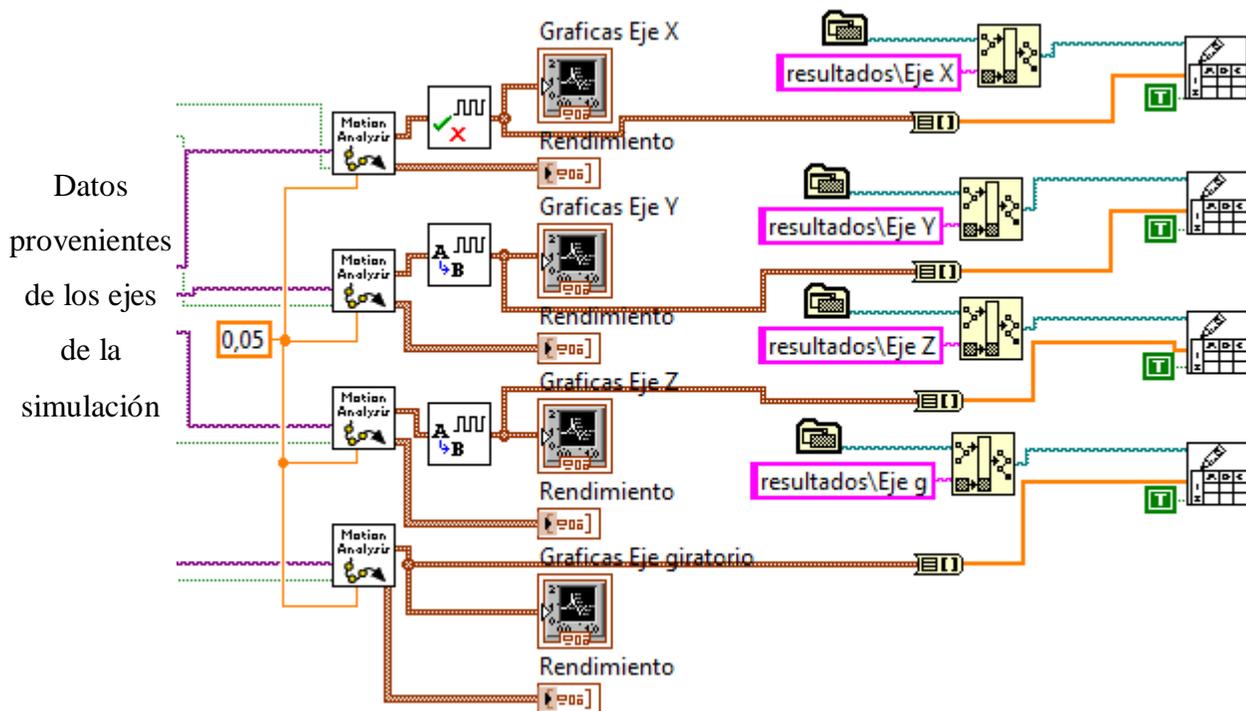


Figura 92: Programación Para la Presentación de las Graficas.
Elaboración: Fuente propia

Apéndice.8 Programación del Proceso

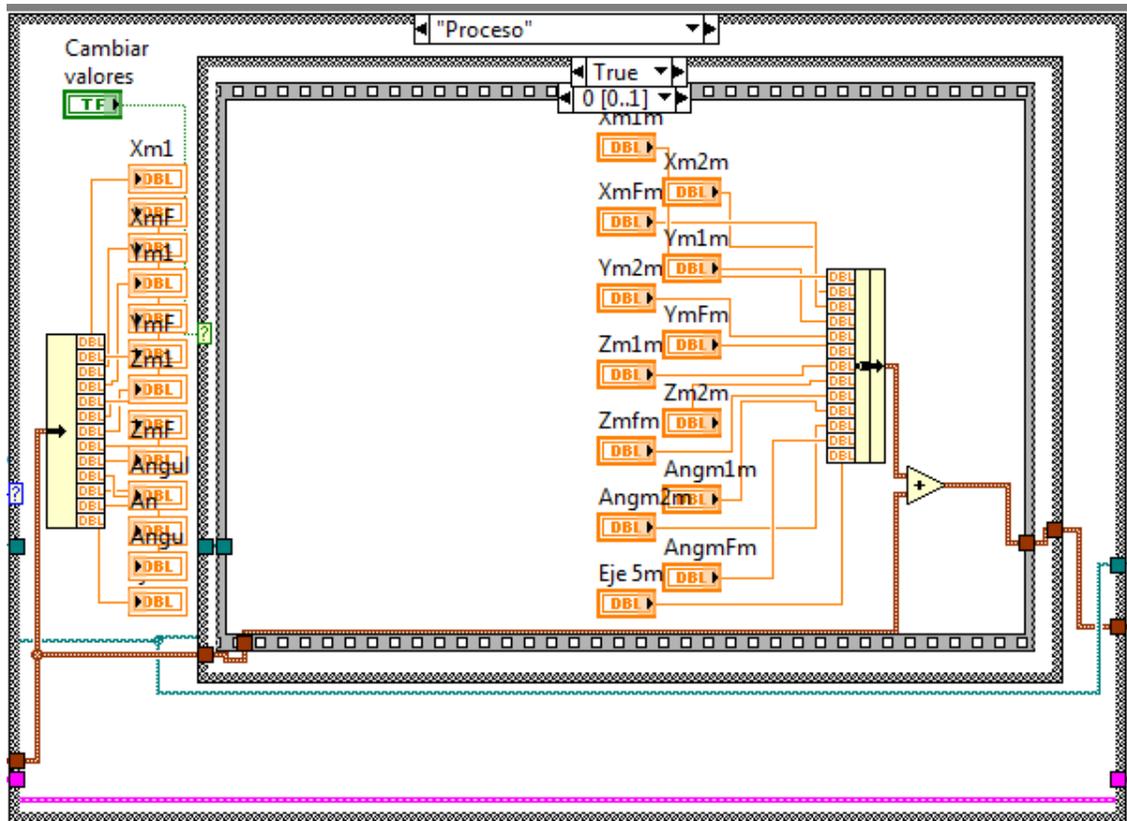


Figura 93: Programación para Modificar los Valores de Ejecución.
Elaboración: Fuente propia

Como se observa en la figura 93 al presionar el botón "Cambiar valores" se hace una suma algebraica de cada elemento con su respectivo dato y luego se colocan los valores de los controladores numéricos en 0 para evitar errores como se muestra en la figura 94.

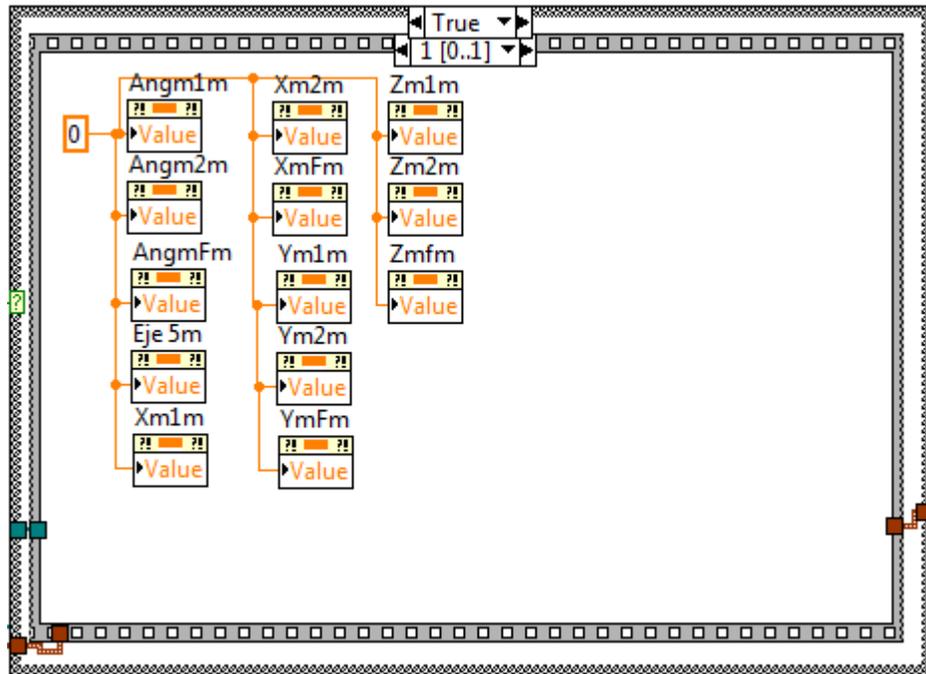


Figura 94: Programación Para Modificar los Controladores Numéricos al valor 0.
Elaboración: Fuente propia

Apéndice.9 : Programación del Ciclo FALSE.

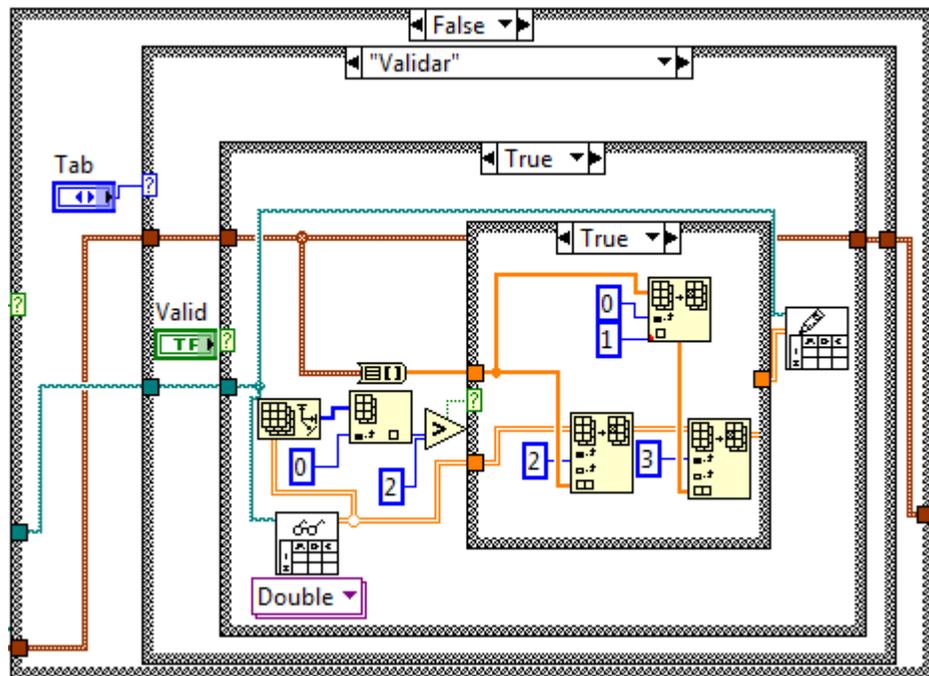


Figura 95: Programación Para Insertar los Datos Modificados al Archivo de Datos Original.
Elaboración: Fuente propia

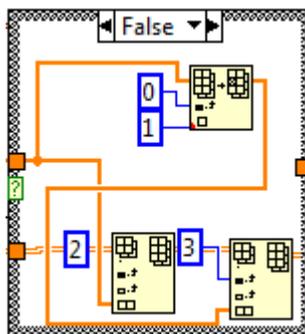


Figura 96: Programación Para Insertar o Modificar los Nuevos Datos al Archivo Existente.
Elaboración: Fuente propia

Elementos que son necesarios para correr la simulación entre LabVIEW y el SolidWorks

Proyecto de LabVIEW:

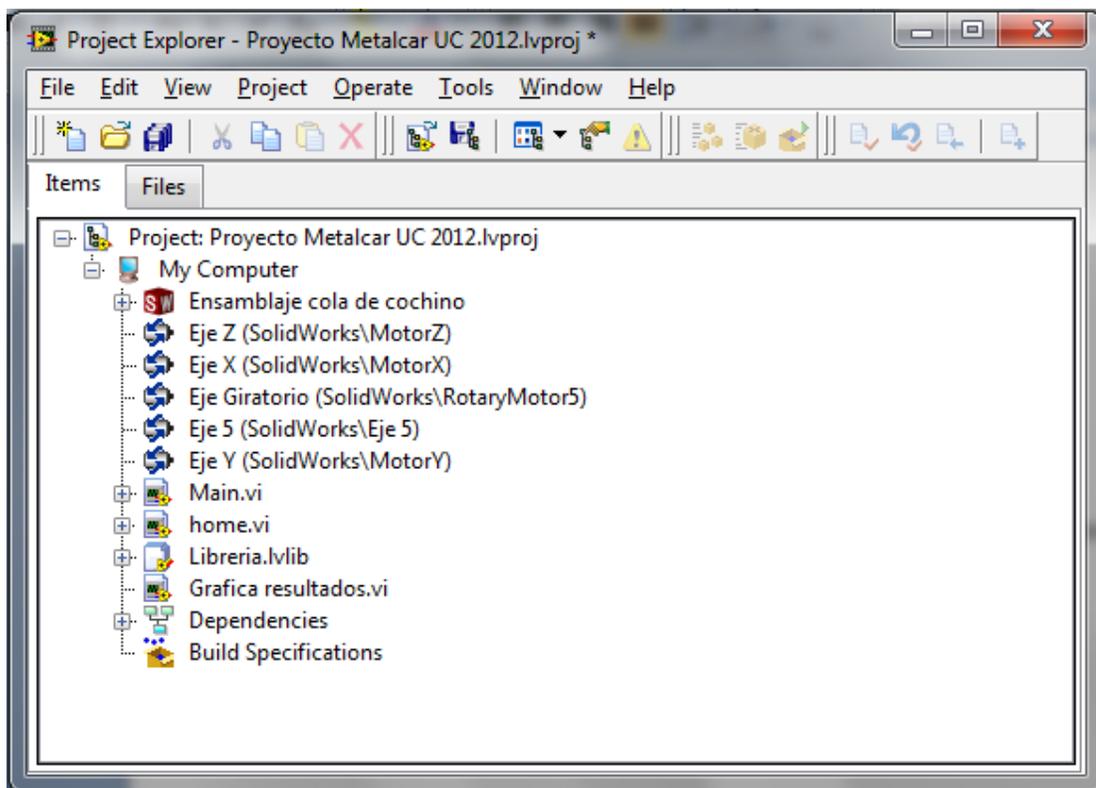


Figura 97: Descripción de los elementos del Proyecto MetalCar UC 2012
Elaboración: Fuente propia

Elementos del proyecto	Descripción
Ensamblaje cola de cochino	Este es el ensamblaje en SolidWorks de la máquina cola de cochino, al desplegar esta opción aparecen los ejes que LabVIEW detecto. Haciendo clic derecho se encuentra la opción de "Map Sensors" que permite al LabVIEW identificar cada uno de los sensores.
Ejes de Softmotion	Estos ejes son los servomotores que tiene el LabVIEW. Si se va a las propiedades se pueden modificar todas las variables relacionadas con cada uno de los drives como se muestra en la figura 98.
VI principal "Main.vi"	Este es el programa principal del proyecto.
VI secundario "home.vi"	Este es un SubVI que busca las referencias y ubica la máquina en un espacio de coordenadas.
VI secundario "Grafica de resultados"	este VI permite analizar los resultados de una simulación.
Libreria.lvlib	Esta librería contiene SubVI, ecuaciones y otros subprogramas de menor tamaño.

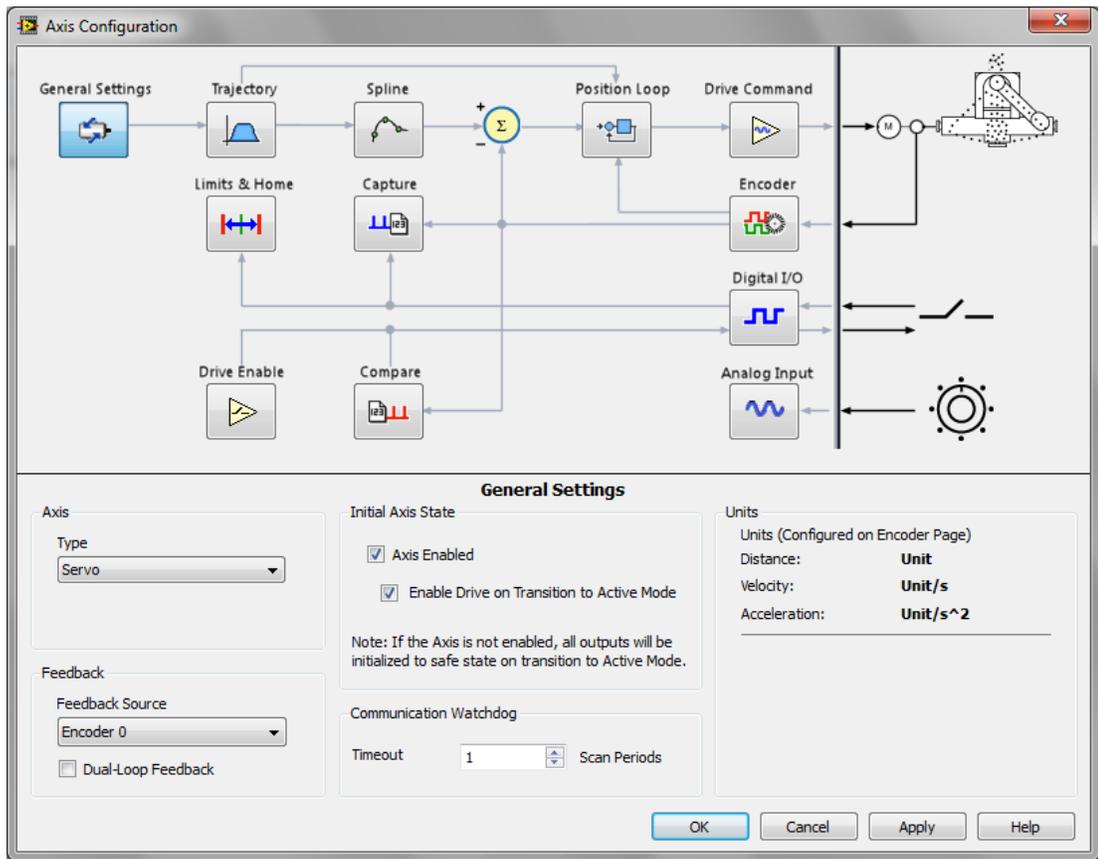


Figura 98: Configuración de los Ejes.
Elaboración: Fuente propia

Panel frontal del "Main.vi":

Pestaña de "Elegir Modelo"

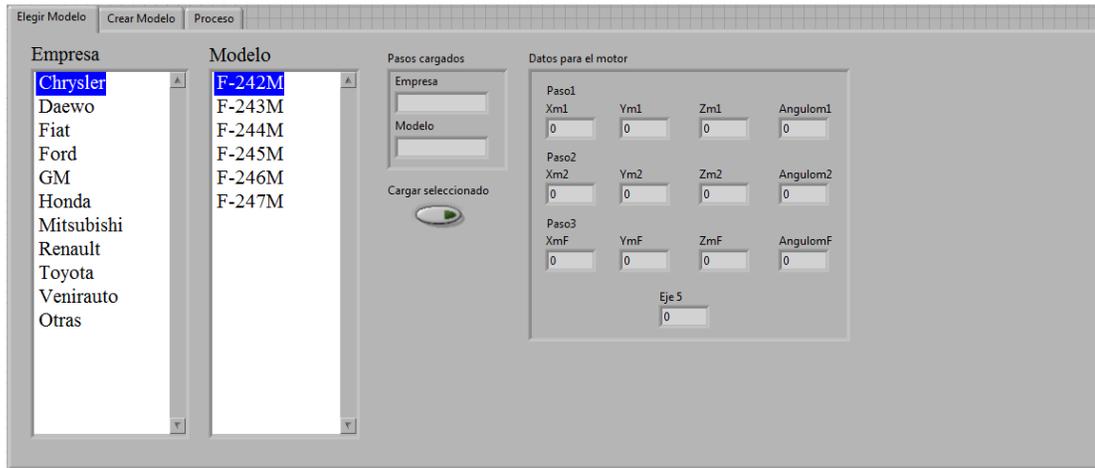


Figura 99: Pestaña de "Elegir modelo"

Elaboración: Fuente propia

Elementos	Descripción
Lista de datos "Empresa"	En esta lista se encuentran las empresas con las que trabaja MetalCar C.A.
Lista de datos "Modelo"	En esta lista se tienen los modelos pertenecientes a la empresa elegida.
Clúster de datos de salida "Pasos cargados"	Este clúster permite ver de qué empresa y de qué modelo son los datos cargados en el clúster "Datos para el motor".
Botón booleano "Cargar seleccionado"	Este botón permite cargar los datos de la empresa y modelo seleccionados en las listas "Empresa" y "Modelo".
Clúster de datos de salida "Pasos para el motor"	Este clúster de datos contiene los datos que utilizara la máquina para realizar el dobléz del extremo de la espiral.

Pestaña de "Crear Modelo"

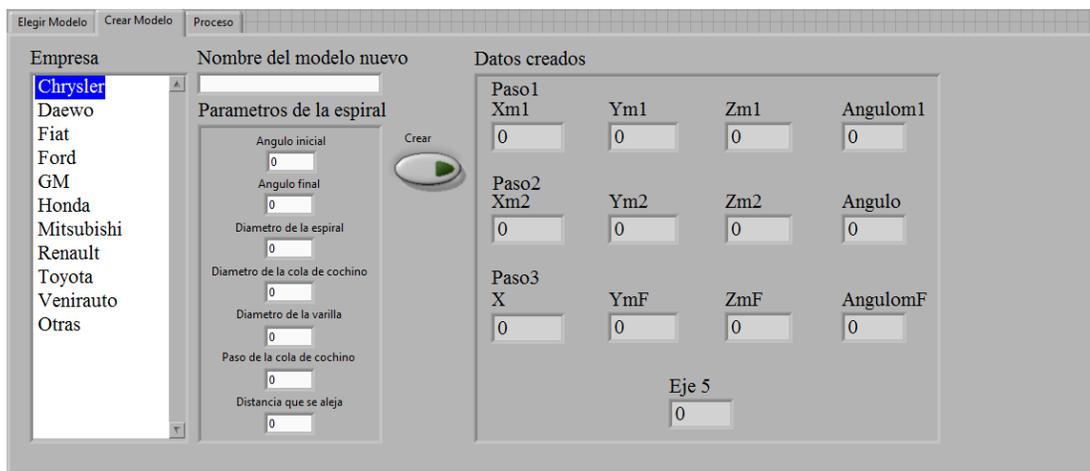


Figura 100: Pestaña de "Crear Modelo"
Elaboración: Fuente propia

Elementos	Descripción
Lista de datos "Empresa"	En esta lista se elige la empresa a la cual pertenece el nuevo modelo que se creara
Entrada de datos tipo cadena "Nombre del modelo nuevo"	En este espacio se escribe el nombre del modelo que se creara.
Clúster de datos de entrada "Parámetros de la espiral"	En este clúster de datos numéricos se colocan todos los datos necesarios para la creación de un modelo nuevo.
Botón booleano "Crear"	Este botón utiliza los datos de "Empresa", "Nombre del modelo nuevo" y "Parámetros de la espiral" y calcula los datos necesarios para realizar dicho modelo, los guarda en la base de datos y a su vez lo muestra en el clúster de datos "Datos creados"
Clúster de datos de salida "Datos creados"	En este clúster de datos serán mostrados los datos creados a partir de los datos de entrada necesarios una vez se pulse el botón de "Crear"

Pestaña de "Proceso"

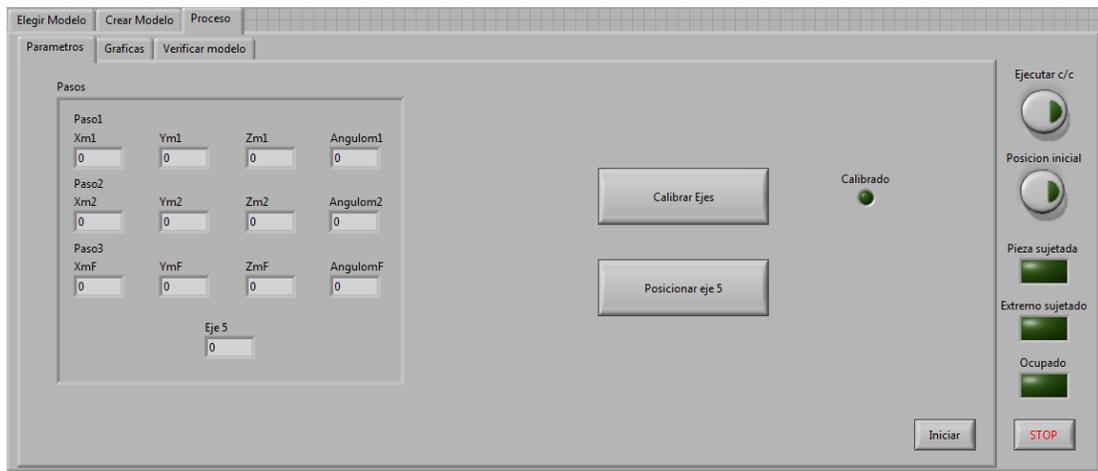


Figura 101: Pestaña de "Procesos"
Elaboración: Fuente propia

Elementos	Descripción
Grupo de pestañas "Parámetros", "Graficas" y "Verificar modelo"	estas pestañas contienen información de una gran cantidad de variables y serán explicadas individualmente divididas por pestañas.
Botón "Ejecutar c/c"	Este botón manda a la máquina a ejecutar el doblez de la pieza, para que realice la acción es necesario que la máquina se encuentre en la posición inicial y una vez pulsado la máquina envía la señal a los actuadores neumáticos que sostienen la pieza y luego realiza el movimiento.
Botón "Posición inicial"	Este botón manda a la máquina a colocarse en la posición inicial a la espera de una pieza. Es necesario que la máquina esta calibrada, se haya elegido un modelo y no se encuentren ocupados los motores.
Indicador booleano "Pieza sujeta"	Indica que se le envió la señal al actuador neumático que sostiene la espiral en su base

Indicador booleano "Extremo sujetado"	Indica que se le envió la señal al actuador neumático que sujeta el extremo de la espira.
Indicador booleano "Ocupado"	"Indica si alguno de los motores está realizando un movimiento.
Botón booleano "Stop":	Este botón apaga todos drives de los servomotores independientemente de su posición o si están realizando algún movimiento. Para iniciar movimientos es necesario pulsar el botón "Iniciar" dentro de la pestaña "parámetros"

Pestaña de "Parámetros"

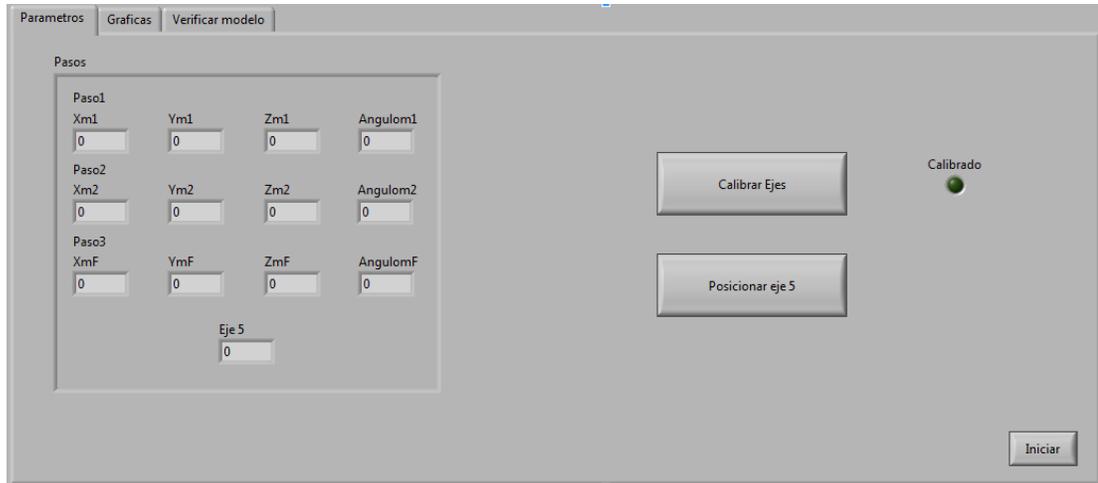


Figura 102: Pestaña de "Parámetros"
Elaboración: Fuente propia.

Elementos	Descripción
Clúster de datos "Pasos"	En este clúster se tienen los datos cargados de las posiciones que se van a enviar a los motores.
Botón booleano "Calibrar ejes"	Este botón hace que la máquina busque referencias utilizando sensores en SolidWorks que permiten realizar movimientos precisos. Es necesario hacer la calibración cada vez que se encienda la máquina ya que pueden generarse errores de posición si no se hace.
Botón booleano "Posicionar eje 5"	El eje 5 tiene una posición fija para cada modelo. Este botón permite colocarlo en la posición del modelo elegido.

Indicador booleano "Calibrado"	Indica si todos los servomotores están calibrados.
Botón booleano "Iniciar"	Permite a la máquina iniciar de nuevo los drives después de una parada de emergencia utilizando el botón de "Stop" en la pestaña de "Proceso". Cuando se corre el programa los drives son encendidos automáticamente.

Pestaña de "Gráficas"

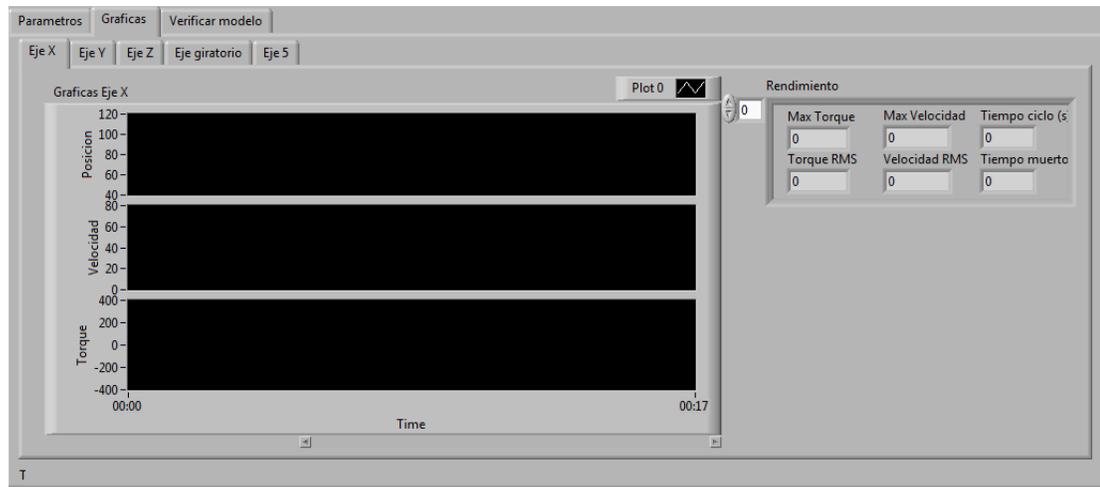


Figura 103: Pestañas de “Gráficas”
Elaboración: Fuente propia

Elementos	Descripción
Pestañas "Eje X", "Eje Y", "Eje Z", "Eje giratorio", "Eje 5":	Cada pestaña contiene 3 graficas de cada servomotor, "Posición", "Velocidad" y "Par" que proporcionan información en tiempo real de cada uno de los motores

Cada pestaña en la sección de graficas contiene un clúster de elementos de salida "Rendimiento" aquí se muestran variables de importancia como par máximo, máxima velocidad, tiempo de ciclo, Par RMS, velocidad RMS, y tiempo muerto.

Pestaña de "Verificar modelo"

Parametros Graficas Verificar modelo

Modificar Pasos Validar

Paso1
X_{m1} X_{m1m} Y_{m1} Y_{m1m} Z_{m1} Z_{m1m} Angulom1 Angm1m
0 0 0 0 0 0 0 0

Paso2
X_{m2} X_{m2m} Y_{m2} Y_{m2m} Z_{m2} Z_{m2m} Angulom2 Angm2m Eje 5 Eje 5m
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Paso3
X_{mF} X_{mFm} Y_{mF} Y_{mFm} Z_{mF} Z_{mFm} AngulomF AngmFm
0 0 0 0 0 0 0 0

Cambiar valores Restaurar valores originales

Figura 104: Pestaña de "Validar Modelos"
Elaboración: Fuente propia

Elementos de la pestaña de verificar modelos:

Pestaña "Modificar pasos"

Pestaña "Validar"

Pestaña “Modificar Pasos”

The screenshot shows a software window titled 'Modificar Pasos' with a 'Validar' button. It contains three sections: 'Paso1', 'Paso2', and 'Paso3'. Each section has a grid of numerical input fields with spinners. 'Paso1' includes fields for Xm1, Xm1m, Ym1, Ym1m, Zm1, Zm1m, Angulom1, and Angm1m. 'Paso2' includes fields for Xm2, Xm2m, Ym2, Ym2m, Zm2, Zm2m, Angulom2, Angm2m, Eje 5, and Eje 5m. 'Paso3' includes fields for XmF, XmFm, YmF, YmFm, ZmF, ZmFm, AngulomF, and AngmFm. At the bottom, there are two buttons: 'Cambiar valores' and 'Restaurar valores originales'.

Figura 105: Pestaña “Modificar Pasos”
Elaboración: Fuente propia

Elementos	Descripción
Indicadores numéricos	indican el valor que tiene actualmente cada posición que le será enviado a los motores.
Controles numéricos	Indican el valor que se le sumara al dato que está en el indicador numérico adyacente.
Botón booleano "Cambiar valores"	Realiza la suma algebraica de los indicadores numéricos con los controles numéricos que se encuentra adyacentes.
Botón booleano "Restaurar valores originales"	Regresa a los indicadores el valor original que se calculo cuando se creó el modelo.

Pestaña "Validar"

The screenshot shows a software window with two tabs: "Modificar Pasos" and "Validar". The "Validar" tab is selected. Inside the window, there is a section titled "Pasos modificados" containing a grid of input fields. The grid is organized as follows:

Paso1			
Xm1	Ym1	Zm1	Angulom1
0	0	0	0
Paso2			
Xm2	Ym2	Zm2	Angulom2
0	0	0	0
Paso3			
XmF	YmF	ZmF	AngulomF
0	0	0	0

Below this grid, there is a field labeled "Eje 5" with the value "0". To the right of the "Pasos modificados" section is a button labeled "Validar cambios".

Figura 106: Pestaña de "Validar"
Elaboración: Fuente propia

Elementos	Descripción
Clúster de datos "Pasos modificados"	Estos datos son lo que fueron modificados en la pestaña "Modificar pasos".
Botón booleano "Validar cambios"	Este botón guarda los pasos modificados en una base de datos y van a ser los que serán cargados a la hora de cargar el modelo que fue modificado.

Pasos para realizar una simulación completa enlazando los dos programas LabVIEW y SolidWorks.

1 - Primero que nada es necesario abrir el Proyecto llamado "Proyecto MetalCar UC 2012.lvproj". Este proyecto contiene todos los archivos necesarios para poder realizar la simulación con éxito.

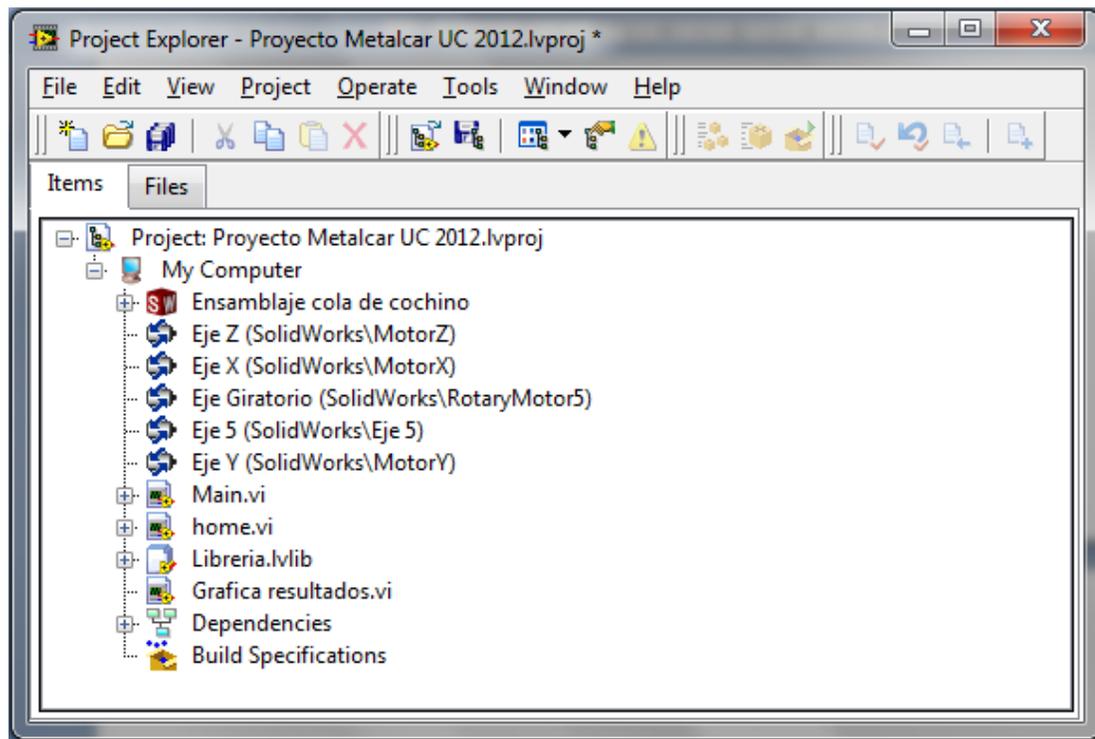


Figura 107: Ventana Inicial del Proyecto MetalCar UC
Elaboración: Fuente propia

2 - Una vez abierta la ventana del proyecto se abre el ensamblaje en SolidWorks llamado Ensamblaje cola de cochino como se muestra a continuación.

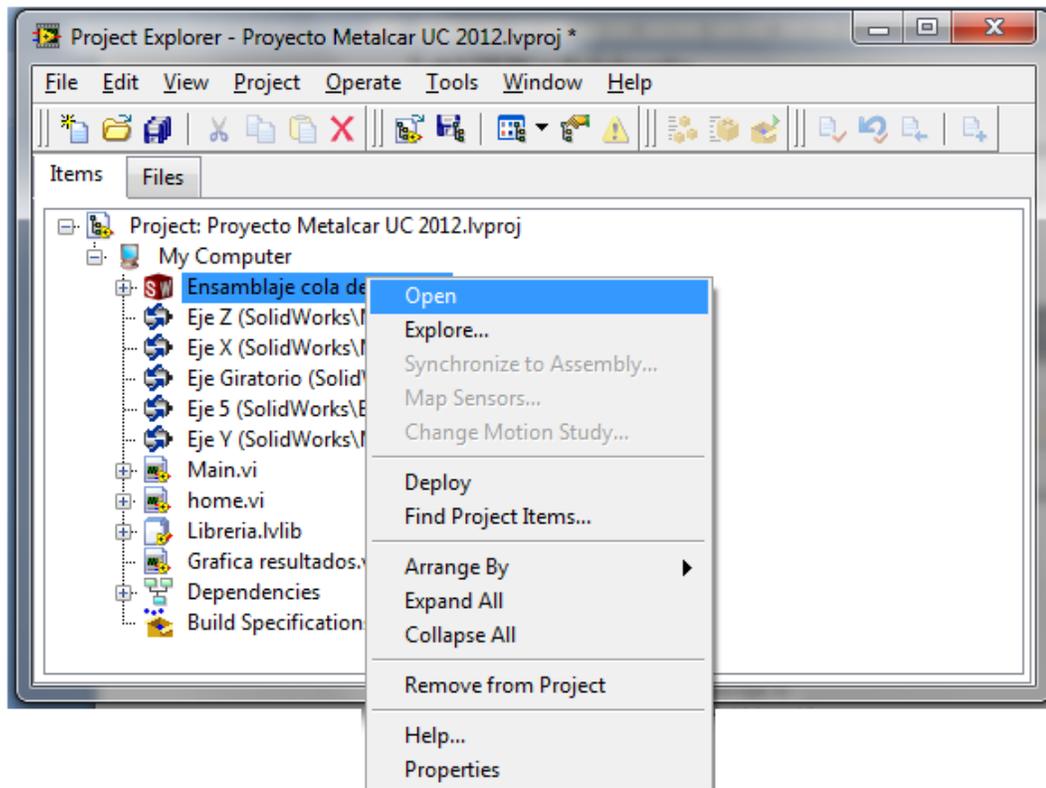


Figura 108: Paso Para abrir el archivo en SolidWorks
Elaboración: Fuente propia

Esta acción abrirá el ensamblaje de la máquina cola de cochino en el SolidWorks.

3 - Una vez abierta la ventana del SolidWorks va a la pestaña llamada "Estudio de movimiento 1". En esta pestaña SolidWorks realiza los cálculos necesarios y a su vez el "análisis de movimiento" es el que le permite comunicarse con el LabVIEW. Como se muestra a continuación es necesario que los tres recuadros estén en el estado que se muestra ya que si se está realizando un cálculo el LabVIEW generara un error que no permitirá realizar la simulación. Esto es todo lo que se necesita hacer en el SolidWorks antes de correr la simulación.

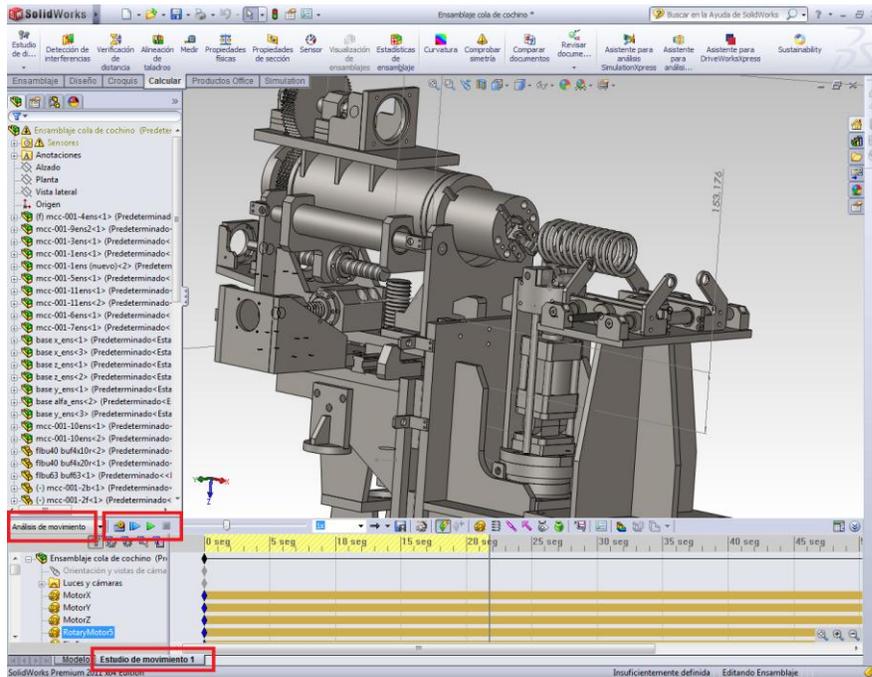


Figura 109: Estudio de Movimiento en SolidWorks.
Elaboración: Fuente propia

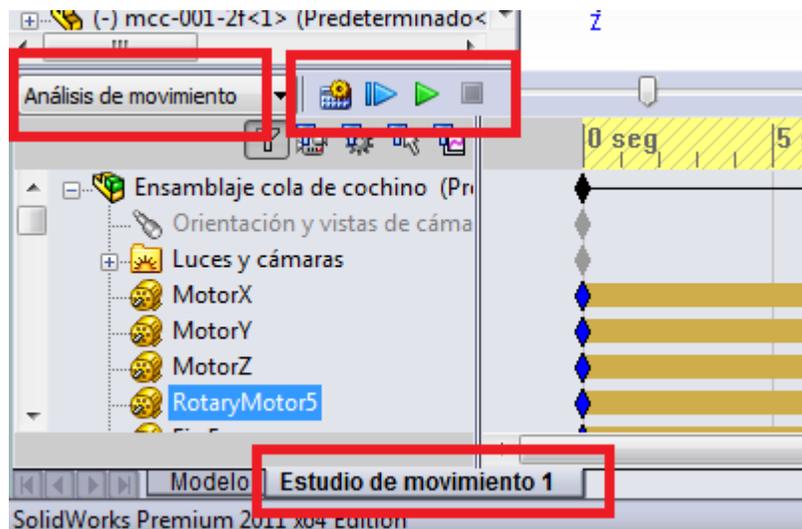


Figura 110: Verificación del Estudio de Movimiento de SolidWorks.
Elaboración: Fuente propia

4 - En el LabVIEW se abre el programa principal llamado Main.vi el cual tiene todas las pantallas para realizar cualquier movimiento en la máquina virtual.

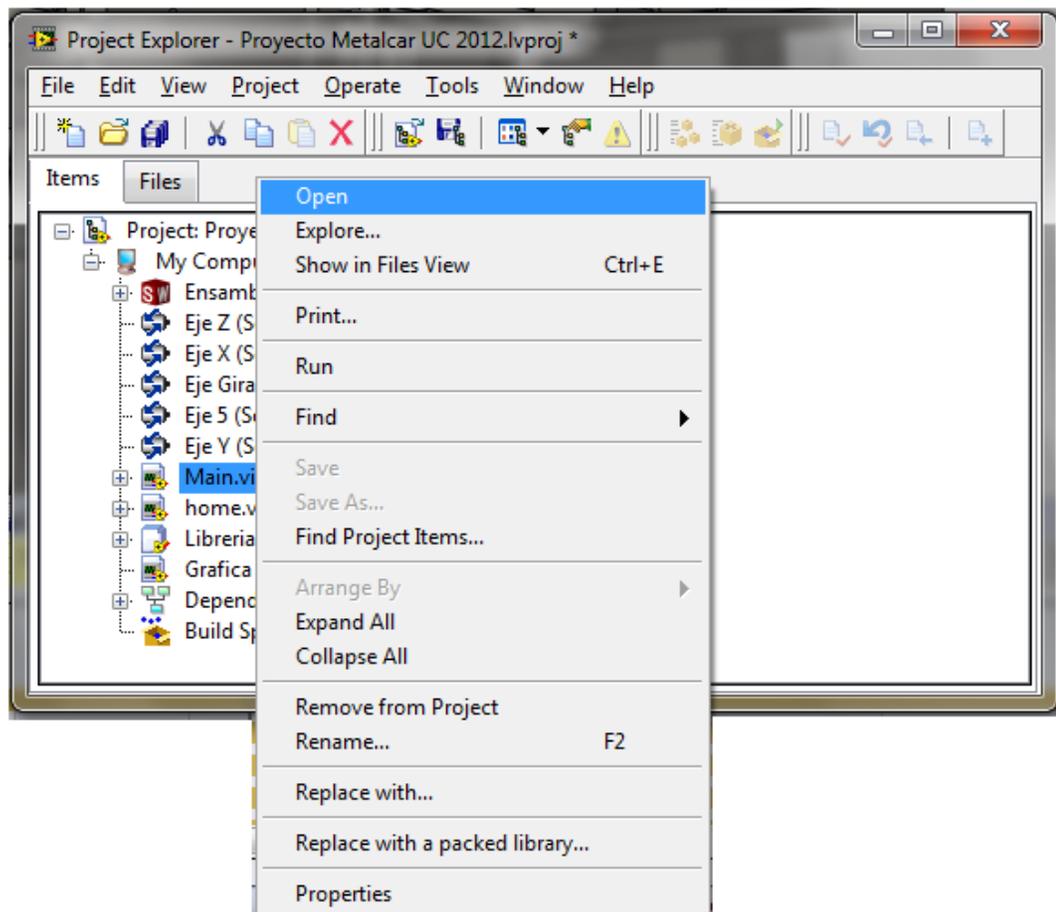


Figura 111: Abrir Panel Frontal.
Elaboración: Fuente propia

Una vez abierta saldrá el panel frontal el cual funciona como interfaz de usuario. Este panel está compuesto de varias pantallas que serán especificadas a continuación.

5 - Una vez se tenga abierto el VI principal "Main.vi" se procede a desplegar todos los archivos que se muestran en la figura 112.

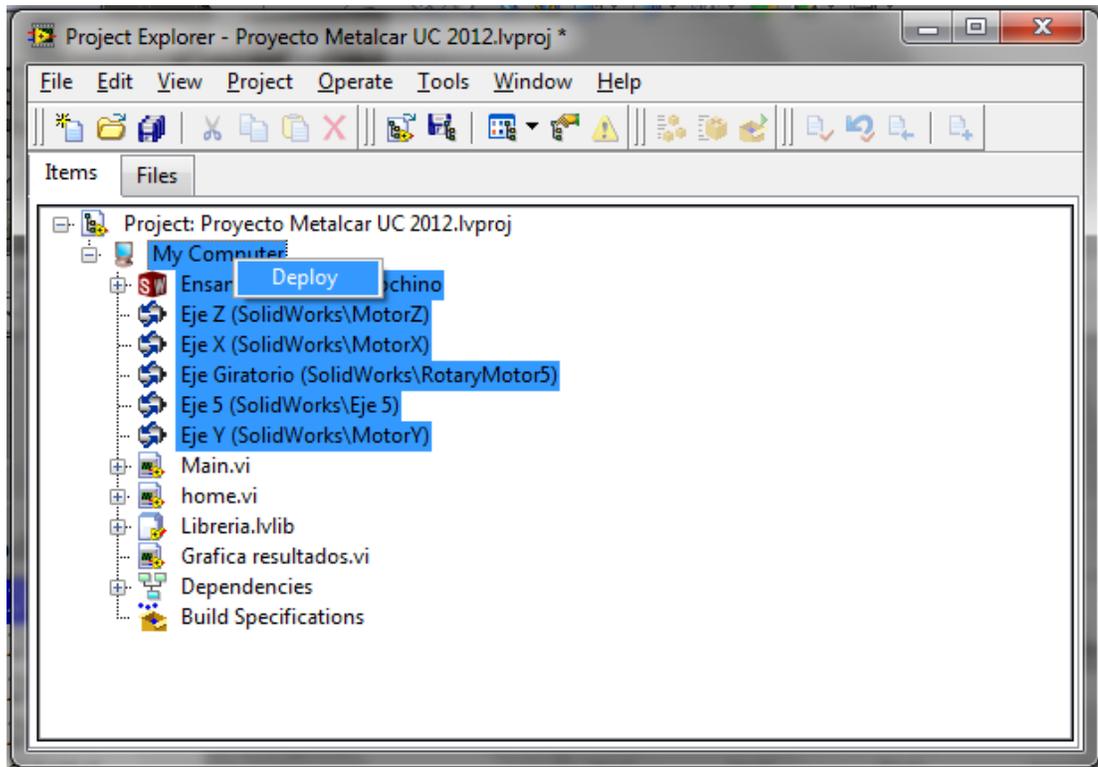


Figura 112: Selección de los Elementos para el “DEPLOY”
Elaboración: Fuente propia

5.1 - En el caso de que ya se haya hecho este anteriormente o que este corriendo una simulación primero habría que hacerle clic derecho a "My computer", Luego elegir la opción desplegable llamada "Utilities", luego la opción desplegable "Scan engine" y elegir la opción de cambiar a configuración "Switch to Configuration". Esto detendrá la simulación que corre actualmente. Una vez hecho esto se va al lugar donde se cambia a configuración pero en este caso aparecerá activo la opción de "Switch to Active" Esto automáticamente encendería la simulación en SolidWorks.

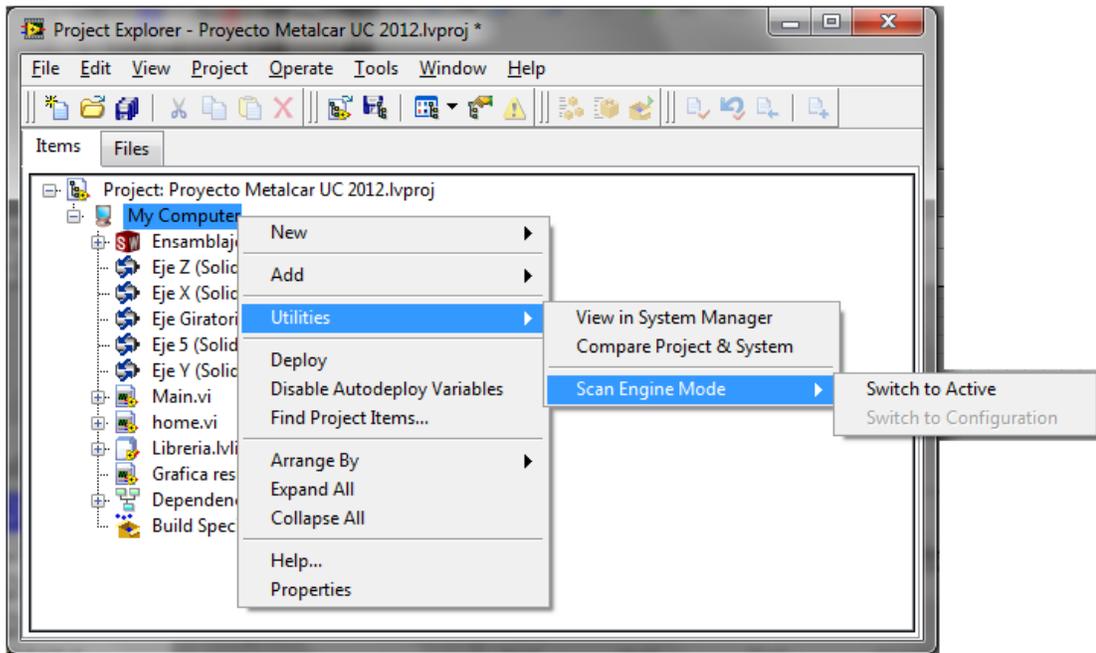


Figura 113: Modificar el SCAN ENGINE MODE a modo activo.
Elaboración: Fuente propia

6 - Se verifica que la simulación en SolidWorks corra correctamente.

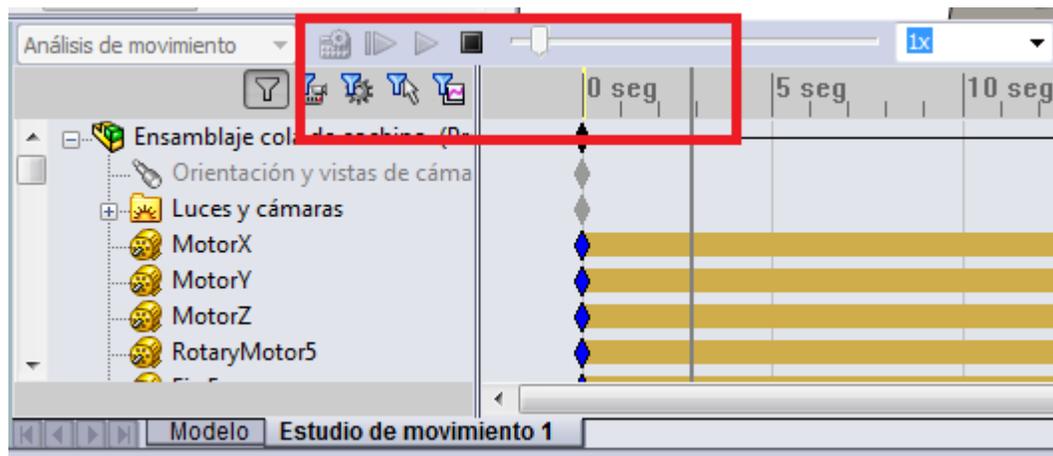


Figura 114: Verificación del Cambio de modo del SCAN ENGINE.
Elaboración: Fuente propia

6.1 En caso de que no esté corriendo como se muestra en la ilustración anterior habría que verificar la ubicación del ensamblaje, el tipo de estudio seleccionado "Motion Study" y si se realizó algún cambio en SolidWorks es necesario darle a la opción de "Synchronize to Assembly" que permite actualizar el modelo en el LabVIEW, luego de realizar estos pasos es necesario volver al paso 5.

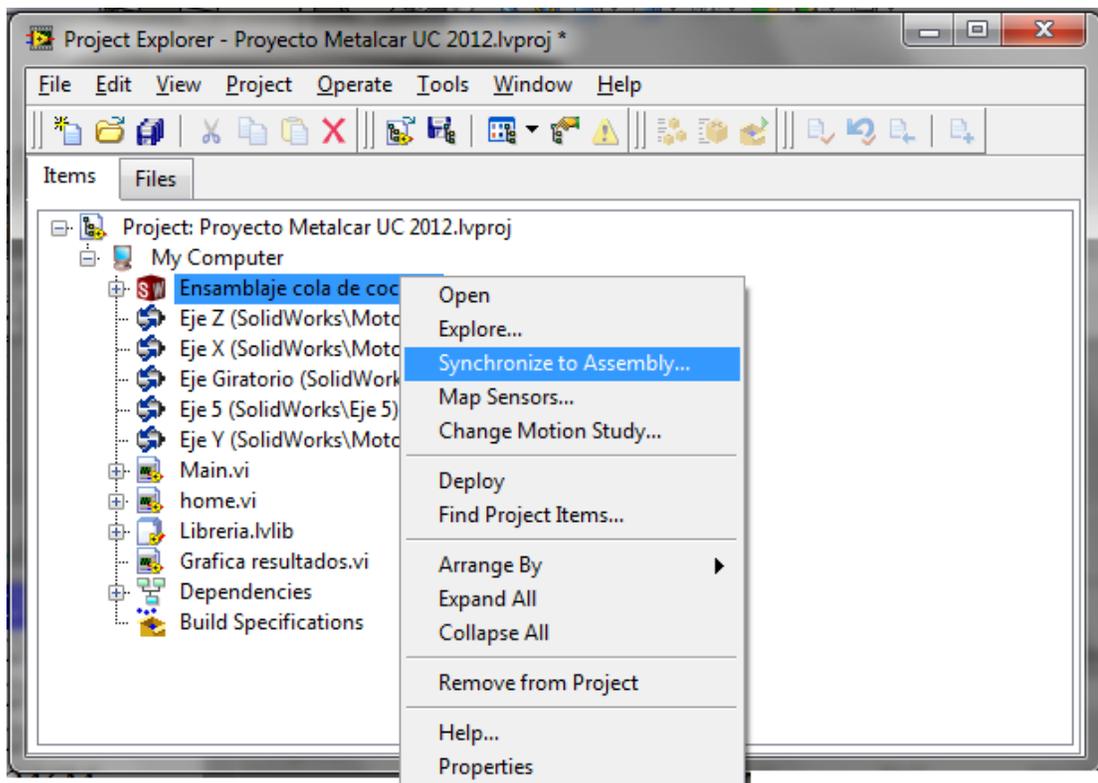


Figura 115: Sincronizar con el Ensamblado.
Elaboración: Fuente propia

7 - Se le da "Run" Al VI principal "Main.vi"

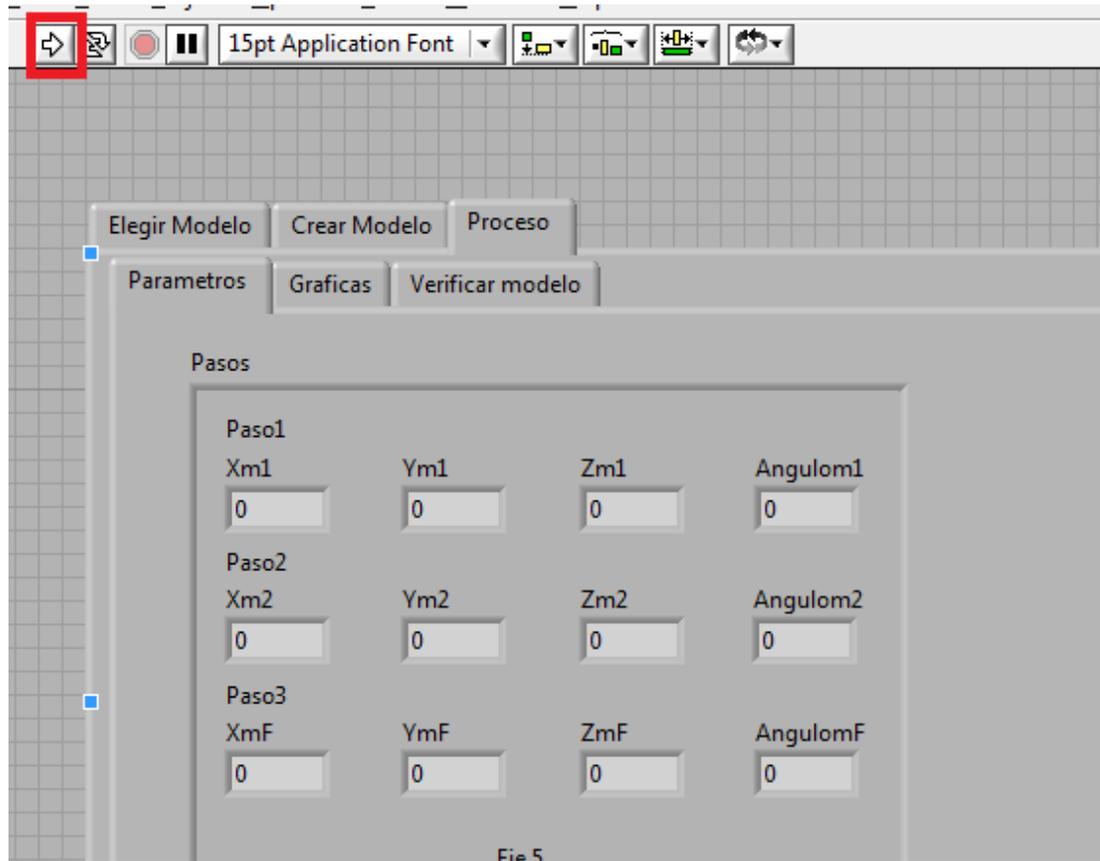


Figura 116: Activar el Run en el Panel Frontal.
Elaboración: Fuente propia

8 - Se le da al botón de "Calibrar ejes" en la pestaña de "Proceso"

9 - Se elige el modelo que se quiere realizar.

10 - Una vez que se encienda el indicador booleano de "calibrado" en la pestaña de "Proceso" y se tenga elegido el modelo se puede enviar la máquina a la posición inicial pulsando el botón "Posición inicial".

11 - Una vez que la máquina se encuentre en la posición inicial se puede enviar a la máquina a realizar el dobléz pulsando el botón "Ejecutar c/c"

12 - Una vez que la máquina realice el dobléz y se retire automáticamente se vuelve al paso 10 y se repite las veces que sea necesario.

En el transcurso de los pasos 8-12 es posible ver el status de cada servomotor, crear nuevos modelos, para cambiar el modelo es necesario estar en el paso #8 o #9 y para modificar los datos de los pasos cargados al motor es necesario haber realizado el paso #9.