



Centro de ingeniería y desarrollo industrial

Proyecto Industrial Terminal:

**Diseño y Simulación de Robot Manipulador de
Tubos (Brazo Derrickman) mediante LabView y
SolidWorks.**

**Para obtener la especialidad en:
“TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA”**



Presenta:

006954

Alumno: Ing. Víctor German Calan Uc.

Tutor de Planta: M.C. Roberto Sosa Cruz.

Tutor Académico: M.C. Julio Cesar Solano Vargas.



Querétaro, Qro. Diciembre 2013.

DISEÑO Y SIMULACION DE ROBOT MANIPULADOR DE
TUBOS (BRAZO DERRICKMAN) MEDIANTE LABVIEW Y
SOLIDWORKS

13 de diciembre de 2013

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la implementación de un prototipo virtual que permita la simulación y control de un brazo robótico para la manipulación de tubos durante la perforación de pozos petroleros, esto con la finalidad de validar la eficiencia y viabilidad del diseño e identificación de posibles fallas o colisiones en un modelo lo más aproximado a la realidad. Se presenta el proceso de diseño mecánico de los componentes y su modelo cinemático directo. Para esta actividad se empleó software de diseño y control como SolidWorks y LabView, los cuales tienen una interacción y con los cuales se puede evaluar esta tarea por medio de la simulación.

Índice general

0.1. ESTADO DEL ARTE	8
0.2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	10
0.3. OBJETIVOS	11
0.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL	11
0.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS	11
0.4. JUSTIFICACIÓN	12
1. MARCO TEORICO	13
1.1. ROBOT MANIPULADOR DERRICKMAN	13
1.2. SIMULACIONES DE MOVIMIENTO CON SOLIDWORKS	14
1.2.1. ESTUDIOS DE MOVIMIENTO CON SOLIDWORKS	14
1.2.1.1. Animación	14
1.2.1.2. Movimiento básico	15
1.2.1.3. Análisis de movimiento	15
1.2.1.4. Perspectiva general de Análisis de movimiento	15
1.2.1.5. Cómo decidir qué tipo de estudio de movimiento utilizar	15
1.2.1.6. Motores	16
1.2.1.7. Grados de libertad	16
1.3. NI LABVIEW MOTION	17
1.3.1. MODULO NI SOFTMOTION	17
2. PROCEDIMIENTO	19
2.1. CONFIGURACION DE UN ENSAMBLE DE SOLIDWORKS PARA SU USO CON NI SOFTMOTION	19
2.1.1. Activación de los estudios de movimiento en SolidWorks.	19
2.2. CREACION DEL PROYECTO DE CONTROL CON LABVIEW SOFTMOTION	25
2.2.1. Añadiendo el ensamble de Solidworks al proyecto.	25
2.2.2. Insertar los ejes en el proyecto.	27
2.2.3. Creación de un perfil de movimiento y ejecución de la simulación.	28
2.2.4. Creación del perfil de movimiento.	29
3. PROTOTIPO DE ROBOT DERRICKMAN PARA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS	32
3.1. PERSPECTIVA DEL PROCESO DE PERFORACION DE POZOS PARA EXTRACCIÓN DE PETROLEO	32
3.1.1. ELEMENTOS DE UNA TORRE DE PERFORACION	32
3.1.2. Sistema de movimiento de la tubería	33
3.1.3. Unidad Top Drive	33
3.2. DISEÑO PROTOTIPO ROBOT DERRICKMAN	35
4. RESULTADOS	38
4.1. SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DEL ROBOT	38
4.2. UBICACIÓN ESPACIAL DEL MANIPULADOR	38
4.3. PRUEBAS PRÁCTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE SOLIDWORKS SIMULATION CON LABVIEW SOFTMOTION	42

5. CONCLUSIONES

56

Bibliografía

57

Índice de figuras

1.1. Manipulador robotico tipo Derrickman comercial.	13
1.2. Ejes de rotación en SolidWorks.	16
1.3. Arquitectura de diseño con NI SoftMotion	17
2.1. Robot Fanuc para estudio de movimiento	20
2.2. Activación de complementos.	20
2.3. Selección del tipo de estudio de movimiento.	21
2.4. Herramientas para la simulación.	21
2.5. Configuraciones para los motores.	22
2.6. Determinación del giro del motor con respecto a pieza fija.	22
2.7. Parámetros del motor.	23
2.8. Simulación de las articulaciones del robot.	24
2.9. Movimiento de ejes coordinados.	26
2.10. Proyecto con ensamble y ejes.	26
2.11. Axis manager.	27
2.12. Creación de espacio coordinado.	28
2.13. Sincronización de Scan Engine.	30
2.14. Movimiento de un espacio coordinado.	31
3.1. Sistema de malacate.	33
3.2. Top Drive.	34
3.3. Derrickman o “chango” en acción.	34
3.4. Torre de perforación.	35
3.5. Identificación de las partes articulares del diseño.	36
3.6. Manipulación de la lingada.	37
3.7. Acomodación en el rack.	37
4.1. Representación cinemática del manipulador.	39
4.2. Parámetros D-H del manipulador.	40
4.3. Representación de θ_3	40
4.4. Movimiento prismático de $a_3 + a_4$	41
4.5. Proyecto vacío de LabVIEW.	43
4.6. Menú para añadir ensamble.	43
4.7. Selección del modelo de SolidWorks.	44
4.8. Inserción de eje de SoftMotion.	45
4.9. Axis Manager.	46
4.10. Configuración del drive virtual.	47
4.11. Proyecto con ejes insertados.	48
4.12. VI de control principal.	49
4.13. Dispositivo externo de control.	49
4.14. Proyecto de LabVIEW con ensamble de SolidWorks.	50
4.15. Conversión de los valores de entrada del joystick.	51
4.16. Implementación de ecuaciones cinemáticas de posición.	52
4.17. Bug presente en el solver interno de simulación.	53
4.18. Configuración de SoftMotion.	53

4.19. Sujeción de lingada por el manipulador.	54
4.20. Acomodo de lingadas en el rack.	54

ANTECEDENTES

006954

El proyecto principal surge a raíz de que en los equipos de perforación mas recientes se detecto la falta de algún dispositivo que permitiera mover de manera segura y eficiente la tubería de acero empleada en el proceso de reparación de pozos, este tipo de tubería tiene diámetros comprendidos entre $2\frac{7}{8}$ " y $2\frac{3}{8}$ " , esto la hace susceptible a sufrir daños por flexiones y manipulación inadecuada. Generalmente en las torres de perforación cuando se lleva a cabo el proceso de perforación o reparación de pozos entre el personal de perforación se encuentra una persona conocida como Derrickman o "chango" que se encarga de ir alineando la tubería de revestimiento y también sirve para auxiliar en el manejo de tuberías de diámetros menores a $3\frac{1}{2}$ " , este operador debe estar instalado en la torre de perforación a una altura de aproximadamente 12 m y un rango de movimiento de 8 a 15 metros. A partir de esto se empezó a idear el diseño de un sistema manipulador de lingadas de ese diámetro, este sistema se podrá instalar en todas las plataformas reduciendo los riesgos, incrementado la seguridad del personal y la operación y reduciendo los costos en la introducción de las tuberías de revestimiento o las tuberías para reparar el pozo.

Durante la etapa de diseño conceptual e ingeniería se planteó la necesidad de la elaboración de un sistema de control preciso y el desarrollo de la metodología de operación adecuada para optimizar su funcionamiento. A partir de esto surgió la necesidad de desarrollar un sistema para la verificación del adecuado funcionamiento del diseño del prototipo. Aunado a eso la posibilidad de ejecutar distintos algoritmos de control que permitan tener un funcionamiento más óptimo y su validez para el trazado de rutinas de trabajo de acuerdo a las necesidades. Haciendo revisión de alternativas se pudo constatar que el software NI LabVIEW ofrece una posibilidad de enlace con SolidWorks. Se determino la elaboración de una primera fase de un sistema de simulación que ofrezca las posibilidades antes mencionadas. Posteriormente la segunda etapa consistirá en el diseño de un sistema mas eficiente y que permita realizar acciones mas complejas y elaboradas. Esto brindaba la oportunidad de hacer un desarrollo que se preste para esas aplicaciones. Además que el CIDESI cuenta con las licencias de uso de dichos softwares. La elaboración del simulador será fundamental para la comprobación y detección de interferencias en la generación de trayectorias, además de validar distintas opciones de algoritmos cinemáticos y de control.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se propone el desarrollo de un entorno que permita la simulación de un sistema mecatrónico empleado en la automatización de una parte del proceso de perforación de pozos de extracción de petróleo, esto con el fin de ver la efectividad del diseño mecatrónico en la aplicación a realizar. Como ya se había mencionado anteriormente el uso de las simulaciones es necesario para muchas aplicaciones mecatrónicas. Teniendo estas consideraciones en cuenta se planteó la necesidad de crear un entorno de simulación apropiado utilizando herramientas con las cuales cuente el CIDESI. De entre las herramientas que se prestan adecuadamente para esta labor destacan el software de diseño SolidWorks y el entorno gráfico de programación LabView. Por lo tanto este trabajo se basara fundamentalmente en la integración entre estas dos aplicaciones. Para la comprensión eficaz del desarrollo de este proyecto es necesario tener conocimientos previos de ambas aplicaciones.

En el primer capítulo se tratan los temas relacionados con el uso de los softwares que se manejan para la realización del simulador, los alcances y limitaciones que poseen estas herramientas. Es importante conocer las características de los estudios de movimiento que se realizan dentro de SolidWorks y las opciones que ofrece NI SoftMotion.

Posteriormente se hace una demostración practica sobre como preparar un ensamble de Solidworks para poder realizar la vinculación con NI LabVIEW y la identificación de los motores virtuales. De igual manera se demuestra como crear un proyecto en LabVIEW y el proceso de inserción del ensamble, la preparación y lanzamiento del proyecto con los ejes virtuales de SoftMotion.

El tercer capítulo aborda la temática del diseño del prototipo del brazo manipulador y las rutinas de trabajo que realizara el prototipo. También se da una reseña sobre los elementos necesarios para el proceso de perforación de pozos petroleros. Por ultimo se muestran los resultados obtenidos en el desarrollo del sistema de simulación y las conclusiones a las cuales se llegaron y las mejoras a futuro para el desarrollo de un sistema de simulación mas completo y eficiente.

0.1. ESTADO DEL ARTE

La simulación por ordenador intenta modelar sistemas reales o hipotéticos por ordenador de forma que se pueda estudiar su funcionamiento y a partir de eso poder hacer ciertas predicciones respecto a su comportamiento en la realidad.

La historia y la evolución de la simulación por ordenador han ido paralelas a la evolución de la informática. Sus orígenes los encontramos en la segunda Guerra Mundial cuando dos matemáticos, J.VNeumann y S.Ulam, tenían el reto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para abordarlo mediante técnicas analíticas. La aproximación que eligieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. El método desarrollado fue llamado "método de Montecarlo". Posteriormente se incrementó el uso de las simulaciones con fines militares; determinación de trayectorias de misiles, satélites artificiales, etc. Para la resolución de estos problemas se utilizaron ordenadores analógicos. La posterior evolución que se dio con la informática en los años 80, fue sumamente relevante para la evolución de las simulaciones virtuales. El uso de simuladores se generaliza en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería. Como ejemplo de uno de los antecedentes más influyentes de la simulación virtual podemos citar el simulador de vuelo, caso en que los militares y la industria gastaron millones de dólares. Los gráficos generados por ordenador eran muy primitivos pero permitían operar en tiempo real. Con los avances en el software y hardware se pudieron crear detallados mundos virtuales. Esto también provocó que la simulación virtual pasara al sector del entretenimiento con los videojuegos y las películas que incorporaban este tipo de tecnologías. Esto a provocado que los procesos de simulación en la ingeniería se hayan desarrollado en otras direcciones, específicamente en las áreas enfocadas al mercado de las herramientas de automatización avanzada. Una de estas vertientes viene dada con el desarrollo de los Computer-Based Training Simulators (CBTS) que se emplean para la preparación de los operadores en ciertos procesos de automatización compleja, permitiendo que los futuros operarios comiencen a interactuar con los procesos de una manera segura antes de involucrarse de manera completa a los sistemas reales. En el transcurso de los últimos 20 años este sector a experimentado un rápido crecimiento, con ganancias anuales de US \$ 750 000 000 y con un crecimiento promedio de 11.8%. Los CBTS se han convertido en herramientas imprescindibles para garantizar la seguridad y eficacia en el control de procesos industriales en áreas como la producción de petróleo y gas, refinación de petróleo, química, farmacéutica, energía y de manufactura de consumibles. Actualmente una gran cantidad de empresas producen sistemas de simulación que tienen alta fidelidad con respecto a los procesos industriales, interfaces realistas y entorno de trabajo para el operador muy apegado a la realidad. Un elemento clave de

los CBTS es el aumento de la eficiencia a la par de la producción. Otra vertiente en el campo de los CBTS es la referida a los sistemas de ingeniería de desarrollo y evaluación de procesos industriales. Estos sistemas se utilizan para el diseño y análisis de los procesos de nueva creación, la vigilancia, el diagnóstico y las pruebas en los sistemas ya existentes. De esa forma se han desarrollado sistemas de control de procesos avanzados que consisten en sistemas de predicción de un futuro comportamiento del proceso y la elección de la acción de control que proporciona el mejor valor de un criterio de rendimiento especificado del proceso bajo las restricciones de este mismo y las de tipo técnico- económico. Como resultado el sistema de simulación resuelve diversas tareas del control del proceso y lo estabiliza para tener la mejor calidad en las variables de salida y optimización de los parámetros del sistema de producción simulado.

0.2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

Desarrollar una simulación que permita analizar y validar el comportamiento de las trayectorias de un sistema robótico para manipulación de tubería empleada en perforación de pozos petroleros, mediante el empleo de la herramienta CAD SolidWorks y programación del control de movimiento en LabView.

0.3. OBJETIVOS

0.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar la simulación virtual del prototipo de un robot tipo Derrickman para validar su diseño y funcionamiento en un entorno similar al real.

0.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Adaptar el diseño del manipulador y los elementos de su área de trabajo para la simulación virtual.
- Realización de pruebas de movimiento con Joystick de control e interconexión entre LabView y SolidWorks.
- Elaborar la Cinemática Directa del manipulador.
- Conocer la rutina de las operaciones en las cuales se empleara el prototipo y los entornos de trabajo.
- Realizar pruebas del simulador virtual con la ejecución de LabVIEW y SolidWorks para validar trayectorias de movimiento y conclusiones finales sobre la viabilidad del diseño.

0.4. JUSTIFICACIÓN

El decrecimiento de la producción nacional de crudo ha obligado a la industria petrolera a requerir equipos de perforación con la finalidad de recuperar la producción y la necesidad de equipos que puedan perforar a mayor profundidad para descubrir y explotar nuevos yacimientos. La innovación tecnológica del proyecto consiste básicamente en poder llenar un vacío que se tiene en los equipos de perforación y que derivan de la falta de un sistema semiautomatizado que permita manipular y estibar la tubería de producción. Con el fin de que optimizar los resultados de la ingeniería conceptual y evitar contratiempos en la elección del sistema de control para el prototipo se planteo la opción de un sistema de simulación virtual donde se pudiera visualizar el prototipo y donde se ofrezca la posibilidad de realizar pruebas de algoritmos de control antes de iniciar la manufactura y requisición de materiales para su construcción. Con este simulador se comprobara la eficiencia del diseño conceptual y la detección de interferencias en caso de existir. Si se presentara algún conflicto se podrá modificar oportunamente. Los algoritmos de control se comprobaran y se verán los resultados de forma de forma visual , lo que permitirá determinar las mejores rutinas de control y trayectorias de acuerdo a la operación a realizar. Otra importancia que tendrá el sistema de simulación será una utilización como método de adiestramiento seguro para futuros operarios del equipo. La importancia de su uso para practicas del operador es que se ofrece un entorno virtual similar al real donde el operador empezara a familiarizarse con la metodología de operación y rutinas básicas de funcionamiento. Con el uso del sistema de simulación el operador tendrá un aprendizaje mas rápido cuando inicie sus trabajos con el equipo real, estos beneficios se reflejaran en un aumento considerable de la producción al tener un manejo mejor del equipo. Con este proyecto se demostrara también que los trabajadores mexicanos tanto investigadores, profesionales especializados, técnicos y manuales tienen la capacidad de competir con proveedores extranjeros a nivel mundial sin ningún menoscabo para sí mismos. Así como la generación y formación de proveedores nacionales. Gracias a la ingeniería diseñada y desarrollada en México se tendrá una derrama de tecnología que permitirá nuevos polos por medio del desarrollo de equipos de perforación.

Capítulo 1

MARCO TEORICO

1.1. ROBOT MANIPULADOR DERRICKMAN

Este consiste en un sistema semiautomatizado que permite manipular y estibar la tubería de producción de manera eficiente y segura para el personal de perforación. Generalmente este proceso lo lleva a cabo personal que se encuentra a cierta altura de la torre de perforación por lo cual esta expuesto a riesgos y dificultades. Este sistema realiza operaciones de manipulación de lingadas de manera segura y remota. Cuenta con tres grados de libertad y consiste en una base con sistema de sujeción para poder fijarlo en los travesaños de la torre de perforación donde se tiene previsto que trabaje, esta base giratoria permite al robot tener un ángulo de giro donde operar que abarque fácilmente las zonas críticas para la operación.



Figura 1.1: Manipulador robotico tipo Derrickman comercial.

El sistema de movimiento angular del brazo esta diseñado usando un mecanismo paralelo que hace que

cuando la mordaza tenga sujetado una lingada permanezca siempre de posición vertical para que cuando se manejen lingadas de pequeño diámetro no sufran daños por flexiones. En el extremo de la articulación paralela donde se ubica la mordaza de sujeción se encuentra una articulación prismática que de acuerdo al movimiento lineal otorga elevación a la lingada del piso de perforación para su acomodo en el rack.

1.2. SIMULACIONES DE MOVIMIENTO CON SOLIDWORKS

Dentro del paquete del software SolidWorks se ofrece de manera adicional el complemento Simulation Premium que refuerza el paquete con Simulation Professional al añadir funciones adicionales, entre las que se incluye un eficaz conjunto de herramientas para simular la respuesta no lineal y dinámica, así como los materiales compuestos. La carga dinámica también es totalmente compatible. Independientemente del material y el entorno de uso, SolidWorks Simulation Premium proporciona información útil para aumentar la fiabilidad del producto de la forma más rentable posible.

1.2.1. ESTUDIOS DE MOVIMIENTO CON SOLIDWORKS

Los estudios de movimiento son simulaciones gráficas de movimiento para modelos de ensamblaje. Se pueden incorporar en un estudio de movimiento propiedades visuales, como iluminación y perspectiva de cámara. Los estudios de movimiento no modifican un modelo de ensamblaje ni sus propiedades; simulan y animan el movimiento prescrito para un modelo. Puede utilizar relaciones de posición de SolidWorks para restringir el movimiento de componentes en un ensamblaje al modelar movimiento. En un estudio de movimiento, utilice MotionManager, la interfaz con escala de tiempo que incluye las siguientes herramientas de estudio de movimiento:

1.2.1.1. Animación

Se emplea Animación para animar el movimiento de ensamblajes.

- Agregar motores para conducir el movimiento de una o varias piezas de un ensamblaje.
- Prescriba las posiciones de los componentes del ensamblaje en varios momentos mediante la utilización de marcas. Animación utiliza interpolación para definir el movimiento de los componentes de

un ensamblaje entre marcas.

1.2.1.2. Movimiento básico

Emplear Movimiento básico en ensamblajes para simular los efectos de motores, resortes, contacto y gravedad. A la hora de calcular el movimiento, Movimiento básico tiene en cuenta la masa. El cálculo es relativamente rápido, por lo que puede utilizar Movimiento básico para crear animaciones tipo presentación mediante simulaciones basadas en leyes físicas.

1.2.1.3. Análisis de movimiento

Análisis de movimiento se usa para simular y analizar de forma precisa en un ensamblaje los efectos de elementos de movimiento (incluyendo fuerzas, resortes, amortiguadores y fricción). Análisis de movimiento utiliza solvers cinemáticos potentes, desde el punto de vista del cálculo, y tiene en cuenta propiedades materiales así como la masa e inercia. También puede utilizar Análisis de movimiento para trazar resultados de simulación para análisis adicionales.

1.2.1.4. Perspectiva general de Análisis de movimiento

Se puede aplicar para simular y analizar con precisión el movimiento de un ensamblaje a la vez que se incorporan los efectos de los elementos de Estudio de movimiento (incluyendo fuerzas, resortes, amortiguadores y fricción). Un estudio de Análisis de movimiento combina elementos de estudio de movimiento con relaciones de posición en cálculos de movimiento. Por tanto, las restricciones de movimiento, las propiedades de materiales, la masa y los contactos entre componentes se tienen en cuenta en los cálculos realizados por el solver cinemático de SolidWorks Motion. Así mismo, un estudio de Análisis de movimiento calcula cargas para utilizar en la definición de casos de carga para análisis estructural.

1.2.1.5. Cómo decidir qué tipo de estudio de movimiento utilizar

Con Animación se pueden crear animaciones de movimiento con calidad de presentación en las que no es necesario tener en cuenta la masa o la gravedad. En Movimiento básico se crean simulaciones de movimiento con calidad de presentación en las que se tiene cuenta la masa, las colisiones o la gravedad. Al utilizar Análisis de movimiento se logra ejecutar simulaciones potentes, desde el punto de vista del cálculo, que tienen en cuenta la física del movimiento del ensamblaje. De las tres opciones, esta herramienta es la que más recursos utiliza durante el cálculo. Los resultados serán mejores cuanto mejor se entienda la física del movimiento deseado. Utilice Análisis de movimiento para ejecutar estudios de análisis de impacto para

entender la respuesta de los componentes a distintos tipos de fuerzas.

1.2.1.6. Motores

Al utilizar motores en estudios de movimiento, puede aplicar movimiento a un componente sin tener en cuenta la masa o la inercia. El movimiento originado por un motor prevalece sobre el originado por otros elementos de Estudio de movimiento. Todo elemento que tiende a resistir el movimiento de un motor aumenta el consumo de energía del motor pero no ralentiza el movimiento del motor.

1.2.1.7. Grados de libertad

Un sólido rígido sin restricciones en el espacio tiene seis grados de libertad: tres traslaciones y tres rotacionales. El sólido puede moverse a lo largo de sus ejes X, Y y Z, y girar con respecto a ellos. Al agregar una restricción entre dos sólidos rígidos, como una relación de posición concéntrica, se eliminan los grados de libertad entre ellos. Los dos sólidos permanecen restringidos y se encuentran colocados uno respecto al otro independientemente de cualquier movimiento o fuerza en el mecanismo. Utilice las relaciones de posición para restringir el movimiento mediante la eliminación de los múltiples grados de libertad.

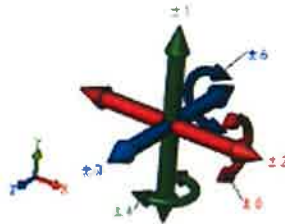


Figura 1.2: Ejes de rotación en SolidWorks.

Al calcular el movimiento con un estudio de Análisis de movimiento, se calcula también el número de grados de libertad en el mecanismo y se eliminan las relaciones de posición redundantes dado que se determinan y solucionan las ecuaciones de movimiento para el ensamblaje.

Si un mecanismo tiene un bucle cerrado, como un vínculo de cuatro barras, pueden existir relaciones de posición redundantes. En un vínculo de ese tipo hay tres relaciones de posición redundantes cuando todas las relaciones de posición son concéntricas. Esto ocurre porque cada lado del bucle (empezando por el suelo) restringe a la varilla de acoplamiento para que permanezca en el plano del ensamblaje. El software intenta solucionar automáticamente las restricciones impuestas por las relaciones de posición redundantes y puede hacerlo fácilmente para el vínculo.

En un estudio de movimiento, se puede animar lo siguiente:

- Posición de componentes.
- Efectos de un motor que conduce a un ensamblaje.
- Efectos de una relación de posición de Distancia o Ángulo.
- Efectos de relaciones de posición con curvas de entidad individuales.
- Propiedades de componentes. Puede ocultarlos y mostrarlos, y especificar el modo de visualización (estructura alámbrica, sombreado, etc).
- Orientación de áreas de visualización y selección de vistas de cámara.
- Color o textura de componentes.
- Propiedades de luces y cámaras.
- Posición de bloques de croquis.

1.3. NI LABVIEW MOTION

Los sistemas de movimiento generalmente consisten en software de aplicación, un controlador de movimiento, drives, motores y componentes mecánicos como cajas multiplicadoras o etapas.

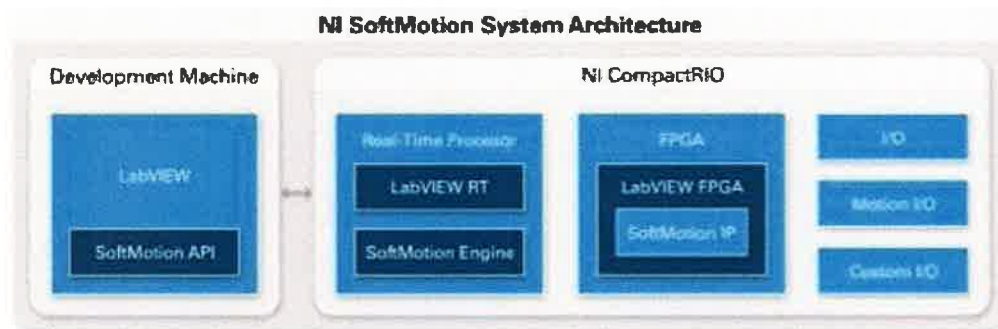


Figura 1.3: Arquitectura de diseño con NI SoftMotion

1.3.1. MODULO NI SOFTMOTION

El módulo es llamado LabVIEW NI SoftMotion ya que es una implementación de control de movimiento definido por software, donde los diferentes componentes de control de movimiento como control de supervisión, generación de trayectoria y los ciclos de control son modulados. N.I. SoftMotion permite la integración con SolidWorks haciendo posible la simulación de un sistema de acuerdo a sus perfiles

de movimiento logrando simular la dinámica del mecanismo con los efectos de la gravedad, fricción y el rendimiento de algún componente individual bajo un algoritmo de control especificado. Esto ofrece una perspectiva clara sobre como la simulación virtual posibilita visualizar y optimizar un sistema evaluando diferentes diseños conceptuales antes de considerar las implicaciones de fabricar un prototipo físico. Entre las principales ventajas de LabView esta su facilidad de uso, el lenguaje gráfico de programación de alto nivel con bloques de función. Esto permite que la programación de sistemas de control para movimientos se pueda llevar a cabo de manera eficiente y rápida incluso para usuarios con poca experiencia en la programación de movimientos. Entre las aplicaciones típicas del módulo LabView Softmotion con SolidWorks se encuentran las siguientes:

- Planeación de trayectorias de movimiento: Construir perfiles complejos de movimientos que contengan operaciones de movimientos realizados de forma secuencial o en serie, empleando ejes múltiples y otras combinaciones.
- Visualización: Al animar un ensamblaje de SolidWorks usando alguno de los perfiles de control de movimiento junto con la lógica para el control diseñado en LabView se logra una rápida evaluación de la factibilidad del diseño conceptual del prototipo. Al visualizar la maquina en trabajo bajo una simulación del prototipo virtual ayuda a validar el diseño conceptual durante las primeras fases del desarrollo.
- Motor, drive y ajuste de transmisiones: El torque y la velocidad de un motor dependen de las características de la aceleración del perfil de movimiento y las características dinámicas de los componentes de la transmisión. SoftMotion se puede emplear para calcular el torque requerido y los gráficos de velocidad de los perfiles de movimiento.

Capítulo 2

PROCEDIMIENTO

2.1. CONFIGURACION DE UN ENSAMBLE DE SOLIDWORKS PARA SU USO CON NI SOFTMOTION

Para poder usar un ensamble de SolidWorks en conjunto con NI SoftMotion es necesario realizar los ajustes correspondientes al ensamble para crear los motores que simularan el movimiento y la generación de las trayectorias del prototipo. Para esta demostración se empleara el ensamble correspondiente a un robot Fanuc IR Mate 100. Se partirá de que el ensamble ya tiene las respectivas relaciones de movimiento y restricciones asociadas a cada articulación del robot, por lo que solamente se dará prioridad en mostrar el proceso de creación de los motores y ajuste del ensamble.

2.1.1. Activación de los estudios de movimiento en SolidWorks.

Para poder realizar simulaciones de movimientos en SolidWorks es necesario contar con los complementos correspondientes en el software. Eso se puede verificar de la siguiente manera:

1. Abrir el correspondiente ensamble en SolidWorks y en la barra de menú elegir Herramientas.

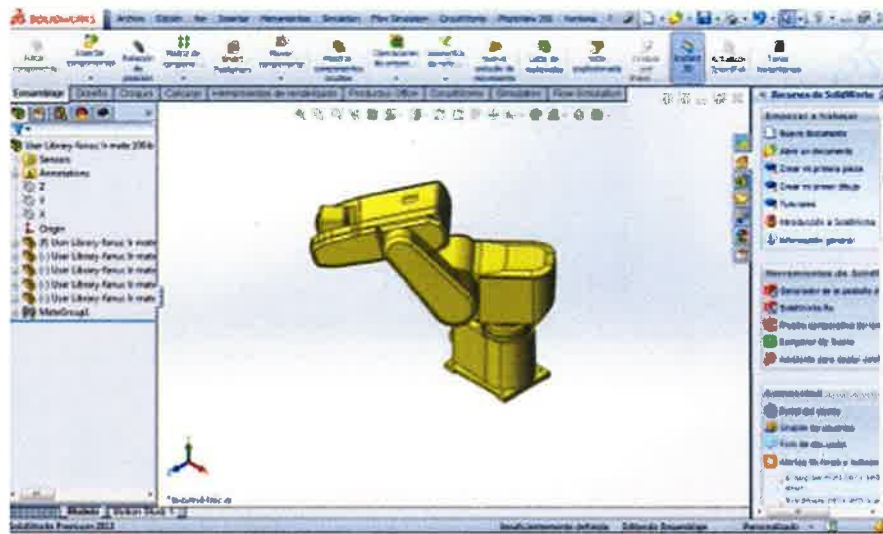


Figura 2.1: Robot Fanuc para estudio de movimiento

2. Entre las opciones seleccionar Complementos lo que abrirá la ventana que indica los complementos activos.
3. Marcar los checkbox correspondientes a Solidworks Motion y SolidWorks Simulation.

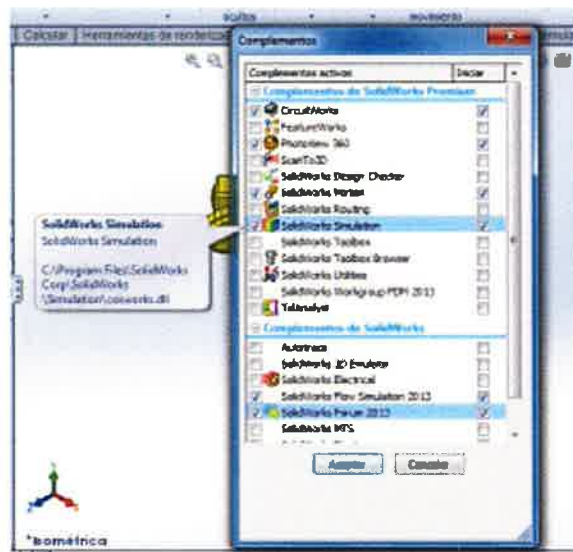


Figura 2.2: Activación de complementos.

4. En el lado inferior izquierdo seleccionar la pestaña para crear un nuevo estudio de movimiento, donde aparecerá el timeline donde se pueden ajustar los tiempos y secuencias de movimiento correspondientes a los ejes deseados.

5. En la parte izquierda se muestra la lista de opciones para el tipo de estudio a realizar, por default tiene la opción para crear una animación. Es necesario cambiar ese parámetro a un Analisis de Movimiento.

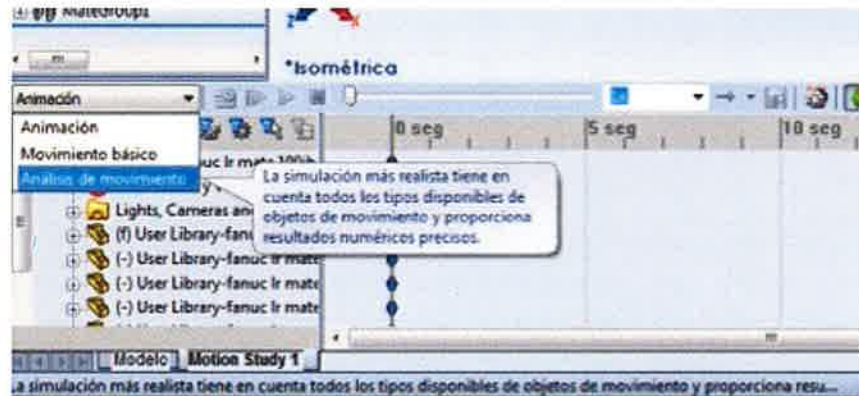


Figura 2.3: Selección del tipo de estudio de movimiento.

6. En la parte superior del timeline se muestran los iconos de las distintas opciones que ofrece SolidWorks para realizar estudios de movimientos. Se selecciona el icono que corresponde a la generación de un motor.



Figura 2.4: Herramientas para la simulación.

7. Del lado izquierdo del Feature Manager se muestran las configuraciones para la simulación del motor.
8. Entre las opciones de configuración del motor se ofrece la posibilidad de la simulación de un eje rotatorio o lineal, al tratarse del primer eje el de la base de giro se deja marcada esa opción y en la lista siguiente se seleccionan los componentes que tendrán esas restricciones de movimiento, así como el sentido de giro.



Figura 2.5: Configuraciones para los motores.

9. Se selecciona en el ensamble la base del hombro del robot. Cabe resaltar que al momento de realizar esta acción Motion toma como punto de referencia del inicio del movimiento la posición en la que se encuentre el componente y el sentido de giro se hará con respecto a este punto por lo que si es necesario se debe cambiar el sentido del giro para que sea acorde al movimiento deseado del robot.
10. Una vez elegido el componente que rotara se tiene que seleccionar la pieza con respecto a la cual se generara el desplazamiento, por lo que se elige la base inferior del robot.

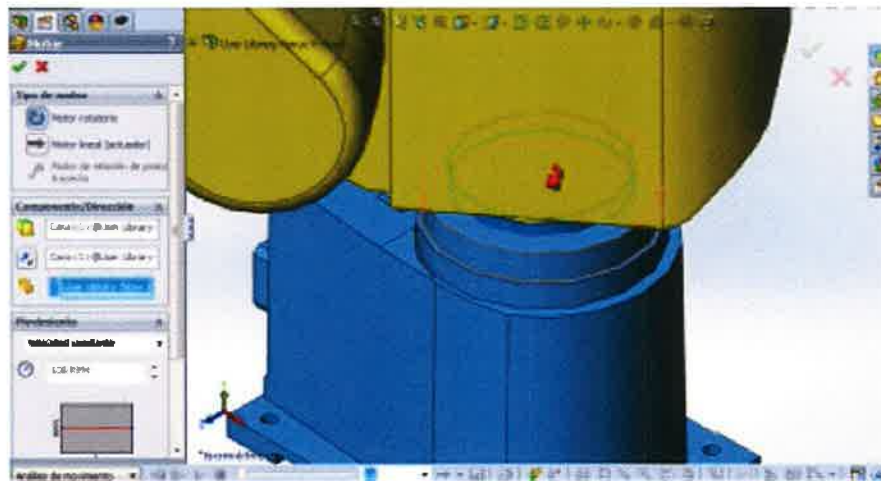


Figura 2.6: Determinación del giro del motor con respecto a pieza fija.

11. En la siguiente lista se encuentran los ajustes de los parámetros del tipo de movimiento. Al desplegar la lista se muestran distintas configuraciones. Para la simulación con NI Softmotion se elige la opción de distancia, la cual al tratarse de un motor rotatorio se indicara en grados, se puede elegir el ángulo correspondiente al área de trabajo del robot, en este caso se modificó para que tenga un área de

trabajo de 270° . En el siguiente parámetro se muestran los ajustes de los tiempos de inicio y fin del movimiento, estos valores se dejan tal cual ya que la momento de sincronizar el ensamble con el proyecto de en LabView tomaran los valores que se configuren en el Scan Engine.



Figura 2.7: Parámetros del motor.

12. Se confirma la acción y se repiten estos pasos para las articulaciones restantes del robot.
13. Cuando se han añadido todos los motores de las articulaciones se puede observar que en el timeline se muestran los correspondientes motores, si se desea se pueden renombrar para tener un nombre descriptivo de acuerdo a su función.
14. Si se desea se puede ejecutar la simulación con el fin de comprobar los movimientos de los motores en el ensamblaje.

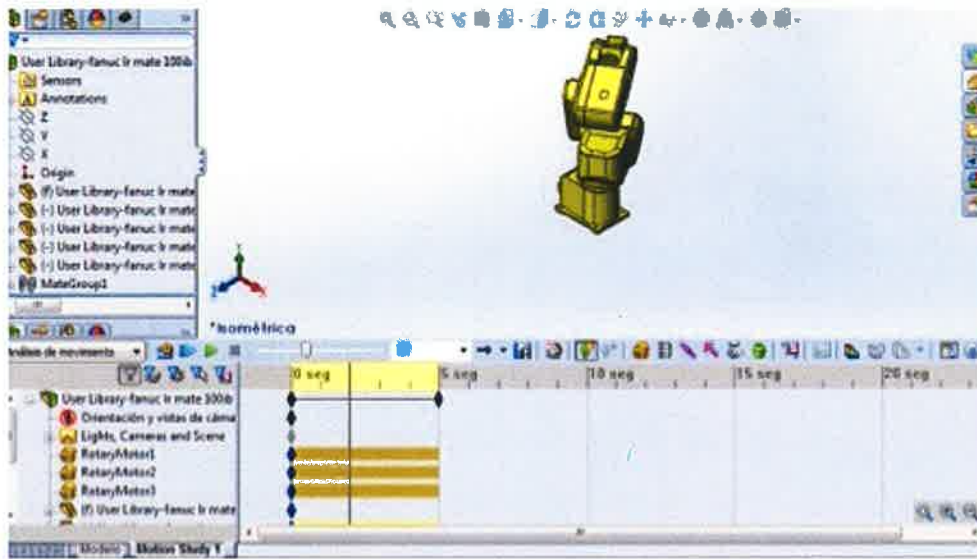


Figura 2.8: Simulación de las articulaciones del robot.

15. Se confirman los cambios realizados y se guardan, es preferible dejar la simulación abierta para poder facilitar el siguiente paso que es la creación del proyecto en LabView y la conexión con NI SoftMotion.

2.2. CREACION DEL PROYECTO DE CONTROL CON LAB-VIEW SOFTMOTION

Antes de iniciar la creación de los perfiles de movimiento de la simulación en SolidWorks, es necesario importar la información de nuestro ensamblaje en un proyecto de LabView y crear los ejes virtuales de SoftMotion que se encargaran de simular los motores incluidos en el ensamblaje. En este punto hay que resaltar que la creación de los motores de movimiento en el ensamblaje de SolidWorks se realizara a la par con la inserción de los ejes virtuales de SoftMotion, esto con el fin de evitar singularidades en el generador de trayectorias de SolidWorks que creen conflictos con los ejes virtuales de SoftMotion debido a las restricciones propias del ensamblaje. Para demostrar el funcionamiento de la integración de SolidWorks con LabView se describirán los pasos para el proceso de ajuste y configuración con uno de los ejemplos incluidos en el mismo LabView.

2.2.1. Añadiendo el ensamblaje de Solidworks al proyecto.

En este ejemplo se enfoca en el uso de un movimiento que genera una trayectoria de arco que se encarga de colocar tubos de ensayo en una mesa rotatoria para la realización de pruebas. Para añadir el ensamblaje en un proyecto de LabView se debe hacer lo siguiente.

1. Abrir SolidWorks y buscar en la siguiente ruta el ensamblaje llamado Sorting Machine.SLDASM con que se trabajara para esta demostración: <labview>\examples\motion\SoftMotion\SolidWorks CoSimulation\Sorting Machine (SolidWorks Files) Este ensamblaje simula la operación de posicionamiento de una ubicación a otra de unos tubos de ensayo a través de la mesa rotatoria .

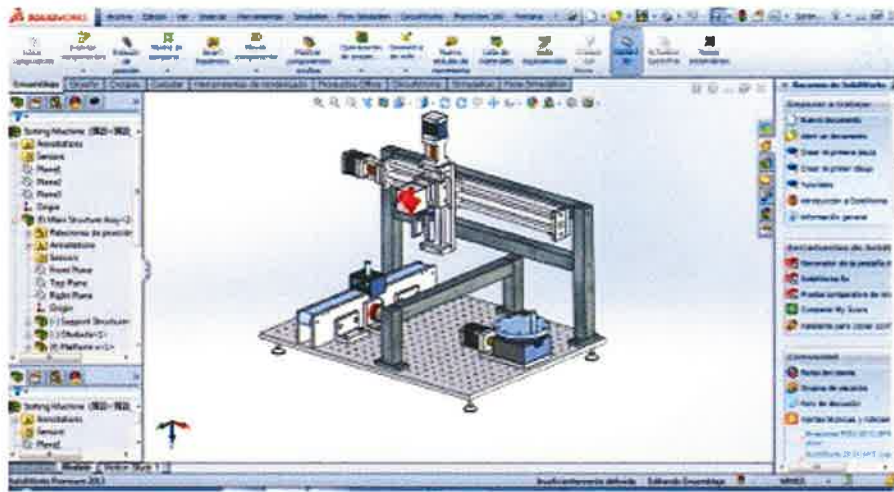


Figura 2.9: Movimiento de ejes coordinados.

2. En el nuevo proyecto creado se le da click derecho en el ítem My Computer en el árbol del Project Explorer y seleccionar New>Solidworks Assembly, donde aparecerá una ventana que pedirá la confirmación de la importación. Por default LabView seleccionara automáticamente la ruta del ensamble abierto en ese momento. Al realizar este paso se añadirán automáticamente los motores que se encuentran contenidos dentro del estudio de movimiento del ensamble de SolidWorks, los cuales se visualizan en el árbol del Project Explorer.

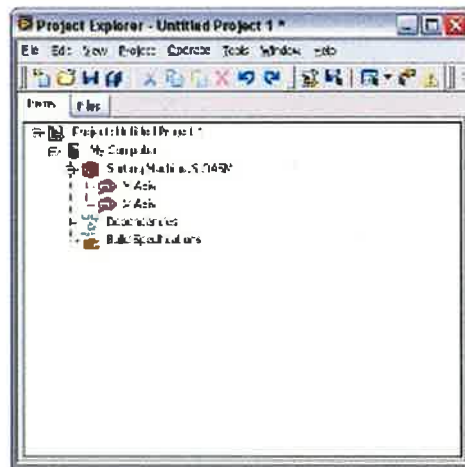


Figura 2.10: Proyecto con ensamble y ejes.

3. Dentro del árbol del Project Explorer se da click derecho sobre el ensamble y se selecciona las propiedades, en el cuadro de dialogo que se despliega se puede elegir la opción de generar un archivo

de registro donde se almacenaran los datos de las posiciones, velocidad, aceleración y torque de la simulación. Cada simulación que se realiza sobrescribe el archivo, a menos que se cree un nuevo archivo .lvm.

2.2.2. Insertar los ejes en el proyecto.

Para realizar la simulación de los motores configurados en el ensamble de SolidWorks, estos se tienen que configurar para asociarlos a los ejes virtuales de SoftMotion. Con estos ejes se crearan los perfiles de movimiento a partir de los bloques de SoftMotion. Los pasos para asociar los motores con SoftMotion son los siguientes:

1. Click derecho en My Computer y elegir: New>NI Softmotion Axis, lo que despliega el cuadro de dialogo Axis Manager.
2. Seleccionar Add New Axis, el nuevo eje aparece disponible en base al motor de SolidWorks, si se desea se puede renombrar para darle un nombre mas acorde a su función.

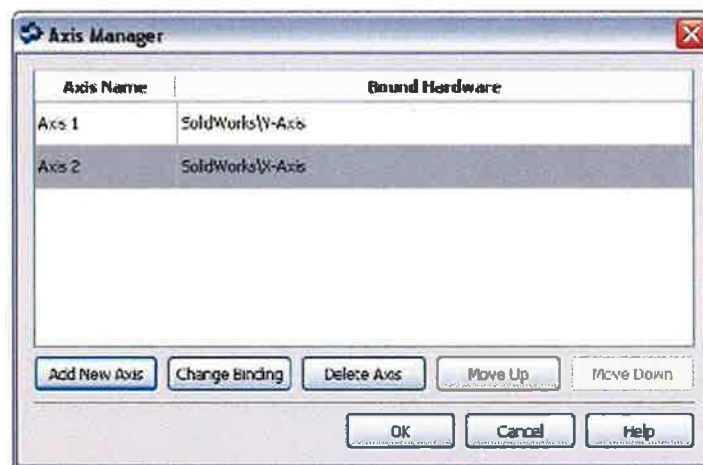


Figura 2.11: Axis manager.

3. Al confirmar la acción los motores de SolidWorks se habrán asociado a los ejes de SoftMotion y se encontraran disponibles en el Project Explorer para poder trabajar con ellos.
4. Los ejes de SoftMotion se pueden agrupar como espacios agrupados para realizar movimientos coordinados usando varios ejes a la vez de forma simultánea si la aplicación a simular así lo requiere. Click

derecho en My computer y elegir la opción New>NI SoftMotion Coordinate Space, esto desplegara el cuadro de dialogo Configure Coordinate Space.

5. Se añaden los ejes que se desean coordinar mostrados del lado izquierdo en el cuadro Available Axes, si se desea se puede renombrar el Coordinate Space con un nombre de acuerdo a su acción. Se confirma la acción y el nuevo espacio coordinado se encontrara disponible en el Project Explorer para la aplicación que sea requerida.

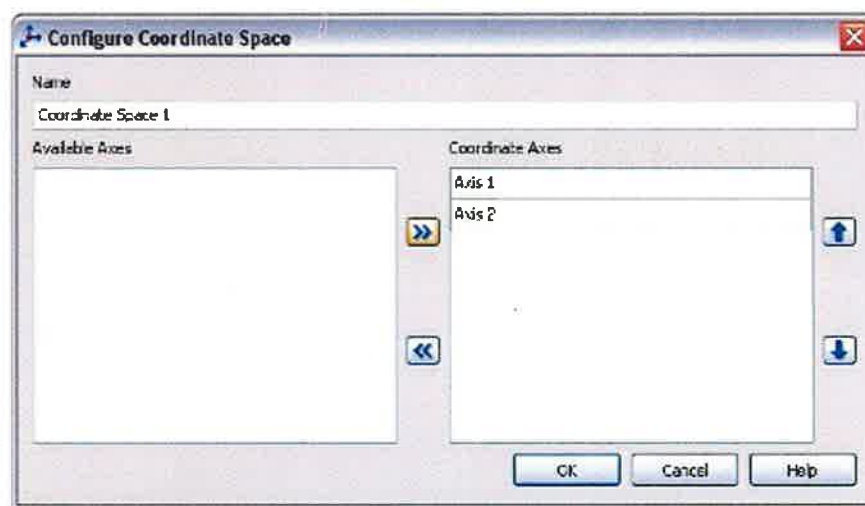


Figura 2.12: Creación de espacio coordinado.

6. Los ejes asociados a los motores de SolidWorks SoftMotion los identifica como servomotores. En el Project Explorer hacer click derecho el eje a modificar y seleccionar las propiedades, lo que mostrara la ventana Axis Configuration. Los parámetros no disponibles se muestran sombreados.
7. En la configuración del eje se deben confirmar los check box correspondientes a Axis Enabled y Enable on Transicion to Active mode. Esto habilitara automáticamente los ejes para que NI Scan Engine pueda ponerlos en Active Mode. Hecho los ajustes necesarios se confirma la acción.

2.2.3. Creación de un perfil de movimiento y ejecución de la simulación.

Para la creación de los perfiles de movimiento para la simulación del ensamble de SolidWorks es necesario emplear los bloques de función de NI SoftMotion que se encuentran en la librería de bloques de funciones. Estos bloques de función permiten la creación de distintos tipos de trayectorias y movimientos, así como la lectura y escritura de información referente a los movimientos.

El VI Timed Loop permite la sincronización del perfil de movimiento con NI Scan Engine para movimientos donde la velocidad de respuesta sea crítica. Cualquier aplicación puede ser insertada dentro de un Timed Loop con el fin de garantizar su ejecución de acuerdo al intervalo del periodo de escaneo que se especifique. Los bloques de SoftMotion generalmente se ejecutan sobre hardware con un sistema operativo en tiempo real para crear aplicaciones de movimiento que exigen cierto grado de determinismo. Para hacer esto en My Computer hacer click derecho y seleccionar New>VI para crear un nuevo VI donde se realizaran los perfiles de movimiento, luego insertar el VI Timed Loop en el diagrama de bloques, se localiza en conjunto Timed Structures.

Hacer doble click en Input Node para desplegar la ventana Configure Timed Loop. En las configuraciones del Loop Timing Source dentro de la lista Source Type seleccionar Synchronize to Scan Engine y confirmar la acción.

2.2.4. Creación del perfil de movimiento.

Para esta demostración se emplea el bloque de función Arc de SoftMotion en conjunto con el Coordinate Resource creado anteriormente para ejecutar un movimiento de arco circular equivalente al desplazamiento del tubo de ensayo.

- Arrastrar el bloque Arc dentro del Timed Loop.
- Hacer click derecho en la entrada del nodo Executey seleccionar Create>Control para crear un botón de tipo booleano en el panel frontal que servirá para activar esa entrada, hacer el mismo paso para las entradas correspondientes a Position, Velocity, Acceleration, Acceleration jerk, Start Angle, Travel Angle y Radius.

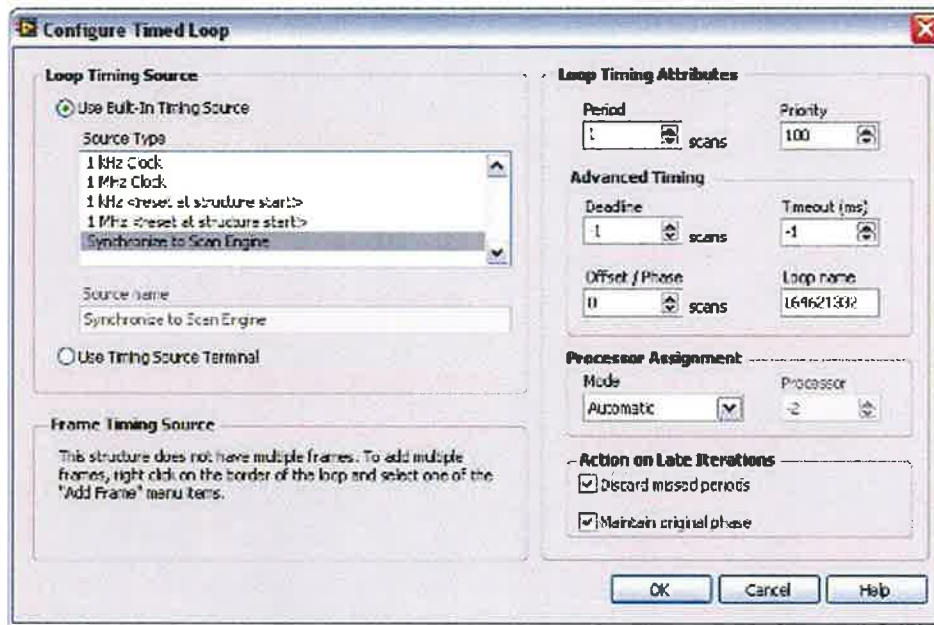


Figura 2.13: Sincronización de Scan Engine.

- Arrastrar el Coordinate Space 1 del Project Explorer en el panel de bloques del VI fuera del Timed Loop y cablearlo con la entrada Resource del bloque Arc.
- De acuerdo a la aplicación los valores de la aceleración y desaceleración pueden ser diferentes, para esta aplicación ambos se mantendrán iguales.
- En la salida Done hacer click derecho y elegir Create>Indicator, lo que insertara un indicador numérico en el panel frontal.
- Cablear la salida Error Out en el borde del Timed Loop.
- Click derecho sobre el loop tunnel creado por el error uot y seleccionar Replace with Shift Register, esto con el fin de retroalimentar la información de los posibles errores a la siguiente iteración del Timed Loop, posteriormente cablear la entrada Error In con el Shift Register creado en el otro borde del Timed Loop.
- Hacer click derecho en el anterior Shift Register y elegir Create>Constant para generar un cluster de error fuera del Timed Loop. Debido a que el hardware donde se ejecutara la aplicación empleara NI Real-Time Module, los arreglos y clusters se deberán inicializar fuera del Timed Loop con el fin de no saturar la memoria del sistema.

- Hacer click derecho en la terminal condicional del Timed Loop y seleccionar Create>Control para añadir un botón de paro en el panel frontal para detener la ejecución del VI en cualquier momento.
- En el panel frontal ajustar los valores del movimiento con estos parámetros: Radius: 50; Start Angle: 180; Travel Angle: 180.
- Mantener los valores de Velocity, Acceleration, Acceleration Jerk en los mismos. Posteriormente se pueden mover estos parámetros y ejecutar la simulación para observar los cambios en las restricciones del movimiento en el sistema.

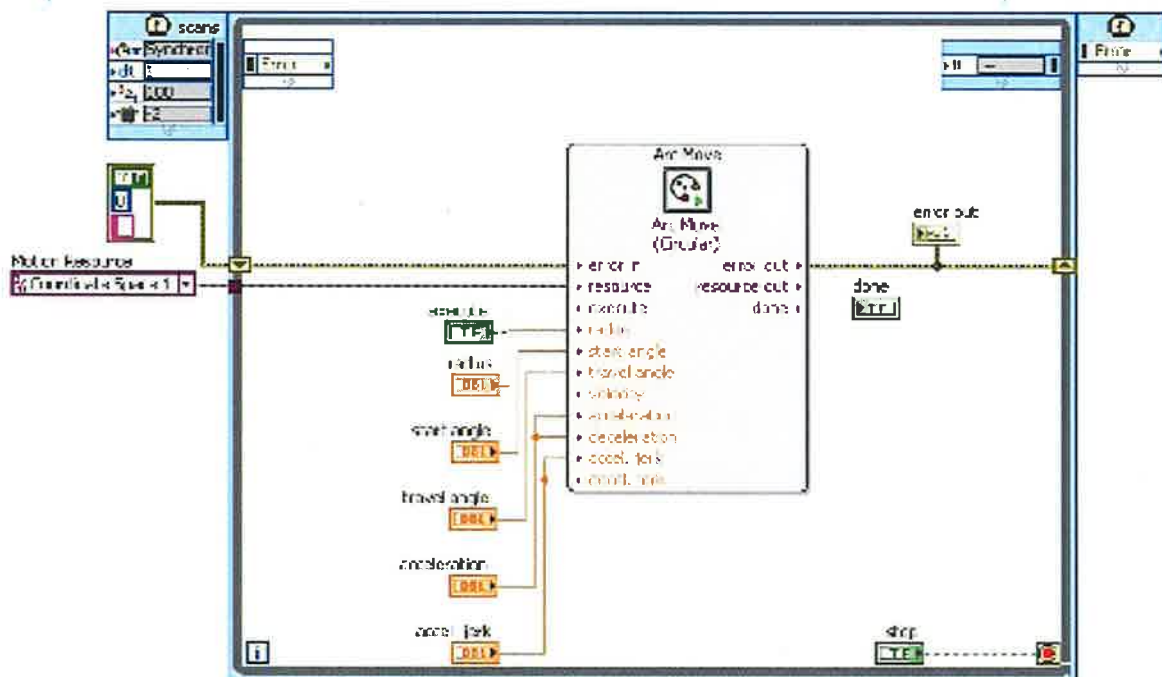


Figura 2.14: Movimiento de un espacio coordinado.

- Para poder ejecutar la simulación de SolidWorks con el perfil de movimiento creado es necesario depurar y lanzar la aplicación. Click derecho en My Computer, dentro del Project Explorer y seleccionar Properties, seleccionar Scan Engine de la lista de categorías y marcar el checkbox Start Scan Engine on Deploy. Confirmar la acción.
- En el Project Explorer seleccionar los ejes del ensamble de SolidWorks y los demás parámetros relacionados y hacer click derecho, seleccionar Deploy. De esta manera LabView configura y prepara las I/O con los ajustes del VI y cambia el Scan Engine al modo activo para poder iniciar la simulación de SolidWorks, nuevamente click derecho sobre el ensamble de SolidWorks y seleccionar Start Simulation. Hecho esto se puede correr el VI y observar los movimientos asociados al perfil creado.

Capítulo 3

PROTOTIPO DE ROBOT DERRICKMAN PARA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS

3.1. PERSPECTIVA DEL PROCESO DE PERFORACION DE POZOS PARA EXTRACCION DE PETROLEO

Al inicio de la exploración y producción petrolera, los pozos eran perforados con torres de perforación con equipos de cable. La técnica utilizada fue la perforación por percusión donde una broca y la sarta de perforación suspendida por un cable se dejaban caer repetidamente para ir haciendo hueco. Los golpes repetidos iban penetrando la formación profundizando el pozo en el proceso. Las desventajas de la torre de perforación con equipos por cable eran las capacidades de perforación limitada, velocidades de perforación muy lentas y que no había forma de controlar la presión de formación desde el sitio de operación. La perforación Offshore (mar adentro) requiere obviamente de un buque completamente autosuficiente, no sólo en términos de perforación, sino también de acomodación del personal. Localizados en ubicaciones remotas y hostiles, son mucho más costosos de operar y requieren medidas de seguridad más sofisticadas puesto que el nivel del agua separa la cabeza del pozo de la torre de perforación. Existen diferentes tipos de torre de perforación en mar adentro y su uso depende principalmente de la profundidad del agua en que se ve a operar.

3.1.1. ELEMENTOS DE UNA TORRE DE PERFORACION

Actualmente la mayoría de las torres de perforación incorporan un taladro rotatorio de perforación. Esto debido al movimiento de la broca y la sarta de perforación al aplicarse una fuerza rotatoria que corta la roca en el pozo. La sarta de perforación consiste en tubería de acero la cual conduce en su interior

el fluido de perforación hasta la broca de perforación. Esta sarta de perforación es una combinación de tubería 'standard' de perforación, tubería de perforación más pesada, de mayor diámetro y calibre, y 'botellas' (Drill collars) aún más pesadas.

3.1.2. Sistema de movimiento de la tubería

Las funciones básicas de este sistema son:

- Soportar el peso de la sarta de perforación.
- Realizar el movimiento de vaivén de la sarta de perforación.
- Mantener el peso aplicado sobre la broca durante la perforación.

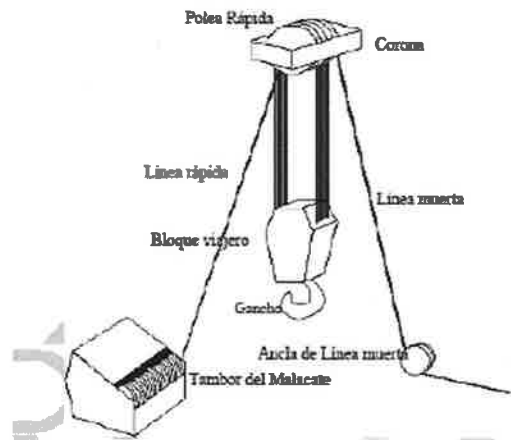


Figura 3.1: Sistema de malacate.

Durante el proceso de perforación el top drive y la sarta de perforación serán transportados por el bloque viajero colgados de un gancho que es jalado por la llamada línea de perforación al enrollarse y desenrollarse sobre un malacate.

3.1.3. Unidad Top Drive

El Top Drive es un tipo de taladro que combina la función de una mesa rotatoria y el swivel de un sistema Kelly, el cual puede ser operado de forma eléctrica o hidráulica. En este sistema la sarta de perforación es conectada directamente al Top Drive donde la rotación se hace directamente.



Figura 3.2: Top Drive.

Para insertar una lingada que se encuentra sobre el piso de perforación, durante el viaje de subida del top Drive un operador comúnmente denominado Derrickman que se encuentra en una plataforma situada a cierta altura de la torre de perforación debe tomar la lingada del conjunto de tuberías que se encuentran alineadas en un rack y colocarla sobre la lingada que se encuentra ya metida en el pozo. Mientras las conexiones entre los tubos se aprietan la sarta de perforación debe ser sostenida por medio de unas cuñas en la mesa rotatoria para impedir que esta caiga al fondo del pozo. Los brazos del elevador sujetan la lingada sobre la caja de conexión de esta debido al diámetro mayor de esta zona. La lingada es rápidamente enroscada con la otra por una herramienta motriz y el Top Drive al descender inserta toda la lingada hasta el fondo del pozo, repitiendo esta operación hasta llegar a la profundidad deseada. El realizar estas operaciones de empare y colocación de lingadas del rack a la mesa rotatoria implica un gran riesgo para el Derrickman así como para los encargados de apretar y colocar las cuñas.



Figura 3.3: Derrickman o “chango” en acción.

La operación de perforación implica bajar la sarta de perforación dentro del pozo y aplicar suficiente peso a la broca para romper y penetrar la formación. Durante la perforación, la sarta de perforación es forzada a girar por la mesa rotaria o por el Top Drive mientras se circula fluido de perforación por entre la tubería, la broca y de regreso a la superficie arrastrando los cortes de perforación. A medida que va progresando la perforación, en el caso de que se esté usando Top Drive, se van haciendo conexiones durante las cuales la circulación se interrumpe temporalmente. La sarta se cuelga en las cuñas sobre la rotaria, dejando sobre ella la caja de conexión superior del último tubo agregado. Se procede a desenroscar el Top Drive con las llaves, se conecta la nueva junta al Top Drive y luego a la sarta de perforación usando el pipe-spinner y las llaves. Una vez que estas conexiones se han realizado, la sarta de perforación se baja nuevamente al fondo del pozo y se reanuda la perforación. Cuando se desgasta la broca, esta debe reemplazarse sacando completamente del pozo la sarta de perforación.

3.2. DISEÑO PROTOTIPO ROBOT DERRICKMAN

La principal finalidad del desarrollo de este proyecto es el diseño del prototipo de un robot que realice los movimientos que lleva a cabo el Derrickman sobre la torre, tanto para introducir tubería dentro del pozo como para su extracción. Debido a los riesgos que implica realizar esta actividad viene la necesidad de un sistema que lleve a cabo esta labor de manera segura para el personal del equipo de perforación y la infraestructura de la plataforma. La descripción de la operación de desensamble de tubería con ayuda del brazo robotizado se presenta a continuación, teniendo en cuenta que el brazo también es usado para el ensamble.

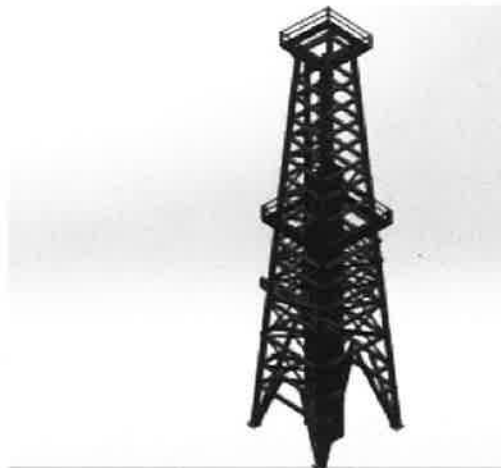


Figura 3.4: Torre de perforación.

El diseño se realizó de tal forma que durante los movimientos de operación de lingadas estas permanezcan siempre verticales con el fin de evitar que si esta posee un diámetro reducido no se produzcan flexiones y oscilaciones innecesarias que pudieran comprometer la durabilidad de estas mismas.

Se pueden identificar los elementos del diseño del manipulador de acuerdo a las características mecánicas de las funciones que realizan, esta nomenclatura será la manejada para referirse a cada parte de su estructura.

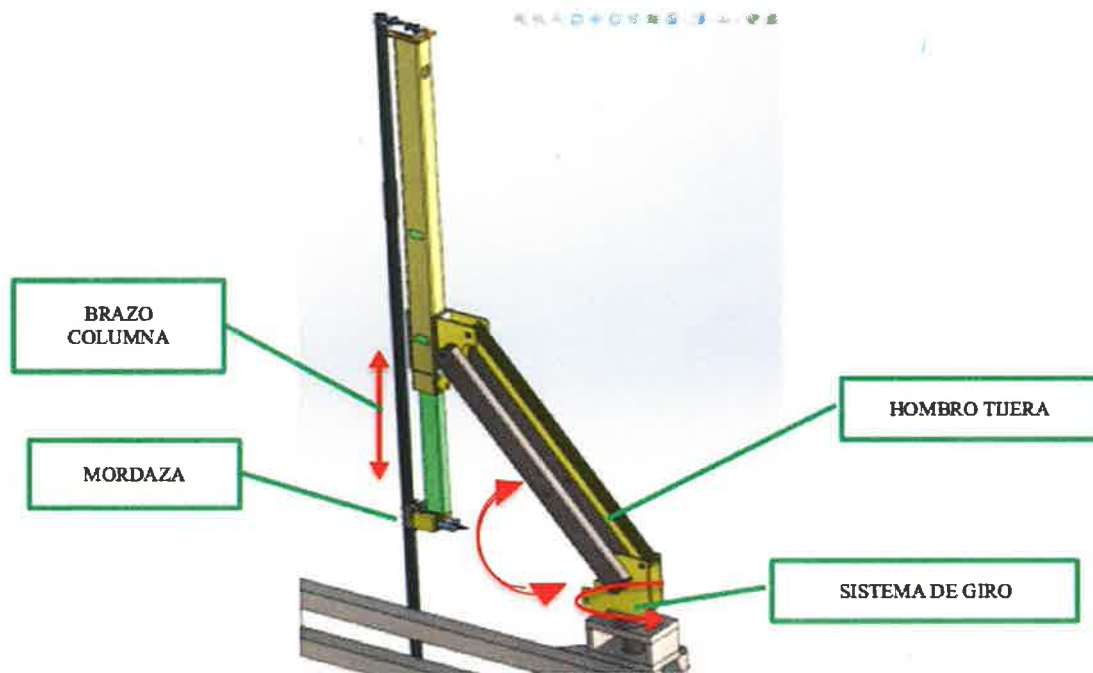


Figura 3.5: Identificación de las partes articulares del diseño.

El brazo robotizado tendrá la función de ayudar al operador ubicado en el medio changuero (Belly Board) a movilizar los tubos que son utilizados para la reparación de pozos petroleros con la siguiente secuencia propuesta de movimientos de operación:

1. El malacate por medio de la polea viajera levantará el tubo hasta colocar la unión de ensamble del tubo en la posición en que los ayudantes de piso de la plataforma.
2. Los ayudantes de piso desensamblarán la tubería, en este punto también el operador ubicado en el medio changuero con el brazo robotizado se coloca en posición de sujeción del tubo.



Figura 3.6: Manipulación de la lingada.

3. Una vez que el tubo se encuentre totalmente desensamblado el brazo robotizado ayudará al chango (en la parte superior de la torre) a mover la tubería a la siguiente posición adecuada descansando el tubo.
4. El operador del malacate (perforador) junto con el chango soltarán el tubo de la polea viajera y automáticamente se asegurará el tubo al rack. Se contemplan en el diseño dos racks de sujeción para evitar que los tubos de menor diámetro se doblen por el peso y el espesor de pared del mismo tubo.

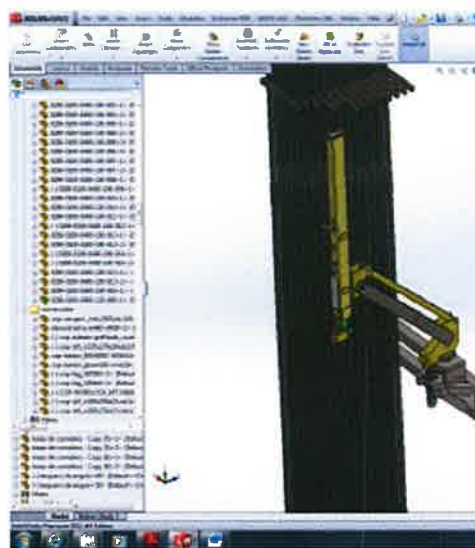


Figura 3.7: Acomodación en el rack.

5. El malacate, la polea viajera y el brazo mecanizado se moverán para la sujeción y movimiento de otro tubo y el ciclo se repite.

Capítulo 4

RESULTADOS

4.1. SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DEL ROBOT

Basandose en los preceptos antes mencionados se elaboro el programa de simulación en NI LabView, considerando los algoritmos de cinemática directa para obtener la posición del manipulador con respecto a la base donde se encuentra situado en la torre de perforación. Con el fin de hacer tener un control lo mas parecido al dispositivo final para manipular el robot dentro de la simulación se empleo un controlador tipo gamepad con palancas y botones como dispositivos de entrada. Las rutinas de operaciones que se ensayan en el simulador son las de perforación de pozo y desensamble de tuberías para reparación de un pozo. La base del prototipo se coloco a una altura de 12 metros a partir del pozo de perforación de la torre, con el fin de proporcionar una distancia adecuada para la manipulación de las lingadas de diámetro menor y evitar flexiones y oscilaciones que las dañaran. Para la generación de las trayectorias fue mas conveniente utilizar movimientos coordinados entre los ejes del manipulador para reducir al mínimo los ciclos de operación y se ensayaron los movimientos mas adecuados para no producir interferencias y colisiones entre la estructura de la torre de perforación y el rack donde se encuentran montadas las lingadas. La estrategia que se siguió para la manipulación de las lingadas se definió partiendo de la posición inicial del manipulador con respecto al rack para evitar movimientos innecesarios y la colocación y desmontaje de las lingadas de forma secuencial y en orden.

4.2. UBICACIÓN ESPACIAL DEL MANIPULADOR

Con el fin de que al momento de operar el simulador se tenga una percepción gráfica de la ubicación del manipulador con respecto al rack de lingadas fue necesario aplicar cálculos de cinemática directa. La cinemática directa relaciona las coordenadas articulares y propiedades geométricas del sistema mecánico con las coordenadas cartesianas del robot y la orientación de la herramienta colocada en el extremo final. Para llevar a cabo el calculo de la cinemática directa se empleo la parametrización de Denavit-Hartenberg.

Este método ofrece un procedimiento sencillo para obtener el modelo cinemático directo cuya estructura queda en términos de las transformaciones homogéneas. Consiste en determinar una tabla de parámetros relacionados con los eslabones del robot. Las variables articulares en la representación D-H se denotan de la siguiente manera:

- Ángulos theta: Cada θ_i es el ángulo desde x_{i-1} hasta x_i girando alrededor de z_i .
- Distancias d : Cada d_i es la distancia desde el sistema xyz_{i-1} hasta la intersección de las normales común de z_{i-1} hacia z_i , a lo largo de z_{i-1} .
- Distancias a : Cada a_i es la longitud de dicha normal común.
- Ángulos α : Ángulo que hay que rotar z_{i-1} para llegar a z_i , rotando alrededor de x_i .

Para la realización del análisis cinemático se elaboró un modelo simplificado del prototipo solamente con fines demostrativos, por lo que se omitieron algunos offsets entre las articulaciones.

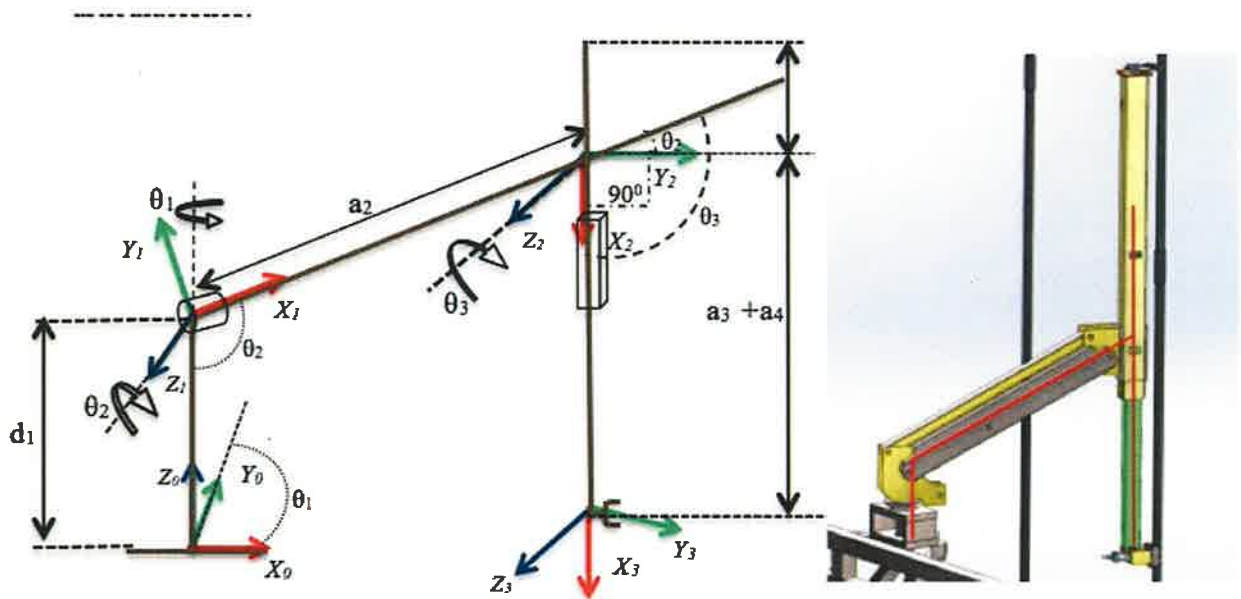


Figura 4.1: Representación cinemática del manipulador.

Para el prototipo del manipulador de lingadas los parámetros D-H quedan de la siguiente manera:

Link	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	0	$\pi/2$
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	0	0
4	0	0	a_3+a_4	0

Figura 4.2: Parámetros D-H del manipulador.

El mecanismo de movimiento de los links del manipulador está diseñado de tal forma que sea un sistema paralelo en la sección del brazo-columna para mantener la verticalidad durante los movimientos de flexión del brazo tijera. Para su estudio cinemático este sistema se manejó considerando la relación entre dos rectas paralelas cortadas por una secante. Esto permite la identificación de los ángulos correspondientes u homólogos, que son los que se encuentran en el mismo lado de la secante, un ángulo en la parte interior y otro en la parte exterior de las líneas paralelas.

Este ángulo corresponde a θ_2 por lo cual si se aplica esta propiedad su homologo quedaría en el ángulo formado por la intersección del brazo columna con la horizontal a partir de su eje de rotación formando el ángulo. La línea paralela que representa al brazo columna forma un ángulo recto con respecto a la horizontal de θ_2 con lo cual se obtiene θ_3 el cual es un ángulo variable en función de θ_2 y la constante de 90° del ángulo recto de la intersección de la horizontal con la línea paralela del brazo columna.

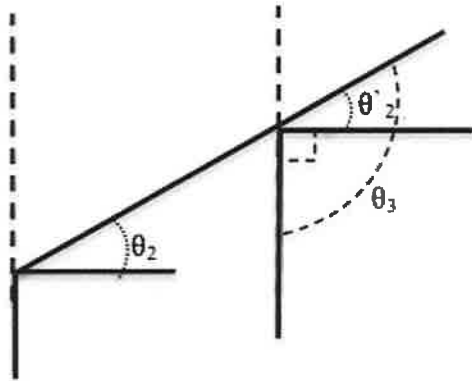


Figura 4.3: Representación de θ_3

El cuarto frame está definido por el desplazamiento lineal del brazo columna. Se tiene la distancia variable entre la longitud fija del brazo columna y la longitud variable del extremo retraible donde se ubica la mordaza de agarre, esta distancia es la que se encuentra entre los ejes z_2 y z_3 a lo largo del eje x , por ser esta la distancia más corta en esta articulación se calculó como $a_3 + a_4$. Este es el único parámetro

de este frame, se omiten los demás parámetros debido a que los otros ejes son los mismos del anterior frame y la única variación viene dada por $a_3 + a_4$, dicho frame es equivalente a trasladar los anteriores parámetros a lo largo de x .

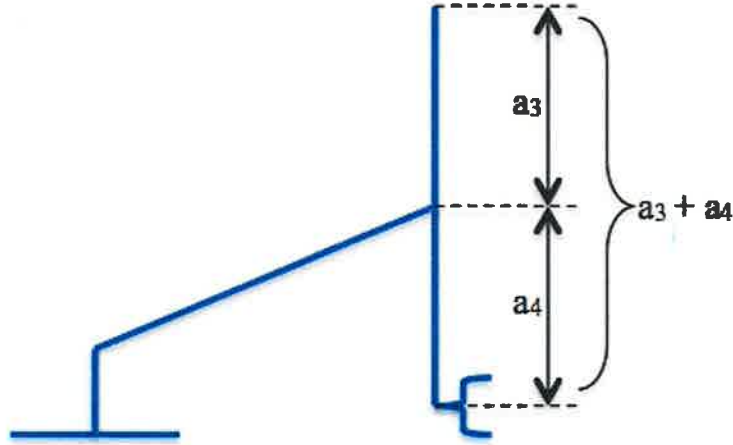


Figura 4.4: Movimiento prismático de $a_3 + a_4$

Aplicando la matriz de transformación con la siguiente expresión:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \cos \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Al sustituir esta matriz con los parámetros Denavit-Hartenberg resultantes para cada eslabón se obtienen las matrices de transformación correspondientes a cada uno.

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & a_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & a_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_3 + a_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Ahora hay que obtener la matriz de transformación T_4^0 desde el marco base fijo hasta el marco el ultimo eslabón, para esto se realiza un producto de matrices en orden secuencial

$$T_2^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \sin \theta_2 & -\cos \theta_1 \sin \theta_2 & \sin \theta_1 & a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_1 \cos \theta_2 & -\sin \theta_1 \sin \theta_2 & -\cos \theta_1 & a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & a_2 + \sin \theta_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Ahora siguiendo el orden establecido se obtiene el producto de la matriz $T_2^0 * T_3^2$ y reduciendo por identidades trigonométricas:

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ 0 & \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 & a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ -1 & 0 & 0 & a_2 \sin \theta_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Por ultimo $T_3^0 * T_4^3$

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} 0 & -\cos \theta_1 & \sin \theta_1 & a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ 0 & -\sin \theta_1 & -\cos \theta_1 & a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ -1 & 0 & 0 & -a_3 + a_4 + a_2 \sin \theta_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Esta última matriz de transformación contiene las ecuaciones correspondientes a la posición y orientación del extremo final con respecto a la base fija, la matriz de posición correspondiente es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ a_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ -a_3 + a_4 + a_2 \sin \theta_2 + d_1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

4.3. PRUEBAS PRÁCTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE SOLIDWORKS SIMULATION CON LABVIEW SOFTMOTION

Para la realización de las pruebas de funcionamiento del simulador se elaboro un proyecto de control en Labview que permitiera el control del modelo virtual en SolidWorks por medio de un dispositivo externo, en este caso un joystick. Al ingresar valores por medio de las palancas del joystick se le transmiten los datos para que el modelo virtual se posicione en el lugar deseado por el usuario y verificar los movimientos y posiciones deseadas por el usuario.

Como se menciona anteriormente en el capítulo de los procedimientos se hizo la creación de un proyecto nuevo de LabVIEW que permita integrar todos los elementos y organizarlos. Los pasos son mostrados a continuación.

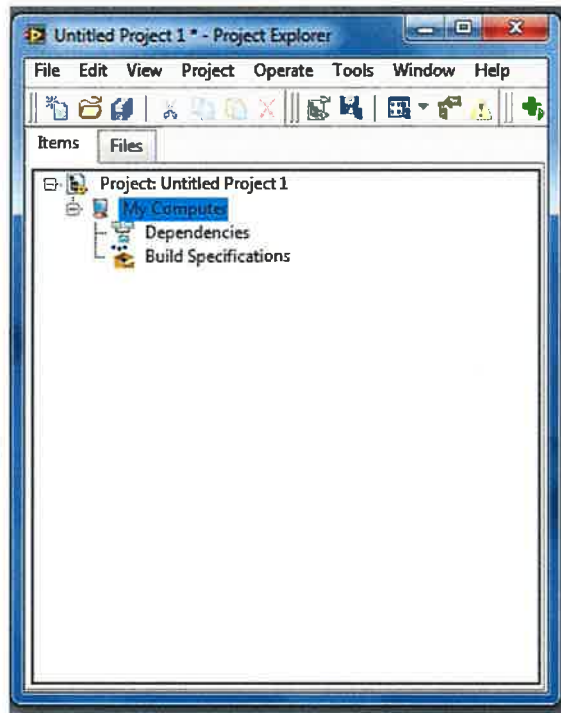


Figura 4.5: Proyecto vacío de LabVIEW.

Cuando se tiene creado ya el proyecto se procede a la inserción del ensamble diseñado en SolidWorks haciendo click derecho sobre My Computer y en nuevo elegir la opción para añadir el ensamble.

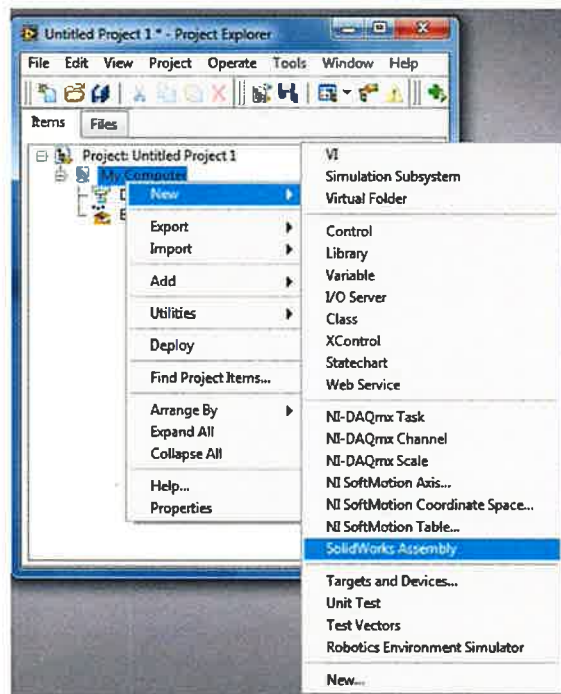


Figura 4.6: Menú para añadir ensamble.

Al momento de realizar esta acción se despliega una ventana que permite elegir la ubicación del archivo del ensamble para buscarlo en alguna carpeta de la computadora. También cuenta con la característica que si en el momento de realizar estos pasos se encuentra abierto SolidWorks con el ensamble requerido automáticamente se inserta la ruta en la ventana y se confirma la acción.

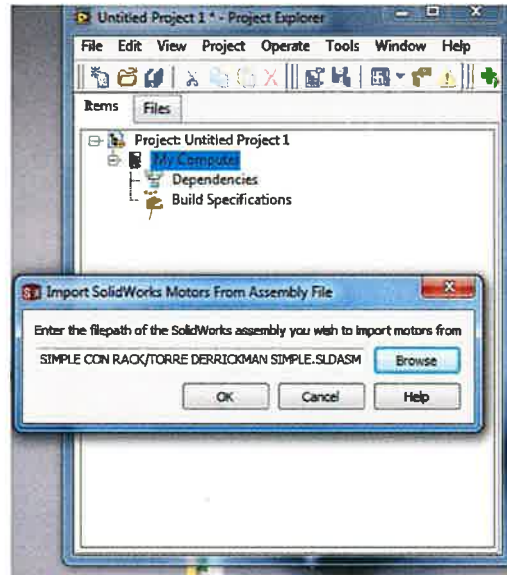


Figura 4.7: Selección del modelo de SolidWorks.

En este momento se puede ver el modelo de SolidWorks dentro del proyecto junto con los actuadores virtuales creados en el estudio de movimiento de SolidWorks, de la manera en que se encuentran SoftMotion no puede trabajar con ellos por lo que se deben insertar como ejes de SoftMotion para que sea posible trabajar con ellos en la aplicación de LabVIEW. Al dar click derecho sobre My Computer en la lista de New es necesario elegir la opción de SoftMotion Axis.

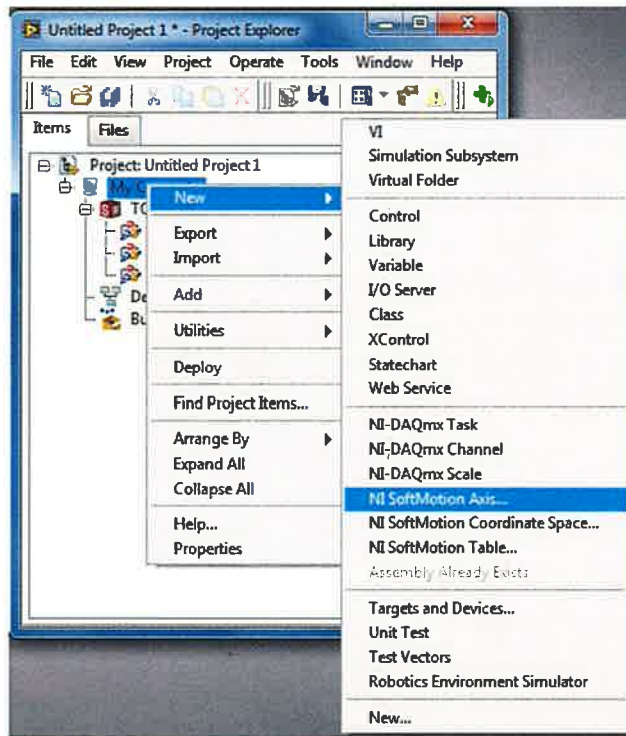


Figura 4.8: Inserción de eje de SoftMotion.

Al hacer eso se despliega la ventana del Axis Manager donde se añaden los motores virtuales de Solidworks para que sean identificados por SoftMotion y realizar ajustes con ellos así como su orden.

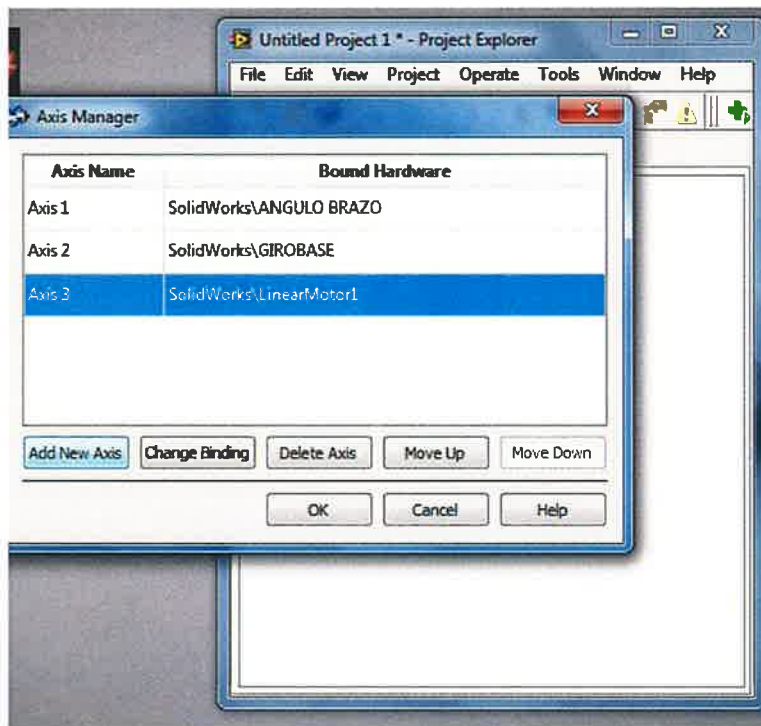


Figura 4.9: Axis Manager.

Cuando se realiza esta acción los ejes de SoftMotion se encuentran ya dentro del proyecto y es necesario realizar unos ajustes para trabajar con ellos en la simulación. Haciendo click derecho sobre alguno de los ejes añadidos y eligiendo las propiedades se muestran los ajustes de distintos parámetros. En los ajustes generales se tiene que configurar el eje para pasar automáticamente al estado activo cuando se realice el deploy del proyecto e iniciar su funcionamiento.

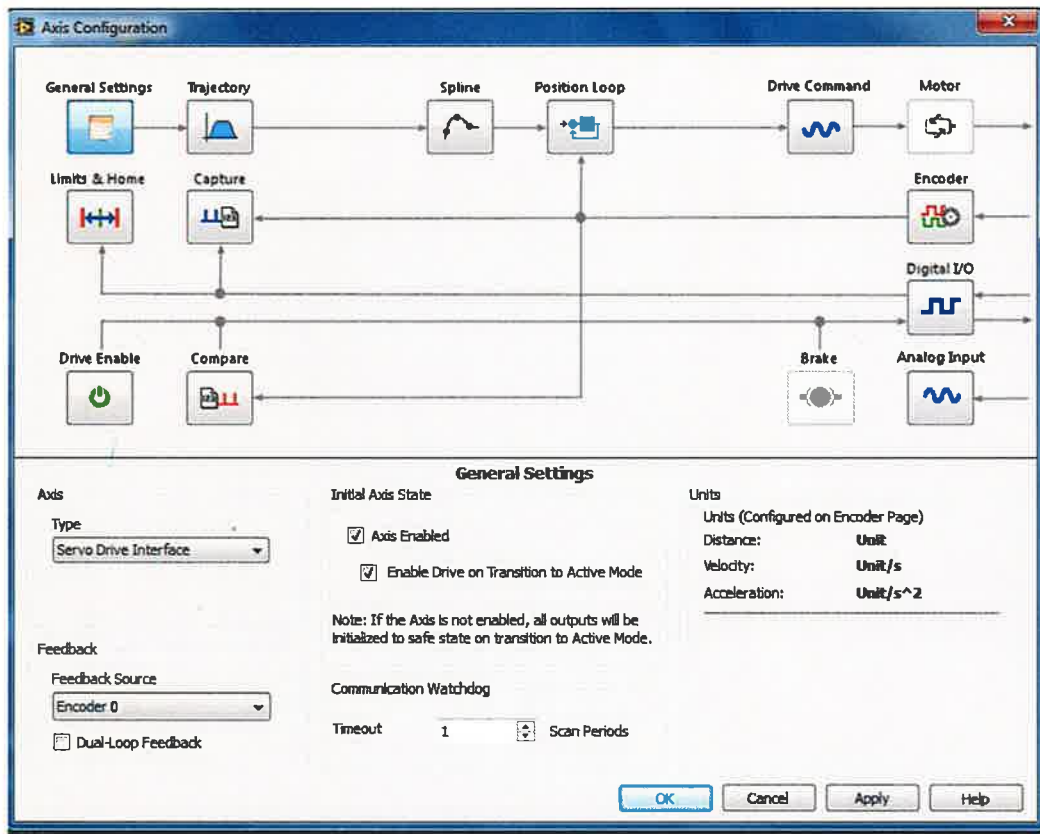


Figura 4.10: Configuración del drive virtual.

De esta manera el proyecto queda listo para empezar a desarrollar los VI's de control. El programa de control principal realiza la adquisición de los valores de ingreso por medio del joystick y la selección de los ejes de SoftMotion donde se ejecutaran las acciones de movimiento.

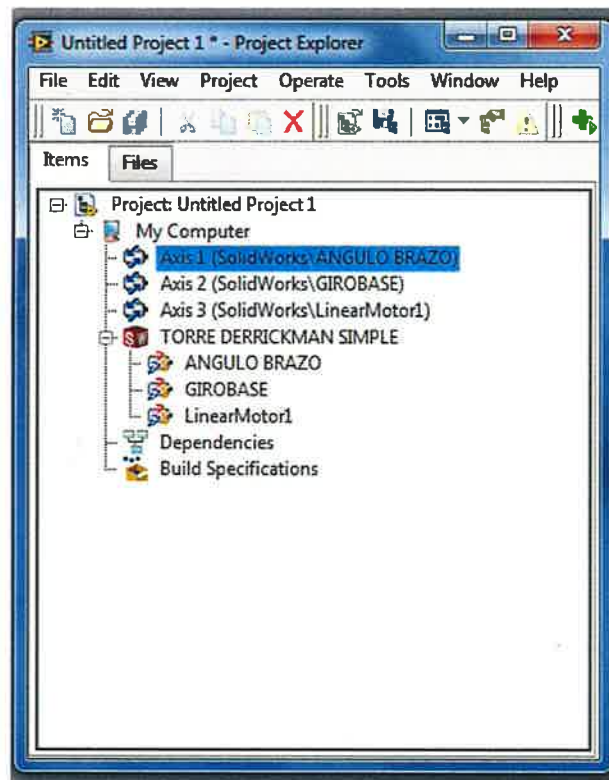


Figura 4.11: Proyecto con ejes insertados.

Cuando los datos introducidos por el joystick son capturados se procesan en subVI's que hacen conversiones para entregar los valores del joystick en grados. Al salir de la conversión estos valores se introducen en un subVI donde se realizan operaciones de cinemática directa entre los ejes que al salir son direccionados a los VI's de SoftMotion.

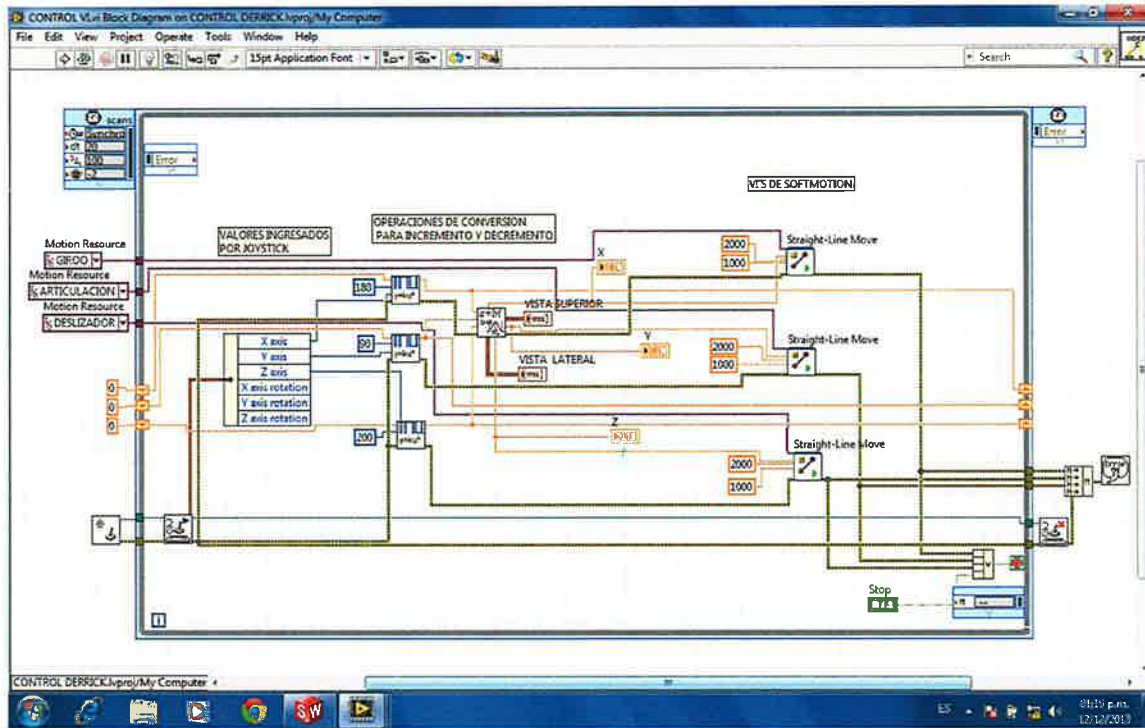


Figura 4.12: VI de control principal.

Los movimientos y posiciones asociadas a las palancas se encuentran relacionados de tal forma que correspondan con algún grado de libertad en el manipulador.



Figura 4.13: Dispositivo externo de control.

Dentro del proyecto de LabVIEW para el control del simulador se crearon tres ejes de SoftMotion asociados a los grados de libertad del manipulador estos asocian estos recursos dentro del proyecto con el VI principal de control, para facilitar la identificación se renombraron de forma asociativa con las acciones que estos realizarían.

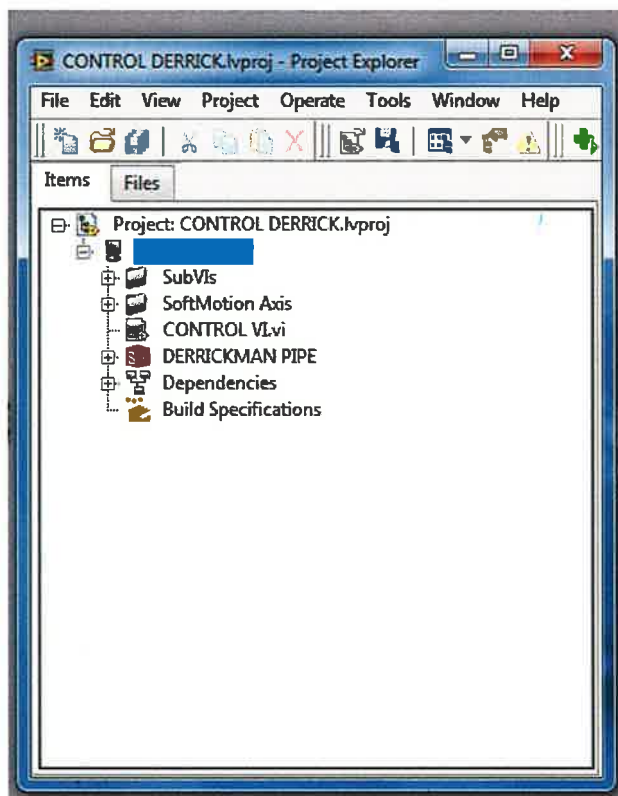


Figura 4.14: Proyecto de LabVIEW con ensamble de SolidWorks.

Los resultados de las ecuaciones de cinemática directa se implementaron en el código de control en LabVIEW para representar alternadamente una visualización 2D en el panel frontal del movimiento de las trayectorias generadas por en la interfaz de SolidWorks.

Los datos introducidos por el joystick se direccionan hacia unos comparadores que realizan operaciones de conversión para que cuando sea pulsado en un sentido se incremente o decremente el valor correspondiente al eje deseado.

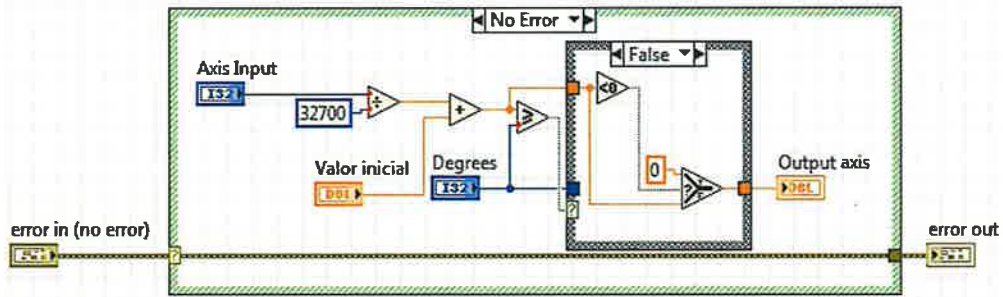


Figura 4.15: Conversión de los valores de entrada del joystick.

El resultado de la conversión se redirige a los VI de conversión de grados a radianes, puesto que los operadores trigonométricos de LabVIEW ocupan esas unidades. Se realizan las operaciones matemáticas correspondientes a las ecuaciones de posición y los valores son introducidos a motion. De forma paralela se conecta unos VI para que sean representados de forma gráfica directamente en el panel frontal del VI principal.

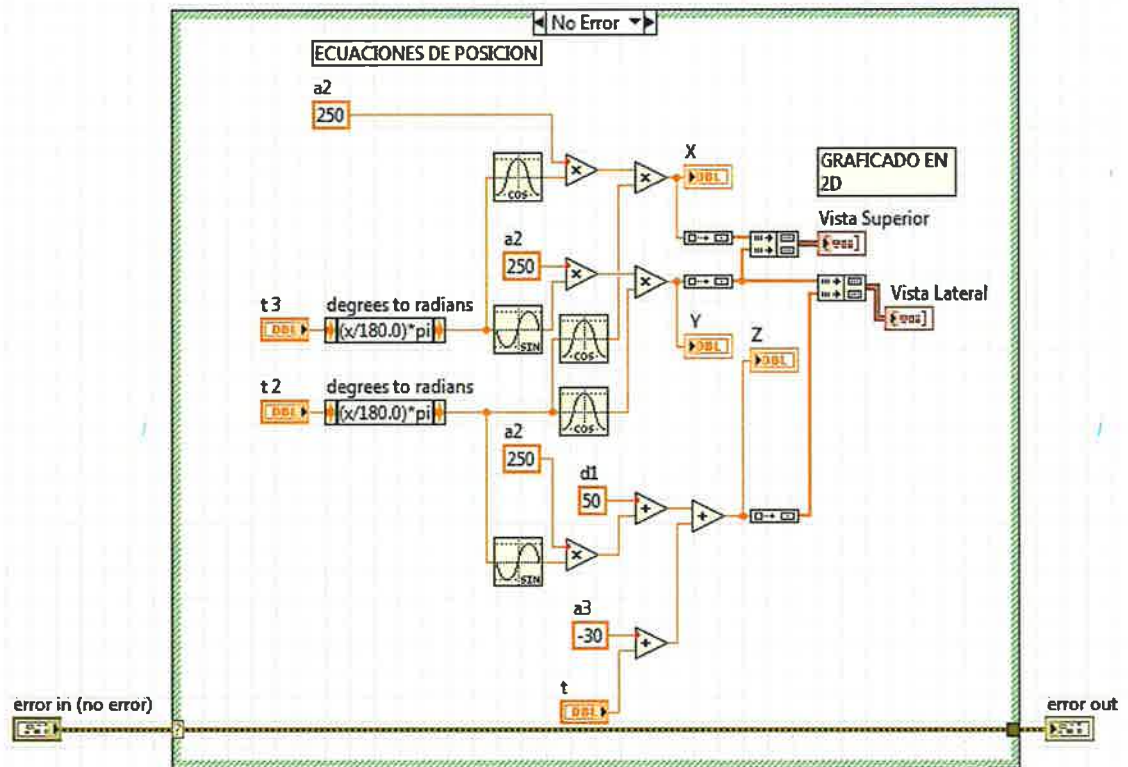


Figura 4.16: Implementación de ecuaciones cinemáticas de posición.

Debido a las anteriores pruebas realizadas durante el proceso de aprendizaje se pudo observar que si se realizan operaciones complejas dentro del VI principal debido a la potencia requerida por la complejidad de estas mismas el sistema tendía a sufrir problemas en su rendimiento y a generar errores en NI SoftMotion. La frecuencia de aparición se daba luego de la ejecución de algunas rutinas de movimiento, regresar a la posición de inicio y luego al momento de querer iniciar una nueva trayectoria se generaba el error de los drives virtuales. Ese tipo de errores son intrínsecos a la aplicación debido a la misma complejidad de SoftMotion para depurar este tipo de bugs en la aplicación.

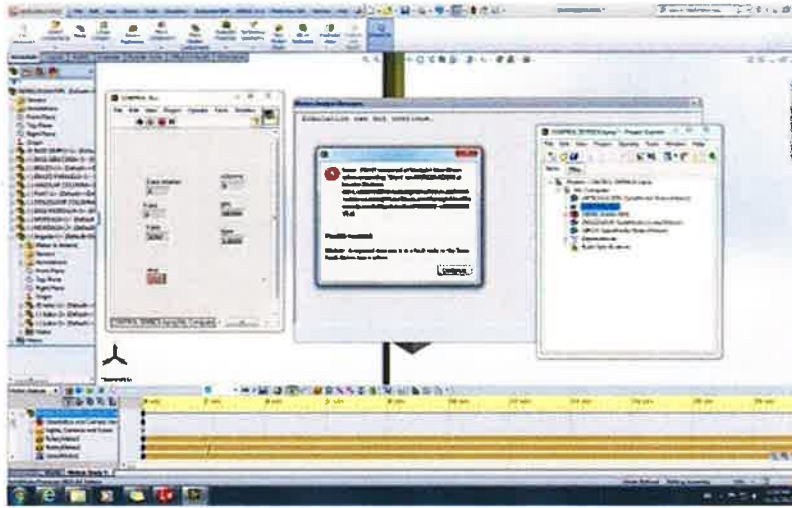


Figura 4.17: Bug presente en el solver interno de simulación.

La solución ofrecida por National Instruments para este bug consiste en que cada vez que sea necesario ejecutar la simulación realizar los procedimientos básicos para preparar y lanzar los componentes de la simulación, realizar los movimientos deseados y analizar las trayectorias generadas en el ensamble de SolidWorks.

Cuando se realice las trayectorias deseadas detener la simulación y eliminar los ejes virtuales de SoftMotion y los recursos asociados a ellos, reemplazandolos por unos nuevos y realizar los pasos para preparar los drives y lanzarlos.

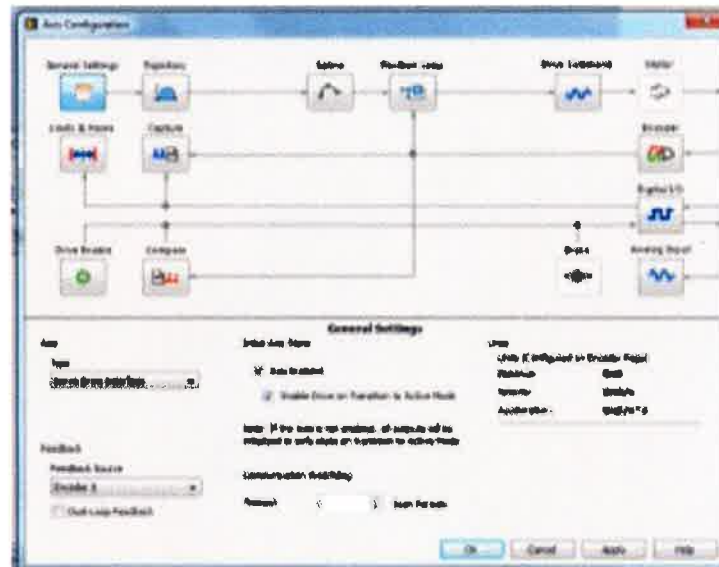


Figura 4.18: Configuración de SoftMotion.

De esta manera se pueden realizar los movimientos deseados en el simulador repitiendo estos pasos

las veces que sean necesarias. A continuación se presenta una serie de imágenes donde se muestra una versión simplificada de la simulación de los movimientos para la extracción de las lingadas de un pozo ya perforado y su acomodo en el rack superior.

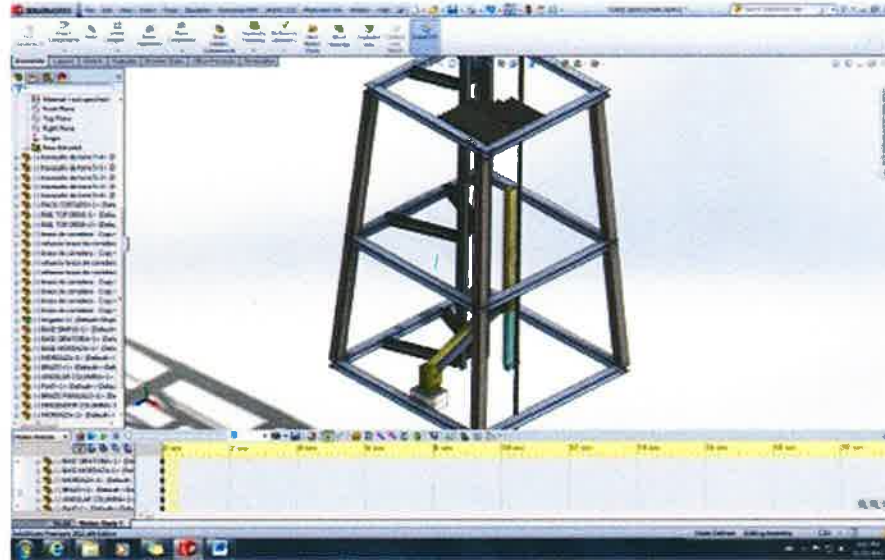


Figura 4.19: Sujeción de lingada por el manipulador.

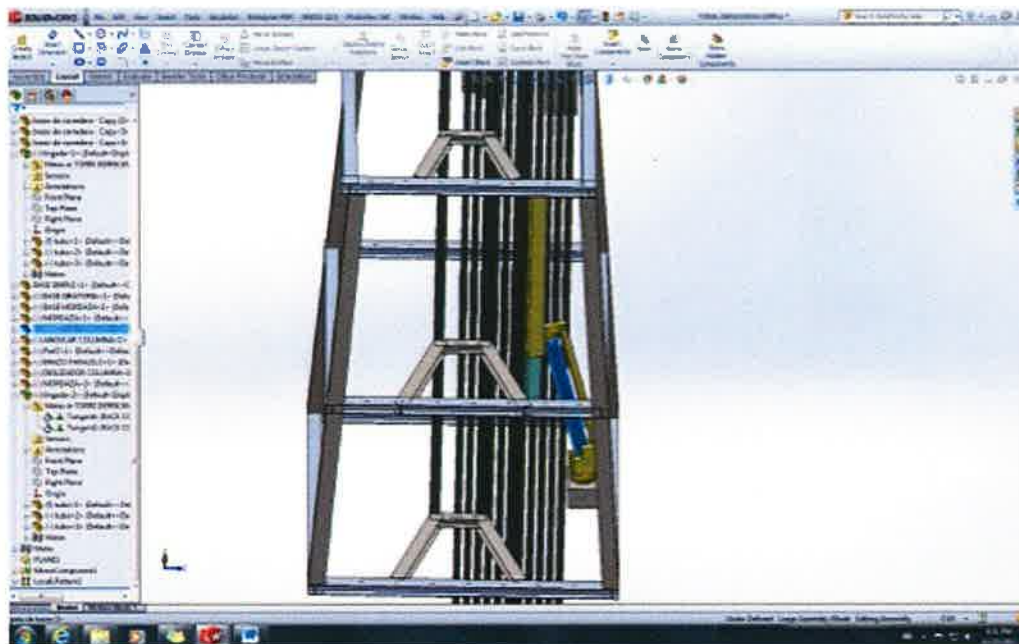


Figura 4.20: Acomodo de lingadas en el rack.

Con la realización de este proceso mediante el prototipo se tiene por objetivo reducir los tiempos de trabajo manual y aumentar la seguridad del personal de perforación. Con el simulador se pueden ensayar

las rutinas de movimientos más óptimas para minimizar los tiempos muertos entre cada periodo, debido a que el operador del prototipo ya tendrá conocimiento sobre las trayectorias a seguir adecuadas para las operaciones de ensamble y desensamble de las lingadas.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se lograron los principales objetivos planteados, el principal que consistía en el desarrollo de un sistema de simulación para las pruebas básicas de movimiento y trazado de trayectorias optimas de operación. Se obtuvo conocimientos sobre la metodología básica de perforación de pozos petroleros y las plataformas. El sistema de simulación permite la modificación y ajuste de características de acuerdo a las necesidades que se tengan junto con la prueba y validación de metodologías de control distintas. Se logró la integración de un sistema de un avanzado sistema de diseño CAD con un potente software para instrumentación y control.

Las ventajas que ofrece esta interacción entre ambos software se puede aprovechar para futuros desarrollos mecatrónicos donde se tendría como objetivo la optimización tiempo durante la fase de desarrollo; además que sirve para verificar la funcionalidad de un diseño propuesto antes de la manufactura. Entre la proyección a futuro de este desarrollo se tiene planteada la opción de una integración completa del diseño y control dentro del mismo LabView por medio de la herramienta NI Robotics, con esto se obtendrían mejoras en el rendimiento del equipo donde se ejecute la simulación y la posibilidad de probar algoritmos de control más complejos. Esto debido a que el procesador aligerara su carga de trabajo al no tener que ejecutar dos software que consumen muchos recursos a la vez, como lo son LabView y SolidWorks.

El modulo NI Robotics incluye herramientas que permiten la importación de archivos CAD directamente dentro de Labview y gestionarlo con los VI apropiados de una manera más efectiva y versátil. Esta integración completa permitirá desarrollar un sistema de simulación completo al introducir parámetros cinemáticos y dinámicos que permitirán elaborar y probar algoritmos de control más complejos y servir de método de adiestramiento para los futuros operadores del prototipo.

Bibliografía

1. Spong, Mark W. (1989). Robot Dynamics and Control. University of Illinois, USA.
2. Bitter, Rick. (2007). LabVIEW Advanced Programming Techniques. CRC Press, Taylor & Francis Group, FL, USA.
3. David Hawker. (2002). Manual de Perforacion, Procedimientos y Operaciones en el Pozo. Datalog Wellsite, Alberta, Canada.
4. <http://www.ni.com/white-paper/9566/en/>
5. http://help.solidworks.com/2012/English/SolidWorks/SWHelp_List.html?id=88724c64ce694d23a5c98d1955cdaaae#Pg0
6. <http://www.ni.com/webcast/1299/en/>