



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO
PARA EL ANÁLISIS DE DURABILIDAD DE CARRETE RETRACTABLE
DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD VEHICULAR**

AUTOR: ALMEIDA PAVÓN, ESTEBAN RENÉ

DIRECTOR: MORILLO SOSA , DIEGO ROBERTO

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA EL ANÁLISIS DE DURABILIDAD DEL CARRETE RETRACTABLE DEL CINTURÓN DE SEGURIDAD VEHICULAR”***, realizado por el señor ***ESTEBAN RENE ALMEIDA PAVÓN***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***ESTEBAN RENE ALMEIDA PAVÓN*** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 20 de Julio del 2016

Atentamente.



Ing. Diego Morillo
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

AUTORIZACIÓN

Yo, **ESTEBAN RENE ALMEIDA PAVÓN**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA EL ANÁLISIS DE DURABILIDAD DEL CARRETE RETRACTABLE DE CINTURÓN DE SEGURIDAD VEHICULAR ”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 20 de Julio del 2016

Atentamente.

Esteban Almeida

171883530-7

DEDICATORIA

El siguiente trabajo quiero dedicar principalmente a mis padres, que con todo el cariño me brindaron el apoyo necesario a lo largo de mi carrera y me enseñaron los valores de respeto, honestidad y perseverancia como parte fundamental en el trayecto de mi vida para alcanzar mis sueños, compartiendo buenos y malos momentos que enseñan el verdadero significado de la felicidad.

A mi hermano que ha sido uno de los pilares fundamentales en mi vida, que con su ejemplo y humildad me ha enseñado a seguir avanzando siempre conservando la alegría.

A mis abuelitos que son el ejemplo de superación y sacrificio, que desde pequeño me enseñaron el valor del trabajo y son una fuente inagotable de sabiduría.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con un granito de arena para lograr alcanzar este objetivo.

Esteban Almeida

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y permitirme día tras día luchar para lograr alcanzar este gran objetivo.

A la Carrera de Ingeniería Electrónica y todos los ingenieros que forman parte de ella, por abrirme las puertas, compartir sus conocimientos y experiencias de vida permitiéndome adquirir nuevos conocimientos.

Al ingeniero Diego Morillo por el apoyo brindado, el conocimiento impartido, las críticas constructivas y por ser una guía para poder culminar con este proyecto.

A todos mis familiares principalmente a mis padres por el apoyo incondicional, a mi hermano y a mis primas que siempre estuvieron a mi lado a lo largo de este trayecto y me ayudaron a no decaer.

A mis amigos, compañeros y todas las personas especiales que de una u otra forma me ayudaron para seguir adelante les agradezco de todo corazón por cada uno de los momentos que pasamos dentro y fuera de las aulas.

E. Almeida

ÍNDICE DE CONTENIDO**CARÁTULA****CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO..... ii****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....iii****AUTORIZACIÓN..... iii****DEDICATORIA iv****AGRADECIMIENTO v****ÍNDICE DE CONTENIDO vi****ÍNDICE DE FIGURAS..... ix****ÍNDICE DE TABLAS.....xiii****RESUMEN..... xv****ABSTRACT xvi****CAPÍTULO I 1****INTRODUCCIÓN**

1.1. Antecedentes 1

1.2. Justificación e Importancia 2

1.3. Alcance del Proyecto..... 3

1.4. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo General 4

1.3.2. Objetivos Específicos..... 4

1.5. Resumen..... 5

CAPÍTULO II 6**CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD**

2.1. Estudio de necesidades del sistema..... 6

| | | |
|------|---|----|
| 2.2. | Tipos y características de pruebas..... | 9 |
| 2.3. | Normativa y Estándares de Calidad | 15 |
| 2.4. | Sistemas de Seguridad..... | 18 |

CAPÍTULO III 20

DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1. | Monitoreo y Control de Fuerza | 20 |
| 3.1.1. | Celdas de Carga..... | 20 |
| 3.1.2. | Módulos de comunicación y pesaje | 22 |
| 3.1.3. | Control ON/OFF de bloqueo..... | 24 |
| 3.2. | Control de Servomotores SIMOTICS | 25 |
| 3.2.1. | Driver de Comunicación V90 | 25 |
| 3.2.2. | Control de Velocidad | 28 |
| 3.2.3. | Control de Torque | 31 |
| 3.2.4. | Control de Posición | 32 |
| 3.2.5. | Configuración y puesta en marcha..... | 33 |
| 3.3. | Módulo Controlador e Interfaz Gráfica..... | 35 |
| 3.4. | Selección y dimensionamiento de componentes..... | 51 |

CAPÍTULO IV 59

INGENIERÍA DE DETALLE

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 4.1. | Infraestructura del Sistema..... | 59 |
| 4.2. | Montaje de los Sistemas..... | 61 |

| | |
|---------------------------------------|------|
| | viii |
| CAPÍTULO V | 98 |
| PRUEBAS Y RESULTADOS | |
| 5.1. Pruebas de Operación..... | 98 |
| 5.2. Tabulación de Datos..... | 104 |
| 5.3. Análisis de Resultado..... | 108 |
| | |
| CAPÍTULO VI | 114 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 6.1. Conclusiones..... | 114 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 115 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 116 |
| ANEXOS..... | 119 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Prototipo de análisis de durabilidad del Carrete | 4 |
| Figura 2. Tabla de vehículos comercializados en Ecuador 2014-2015..... | 6 |
| Figura 3. VSR Retractor Durability Cyclers | 7 |
| Figura 4. P-612S 6 Station | 8 |
| Figura 5. Ensayo de tracción Zwick..... | 10 |
| Figura 6. Sistema para prueba de desgaste..... | 11 |
| Figura 7. Ensamble de Tornillos | 12 |
| Figura 8. Configuración de Prueba de carga..... | 13 |
| Figura 9. Mecanismo Modelo | 17 |
| Figura 11. Cinturón de 2 Puntos | 18 |
| Figura 12. Cinturón Diagonal o de Torso | 19 |
| Figura 13. Cinturón de 3 Puntos | 19 |
| Figura 14. Puente de Wheatstone..... | 20 |
| Figura 15. Fuerza de Compresión | 21 |
| Figura 16. . Celdas de Carga de Compresión..... | 21 |
| Figura 17. Celda de Tensión | 22 |
| Figura 18. Celda de Carga tipo S | 22 |
| Figura 19. Transmisor Ligent LZ700 DC | 23 |
| Figura 20. SIWAREX WP231 | 24 |
| Figura 21. SIWAREX CF | 24 |
| Figura 22. Lazo de control de bloqueo..... | 25 |
| Figura 23. Acción de Control ON/OFF de Fuerza..... | 25 |
| Figura 24. . Diagrama de conexión Driver V90..... | 26 |
| Figura 25. Partes Driver V90 | 27 |
| Figura 26. Conector de Control/Interface X8 | 27 |
| Figura 27. Respuesta de Auto-Tuning | 29 |
| Figura 28. Lazo de Control de Velocidad | 29 |
| Figura 29. Bloque de control de Velocidad | 30 |
| Figura 30. Diagrama de Bloques de Monitoreo de Velocidad..... | 30 |
| Figura 31. Lazo de Control de Torque | 31 |
| Figura 32. Bloque de control de Posición Absoluta..... | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 33. Conexión de Controlador..... | 35 |
| Figura 34. Embrague electromagnético | 36 |
| Figura 35. Función de control de Embrague..... | 36 |
| Figura 36. Objeto Tecnológico | 39 |
| Figura 37. Diagrama de Bloques Lógica de Control..... | 41 |
| Figura 38. Bloque de Inicialización y Configuración | 42 |
| Figura 39. Funciones de bloque de Secuencia | 43 |
| Figura 40. Función de bloque Prueba Tensión..... | 43 |
| Figura 41. Función Secuencia | 43 |
| Figura 42. Función de Registro..... | 44 |
| Figura 43. Función de Tabulación de Datos | 44 |
| Figura 44. Diagrama de Flujo OB1 | 45 |
| Figura 45. Navegación de Ventana | 47 |
| Figura 46. Diagrama de Distribución de pantalla | 48 |
| Figura 47. Encoder OMRON | 53 |
| Figura 48. Celda de Carga LFS-02-20N | 54 |
| Figura 49. Transmisor LZ-700..... | 55 |
| Figura 50. Embrague Electromagnético TJ-A1-2.5 | 56 |
| Figura 51. Servomotor Siemens 1FL6 | 56 |
| FIGURA 52. Diseño tridimensional del Sistema..... | 59 |
| Figura 53. Proceso de prototipado rápido | 60 |
| Figura 54. Objeto tridimensional Carrete..... | 60 |
| Figura 55. Tablero Eléctrico | 61 |
| Figura 56. Tablero de Control..... | 62 |
| Figura 57. Ensamble del Sistema Mecánico | 64 |
| Figura 58. Soporte Servomotor | 65 |
| Figura 59. Soporte Encoder | 65 |
| Figura 60. Sistema de Retracción..... | 66 |
| Figura 61. Sistema Mecánico de Retracción..... | 67 |
| Figura 62. Encoder OMRON | 67 |
| Figura 63. Diagrama de Flujo MAIN (OB1) | 69 |
| Figura 64. Diagrama de Flujo Función Encoder (OB30)..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| Figura 65. Diagrama de Flujo Block Check (OB32) | 71 |
| Figura 66. Diagrama de Flujo Registro Cíclico (OB31) | 72 |
| Figura 67. Diagrama de Flujo 01_Inicialización..... | 73 |
| Figura 68. Diagrama de Flujo Configurar_EXT | 75 |
| Figura 69. Diagrama de flujo función 03_Extensión | 76 |
| Figura 70. Diagrama de Flujo Función 04_Retracción..... | 78 |
| Figura 71. Diagrama de Flujo función 05_Prueba_Tensión | 79 |
| Figura 72. Diagrama de flujo función 07_Bloqueo | 80 |
| Figura 73. Diagrama de Flujo 08_Secuencia | 82 |
| Figura 74. Diagrama de Flujo 09_Registro..... | 83 |
| Figura 75. Diagrama de Flujo 11_Finalizar | 86 |
| Figura 76. Diagrama de Flujo FB_Embrague | 87 |
| Figura 77. Diagrama de Flujo Control de Fase | 88 |
| Figura 78. Diagrama de flujo Servo_Motor..... | 90 |
| Figura 79. Conversión a Unidades de Ingeniería | 91 |
| Figura 80. Ventana 01_Inicio..... | 92 |
| Figura 81. Ventana 02_Inicialización | 93 |
| Figura 82. Ventana 03_Modelo de Referencia | 94 |
| Figura 83. Ventana 04_Configuración de Test | 94 |
| Figura 84. Ventana 05_Real Time | 95 |
| Figura 85. Ventana 06_Estadísticas | 96 |
| Figura 86. Ventana 07_Configuración..... | 97 |
| Figura 87. Medida de montaje Embrague Electromagnético..... | 99 |
| Figura 88. Prueba de Montaje 20N | 99 |
| Figura 89. Prueba de Tensión mayor a 11.2 N..... | 100 |
| Figura 90. Prueba de Bloqueo Manual..... | 101 |
| Figura 91. Verificación de retorno a cero prueba de bloqueo..... | 101 |
| Figura 92. Mensaje y código de error en Servo Drive V90 | 102 |
| Figura 93. Prueba de Origen de Datos ODBC | 103 |
| Figura 94. Escritura en Base de Datos SQL..... | 104 |
| Figura 95. Generación de reportes SAP Crystal Reports..... | 104 |
| Figura 96. Parámetros RLT-M30..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 97. Parámetros RLT-M50..... | 106 |
| Figura 98. Parámetros RLT-P100 | 106 |
| Figura 99. Prueba PTSC-300 | 107 |
| Figura 100. Prueba PTSC-800 | 107 |
| Figura 101. Prueba PTSC-1300 | 108 |
| Figura 102. Desviación de Torque PTSC-300 | 109 |
| Figura 103. Desviación de Velocidad PTSC-300 | 109 |
| Figura 104. Desviación de Tensión PTSC-300..... | 110 |
| Figura 105. Desviación de Torque prueba PTSC-800 | 111 |
| Figura 106. Desviación de Velocidad prueba PTSC-800 | 111 |
| Figura 107. Desviación de Tensión prueba PTSC-800..... | 112 |
| Figura 108. Desviación de Torque prueba PTSC-1300 | 112 |
| Figura 109. Desviación de Velocidad prueba PTSC-1300 | 113 |
| Figura 110. Tensión prueba PTSC-1300..... | 113 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Prueba de Correas | 10 |
| Tabla 2. Prueba de Elongación en Ensamble | 13 |
| Tabla 3. Conexión Cable de Control/Interface X8..... | 28 |
| Tabla 4. Parámetros de Configuración (SIEMENS, 2015)..... | 28 |
| Tabla 5. Señales del Bloque de Control de Velocidad..... | 30 |
| Tabla 6. Descripción de Señales del Bloque de control de Posición | 32 |
| Tabla 7. Configuración y parametrización V90 | 33 |
| Tabla 8. Elementos de conexión con Controlador | 35 |
| Tabla 9. Configuración Contador Rápido | 37 |
| Tabla 10. Configuración Generador de Impulsos | 38 |
| Tabla 11. Configuración de Objeto Tecnológico..... | 40 |
| Tabla 12. Descripción de secciones de pantalla..... | 48 |
| Tabla 13. Funciones Script de HMI | 49 |
| Tabla 14. Tablas de Base de Datos | 50 |
| Tabla 15. Características S7-1200..... | 51 |
| Tabla 16. Características Signal Board | 52 |
| Tabla 17. Características WinCC Advanced..... | 52 |
| Tabla 18. Características de encoder..... | 53 |
| Tabla 19. Características celda de Carga | 54 |
| Tabla 20. Características de transmisor LZ-700 | 55 |
| Tabla 21. Características embrague TJ-A1-2.5..... | 55 |
| Tabla 22. Características Servomotor Siemens 1FL6..... | 56 |
| Tabla 23. Elementos del sistema Mecánico | 59 |
| Tabla 24. Variables del PLC | 63 |
| Tabla 25. Variables de bloque de datos db_Encoder (DB10)..... | 70 |
| Tabla 26. Variables de la Función Inicializar | 72 |
| Tabla 27. Variables de función Configurar_EXT | 74 |
| Tabla 28. Variables de función 03_Extensión | 75 |
| Tabla 29. Variables de función 04_Retracción..... | 77 |
| Tabla 30. Variables de función 05_Prueba_Tensión | 78 |
| Tabla 31. Variables de función 07_Bloqueo_DB | 80 |

| | |
|--|----|
| Tabla 32. Variables de la función 08_Secuencia | 81 |
| Tabla 33. Variables de la función 09_Registro | 83 |
| Tabla 34. Variables de Función 10_Tabulacion_DAT | 84 |
| Tabla 35. Variables de función 11_Finalizar | 85 |

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se plantea el diseño e implementación de un sistema prototipo para el análisis de durabilidad del carrete retractable del cinturón de seguridad vehicular, para lo cual se procederá a investigar las diferentes necesidades que presenta el mercado, las características principales que definen esta clase de equipos y las normas o parámetros guía que rigen en el ámbito nacional e internacional. El diseño se realizará mediante un software de desarrollo CAD y se construirá el mecanismo mediante el proceso de manufactura conocido como prototipado rápido o impresión 3D. De acuerdo a los requerimientos del sistema se dimensionará los elementos mecánicos, electromecánicos y electrónicos analizando sus características de operación e instalación. Se realizará el diseño de la lógica de control que comandará el sistema así como la interfaz gráfica de usuario que permitirá visualizar y configurar los parámetros del proceso. El sistema prototipo contará con funciones adicionales como el registro de datos, generación de reportes, visualización de variables del proceso y presentación de resultados tabulados para cada prueba configurada. La finalidad del proyecto de investigación es implementar un sistema automático que ejecute de forma cíclica la prueba de extensión, retracción y carga del carrete retractable para cumplir con las normas INEN que rigen en el país. El diseño de sistemas prototipo es una rama poco explorada e implementada en el entorno industrial, el proyecto busca mostrar el desarrollo de nuevos equipos abriendo vínculos entre la industria y los investigadores para solventar las necesidades de mercado.

PALABRAS CLAVE:

- **PROTOTIPO**
- **IMPRESIÓN 3D**
- **CAD**
- **INEN**

ABSTRACT

In this research project, it proposes the design and implementation of a prototype system for analyzing durability of retractable reel seat belt from a vehicle, will be proceed to investigate the different needs presented by the market, the main characteristics that define this kind of equipment and standards or guidance parameters that govern the national and international levels. The design will be made by develop software CAD and the mechanism will be built by the manufacturing process known as rapid prototyping or 3D printing. According to the system requirements mechanical, electromechanical and electronic elements analyzing their operating characteristics and installation will be sized. Will be designed of the logic control that command the system as well as the graphical user interface that will allow you to view and configure the process. The prototype system will have additional functions such as data logging, reporting, process variables visualization and tabular presentation of results for each test set. The purpose of the research project is to implement an automated system running cyclically test extension and retraction load retractable reel to comply with INEN rules in the country. The systems prototype design is a branch little explored and implemented in the industrial environment, the project aims to show the development of new equipment opening links between industry and researchers to work out market needs.

KEYWORDS:

- **PROTOTYPE**
- **3D PRINT**
- **CAD**
- **INEN**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La empresa DA&C Cia Ltda ofrece soluciones integrales de ingeniería desde 1995, Convirtiéndose en una empresa líder en ofrecer sus servicios en ambientes industriales, con un gran equipo de trabajo que ha venido realizando un sin número de proyectos en los cuales se destaca la “Integración de los Sistemas de Control y Fuerza” para Cervecería Nacional, “Sistema de control y Sistema SCADA de la planta de control Quevedo” de Pronaca, “Montaje de la Planta Industrial de Itulcachi” de Novopan. Bajo altos estándares de calidad la empresa cuenta con la certificación ISO 9001 y es Solution Partner (Desarrollador) de Siemens. Con el afán de incrementar su campo de trabajo la empresa requiere el desarrollo de nuevos proyectos motivo por el cual se ha planteado el “Diseño e Implementación de un sistema prototipo para el análisis de durabilidad del carrete retractable del cinturón de seguridad vehicular”.

El desarrollo de equipos prototipo es una herramienta que permite el mejoramiento continuo de los procesos productivos y procedimientos de prueba, así las empresas pueden mejorar su eficiencia, aumentar su competitividad abaratando costos de producción y generando oportunidades para la innovación y desarrollo de nuevos equipos con tecnología de punta.

El control de calidad y la durabilidad de los elementos que componen el sistema de seguridad dentro de un vehículo son parte fundamental para el desarrollo de nuevos productos y principalmente para mejorar los estándares de calidad de los automotores ensamblados en el país, es así que industrias tales como General Motors, realizan el control de calidad en laboratorios fuera del país, por tanto DA&C ve como una oportunidad de expandir su campo de trabajo el desarrollo de equipos que permitan realizar el control de los estándares de calidad, de esta forma contribuir con el desarrollo de la industria y el cambio de la matriz productiva.

1.2. Justificación e Importancia

El diseño de prototipos y equipos de prueba en el campo automotriz es una rama poco desarrollada en el ámbito nacional, las empresas de ensamblaje y distribución de vehículos optan por realizar las pruebas de desempeño en países como Brasil o Estados Unidos aumentando el costo de las mismas y disminuyendo el número de pruebas realizadas, es así que el diseño de un sistema prototipo para el análisis de durabilidad de los elementos que componen el sistema de seguridad vehicular es un requerimiento del sector industrial automotriz y contribuirá con el desarrollo de la producción nacional.

La implementación de un prototipo capaz de realizar cíclicamente hasta 5000 repeticiones para analizar la fuerza requerida en el accionamiento del carrete retractable así como el análisis de la fuerza de retorno que deberá mantener, permitirá obtener un estudio de la durabilidad del carrete que facultará a las empresas de ensamble brindar garantía de sus productos con total seguridad y mayor confort en los usuarios.

De acuerdo a las cifras de 2014 el sector automotriz vendió 120.060 vehículos nuevos, de los cuales 67.336 son de producción nacional, lo que significa que un 56 % de los autos nuevos comercializados en un año requieren el cumplimiento de estándares como el TP- 209-08 norma de “U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION” y la verificación del correcto funcionamiento de su sistema de seguridad así como la garantía del ensamblador nacional, es por esto que con el afán de contribuir con la industria ecuatoriana DA&C Cia Ltda como desarrollador de Siemens en Ecuador busca diseñar equipos nacionales de aplicación industrial que permitan mejorar la producción.

Con el desarrollo del sistema prototipo se demostrará la funcionalidad del sistema automático para la realizar la prueba de durabilidad buscando que las empresas de ensamble se vean interesadas en adquirir el sistema para realizar la prueba de forma local disminuyendo los costos de producción y así aumentar la eficiencia en la industria nacional.

1.3. Alcance del Proyecto

El prototipo para el análisis de durabilidad del carrete retractable consistirá en un conjunto de elementos tanto electrónicos como mecánicos para realizar el accionamiento al igual que la retracción del elemento del cinturón de seguridad un número de ciclos específicos de acuerdo a la prueba que requiera el usuario y a los parámetros configurados.

El análisis que se llevará a cabo para determinar la durabilidad consiste en realizar la prueba de tensión o fuerza requerida para desplegar el cinturón de seguridad y en medir la velocidad del carrete al retraer el cinturón, la fuerza se encuentra en el rango de 0 – 11.120 N, siendo 11.120 N la tensión de carga mínima que deberá soportar el carrete durante 1s con el cinturón totalmente extendido, esto permitirá comprobar y cumplir con la prueba “Retractor Load Test” estipulada en la norma TP-209-08, este procedimiento será monitoreado por una celda de carga cuyos datos serán registrados en el controlador y presentados al operador a través de la generación de reportes, además :

- El sistema se podrá controlar y parametrizar en su totalidad mediante una interface HMI, que permitirá controlar el acceso a configuración y puesta en marcha del equipo, además la observación del proceso y la curva de respuesta así como la generación de reportes de acuerdo a las pruebas configuradas.
- El sistema de control automático admitirá la configuración variable de velocidad, aceleración, torque máximo en el motor, tiempos de falla, resolución de posición, distancia máxima y mínima de recorrido, estos parámetros darán lugar a un sistema adaptable a cualquier requerimiento del cliente.

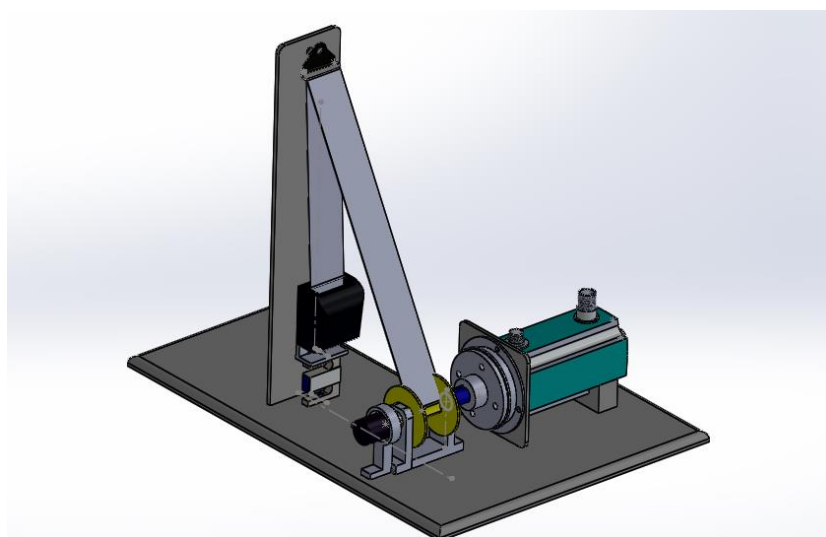


Figura 1. Prototipo de análisis de durabilidad del Carrete

1.4. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema prototipo para el análisis de durabilidad del carrete retractable del cinturón de seguridad vehicular para el cumplimiento de requerimientos de calidad en la industria automotriz ecuatoriana.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características que debe cumplir un carrete retractable para determinar la configuración adecuada de la prueba de durabilidad.
- Definir la lógica de control que comandará al sistema prototipo, considerando la flexibilidad y adaptabilidad para diversas pruebas en el análisis de durabilidad.
- Establecer mediante el análisis de fuerza la durabilidad del cinturón de seguridad, presentando una respuesta en función del número de repeticiones realizadas.
- Presentar los parámetros de funcionamiento, documentación y configuración de los equipos para la implementación del sistema prototipo de análisis de durabilidad del carrete retractable.

1.5. Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad principal el desarrollo de un sistema prototipo para el análisis de durabilidad del carrete retractable del cinturón de seguridad vehicular, para la cual es fundamental entender las necesidades que presenta la industria automotriz en el país, uno de los campos menos desarrollados en medio local es el diseño y construcción de prototipos, que se adapten y cumplan con eficiencia un determinado tipo de prueba en el ámbito industrial.

Este dispositivo debe realizar la acción de extensión y permitir la retracción automática del carrete retractable de forma cíclica y aplicando una tensión de carga con el cinturón totalmente extendido, esta función se repetirá un número de ciclos parametrizable, el monitoreo y almacenamiento de las variables del proceso se llevará a cabo mediante una interface desarrollada en WinCC Advanced, la misma que permitirá la generación de reportes comunicándose con el software SAP Crystal Reports y almacenando los datos con SQL Server.

El sistema está basado en la construcción y automatización de un mecanismo desarrollado mediante el proceso de manufactura conocido como prototipado rápido, el cual usa tecnología de impresión 3D de bajo costo y alto nivel de flexibilidad, el sistema de control se selecciona de acuerdo al nivel de prestaciones requeridas y considerando factores como disponibilidad, soporte, mantenimiento y capacidad de integración, alcanzando de esta forma un sistema que pueda cumplir con los objetivos de diseño.

Para la implementación del sistema se seleccionará adecuadamente los dispositivos de instrumentación, los elementos mecánicos y electrónicos que permitan desarrollar una prueba automática, dando prioridad a los nuevos productos Siemens, además se establecerá los valores y procedimientos de configuración o puesta en marcha rápida de los equipos así como los planos de conexión y montaje, la finalidad del prototipo es demostrar la funcionalidad de este sistema para la prueba de durabilidad del carrete retractable del cinturón de seguridad, sistema que es ensamblado en los vehículos locales, considerando el costo de implementación y la relación de beneficio para la industria ecuatoriana.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD

2.1. Estudio de necesidades del sistema

De acuerdo con datos de la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador), el número de vehículos nuevos comercializados en Ecuador, hasta octubre del 2015 asciende a 70.843 unidades mientras que en 2014 fueron 120.060 hasta el mismo mes, estas cifras están distribuidas de acuerdo a la siguiente gráfica:

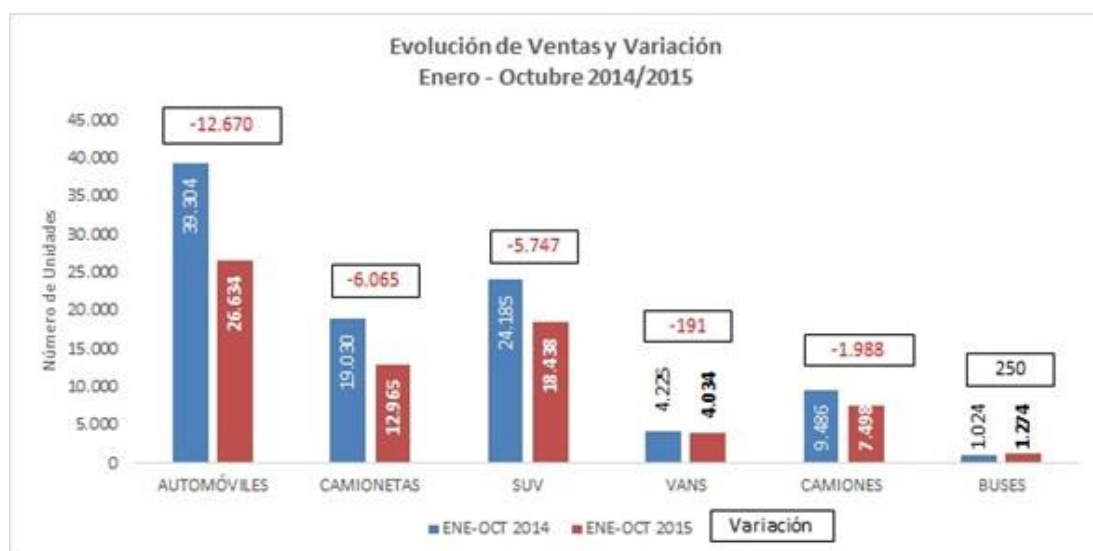


Figura 2. Tabla de vehículos comercializados en Ecuador 2014-2015

Fuente: (AEADE, 2015)

En 2014 de acuerdo a los mismos datos registrados por la AEADE, un 52% es decir 61.855 unidades corresponden a la producción y ensamblaje nacional, considerando las empresas AYMESA, MARESA y OMNIBUS BB. Estableciendo como base estos datos conocidos se puede deducir que aproximadamente entran al país un total de 185.565 carretes automáticos para el sistema de seguridad que deben cumplir con las normas y controles de calidad estipulados en la norma “NTE INEN 2675:2013”.

La empresa DA&C, manteniendo varias reuniones con personal especializado en la materia de control y análisis de durabilidad del sector automotriz ha logrado identificar las necesidades que se presenta , las cuales se ven claramente definidas en la ausencia

de dispositivos o laboratorios que realicen este tipo de pruebas en Ecuador, razón por la cual las empresas optan por realizar estos servicios en laboratorios internacionales aumentando el costo por prueba y disminuyendo el número de las mismas, a esto se debe agregar el tiempo de ejecución y traslado de las partes que conforman el sistema de seguridad el cual oscila entre 20 y 35 días, bajo este argumento se ha observado e investigado las diferentes características que cumplen los dispositivos a nivel internacional y entre los cuales se destacan:

- VSR Technologies



Figura 3. VSR Retractor Durability Cyclers

Fuente: (VSR technologies, 2009)

Entre sus principales características se presentan:

- 6 Estaciones de Trabajo, controladas por un servomotor en lazo cerrado
- Detección de Bloqueo y falta de tensión en el cinturón
- Simulación de Impacto: simulación de impacto a 1.0 G (± 0.25 G)
- Pruebas Programables: variación de velocidad y aceleración
- Diversos estilos de Reportes
- Detección de Pre-Bloqueo
- Configuración de Prueba Flexible

- ATOS Industrial Automation

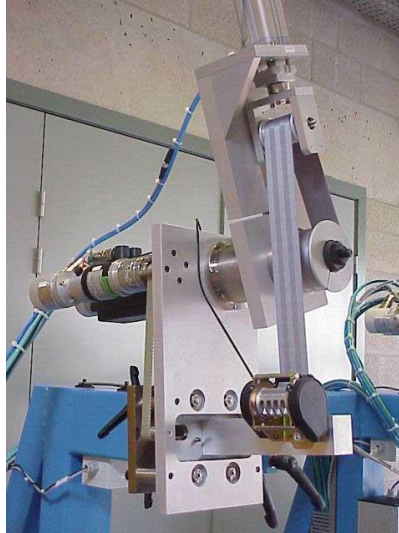


Figura 4. P-612S 6 Station

Fuente: (ATOS Engineering, 2013)

Entre sus Características principales se destaca:

- 6 Estaciones independientes
- Servomotores Siemens en lazo cerrado
- Montaje flexible, combinación de ángulos
- Movimientos programable: velocidad, aceleración y posición
- Cálculo y muestra de ciclos por minuto
- Flexibilidad en la configuración del proceso
- Interface con Base de datos y monitoreo en pc

Motivados por el desarrollo de nuevas aplicaciones a nivel nacional y con el afán de contribuir a la industria se presentaron las siguientes características como base de desarrollo de un sistema prototipo que sea capaz de solventar esta necesidad.

- **Presentación de Reportes:**

El sistema incorpora la conectividad con un software de presentación de reportes, SAP Crystal Reports, que genera una tabla de resultados de acuerdo a las características configuradas en cada prueba.

- **Base de Datos:**

El almacenamiento de datos tabulados y resultados obtenidos se realiza mediante SQL Server, permitiendo la observación y conservación de datos de forma segura

- **Escalabilidad:**

El sistema es fácilmente expandible para realizar pruebas de múltiples cinturones de forma simultánea e independiente.

- **Seguridad:**

El monitoreo continuo de variables como torque, velocidad y tensión permite la detección de bloqueo del mecanismo, optimizando recursos y realizando su función de forma eficiente sin deterioro de sus componentes

- **Flexibilidad:**

La configuración de todos los parámetros dentro del proceso de prueba como velocidad, tiempos de aceleración y desaceleración, torque máximo permitido, permiten tener un sistema flexible capaz de adaptarse a cualquier tipo de prueba.

2.2. Tipos y características de pruebas

De acuerdo con la norma TP-209-08 escrita por U.S. Department of Transportation, existen múltiples tipos y configuraciones de pruebas, este documento describe los procedimientos de prueba de laboratorio y sugiere subdividir las pruebas de ensamble y durabilidad del sistema de seguridad en los siguientes sub-procesos:

- **GRUPO A: Estiramiento de Correas y Resistencia de Ruptura**

Este grupo de pruebas consiste en el análisis de las características de las correas, se establece que debe realizarse a 3 unidades seleccionadas de forma aleatoria, se debe exponer a dichas unidades a un ambiente controlado a 23°C de temperatura y de 47 a 67 % de humedad durante 24 horas, se deberá utilizar equipo especializado para realizar una prueba de tensión la cual consiste en estirar la correa mediante un mecanismo transmitiendo la fuerza realizada hasta producir la ruptura de la correa, es importante considerar y monitorear variables del proceso como la elongación que sufre el material de la correa dependiendo del tipo de cinturón al cual se está realizando la prueba y la fuerza máxima de ruptura, parámetros que serán el resultado de la prueba,

el sistema Zwick que se presenta en la siguiente figura muestra como es el mecanismo de ensayo de tracción:

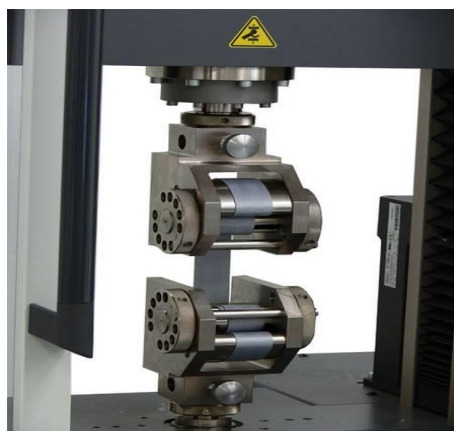


Figura 5. Ensayo de tracción Zwick

Fuente: (Zwick, 2011)

Los resultados de aprobación del cinturón vienen dados de acuerdo a:

Tabla 1.
Prueba de Correas

| Característica | Tipo 1 | Tipo 2 (Pélvico) | Tipo 2 (Torso) |
|--------------------------|----------|------------------|----------------|
| Elongación Max (11.120N) | 20% | 30% | 40% |
| Fuerza de Ruptura | 26.689 N | 22.241 N | 17.793 N |

Después de calcular la media de la fuerza de ruptura se deberá realizar la exposición de las correas a 100 minutos de exposición a la luz (Arco de carbono) y se deberá repetir la prueba de tensión, el sistema deberá conservar por lo menos el 60 % de la media para su aprobación. Existe también dentro de estas especificaciones una prueba de resistencia a micro-organismos la cual consiste en exponer por dos semanas la correa a un compuesto micro-orgánico y al finalizar la correa deberá mantener un 85% de su fuerza de ruptura.

○ GRUPO B: Desgaste de las Correas

Este subtipo de pruebas se caracteriza por medir analizar la durabilidad de las correas en cuanto al desgaste que sufren por fricción, su principal función es observar el comportamiento y tensión de ruptura luego de realizar un proceso de fricción entre la correa y un material solido (hexagonal) durante un número de ciclos determinado en un sistema de extensión y retracción automático.

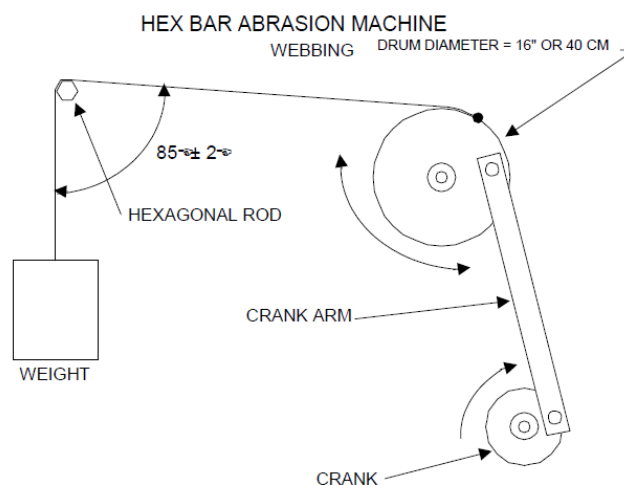


Figura 6. Sistema para prueba de desgaste

Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2007)

Esta prueba consiste en mantener un ambiente controlado a 23°C de temperatura y entre el 47 a 67 % de humedad durante 24 horas, realizar el proceso de fricción durante 2500 ciclos, a una frecuencia no mayor a 30 ciclos por minuto una distancia de 330mm (± 13 mm), cambiar la temperatura a 18°C y la humedad a un 67% y realizar 2500 ciclos más con una frecuencia de 18 ciclos por minuto una distancia de 203 mm, Realizar la medida de la tensión de ruptura, la tensión mínima medida deberá ser de 16.681 N para el cinturón tipo 2 en la parte pélvica y de 13.345N para la parte del torso.

○ GRUPO C: Rendimiento de hardware y ensamblaje

Este tipo de pruebas están definidas para el análisis de resistencia de los componentes del sistema de seguridad a pruebas como la corrosión, pruebas de temperatura, fuerzas de ajuste, forma de ensamble, tensiones de ensamble y pruebas de carga de todo el sistema ya ensamblado, entre sus principales pruebas se encuentran:

- ✓ Resistencia a Corrosión: Consiste en exponer a las partes metálicas que conforman el sistema de seguridad a un lavado con solución salina durante 24 horas y 1 hora de secado, una vez realizado esta secuencia se observa la superficie en análisis y se establece el resultado

- ✓ Resistencia a temperatura: Las partes plásticas que componen el sistema debe ser expuesto a un ambiente controlado con 23°C y un 45% de humedad durante 24 horas, una vez realizado esto se debe exponer a un ambiente con 80°C de temperatura y un flujo de aire continuo durante 24 horas más, los resultados y prueba deben estar de acuerdo con la norma ASTM D756-78.
- ✓ Pernos de Sujeción: Deben soportar una tensión mínima de carga de 26.689 N y estar debidamente ensamblados.

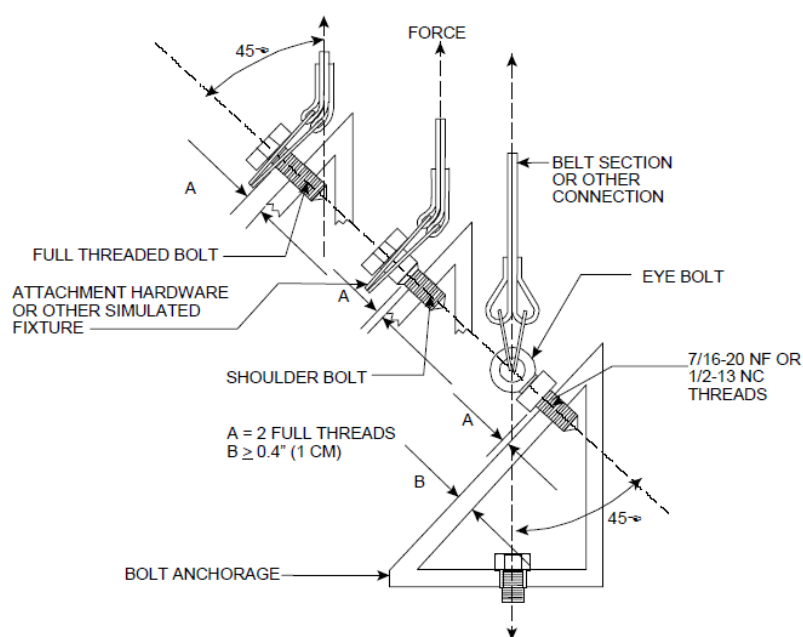


Figura 7. Ensamble de Tornillos

Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2007)

- ✓ Prueba de Carga: Se debe aplicar una carga de 26.241N usando la configuración como indica la siguiente figura, todos los componentes deben resistir una carga mínima de 11.120N.

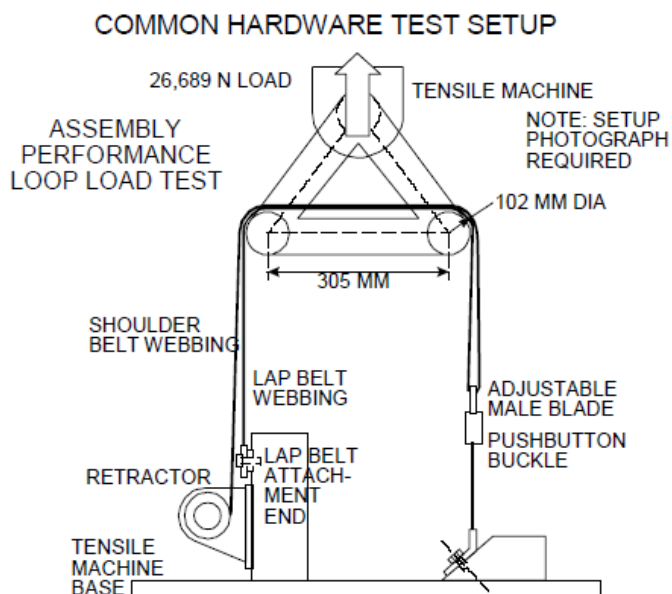


Figura 8. Configuración de Prueba de carga

Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2007)

- ✓ Prueba de Elongación: Se establece mediante esta prueba la elongación máxima permitida bajo el mismo esquema presentado en la prueba de carga, considerando la variación en la fuerza aplicada la cual debe cumplir con los siguiente requerimientos:

Tabla 2.
Prueba de Elongación en Ensamble

| Característica | Tipo 1 | Tipo 2 (Pélvico) | Tipo 2 (Torso) |
|-------------------|--------|------------------|----------------|
| Fuerza | 22.241 | 22.241 | 13.344 |
| Elongación Máxima | 178mm | 254mm | 254mm |

- ✓ Prueba de Carga del Carrete Retractable: Esta prueba consiste en aplicar 11.120N de fuerza, con el cinturón totalmente extendido durante un número de ciclos definido, con una frecuencia máxima de 30 ciclos por minuto.

- GRUPO D: Rendimiento del Carrete Retractable

Este grupo de pruebas se caracteriza por realizar la prueba del carrete retractable en cuanto a desgaste frente a diferentes parámetros físicos como la corrosión, la exposición a temperaturas elevadas y la prueba de aceleración dinámica para observar el correcto funcionamiento del bloqueo automático del sistema, entre las principales pruebas de este grupo se encuentran:

- ✓ Pruebas iniciales: Esta prueba busca observar el correcto funcionamiento del carrete el cual puede ser ARL (Automatic Locking Retractor), ERL (Emergency Locking Retractor) , de acuerdo a su sensibilidad y sus características en cuanto a la aceleración vehicular, se observa y tabula la fuerza de retorno del carrete cuando este se encuentra extendido en un 75%.
- ✓ Prueba cíclica después de prueba de corrosión: La principal característica de esta prueba se establece observando el funcionamiento del carrete después de realizar la prueba de resistencia a la corrosión, una vez finalizada la prueba de corrosión se procede a realizar el ciclo de extensión y retracción del carrete durante 2500 veces aplicando una fuerza de 89N con el cinturón totalmente extendido.
- ✓ Prueba cíclica después de prueba de temperatura: Consiste principalmente en exponer a una temperatura de 80 °C los tres carretes retractables durante 24 horas, realizar manualmente 25 ciclos observando el funcionamiento del carrete y luego realizar una prueba cíclica de 2500 repeticiones y analizar su funcionamiento.
- ✓ Prueba de Resistencia al polvo: Su principal característica es observar el comportamiento del carrete luego de su exposición a un ambiente con múltiples partículas de polvo, luego limpiar el carrete con un flujo de aire y realizar la observación de su funcionamiento
- ✓ Prueba de Características Finales: Realizar la secuencia de la prueba inicial, las características de fuerza de retorno no deben ser menores que el 50% de los valores que se obtuvieron en la primera prueba.

2.3. Normativa y Estándares de Calidad

Los estándares de calidad definen los niveles máximos y mínimos aceptables para que un producto pueda ser importado o comercializado dentro del estado ecuatoriano, el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN es el organismo gubernamental encargado de la reglamentación, normalización y metrología, cuyo objetivo fundamental es impulsar el mejoramiento de la calidad dentro de los productos desarrollados a nivel nacional, de esta forma es necesario analizar y considerar las normas establecidas en cuanto a durabilidad y funcionamiento del carrete retractable del sistema de seguridad vehicular.

La Norma “NTE INEN 2675:2013” contempla el reglamento en torno a “CINTURONES DE SEGURIDAD REQUISITOS E INSPECCIÓN”, y es bajo esta norma que se rige la aprobación y certificación para ensamble o comercialización, los artículos correspondientes a la prueba de durabilidad se enumeran a continuación.

Según (NTE INEN 2675, 2013):

5.5 Retractores. Someter los retractoros a las pruebas y cumplir los requisitos especificados a continuación, incluyendo las pruebas de resistencia prescritas en los numerales 6.5.1 y 6.5.2 (Estos requisitos excluyen los retractoros sin seguro).(pág. 5)

Según (NTE INEN 2675, 2013):

5.5.2 *Retractor con seguro automático*

5.5.2.1 La cinta de un conjunto de cinturones de seguridad, equipada con un retractor con seguro automático, no debe moverse más de 30 mm entre las posiciones del retractor asegurado. Cuando el usuario se mueva hacia atrás, el cinturón debe permanecer en su posición inicial o regresar automáticamente a esa posición cuando el usuario se vuelva a mover hacia adelante. (pág. 6)

Según (NTE INEN 2675, 2013):

5.5.2.3 Halar la cinta del retractor y permitir que se retraiga repetidamente con el método descrito en el numeral 6.6.1 hasta completar 5 000 ciclos. Someter el retractor a la prueba de corrosión indicada en el numeral 6.2 y luego a la prueba de polvo indicada en el numeral 6.6.3. Luego debe complementar satisfactoriamente otros 5 000 ciclos de halado y retracción. Después de las anteriores pruebas el retractor debe operar correctamente y cumplir los requisitos de los numerales 5.5.2.1 y 5.5.2.2.(pág. 6)

En el artículo anterior se contempla claramente la descripción de la función que debe cumplir el sistema prototipo, el cual debe permitir realizar de forma cíclica la extensión y retracción del cinturón de seguridad durante un número de pruebas parametrizado.

Se describirá a continuación los artículos de la norma INEN que se encuentra en vigencia relacionada con el desgaste de corrosión y durabilidad del sistema de seguridad, mencionados en el apartado anterior para cumplir con los requerimientos de la norma.

Según (NTE INEN 2675, 2013):

6.2 Prueba de corrosión

6.2.1 Colocar un conjunto completo de cinturón en la cámara de pruebas. Cuando se trate de un conjunto con retractor, desenrollar toda la longitud de la cinta menos 200 mm + 3 mm. La prueba de exposición se hace en forma continua durante un periodo de 50 horas, excepto por las cortas interrupciones que pueden ser necesarias, por ejemplo para verificar y completar la solución salina. (pág. 9)

Según (NTE INEN 2675, 2013):

6.2.2 Una vez terminada la prueba de exposición, lavar suavemente el conjunto, o sumergir en agua corriente limpia a una temperatura no superior a 38 °C para remover los depósitos de sal que se pueden haber formado y luego dejar secar a temperatura ambiente, durante 24 horas, antes de inspeccionarla de acuerdo con el numeral 5.1.2.(pág. 9)

Según (NTE INEN 2675, 2013):

6.6.1.1 Halar la cinta y dejar que se retraiga durante la cantidad de ciclos necesarios, a una frecuencia no superior a 30 ciclos por minuto. Cuando tenga retractores con seguro de emergencia, en cada quinto ciclo se mueve una ranura del seguro del retractor. Cambiar la misma cantidad de ranuras en cada uno de las cinco distintas extracciones de la cinta, es decir a 90 %, 80 %, 75 % y 65 % de longitud total de la cinta que permanece enrollada en el retractor. Sin embargo, cuando la cinta tiene más de 900 mm, relacionar los anteriores porcentajes con los últimos 900 mm de la cinta, retirados del retractor.

6.6.1.2 En el Anexo A, se indica un diagrama del aparato utilizado para las pruebas indicadas en el numeral 6.6.1.1.

Según (NTE INEN 2675, 2013):

Anexo A

ANEXO A
DIAGRAMA DE UN APARATO PARA LA PRUEBA DE DURABILIDAD DEL MECANISMO
RETRACTOR

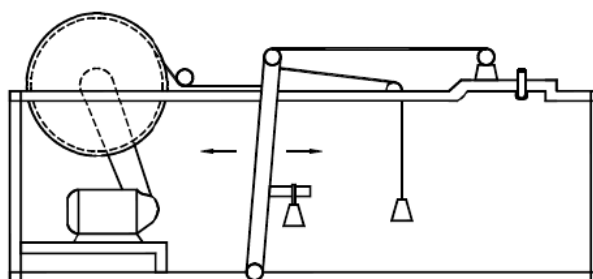


Figura 9. Mecanismo Modelo

Fuente: (NTE INEN 2675, 2013)

Según (NTE INEN 2675, 2013):

6.6.3 Resistencia al polvo

6.6.3.1 Colocar el retractor en una cámara de prueba, como se describe en el Anexo C. Debe estar montado en una orientación similar a la del montaje en el vehículo. La cámara de prueba debe contener polvo, como se especifica en 6.6.3.2. Extraer del retractor una longitud de 500 mm de la cinta y mantener extraída; sin embargo, se debe someter a 10 ciclos completos de retracción y extracción, durante 1 min o 2 min después de cada vez que se agita el polvo. Durante un período de 5 horas, se agita el polvo cada 20 min durante cinco segundos con aire comprimido libre de aceite y humedad, a una presión calibrada de $(5,5 \times 10^5 + 0,5 \times 10^5)$ Pa, el cual entra por un orificio con un diámetro de $(1,5 + 0,1)$ mm. (pág.13)

Según (NTE INEN 2675, 2013):

6.6.3.2 El polvo que se use para la prueba descrita en el numeral 6.6.3.1 debe tener cerca de 1 kg de cuarzo seco. La distribución del tamaño de las partículas es lo siguiente:

- a) Pasa por una apertura de 150 μm , alambre de diámetro de 104 μm : 99 % a 100 %,
- b) Pasa por una apertura de 105 μm , alambre diámetro 64 μm : 76 % a 86 %,
- c) Pasa por una apertura de 75 μm , alambre diámetro 52 μm : 70% (pág.13).

2.4. Sistemas de Seguridad

Existen múltiples tipos de sistemas de seguridad incorporados en los vehículos, cuya principal función es prevenir lesiones graves o posible muerte a los pasajeros si ocasionalmente ocurre un accidente, es preciso por ello describir cada uno para tener una idea fundamental de su funcionamiento.

- Sistema Tipo I, Cinturón de Regazo o de Dos puntos:

Este sistema está caracterizado por ubicarse en la región pélvica o parte de la cadera del pasajero, está compuesto por un bucle el cual contiene una pequeña correa y una platina de anclaje, también incorpora un sistema de ajuste con la hebilla y la correa que también tiene una platina de anclaje como indica la siguiente figura.



Figura 10. Cinturón de 2 Puntos

Fuente: (ALLBIZ, 2016)

- Cinturón Diagonal o de Torso:

Su ubicación como su nombre lo indica, está en la región pectoral del pasajero, tiene los mismos elementos que un cinturón tipo I, la diferencia radica en su forma de anclaje, el cual está ubicado en la región superior del hombro del pasajero (parte superior) cruzando por el torso y terminando a la altura de la región pélvica, este tipo de cinturón ya no se observa en los automotores modernos, en la figura 11 se puede visualizar su montaje.

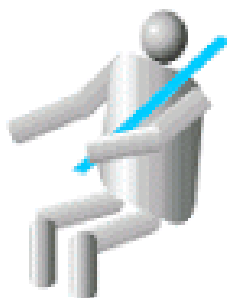


Figura 11. Cinturón Diagonal o de Torso

Fuente: (CONSUVIAL, 2011)

- Cinturón Tipo II o Cinturón de Tres Puntos

El cinturón de tres puntos se caracteriza por estar conformado por una banda en la región pélvica y otra banda en la región pectoral del pasajero, es el sistema más utilizado en los vehículos livianos, como su nombre lo indica tiene 3 puntos de sujeción a la carrocería del vehículo, este sistema está compuesto adicionalmente de un carrete retractable.

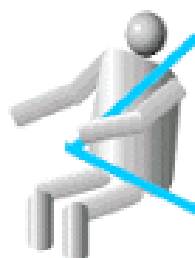


Figura 12. Cinturón de 3 Puntos

Fuente: (CONSUVIAL, 2011)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL

3.1. Monitoreo y Control de Fuerza

En el campo de instrumentación industrial para medir una variable dentro de un proceso es preciso analizar y seleccionar los elementos que cumplan con las características para obtener un sistema con mayor eficiencia, las celdas de carga son los elementos con mayor aplicación en la industria para el control y monitoreo de sistemas de medida de fuerza y masa, las celdas de carga electrónicas por su amplio nivel de flexibilidad son las más utilizadas en la actualidad, su rango de aplicación su precio relativamente bajo y su capacidad de conectarse a sistemas automáticos extiende su demanda y permite a los integradores desarrollar nuevas aplicaciones.

3.1.1. Celdas de Carga

La celda de carga es por definición un elemento transductor, que convierte una señal de fuerza en una señal eléctrica, el elemento o mecanismo ejerce una fuerza en un material elástico cuya deflexión es proporcional a la magnitud de la masa o a la fuerza aplicada, esta deflexión genera una variación en la resistencia incorporada en material elástico, configurada generalmente con un puente de Wheatstone, la variación en la resistencia genera una salida analógica en mV y mediante un amplificador de instrumentación se acondiciona la señal de salida para su monitoreo.

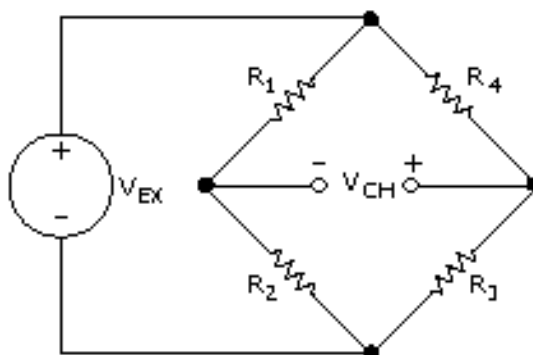


Figura 13. Puente de Wheatstone

Fuente: (National Instruments, 2016)

Existen algunos tipos de celdas de carga de acuerdo a su forma, de acuerdo a su aplicación y de acuerdo a su forma de medir la fuerza aplicada, entre las cuales las principales son: de tensión, de compresión, mixtas, forma de anillo y con viga en forma de S o de tracción.

- **Compresión:**

Este tipo de transductores tienen la característica principal de que la fuerza a medir es aplicada de tal forma que el cuerpo flexible es aplastado entre la superficie de anclaje y el cuerpo a medir, se utiliza generalmente una plataforma o superficie adicional para garantizar la medida correcta.

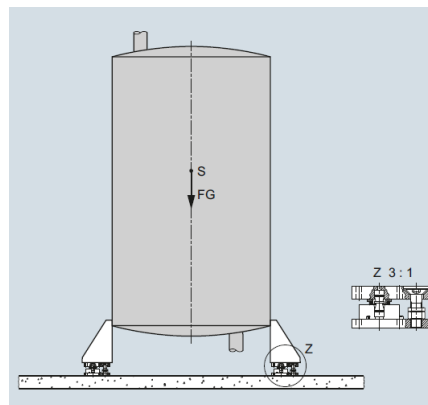


Figura 14. Fuerza de Compresión

Fuente: (SIEMENS, 2015)

Su amplia gama de modelos y formas le permite brindar mayor flexibilidad, su campo de aplicación es extenso principalmente en básculas, generalmente se utilizan en básculas de depósitos, de cintas y de plataforma, su rango de medida está entre 3kg a 280 t.



Figura 15. . Celdas de Carga de Compresión

Fuente: (SIEMENS, 2015)

- Tensión:

Estos transductores se caracterizan por medir la fuerza o masa en aplicaciones como balanzas colgantes, dosificación de elementos entre otros, la fuerza a medir realiza la acción de extender el cuerpo flexible produciendo la variación de resistencia.



Figura 16. Celda de Tensión

- Con viga en forma de S

Este tipo de transductor se caracteriza por su alto nivel de rechazo a carga lateral es decir mide estrictamente la carga perpendicular a la superficie de contacto, puede ser utilizada tanto en configuración de compresión o tensión, entre sus principales aplicaciones se encuentra los ensayos de tracción y tensión de elementos, en la industria se utilizan para basculas colgante o basculas de contenedores.



Figura 17. Celda de Carga tipo S

Fuente: (SIEMENS, 2015)

3.1.2. Módulos de comunicación y pesaje

Para el acondicionamiento de la señal generada por la celda de carga se ve la necesidad de utilizar un transmisor de señales el cual permite realizar el acondicionamiento y transmisión de la señal para ser interpretado mediante un controlador, entre las principales funciones del transmisor están convertir o

acondicionar las señales generadas por los sensores la cual se encuentra en el rango de los mV y convertirlas en señales 4-20 mA, 0-10 V o en otra señal estandarizada.

- Transmisión 4-20mA, 0-10V

Estos tipos de transmisión son los más comunes a nivel de sensores de campo, la principal característica de representación del “cero vivo” con una señal de 4mA hace que la transmisión de corriente sea más robusta, considerando que se tiene una buena referencia ya que es más sensible a interferencias electromagnéticas a diferencia del lazo 0-10V, cuya principal desventaja es la caída de tensión en el conductor, la selección del tipo comunicación depende de las características tanto del sensor como del controlador y existen múltiples circuitos que permiten su conversión de lazo de corriente a voltaje o viceversa.



Figura 18. Transmisor Ligent LZ700 DC

Fuente: (LIGENT, 2015)

- Siwax WP231

El módulo de comunicación Siwax WP231 desarrollado y comercializado por SIEMENS es un dispositivo versátil para todas las aplicaciones de pesaje y medición de fuerza sencillas, es un sistema muy desarrollado que brinda una solución rápida para sistemas de automatización que lo requieran, su conexión sencilla, configuración en línea mediante TIA PORTAL, comunicación RS485 para visualizador, lo hacen un sistema completo para aplicaciones como nivel de llenado de silos y tolvas, cargas en grúas y cables, carga en ascensores industriales entre otras, permite la conexión directa y rápida de celdas de carga.



Figura 19. SIWAREX WP231

Fuente: (SIEMENS, 2015)

- SIWAREX CF

Es un transmisor SIEMENS para conectar sensores de galga extenso-métrica, como las celdas de carga para medir fuerzas y pares. El módulo compacto tiene múltiples características en las que se destaca su flexibilidad para comunicarse con los controladores siemens mediante ET200S (periferia descentralizada), entre sus principales aplicaciones se encuentran medir la carga de cintas transportadoras, vigilar la tensión de cintas transportadoras medir la fuerza en máquinas de comprobación.



Figura 20. SIWAREX CF

Fuente: (SIEMENS, 2015)

3.1.3. Control ON/OFF de bloqueo.

El control ON/OFF es considerado la forma más elemental de control de un sistema ya que solo realiza la conmutación entre dos estados posibles, activado o desactivado, su bajo costo de implementación lo convierten en el más utilizado en la industria y en aplicaciones domésticas, su funcionamiento en la aplicación del sistema prototipo será

para controlar la función de habilitar la función de trabajo de motor su lazo de control esta descrito por:

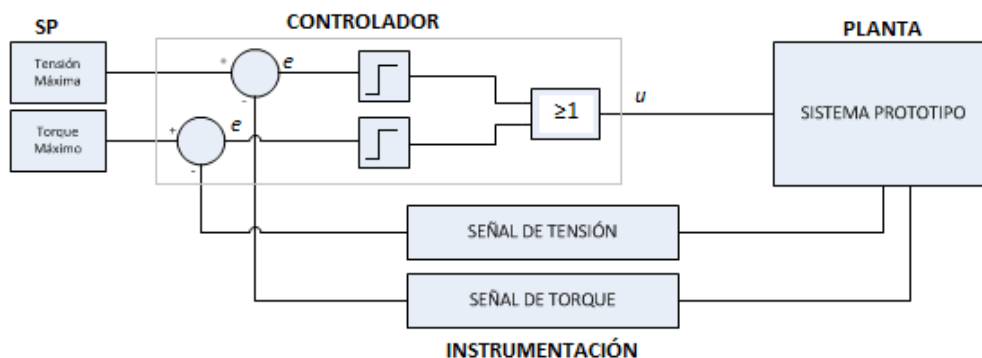


Figura 21. Lazo de control de bloqueo

La señal de Control “u” representa la señal de habilitación de acción del motor dentro de la lógica de control, los parámetros de tensión y torque máximo son configurables y su acción de control viene descrita por:

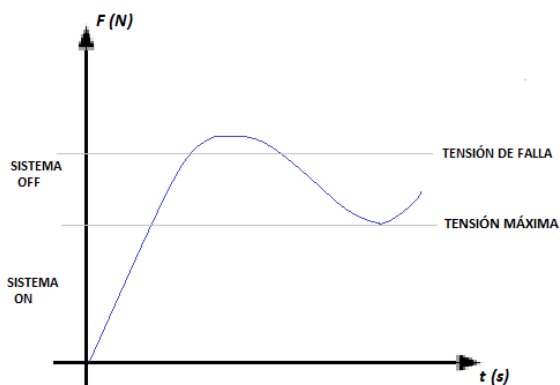


Figura 22. Acción de Control ON/OFF de Fuerza

3.2. Control de Servomotores SIMOTICS

3.2.1. Driver de Comunicación V90

El Driver SINAMICS V90 desarrollado por Siemens permite a integradores o desarrolladores de máquinas trabajar en nuevas aplicaciones de servomecanismos considerando eficiencia y costo, este sistema junto a los motores de serie SINAMICS 1FL6 permiten una integración rápida con sistemas SIMATIC PLC, entre sus

principales características se cuenta con la función “Auto-tuning” que permite un elevado rendimiento dinámico, la supresión automática de resonancias, la integración de encoder con 20 bits de resolución, posicionamiento por tren de pulsos, control de torque y velocidad, optimización automática de maquinaria entre otras, lo convierten en una solución óptima para la aplicación en un sistema prototipo.

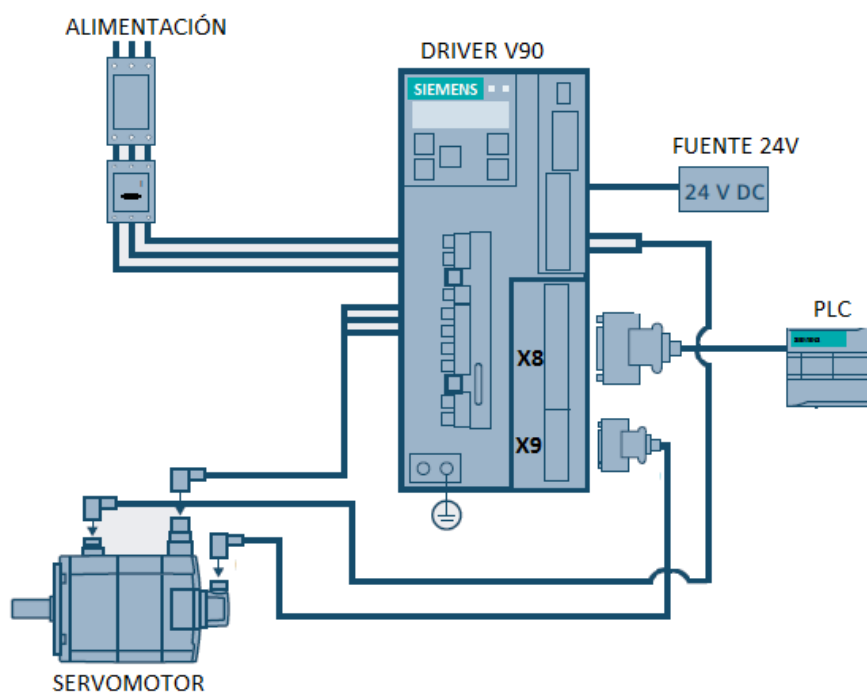


Figura 23. . Diagrama de conexión Driver V90

De acuerdo al esquema que muestra la figura 23 se realiza la comunicación y conexión del sistema, la gráfica muestra los diferentes elementos que intervienen dentro del control automático conectados al driver SINAMICS V90 cuya función es el control del servomotor y la comunicación de variables de proceso como torque, velocidad y posición al controlador que se encarga de la lógica, el monitoreo y control del proceso se lleva a cabo mediante la interface PC conectada mediante bus Ethernet con el controlador, esta estación de PC contiene todos los elementos necesarios para cumplir con los requerimientos del sistema como base de datos y software de presentación de reportes así como el software de puesta en marcha, el esquema muestra además los elementos adicionales de seguridad en la alimentación y fuente de voltaje continuo.

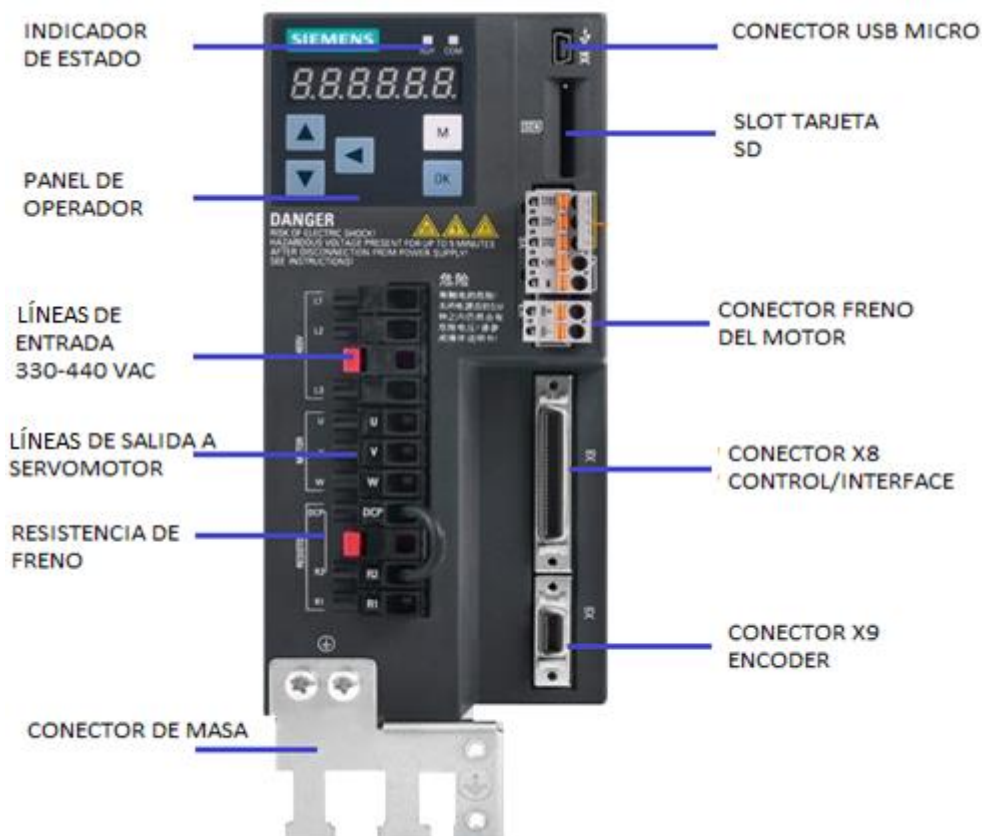


Figura 24. Partes Driver V90

Su configuración se realiza mediante la conexión con una pc, se requiere el software SIMATIC V-ASSISTANT, para su conexión y comunicación con el controlador se debe construir un cable de interface o control de acuerdo con la especificación.



Figura 25. Conector de Control/Interface X8

Fuente: (SIEMENS, 2015)

Tabla 3.
Conexión Cable de Control/Interface X8

| <i>Entradas Digitales</i> | | | | |
|-------------------------------|--------------------|---|----------------|---------------------------------|
| <i>N° PIN</i> | <i>Descripción</i> | <i>Dirección</i> | <i>Entrada</i> | <i>Representa</i> |
| 5 | SON | DI 1 | 24 [v] | Habilitador del eje (motor) |
| 6 | Reset | DI 2 | 24 [v] | Resetea una vez corregida falla |
| 13 | Emergencia | DI 9 | 24 [v] | Paro de emergencia |
| <i>Salidas Digitales</i> | | | | |
| <i>N° PIN</i> | <i>Descripción</i> | <i>Dirección</i> | <i>Salida</i> | <i>Representa</i> |
| 30 | Ready | DO1 | 0 [V] | Motor listo para funcionamiento |
| 31 | Fault | DO2 | 0 [V] | Falla en el motor |
| <i>Pines de Configuración</i> | | | | |
| <i>N° PIN</i> | <i>Descripción</i> | <i>Representa</i> | | |
| 3 | DI_COM | Común para entradas digitales | | |
| 28 | DO_24 VDC | 24 V para salidas digitales | | |
| 36 | PTI_A+ | Entrada de tren de pulsos del canal A (+) | | |
| 37 | PTI_A- | Entrada de tren de pulsos del canal A (-) | | |
| 38 | PTI_B+ | Entrada de tren de pulsos del canal B (+) | | |
| 39 | PTI_B- | Entrada de tren de pulsos del canal B (-) | | |
| 46 | AO1_+ | Salida Analógica de Torque (+) | | |
| 47 | AO1_- | Salida Analógica de Torque (-) | | |
| 49 | DO_COM | Común para salidas digitales | | |

3.2.2. Control de Velocidad

El sistema permite realizar el control de velocidad del servomotor mediante la aplicación de un algoritmo PI, un controlador Proporcional integral cuya parametrización se realiza en la configuración del driver V90 mediante los parámetros:

Tabla 4.
Parámetros de Configuración (SIEMENS, 2015)

| | | |
|-------------|-----------|---|
| Gain adjust | p29120[0] | Speed Loop Gain : Speed loop gain 0 |
| Gain adjust | p29120[1] | Speed Loop Gain : Speed loop gain 1 |
| Gain adjust | p29121[0] | Speed Loop Integral time : Speed loop integral time 0 |
| Gain adjust | p29121[1] | Speed Loop Integral time : Speed loop integral tim 1 |

Esta parametrización viene definida de fábrica y el servomotor posee una función de “Auto-Tuning” la cual le permite realizar un ajuste dinámico en relación a la carga de motor, esta función le permite tener una respuesta más rápida y exacta frente al cambio de set point o cambio dinámico en la carga.

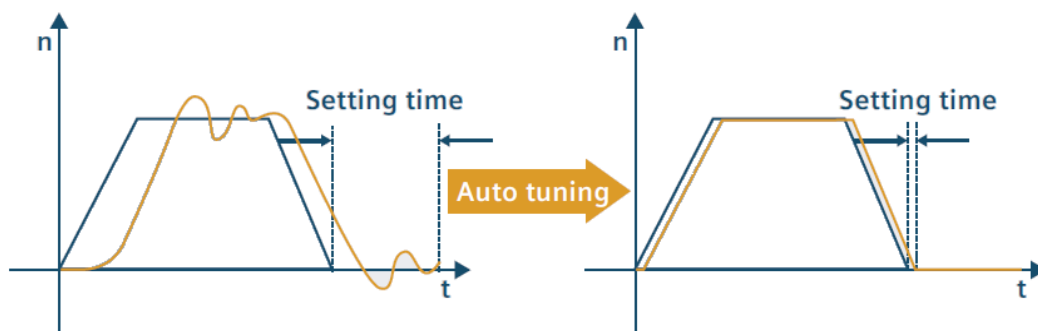


Figura 26. Respuesta de Auto-Tuning

Fuente: (SIEMENS, 2015)

El lazo de control se desarrolla bajo la descripción del siguiente diagrama de bloques, en el cual se observa cómo se relaciona las señales de instrumentación, la señal de control y el valor de proceso requerido

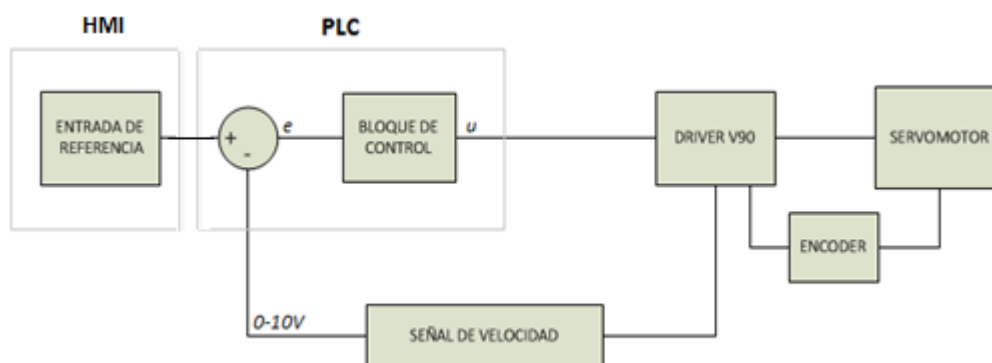


Figura 27. Lazo de Control de Velocidad

En el lazo de control de velocidad se observa que el controlador se comunica de forma directa con el driver de control del servomotor media una señal de salida u , que es un tren de pulsos de 1KHz, la librería “Motion Control” V13, faculta al controlador el manejo directo del control de velocidad

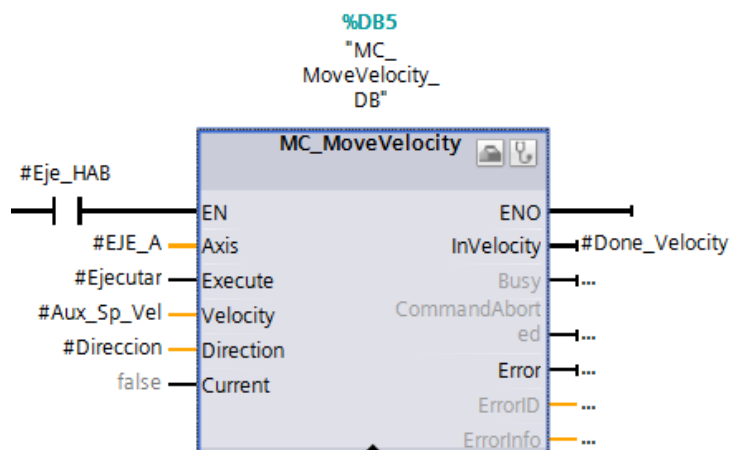


Figura 28. Bloque de control de Velocidad

Mediante el bloque de control de velocidad se parametriza y configura el objeto a controlar sus principales entradas son:

Tabla 5.
Señales del Bloque de Control de Velocidad

| Señal | Descripción |
|-----------|---|
| Axis | Dirección de configuración el Objeto tecnológico, eje que contiene la configuración del motor |
| Execute | Señal para ejecutar la función de control de velocidad |
| Velocity | Entrada de Referencia de velocidad |
| Direction | Señal de configuración de sentido de movimiento |

El control de velocidad adicionalmente se desarrolla para monitorear la velocidad de retorno en el ciclo de retracción del cinturón de seguridad, esto se realiza mediante la implementación de un encoder incremental adicional que permite observar la velocidad con la que se desplaza el sistema. Su diagrama de bloque viene representado de la forma:

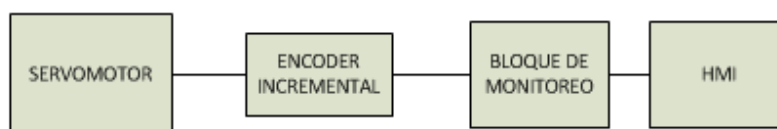


Figura 29. Diagrama de Bloques de Monitoreo de Velocidad

Su conexión es directamente al controlador pero se requiere la implementación y configuración de contadores rápidos por lo menos con una frecuencia de 20KHz, este planteamiento y conexión así como la configuración se observará detalladamente en la puesta en marcha del controlador lógico programable PLC.

3.2.3. Control de Torque

El sistema será capaz de monitorear y controlar el torque que requiere el prototipo en cada ciclo de trabajo, para lo cual es necesario configurar el driver V90, deberá generar una señal de salida de 0-10V que representa el torque instantáneo, este lazo de control permite activar o desactivar la función de bloqueo cuyo objetivo principal es la seguridad de los equipos evitando posibles sobrecargas, el driver V90 al igual que la librería “Motion Control” V13 en su configuración y puesta en marcha permiten configurar el torque máximo del sistema, este torque máximo genera una función de error que bloquea al servomotor y es necesaria su re inicialización, con el fin de evitar este proceso durante un ciclo de trabajo que bloquearía y paralizaría la secuencia cíclica del sistema se plantea un control ON/OFF que permite despegar y ejecutar la función de bloqueo, la misma que realiza un proceso de retracción de la cita automáticamente para que se desbloquee el sistema de seguridad y continuar con la prueba configurada.

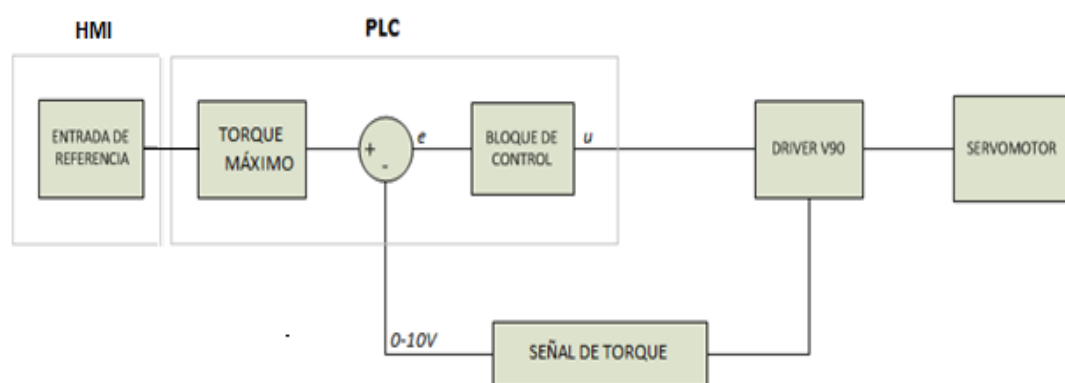


Figura 30. Lazo de Control de Torque

El bloque de control genera una salida escalón que dispara la función de bloqueo descrita en el capítulo 4, sección 4.2.3.1.

3.2.4. Control de Posición

La lazo de control de posición tiene el objetivo fundamental de desplazar la cinta del cinturón de seguridad una distancia parametrizable en cada ciclo y repetirlo un número de veces que se configure de acuerdo a la prueba, esta función permitirá realizar cíclicamente el número de pruebas específicas, por tanto este lazo de control deberá cumplir con características como repetitividad, velocidad constante, y posicionamiento exacto, características que se llevan a cabo mediante un controlador proporcional Auto sintonizable incorporado en el Driver de control V90, este tipo de controlador viene configurado de fábrica y no se puede manipular, su comunicación y control viene dado por la función incorporada en la librería “Motion Control” V13.

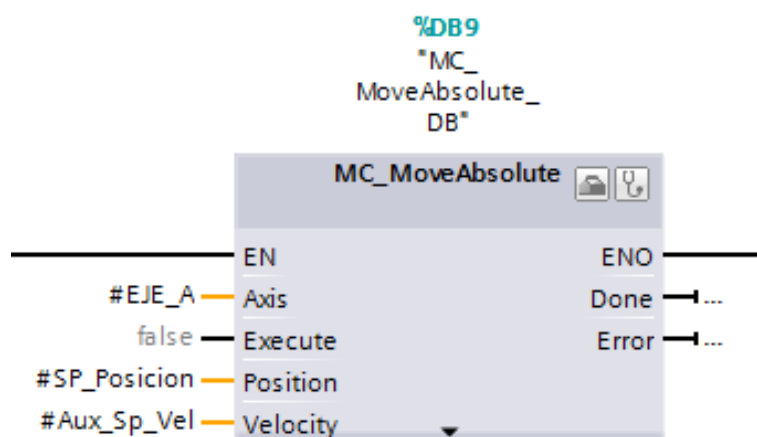


Figura 31. Bloque de control de Posición Absoluta

Tabla 6.
Descripción de Señales del Bloque de control de Posición

| Señal | Descripción |
|----------|---|
| Axis | Dirección de configuración el Objeto tecnológico, eje que contiene la configuración del motor |
| Execute | Señal para ejecutar la función de control de velocidad |
| Position | Entrada de la posición de referencia |
| Velocity | Entrada de la velocidad de referencia |

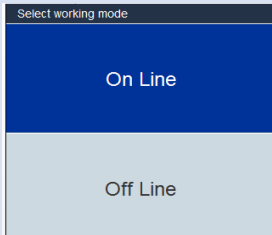

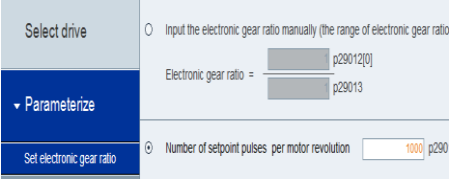
La salida del bloque de control de posición afecta de forma directa al eje configurado como objeto tecnológico dentro del sistema, la señal de control es un tren de pulsos que oscila a una frecuencia máxima de 1MHz.

3.2.5. Configuración y puesta en marcha

La configuración y puesta en marcha del servomotor se realiza mediante el uso de la aplicación V-Assistant, un software o herramienta desarrollada por Siemens específicamente para configurar servomotores, el proceso se puede realizar conectado directamente al dispositivo o de forma fuera de línea.

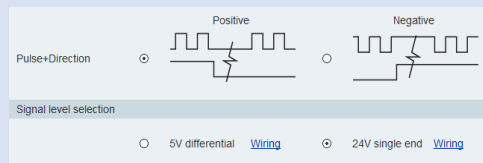
Se describirá en la tabla 7 la función de puesta en marcha utilizando la configuración en línea, es decir cuando el servomotor y el driver se encuentran correctamente energizados, el paso previo para realizar la configuración es tener debidamente instalado el software V-Assistant

Tabla 7.
Configuración y parametrización V90

| CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA V-ASSISTANT | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------|------------------|--------------------|-----|--------------------|------|--------------------|---|--------------------|-----|
| <p>1. Selección de Modo de Configuración: Se debe conectar el Driver mediante USB y abrir el V-Assistant, seleccionar modo On-line</p> |  | | | | | | | | | | |
| <p>2. Seleccionar el Servomotor adquirido de acuerdo a su número de producto o su potencia</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Order No.</th> <th>Rated Power (kW)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6SL3210-5FE10-4UA0</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>6SL3210-5FE10-8UA0</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>6SL3210-5FE11-0UA0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6SL3210-5FE11-5UA0</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> | Order No. | Rated Power (kW) | 6SL3210-5FE10-4UA0 | 0.4 | 6SL3210-5FE10-8UA0 | 0.75 | 6SL3210-5FE11-0UA0 | 1 | 6SL3210-5FE11-5UA0 | 1.5 |
| Order No. | Rated Power (kW) | | | | | | | | | | |
| 6SL3210-5FE10-4UA0 | 0.4 | | | | | | | | | | |
| 6SL3210-5FE10-8UA0 | 0.75 | | | | | | | | | | |
| 6SL3210-5FE11-0UA0 | 1 | | | | | | | | | | |
| 6SL3210-5FE11-5UA0 | 1.5 | | | | | | | | | | |
| <p>3. En la pestaña “SELECT DRIVE”, configure el modo de control como PTI, Para control de posición mediante tren de pulsos.</p> |  | | | | | | | | | | |
| <p>4. En la pestaña “Parameterize”, “Set electronic gear ratio”, seleccione el check box y configure el número de pulsos por revolución</p> |  | | | | | | | | | | |

Continúa

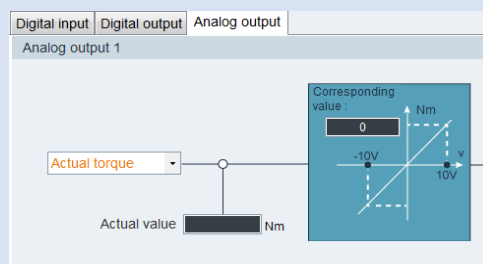
5. En la siguiente opción “Set parameter set point”, seleccione “Pulse+Direction” la opción de positivo y el voltaje de 24 VDC



6. En “Configure inputs/outputs”, configure las entradas y salidas requeridas (ver tabla de entradas y salidas V90)

| Digital input | Digital output | Analog output | | | |
|---------------|----------------|---------------|--------|--------|--|
| Ports | DI 1 | DI 2 | DI 3 | DI 4 | |
| SON | Assign | | | | |
| RESET | | Assign | | | |
| CWL | | | Assign | | |
| CCWL | | | | Assign | |
| G_CHA... | | | | | |
| P_TRG | | | | | |
| CLR | | | | | |

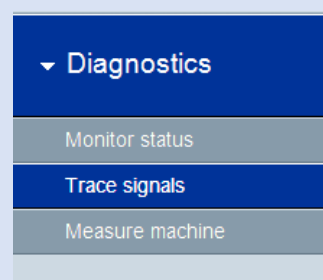
7. Parametrizar y seleccionar la variable analógica de salida



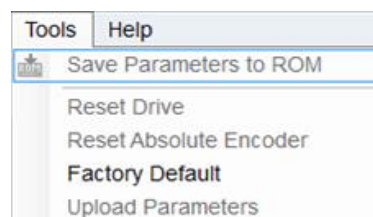
8. Seleccione el número de pulsos por revolución de la señal de salida de encoder.

Set pulse train encoder output number per revolution
p29030

9. Puede Observar y probar la correcta configuración del motor mediante la opción de “Diagnostics”



10. Para finalizar la configuración del driver se debe descargar el programa a la memoria del driver V90



3.3. Módulo Controlador e Interfaz Gráfica

3.3.1. PLC

El Controlador Lógico Programable es un dispositivo electrónico que permite realizar la operación de un proceso de forma automática, en el prototipo desarrollado este dispositivo contiene la lógica de control que permitirá realizar la secuencia de prueba, el esquema de las conexiones con los dispositivos que intervienen en la automatización del proceso está representada en el siguiente gráfico.

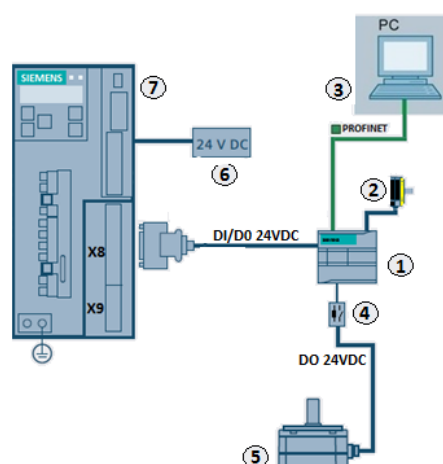


Figura 32. Conexión de Controlador

Tabla 8.
Elementos de conexión con Controlador

| | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Controlador | 2. Encoder |
| 3. PC | 4. Relé |
| 5. Embrague | 6. Fuente de Voltaje |
| 7. Driver V90 | |

El controlador programable permitirá comunicarse y manipular los dispositivos conectados, es importante mencionar la configuración para la transmisión de datos, las entradas o salidas que se utilizan para cada elemento y su forma de control.

- Embrague Electromagnético:

El embrague electromagnético es un dispositivo electromecánico que permite la transmisión de movimiento de una fuente a un eje, o permite el libre movimiento del eje desconectándolo de la fuente de transmisión de movimiento.

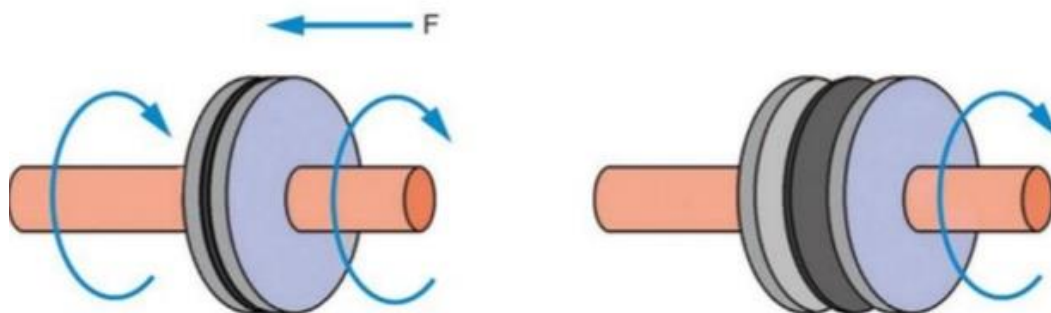


Figura 33. Embrague electromagnético

Fuente: (Martinez, 2013)

Se utilizará un control ON/OFF implementado en el PLC, el mismo que permitirá la activación o desactivación de la excitación de la bobina del electroimán del embrague mediante un relé, el objetivo principal de la implementación de este sistema es permitir la retracción automática del carrete retractable sin ninguna fuerza externa.

Para la implementación del control de este dispositivo se implementa la función FB3 EMBRAGUE, descrita en la lógica de control y en la programación en la ingeniería de detalle.

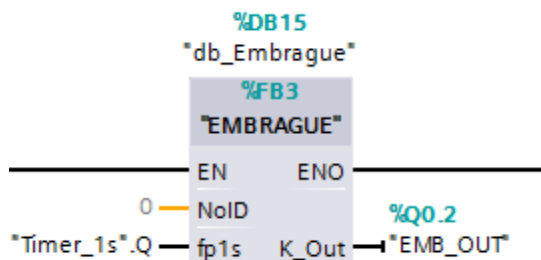


Figura 34. Función de control de Embrague

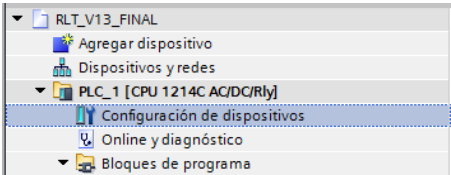

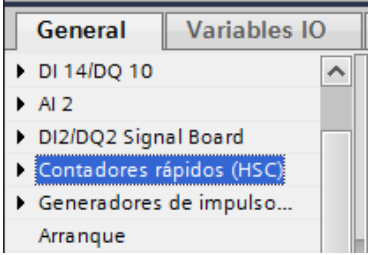
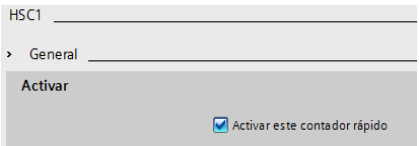
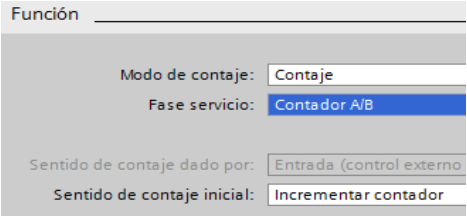
- Encoder Incremental:

El encoder incremental es un dispositivo transductor rotativo que convierte una señal de movimiento angular a una serie de impulsos digitales reconocidos por un controlador, para su aplicación es necesario configurar implementar una función cíclica que reconozca la variación en el registro acumulador y realice las operaciones necesarias para convertir esta señal de impulsos en una señal en revoluciones por

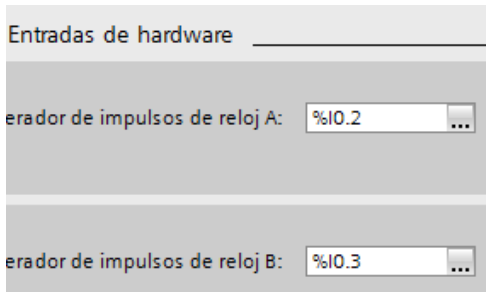
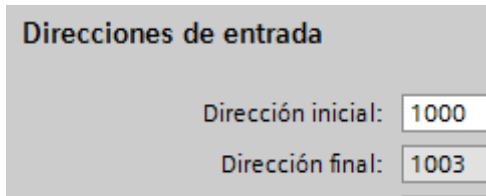
segundo, es importante conocer que el controlador debe permitir la recepción de impulsos con la frecuencia máxima del proceso.

Para la configuración de un contador rápido HSC en el controlador S7-1200 se debe realizar la parametrización de las entradas que se utilizarán, es importante conocer la dirección del registro que almacenará en número de pulsos y establecer la relación para la conversión a unidades de ingeniería.

Tabla 9.
Configuración Contador Rápido

| CONFIGURACIÓN HSC | |
|---|--|
| 1. Acceder a la configuración de dispositivos, |  |
| 2. Seleccionar las propiedades del dispositivo. |  |
| 3. En la pestaña general, Seleccionar Contadores rápidos (HSC), el controlador o módulo del controlador dimensionado y seleccionado debe contar con esta propiedad. |  |
| 4. Activar el contador HSC1 (High Speed Counter 1) |  |
| 5. Seleccionar la función de contador, como contador AB, (Selección depende del tipo de encoder puede ser monofásico, bifásico, AB o Cuádruple) |  |

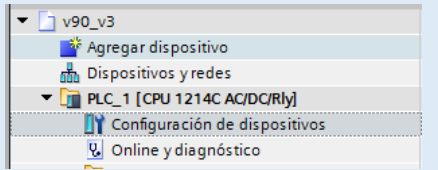
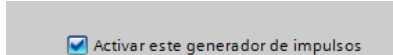
Continúa

| | |
|--|--|
| <p>6. Configurar las entradas de hardware, considerando la frecuencia de oscilación de las señales del encoder</p> |  |
| <p>7. Seleccionar la dirección del registro que almacenará el número de pulsos.</p> |  |

- Driver Sinamic V90

La comunicación del controlador con el driver Sinamics V90 es parte fundamental dentro de un servomecanismo, el controlador envía a través de esta comunicación los parámetros de configuración y el valor de referencia al cual debe llegar el motor utilizando un control de posición y velocidad. Para realizar la comunicación entre el driver y el PLC S7-1200 se debe configurar generador de pulsos mediante el siguiente procedimiento.

Tabla 10.
Configuración Generador de Impulsos

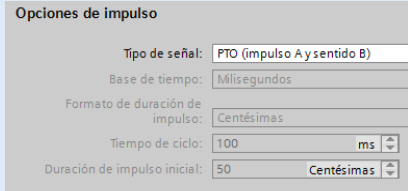
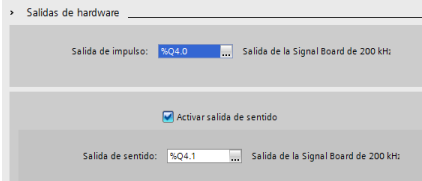
| CONFIGURACIÓN GENERADOR DE IMPULSOS | |
|---|--|
| <p>1. En las propiedades del dispositivo buscar el menú generadores de impulsos para realizar la configuración.</p> |  |
| <p>2. Activar el generador de impulsos</p> |  |

Continúa

3. Dentro del PTO 1 en la opción de parametrización se debe escoger como Tipo de señal la opción PTO (impulso A y sentido B).

4. En la pestaña de salida de hardware, colocar las salidas correspondientes a cada canal.

5. Compilar y guardar.

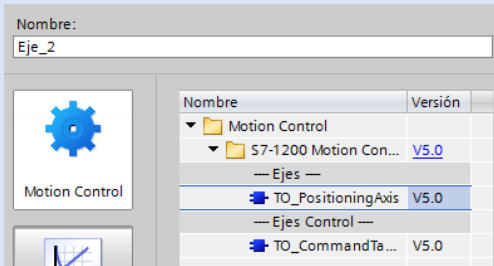
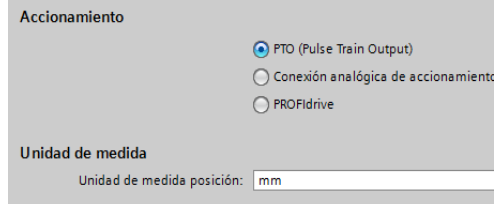
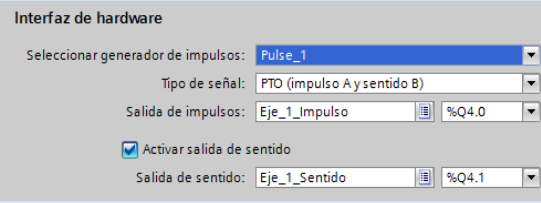
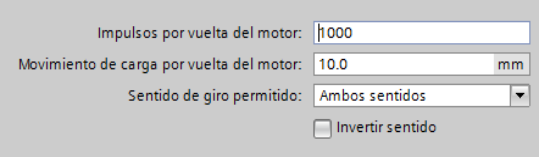
Para el control automático del servomotor, una vez configurado el generador de impulsos, es necesario agregar un objeto tecnológico, herramienta incorporada en el sistema Tia Portal V13 para el control de motores y servomecanismos.



Figura 35. Objeto Tecnológico

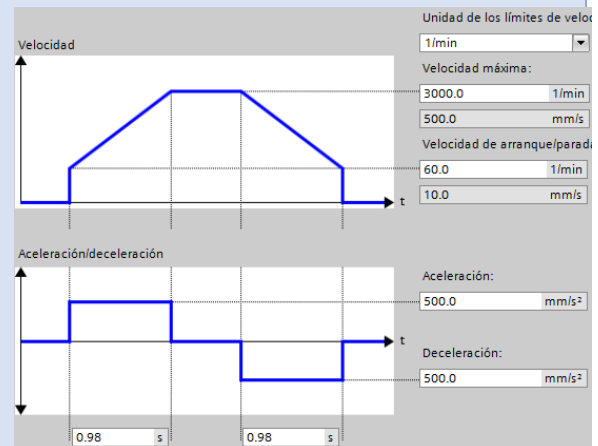
Este bloque de funciones Siemens permite realizar el control directo de un sistema servo a través de la librería “Motion Control” V13, integrada ya de forma directa en los PLC de la gama 1200 y 1500, los controladores PID también se encuentra dentro de este tipo de funciones adicionales, esta librería incorpora las funciones conocidas como Objetos tecnológicos los cuales son de fácil manipulación y puesta en marcha como se detalla en la tabla 11. Descrita a continuación.

Tabla 11.
Configuración de Objeto Tecnológico

| Configuración del Objeto Tecnológico | |
|--|--|
| <p>1. Añadir un objeto tecnológico del tipo “Motion Control”, dentro de la cual se debe escoger el objeto eje de posición.</p> |  |
| <p>2. Una vez añadido el eje se procede a configurar el mismo. Dentro de los parámetros básicos se debe escoger el accionamiento PTO y la unidad de medida mm o la unidad que sea conveniente según la aplicación.</p> |  |
| <p>3. Dentro de los parámetros básicos se debe seleccionar el generador de impulsos que en este caso fue nombrado como Pulse_1, al seleccionar este parámetro se autoconfiguran el tipo de salida de impulso y sus direcciones físicas.</p> |  |
| <p>4. En la pestaña de parámetros avanzados se debe setear los impulsos por vuelta con el valor de 1000, debido a que ese valor fue seteado en la configuración del driver. Se setea también el movimiento lineal por vuelta del motor y el sentido de giro.</p> |  |

Continúa

5. Dentro de estos parámetros también se setea parámetros como la velocidad máxima y mínima, la velocidad de arranque y de parada y la aceleración y deceleración.



3.3.2. Lógica de Control

La lógica de control define el funcionamiento del prototipo, el diseño y planteamiento de esta lógica permitirá que el sistema realice su función de forma automática, definir cada bloque y parte del sistema constituye una pieza fundamental dentro del correcto funcionamiento del mismo es así que se plantea como esquema principal el siguiente diagrama de bloques.

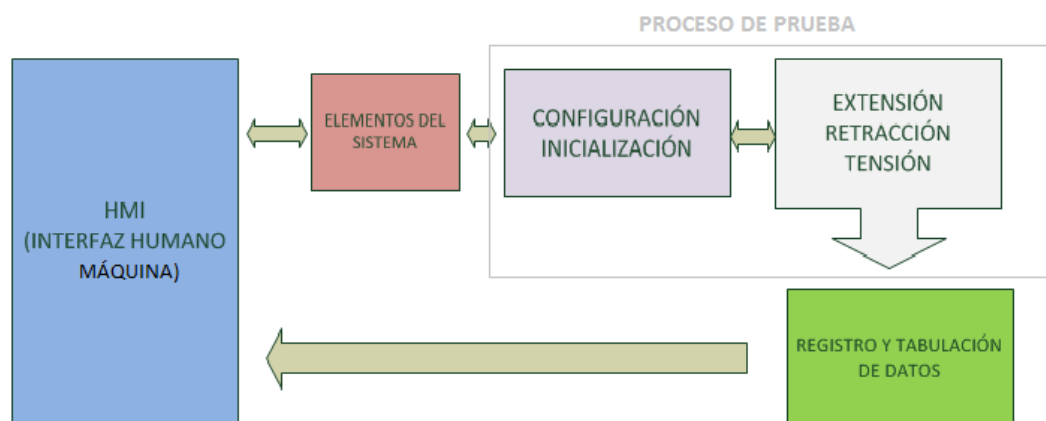


Figura 36. Diagrama de Bloques Lógica de Control

- Bloque HMI

El bloque de Interface HMI permite la interacción entre el operador y la máquina, está definido por las diversas funciones que cumple dentro del sistema entre las cuales está el permitir la observación de las variables del proceso, manipular los datos de

configuración del prototipo, permite la inicialización del proceso, control de funcionamiento de arranque y parada del sistema así como el paro de emergencia, la comunicación con base de datos junto con la presentación de reportes y la presentación de curvas de respuesta de la prueba en desarrollo.

- Bloque de Configuración e Inicialización

Este bloque tiene la función de inicializar y configurar los dispositivos dentro del proceso, dentro de estas función se inicializa el servomotor utilizando la librería de “Motion Control”, cumple a su vez la función de habilitar el funcionamiento del embrague electromagnético y definir la posición inicial del servomotor.

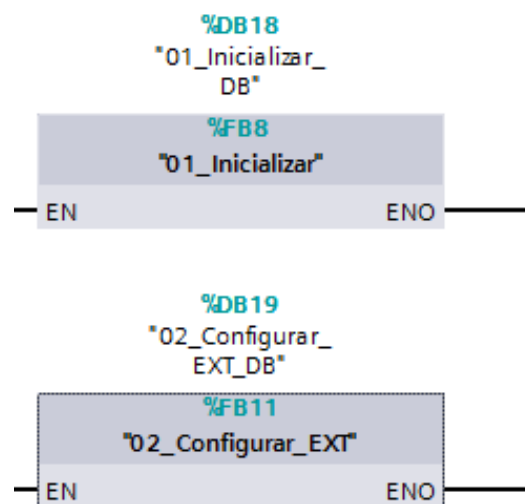


Figura 37. Bloque de Inicialización y Configuración

Dentro de este bloque se encuentra también la función de configuración la cual se encarga de realizar la comunicación con el motor mediante comandos manuales, esto se realiza para posicionar el servomotor y la cinta del cinturón de seguridad en la posición inicial deseada, dicha posición es almacenada y servirá para desplazarse hacia ese mismo punto en cada ciclo de prueba, una vez finalizado el proceso de configuración se puede proceder al inicio de la prueba.

- Bloque de secuencia

El bloque de secuencia está constituido por extensión, retracción y prueba de tensión, estas tres funciones son las que se utilizarán para realizar el ciclo correspondiente dentro de la prueba, cada función es una fase dentro del ciclo.

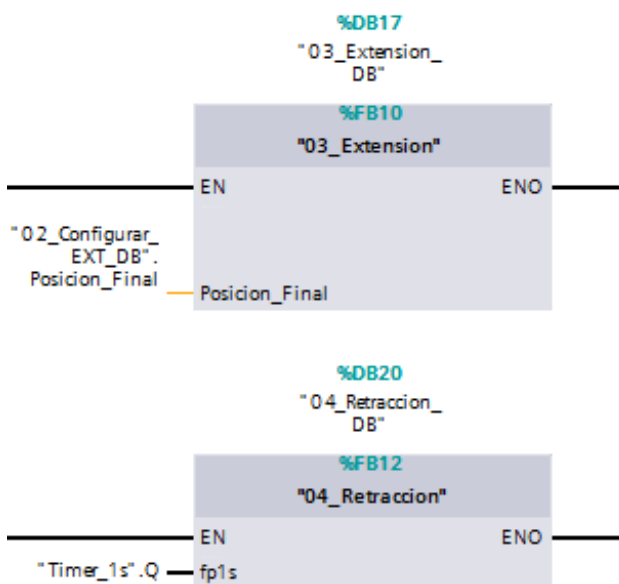


Figura 38. Funciones de bloque de Secuencia

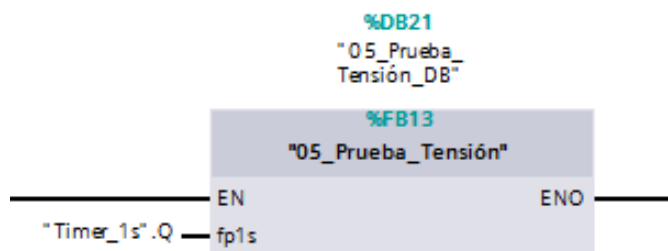


Figura 39. Función de bloque Prueba Tensión

Dentro de este mismo bloque de secuencia se encuentra la función que administra el sistema de acuerdo a la prueba configurada, esta función se conoce como secuenciador y es la función 08_SECUENCIA.

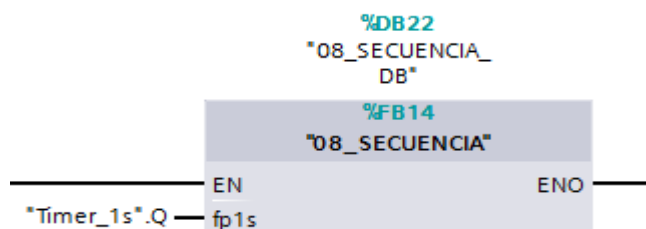


Figura 40. Función Secuencia

- Bloque de Registro y Tabulación de Datos

Este bloque está encargado de la función de registro, que es una función programada en Lenguaje SCL para poder realizar la indexación de datos dentro de un arreglo, el lenguaje de programación SCL es similar a la programación en lenguaje “C” por lo que el manejo de bucles como “for”, y sentencias lógicas “if” resulta más eficiente.

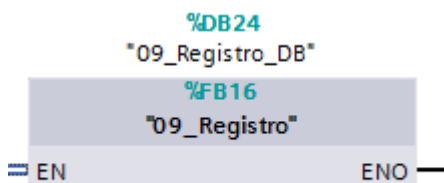


Figura 41. Función de Registro

Otra de las funciones de este bloque es la Tabulación de datos, como su nombre lo indica es la encargada de tabular un número específico configurable de datos pero cumple además con la función de manejar y operar el registro de datos e interactuar con el bloque HMI para almacenar los diferentes tipos de datos en la base de datos.

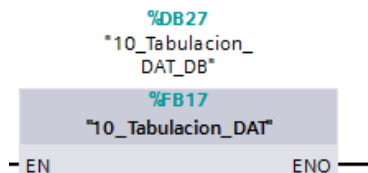


Figura 42. Función de Tabulación de Datos

- Bloque de Elementos del Sistema

El bloque de elementos del sistema está constituido por las funciones que se encargan del manejo de los diferentes dispositivos dentro del proceso, las funciones de control de servomotor, embrague, encoder, transmisores, generador de pulsos permiten operar de forma automática cada elemento, así se desarrolla el programa con mayor flexibilidad ya que se puede agregar elementos o eliminar elementos sin alterar el orden del programa, esto se lleva a cabo para poder expandir el programa y adicionar estaciones de prueba si el usuario final lo requiere.

El programa utiliza además la función principal OB1 o MAIN general de todos los controladores, en esta función se realiza el llamado a todas las demás funciones implementadas de forma secuencial en cada ciclo de programa, controlando de forma automática el proceso de extensión, retracción, prueba de carga y almacenamiento de datos, al igual que la comunicación de variables para la visualización del proceso en la interfaz de usuario, en el siguiente esquema se presenta el diagrama estructural del OB1 que representa el funcionamiento y llamado de los bloques de programa relacionados con las funciones del proceso.

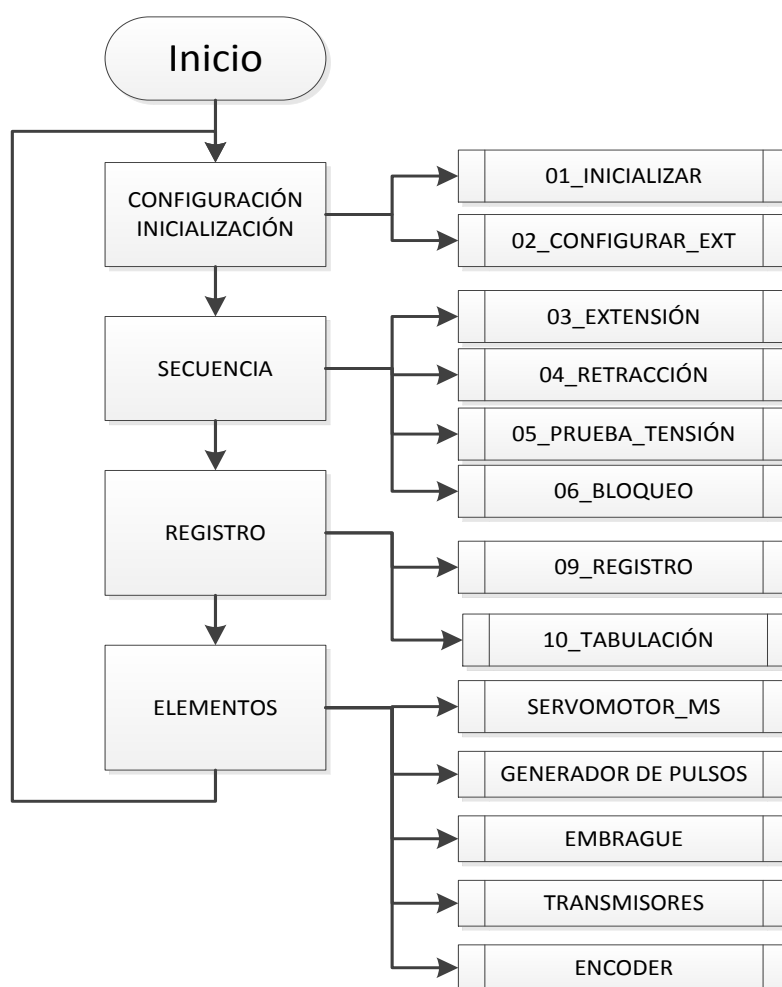


Figura 43. Diagrama de Flujo OB1

3.3.3. HMI

Para el diseño de la interfaz gráfica de usuario se utiliza las normas GEDIS (guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión), este conjunto de reglas permiten al desarrollador guiarse en la obtención de un sistema que brinde confort y

funcionalidad dentro del ambiente industrial, el software de diseño que se utilizará para el desarrollo es WINCC RT Advanced incorporado en TIA Portal V13.

- **Arquitectura**

01_INICIO:

La ventana de inicio permitirá observar el menú de operación de sistema prototipo, en el que consta la configuración, ayuda del sistema, inicialización del equipo e información de desarrollador, esta ventana se desplegará por default al iniciar la aplicación, mostrará también un esquema tridimensional del prototipo como mosaico o fondo de la ventana el cual permite observar el sistema desarrollado.

02_INICIALIZACIÓN

En la ventana de Inicialización se realizará la configuración de posición inicial de la cinta del sistema de seguridad utilizando los botones para el control manual del servomotor, en esta ventana se presentará a su vez la parametrización de torque máximo, velocidad y tensión para el proceso de configuración de la posición final de extensión de la cinta, se permitirá además la visualización de las variables de proceso, observación del estado del sistema y los indicadores de errores o fallas en el quipo.

03_MODELO DE REFERENCIA:

La ventana de creación de modelo de referencia permite realizar la adquisición y registro de las datos del proceso durante un número de ciclos parametrizable, esta función permite conocer los valores iniciales que caracterizan al carrete retractable del cinturón de seguridad, la navegación de esta ventana permitirá desplazarse y observar la respuesta en tiempo real de equipo además se presentará los diferentes contadores e indicadores de estado del sistema

04_CONFIGURACIÓN DE TEST

La función de esta ventana es parametrizar e iniciar el ciclo de pruebas del carrete retractable, se configura los datos referentes a la prueba y al cinturón, se permite seleccionar el número de ciclos por tabulación y el número de tabulaciones que se realizarán en la prueba además de permitir visualizar el estado del sistema y las variables del proceso.

05_REAL TIME

La ventana de Real Time permite visualizar en tiempo real las tres variables del proceso torque, velocidad y tensión dentro del ciclo de prueba, tiene un bloque de visualización de estado del sistema y la navegación para desplazarse a través de los diversas ventanas del proceso, la principal función de esta ventana es mostrar claramente el comportamiento de las señales analógicas.

06_ESTADÍSTICAS

La ventana de estadísticas permite visualizar las gráficas de comportamiento del error a lo largo del número de tabulaciones configuradas, se mostrará el error de tensión, velocidad y torque en función del rango de repeticiones actuales en una representación en dos dimensiones que se actualizará en cada tabulación de datos.

07_CONFIGURACIÓN

La ventana de configuración permite parametrizar los valores que rigen el sistema, como tiempos de aceleración y desaceleración, velocidad, torque máximo, extensión máxima y mínima de la cinta del cinturón, estos parámetros definen todas las características del sistema.

- **Navegación**

El acceso a las diferentes pantallas del sistema esta descrito mediante el diagrama de navegabilidad, el cual describe en los diferentes vínculos existentes entre las ventanas para una fácil operación y visualización.

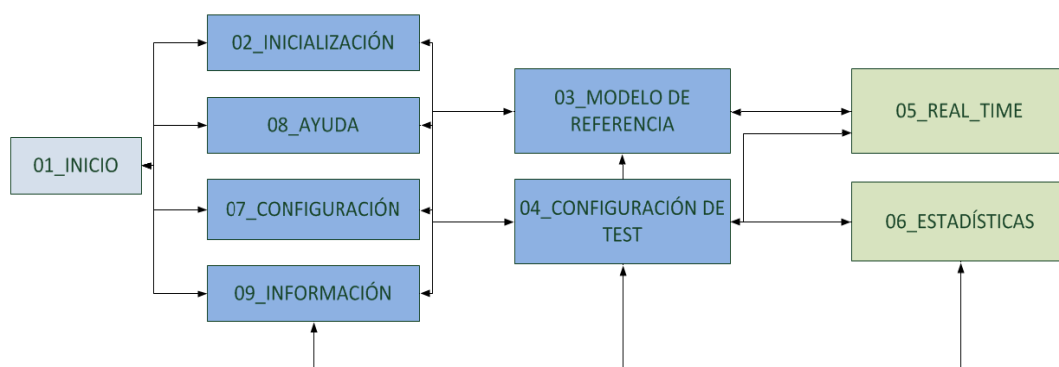


Figura 44. Navegación de Ventana

- **Pantalla**

El diseño de la distribución de espacios dentro de la pantalla o ventana de operación es fundamental para su aplicación en la industria, los colores, tamaños fuentes y mímicos permiten al operador realizar la configuración, visualización y manipulación del sistema.

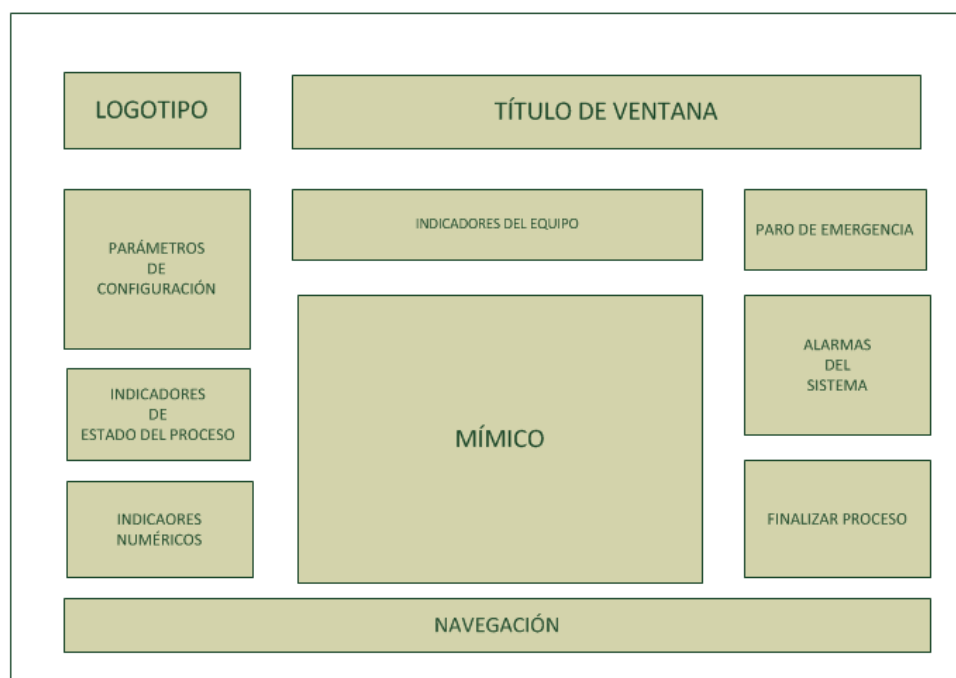


Figura 45. Diagrama de Distribución de pantalla

En el diagrama de distribución de pantalla se tiene las secciones:

Tabla 12.
Descripción de secciones de pantalla

| Sección | Descripción |
|---|--|
| Logotipo | En esta sección se presenta el logotipo del equipo , es un símbolo representativo del sistema |
| Título de Ventana | Indica que ventana está desplegada en el panel de operador |
| Parámetros de configuración | Se presentan parámetros como código de prueba, número de ciclos, tanto de configuración como parametrización |
| Indicadores de Estado del Procesos | Sección de visualización de operaciones que está desarrollando el equipo |

Continúa

| | |
|------------------------------|---|
| Indicadores Numéricos | Indica señales como el número de ciclos actuales tanto de tabulación como el número completo de ciclos por prueba |
| Indicadores de Equipo | Presenta y edita señales de alimentación configuración e inicialización del sistema |
| Mímico | Representación gráfica del proceso |
| Navegación | Contiene botones que permiten desplazarse a otras ventanas del proceso |
| Paro de Emergencia | Sección que contiene un paro de emergencia del sistema |
| Alarmas del sistema | Permite visualizar alarmas del procesos, fallos en controlador, driver o comunicación |
| Finalizar Proceso | Sección para detener el proceso de forma manual. |

- **Funciones Adicionales:**

En el desarrollo de la interface HMI es necesario utilizar la programación de funciones de comunicación con el controlador y con SQL para el almacenamiento y tabulación de datos.

Tabla 13.
Funciones Script de HMI

| Función | Descripción |
|--|--|
| F0_Main | Función que se encarga del llamado y gestión de las funciones del sistema |
| F01_Guardar_DAT | Gestiona la comunicación para guardar datos en SQL |
| F02_Crear_Tabla | Genera una nueva tabla en la base de datos |
| F03_Inicializar_Tabla | Inicializa los valores de la tabla creada |
| F04_01_Tabular_Ciclos_Modelo | Función de tabulación de datos de modelo de referencia |
| F04_02_Tabular_Ciclos_Test | Función de tabulación de datos del número de ciclos configurados para tabulación |
| F05_01_Crear_Fila_Datos_Modelo | Agrega e inicializa una fila de datos modelo |
| F05_02_Crear_Fila_Datos_Test | Agrega una fila de datos en la tabla de prueba |
| F05_03_Crear_Fila_Datos_Resultado | Permite crear una fila de datos en el resultado de acuerdo al rango asignado |

Continúa

| | |
|---------------------------------------|--|
| F06_Eliminar_Tablas_Auxiliares | Elimina los valores y tablas auxiliares generados, evita el desbordamiento y el espacio innecesario en la base de datos |
| F07_Actualizar_Rango | Actualiza dinámicamente el rango de ciclos que se a tabulado, función para presentar reportes y estadísticas |
| F08_Tabulacion_Error | Función que permite el cálculo de error, esta función es configurable y puede variar de acuerdo al requerimiento del usuario |
| F09_Manejo_Fichero | Gestiona los datos y señales para guardar variables dentro del fichero para la presentación en estadísticas |
| F10_Reinicio_Sistema | Finaliza todas las funciones y deja el sistema listo para una nueva prueba |

La programación de scripts se realiza mediante la herramienta TIA PORTAL que incorpora un compilador de Visual Basic, este compilador ofrece una comunicación directa mediante un ODBC a la base de datos en SQL Server.

- Base de Datos

La base de datos se desarrolla mediante SQL Server, una herramienta completa que facilita el almacenamiento de datos creación de tablas y gestión de reportes, la aplicación del sistema prototipo requiere el almacenamiento de una extensa cantidad de datos para poder presentar una curva característica y una tabulación de datos de acuerdo con las especificaciones del usuario.

Tabla 14.
Tablas de Base de Datos

| Nombre de Tabla | Descripción |
|----------------------------|--|
| T02_MREF_TENSION | Tablas que almacena los datos de los diferentes modelos de referencia creados en el sistema, se guarda de acuerdo al código y almacena |
| T02_MREF_TORQUE | |
| T02_MREF_VELOCIDAD | |
| T03_CPROM_TENSION | Permiten la gestión y almacenamiento de los datos promediados de las variables del proceso, se utilizan para almacenar los datos de acuerdo al rango de ciclos configurado y el código de prueba |
| T03_CPROM_TORQUE | |
| T03_CPROM_VELOCIDAD | |

Continúa

| | |
|---------------------------|--|
| T04_RESULTADOS | Tabla que almacena los resultados tabulados de la prueba de acuerdo a su rango, fecha, modelo de referencia y código de prueba |
| TA01_DAT_TORQUE | Tablas auxiliares de almacenamiento temporal de datos, su creación y eliminación es de forma automática mediante líneas de código en VB script, para evitar desbordamiento |
| TA01_DAT_VELOCIDAD | |
| TA01_DAT_TENSION | |

3.4. Selección y dimensionamiento de componentes

3.4.1. Controlador y Pantalla

El controlador lógico programable que se utilizará para el desarrollo del prototipo es un producto de Siemens perteneciente a la familia S7-1200, la selección del dispositivo tiene varios factores importantes entre los cuales se destaca la disponibilidad, el costo, las prestaciones y su programación, por tanto se llega a la conclusión de utilizar un CPU 1214C AC/DC/RL con las siguientes características:

Tabla 15.
Características S7-1200

| Característica | Descripción |
|--------------------------|-----------------------|
| Tensión de Alimentación | 120-220 VAC |
| Memoria de Trabajo | 75 kbyte |
| Entradas Digitales | 14 integrada; 6 HSC |
| Salidas Digitales | 10 Relé |
| Entradas Analógicas | 2; 0-10V |
| Interfaz | PROFINET |
| Comunicación | TCP-IP/UDP/ISO-on-TCP |
| Temperatura | -20 a 60 |
| Software de programación | Tia Portal V13 |
| Firmware | V4.1 |
| Identificación | 6ES7 214-1BG40-0XB0 |

El controlador requiere adicional un módulo de salidas y entradas digitales de 24VDC, este módulo permite generar la señal de control (tren de pulsos a 20kHz), sus características son:

Tabla 16.
Características Signal Board

| Característica | Descripción |
|-------------------------|--------------------|
| Tensión de Alimentación | 24 VDC |
| Entradas a 24VDC | 2; 2 HSC |
| Frecuencia de Salida | 20KHz |
| Salidas a 24 VDC | 2 DO |
| Identificación | 6ES7223-0BD30-0XB0 |

La selección de la interface HMI se realiza principalmente de acuerdo a la disponibilidad y al número de variables (“tags”) utilizados, la aplicación del desarrollo del prototipo por la característica de comunicación con base de datos y generación de reportes requiere una herramienta adicional que solamente a partir de la versión Advanced de WinCC presentan, la programación de VB Scripts, la comunicación con base de datos se contemplan en las siguientes características de esta versión.

Tabla 17.
Características WinCC Advanced

| | |
|--|-------|
| VARIABLES | |
| Número de PowerTags | 128 |
| Número de variables locales | 2 048 |
| IMÁGENES | |
| Número de imágenes | 500 |
| RECETAS | |
| Número de recetas | 999 |
| FICHEROS | |
| Número de ficheros | 100 |
| CURVAS | |
| Número de curvas | 800 |
| LISTAS DE TEXTOS Y GRÁFICOS | |
| Número de listas de gráficos | 500 |
| Número de listas de textos | 500 |
| SCRIPTS | |
| Número de scripts | 200 |
| COMUNICACIÓN | |
| Número de conexiones | 8 |
| Número de conexiones basadas en "SIMATIC HMI HTTP" | 16 |

Continua

| | |
|--|-----|
| Número máximo de Sm@rtClients conectados (incl. un ServiceClient) | 4 |
| Sistema de ayuda | |
| Longitud de un texto de ayuda en caracteres | 320 |
| Idiomas | |
| Número de idiomas de runtime | 32 |
| Administración de usuarios | |
| Número de usuarios | 100 |

3.4.2. Sensores

- Encoder Incremental

La selección del encoder incremental se realiza de acuerdo a la precisión requerida y a la velocidad máxima de lectura del contador rápido HSC (100KHz)

Tabla 18.
Características de encoder

| Característica | Valor |
|--------------------------|---------------|
| Precisión de encoder | +/-0.072 ° |
| Frecuencia máxima | 6,5 KHz |
| No pulsos por revolución | 500 p/rev |
| Marca | OMRON |
| Salida | fase A, B y Z |
| Alimentación | 24VDC |
| Código | EGB2-CWZ6C |



Figura 46. Encoder OMRON

Fuente: (OMROM, 2015)

- Celda de Carga

Para la selección de la celda de carga se considera la fuerza máxima dentro del proceso (20N), se selecciona también el transmisor 0-10V de acuerdo a las características del controlador cuyas dos entradas analógicas únicamente aceptan este tipo de señal, se utilizará una celda de carga LIGENT, aplicable para la medición de fuerza en pequeños espacios de instalación, permite la medida tanto de extensión como de compresión 0-20N.

Tabla 19.
Características celda de Carga

| Característica | Valor |
|--------------------------|---------------|
| Salida Nominal | 2.0± 10% mv/v |
| No-linealidad | 0.05% F.S. |
| Histéresis | 0.05% F.S. |
| Repetitividad | 0.05% F.S. |
| Impedancia de Entrada | 350±5Ω |
| Impedancia de Salida | 350±5Ω |
| Alimentación Nominal | 5 V |
| Alimentación Máxima | 12 V |
| Temperatura de Operación | - 20 ~ 80°C |
| Sobrecarga Permitida | 120% |
| Máxima Sobrecarga | 150 % |



Figura 47. Celda de Carga LFS-02-20N

Fuente: (LIGENT, 2015)

El transmisor LZ-700 utilizado para comunicar la celda de carga con el controlador pertenece al fabricante Ligent al igual que el elemento sensor sus características son:

Tabla 20.
Características de transmisor LZ-700

| Característica | Valor |
|------------------|-------------|
| Exactitud | 0,2% |
| Señal de entrada | 0.5-25mVDC |
| Salida | 0-10V |
| Temp. Ambiente | -20 to 50°C |
| Frecuencia | 100Hz |
| Alimentación | 24VDC |



Figura 48. Transmisor LZ-700

Fuente: (LIGENT, 2015)

3.4.3. Actuadores

- Electro-Embrague

El sistema de embrague electromagnético permite transmitir la fuerza del servo motor hacia el sistema de prueba, este sistema se controla a través de una señal todo o nada y al desacoplar el embrague se libera el eje permitiendo la retracción automática del carrete la selección del embrague es de acuerdo al torque de transmisión.

Tabla 21.
Características embrague TJ-A1-2.5

| Característica | Valor |
|-----------------------------|-----------|
| Fricción de Torque Estatico | 22 (Nm) |
| Fricción de Torque Dinámico | 20 (Nm) |
| Alimentación | 24 VDC |
| Potencia | 20W |
| Peso | 1.66 Kg |
| Código | TJ-A1-2.5 |



Figura 49. Embrague Electromagnético TJ-A1-2.5

Fuente: (Tian-Ji, 2015)

- Servo-Motor

El servomotor Siemens SINAMICS 1FL6, permite el desarrollo de aplicaciones de control de posición y velocidad, su flexibilidad permite parametrizar y configurar el servomotor de acuerdo a las necesidades del usuario el servomotor seleccionado cumple con la características de torque y posicionamiento requerido para el desarrollo del prototipo.

Tabla 22.
Características Servomotor Siemens 1FL6

| Característica | Valor |
|-------------------------|--------------------|
| Torque Nominal | 1.27 Nm |
| Velocidad Nominal | 3000 rpm |
| Voltaje de Alimentación | 400V |
| Encoder | Absoluto |
| Protección | IP65 |
| Código | 1FL6042-1AF61-0LB1 |



Figura 50. Servomotor Siemens 1FL6

Fuente: (SIEMENS, 2015)

3.4.4. Presupuesto

- **Elementos Electromecánicos:**

| No | Elemento | Descripción | Costo | Unit | Total |
|----|---------------------------|---------------------------|-------|-----------|--------|
| 1 | EMBRAGUE ELECTROMAGNÉTICO | Embrague electromagnético | 242 | 1 | 242 |
| 2 | ENCODER INCREMENTAL | Encoder incremental omron | 74.98 | 1 | 74.98 |
| 3 | CELDA DE CARGA | Celda de carga | 198.5 | 1 | 198.5 |
| | | | | Sub Total | 515.48 |

- **Partes Mecánicas:**

| No | Elemento | Descripción | Costo | Cantidad | Total |
|----|---------------|--------------------|-------|----------|--------|
| 1 | Rodillo | Rodillo Cinturón | 12.35 | 1 | 12.35 |
| 2 | Porta Encoder | Soporte de Encoder | 14.3 | 1 | 14.3 |
| 3 | Mesa | Estructura | 19.7 | 1 | 19.7 |
| 4 | Chumacera | Soporte Eje | 26.4 | 1 | 26.4 |
| 5 | Rodamientos | Rodamientos de eje | 24.6 | 1 | 24.6 |
| 6 | Eje | Eje en Acero A36 | 50 | 1 | 50 |
| | | | | Subtotal | 147.35 |

- **Elementos Electrónicos:**

| No | Elemento | Descripción | Costo | Cantidad | Total |
|----|---------------------|--|-------|----------|-------|
| 1 | PLC S7-1200 | CPU 1214C AC/DC/Relé Incorpora 14 DI a 24 VDC, 10 DO tipo relé | 695 | 1 | 695 |
| 2 | SERVOMOTOR | Servomotor de 0.4 Kw | 1124 | 1 | 1124 |
| 3 | DRIVER SIMOTICS V90 | Controlador para servomotor de 0.4 Kw | 984.7 | 1 | 984.7 |
| 4 | FUENTE DE PODER | Fuente SITOP PS307 formato S7-300. Entrada 120/230VAC; salida 24 VDC 5A | 314 | 1 | 314 |

| | | | | | |
|-----------|------------------------|---|-------|---|--------|
| 5 | CONVERTIDOR 0-10V | Convertidor para Celda de Carga Output 0-10 V | 214.8 | 1 | 214.8 |
| 6 | MÓDULO I/O 24 VDC | SB1223 Signal board con 2DI a 24VDC / 2DO a 24VDC | 125 | 1 | 125 |
| 7 | Wincc Advanced Runtime | Runtime para aplicación HMI | 935 | 1 | 935 |
| 8 | PC | Procesador Core i5, 8 GB ram y 512 GB de memoria.(escritorio) | 1300 | 1 | 1300 |
| Sub Total | | | | | 5692.5 |

Nota: Software de programación TIA portal no se incluye, la licencia es proporcionada por la empresa para desarrollo (Solution Partner).

- **Elementos del Tablero de Control**

| No | Elemento | Descripción | Costo | Cantidad | Total |
|----------|--------------------|------------------|-------|----------|--------|
| 1 | Breaker principal | 5SX1306-7 | 40 | 1 | 40 |
| 2 | Guardamotor | 3RV20 11 - 1EA10 | 56.62 | 1 | 56.62 |
| 3 | Borneras | | 1.5 | 30 | 45 |
| 4 | Tablero de Control | | 93 | 1 | 93 |
| 5 | Cable de Control | | 1.5 | 5 | 7.5 |
| Subtotal | | | | | 242.12 |

- **Resumen**

| No | Elemento | Descripción | Costo | Cantidad | Total |
|-------|------------------------|---------------------------|--------|----------|---------|
| 1 | Tablero de Control | Construcción tablero | 242.12 | 1 | 242.12 |
| 2 | Montaje Mecánico | Armado de Sistema | 147.35 | 1 | 147.35 |
| 3 | Elementos Electrónicos | Dispositivos electrónicos | 5692.5 | 1 | 5692.5 |
| 4 | Actuadores y Sensores | | 515.48 | 1 | 515.48 |
| Total | | | | | 6597.45 |

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE

4.1. Infraestructura del Sistema.

Para el diseño del sistema prototipo se utilizó SolidWorks 2014, un software CAD que permite desarrollar objetos y animaciones tridimensionales, bajo este concepto se desarrolla el sistema mecánico además de establecer las medidas y elementos que componen la infraestructura del sistema, los planos de cada elemento que compone el sistema mecánico se encuentra en el **Anexo 1**.

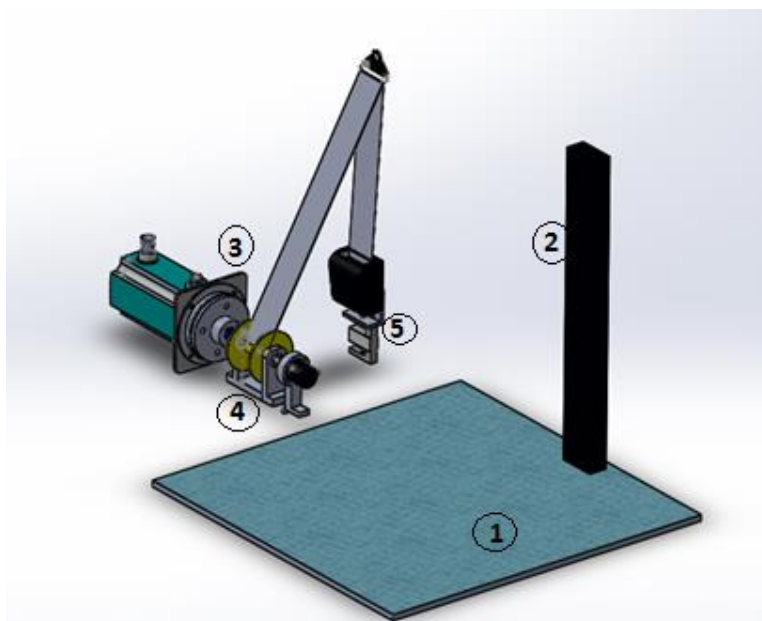


FIGURA 51. Diseño tridimensional del Sistema

Tabla 23.
Elementos del sistema Mecánico

| Elemento | Descripción |
|--|--|
| 1.- Mesa de Soporte | Base de todo el sistema, construcción en madera |
| 2.- Soporte Vertical | Tubo metálico que sostiene el sistema del cinturón de seguridad |
| 3.- Platina de Montaje de Motor | Platina de acero para montaje y acople del servomotor |
| 4.- Sistema de Retracción | Sistema de eje y carrete para recoger la cinta del cinturón de seguridad |
| 5.- Soporte de Carrete | Platina de acero para unir la celda de carga con el carrete retráctil |

Para la implementación del sistema de retracción y la construcción de las partes que requiera el sistema como acoples o piezas adicionales se utiliza el proceso de manufactura conocido como prototipo rápido o impresión 3D, características como eficiencia al no utilizar recursos humanos, velocidad de fabricación rápida, ahorro de material, fabricación económica así como la flexibilidad para crear cualquier objeto tridimensional han convertido a esta tecnología en una solución sólida para el desarrollo de nuevos prototipos.

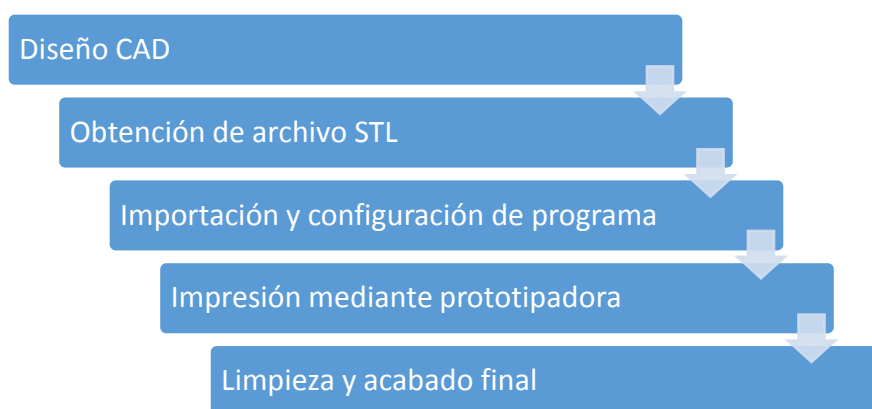


Figura 52. Proceso de prototipado rápido

El equipo utilizado para el prototipado rápido es una impresora LEAPFROG CREATR, su operación y configuración se realiza mediante el software libre Repetier Host, este software requiere un archivo STL para compilar y desarrollar el código G que entiende la máquina, en el desarrollo de cada objeto se parametriza y configura de acuerdo a los requerimientos de usuario para finalmente obtener un objeto tridimensional sólido.

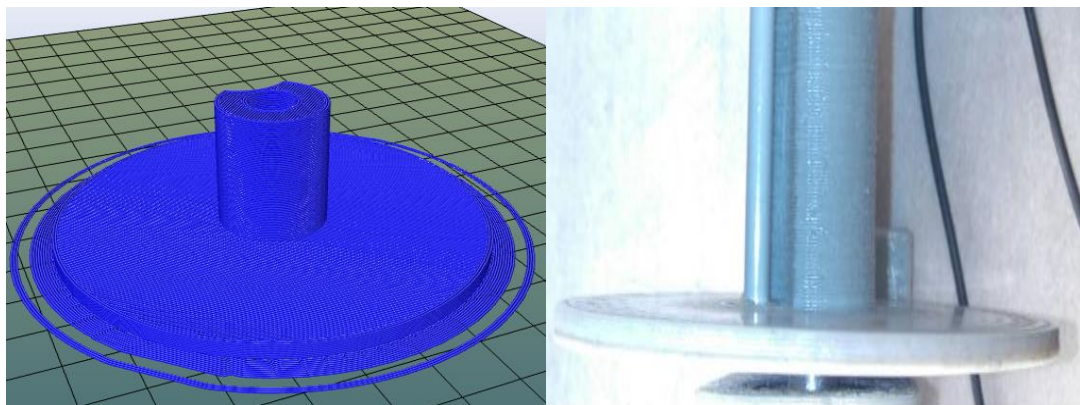


Figura 53. Objeto tridimensional Carrete

4.2. Montaje de los Sistemas

El sistema prototipo una vez diseñado a través del sistema CAD y construido mediante impresión 3D, pasa a la etapa de montaje tanto del sistema eléctrico y electrónico como del sistema mecánico, se describirá entonces como se realizó el montaje y cada uno de los elementos que componen cada sistema.

4.2.1. Sistema Eléctrico

4.2.1.1. Tablero de Control

Para la integración de los elementos que componen el sistema de control se proyectó la construcción de un tablero que permita la conexión adecuada de todos los componentes, la accesibilidad y orden son los factores principales en el momento de la implementación.

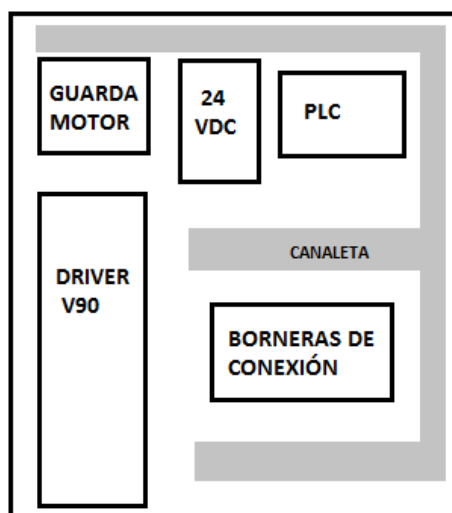


Figura 54. Tablero Eléctrico

Establecido el esquema que se debe seguir se procede a la implementación considerando los elementos que componen el sistema eléctrico.

- Gabinete de Montaje: Estructura metálica de montaje de equipos eléctricos, es un gabinete Sbox 300*400*500 mm
- Guarda-motor 32 A: Equipo de protección de motores línea SIRIUS de Siemens
- Fuente 24 VDC: Fuente de voltaje continuo alimentación 120-240 VAC, 6A
- PLC S7-1200: Controlador Lógico Programable.

- Bloque de Borneras de Conexión
- Driver V90: Controlador de servomotores Siemens

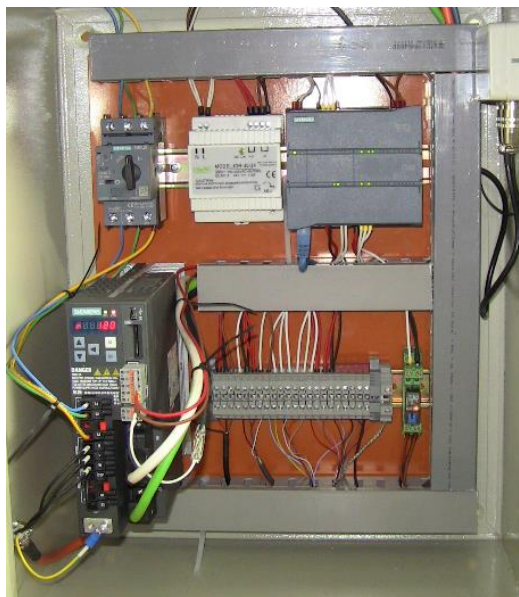


Figura 55. Tablero de Control

4.2.1.2. Cableado del sistema

Los planos de conexión y cableado de sistema se encuentran detalladamente en el anexo B de la sección organización eléctrica, para el cableado del sistema se siguen las normas del código eléctrico ecuatoriano, dimensionando los conductores para cada equipo y las señales de control, la alimentación del servomotor con su driver de control así como la señal de potencia de freno utilizan cables especiales directamente distribuidos por Siemens

- Cable de Alimentación Servomotor: El cable de Alimentación del motor es un cable especial distribuido directamente por Siemens para el uso en la industria, se lo distribuye con el nombre de MOTION-CONNECT 300 Power Cable for Motor S-1FL6, su voltaje de operación es 400V y el código de parte es 6FX3002-5CL01-1AF0
- Cable de Freno Servomotor: El servomotor para el control del freno utiliza un cable de potencia especial distribuido por Siemens, este cable se lo conoce como MOTION-CONNECT 300 Brake Cable, y su código de distribución es 6FX3002-5BL02-1AF0

- Cable Encoder Servomotor: Para la conexión del encoder absoluto integrado en el servomotor se utiliza el cable 6FX3002-2DB10-1AF0, cable especial distribuido por Siemens y conocido como MOTION-CONNECT 300 Encoder ABS Cable.
- Cable de Control: El cable de control esta descrito en la tabla 3 cable de conexión Interface X8, permite la comunicación entre el controlador y el servo Drive, para información detallada de la conexión revisar el anexo B
- Cable de Fuerza: El cable de fuerza para alimentación del ServoDrive es un cable 3*12 AWG, que transmite los 440 V necesarios para el funcionamiento del sistema.

4.2.1.3. Conexiones de actuadores y sensores

Para la conexión de los actuadores y sensores es necesario definir las variables del controlador lógico programable, definir las entradas y salida además de los registros para la configuración de los contadores rápidos y variables analógicas

Tabla 24.
Variables del PLC

| | | | |
|---------------|------|---------|---------------------------------------|
| MOTOR_Impulso | Bool | %Q4.0 | Salida de Impulsos Servomotor |
| MOTOR_Sentido | Bool | %Q4.1 | Salida de Sentido de Giro del motor |
| ENCODER_ACT | DInt | %ID1000 | Registro de Contador Rápido |
| AI0_TORQUE | Int | %IW64 | Entrada Analógica Torque del Motor |
| AI1_CARGA | Int | %IW66 | Entrada Analógica Celda de Carga |
| Motor_S_ON | Bool | %Q0.0 | Salida de Activación Servomotor |
| Motor_RDY | Bool | %I0.0 | Entrada de Confirmación de Servomotor |
| EMB_OUT | Bool | %Q0.2 | Salida de Embrague |
| RESET_MOTOR | Bool | %Q0.1 | Salida de Reset Servomotor |
| ERROR_MOTOR | Bool | %I0.1 | Entrada de Error en Servomotor |

Para la conexión eléctrica de los elementos del sistema se adjuntan los planos en el **Anexo 2**. En estos planos se detalla la conexión de las entradas y salidas digitales así como las señales de instrumentación.

4.2.2. Sistema Mecánico

Para la implementación del sistema mecánico es necesario considerar principalmente la correcta alineación de cada uno de los componentes y la fijación hacia la mesa de base.

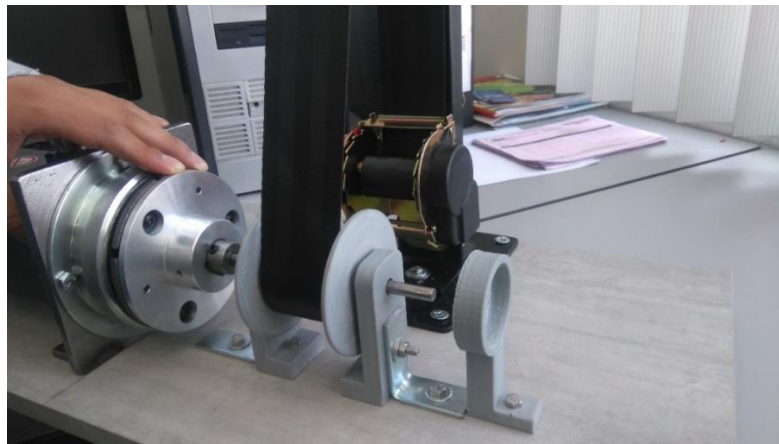


Figura 56. Ensamble del Sistema Mecánico

4.2.2.1. Estructura

La estructura del sistema está constituida por la mesa de soporte y el soporte vertical, para información y planos más detallados revisar el anexo A de elementos mecánicos, la mesa base esta implementada en material MDF que permite mediante un proceso simple realizar la fijación de los diferentes elementos a la superficie, posee una recubierta de acabado gris, el soporte vertical está construido en acero y su acabado en negro, permite la fijación de la pieza de corrimiento del cinturón de seguridad y permite realizar la extensión y retracción del cinturón.

4.2.2.2. Soportes

El sistema mecánico tiene tres soportes que permiten la fijación de un determinado elemento o que cumplen una función específica de como el sistema de retracción cuya función es acumular la cinta del sistema de seguridad en el proceso de extensión dentro de la prueba de durabilidad.

- Soporte de Servomotor

Es una pieza de acero de 6mm que cumple la función de sostener al servomotor y al electroimán del embrague electromagnético está anclada a la mesa base mediante dos tornillos de 8mm, los planos y medidas de la platina de soporte del servomotor se encuentran en el **Anexo 1** elementos mecánicos.

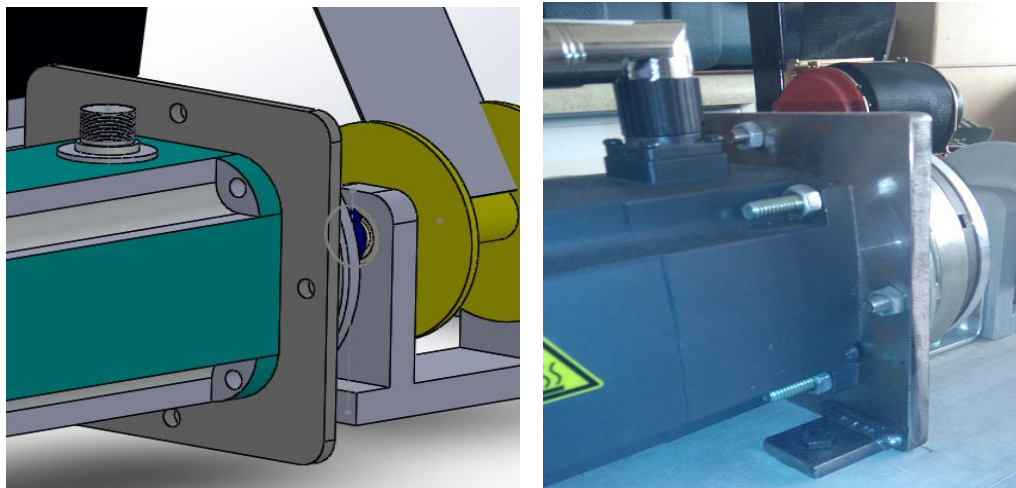


Figura 57. Soporte Servomotor

- Soporte Encoder

El encoder incremental para medida de velocidad y referencia de posición requiere un soporte para alinearse de forma directa con el eje del sistema, el posicionamiento exacto de este soporte permitirá obtener una medida real de velocidad y dar la referencia de posición al sistema, este soporte está diseñado mediante sistema CAD y construido mediante impresión 3D.

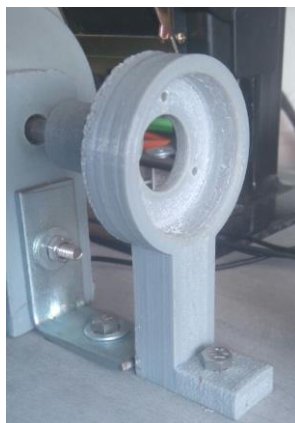


Figura 58. Soporte Encoder

- Sistema de Retracción

El sistema de retracción está conformado por el carrete de retención, este elemento se encarga de almacenar o retener la cinta del cinturón de seguridad en el proceso de extensión del carrete retractable, un sistema de chumaceras constituido por dos soportes laterales realizados mediante impresión 3D diseñados para introducir los rodamientos permitir la rotación del eje, este sistema fue diseñado en su totalidad mediante software CAD y construido mediante prototipado rápido y maquinado en torno, el eje de rotación se fabricó de acero y mediante el proceso de maquinado en torno se adecuo para su adaptación a los rodamientos del sistema de chumaceras que permiten su giro con un mínima fricción, los planos e información más detallada se encuentran en el anexo A, en la figura 59 se observa el montaje del sistema, se debe considerar la alineación de los elementos dentro del sistema para funcionamiento adecuado del prototipo.

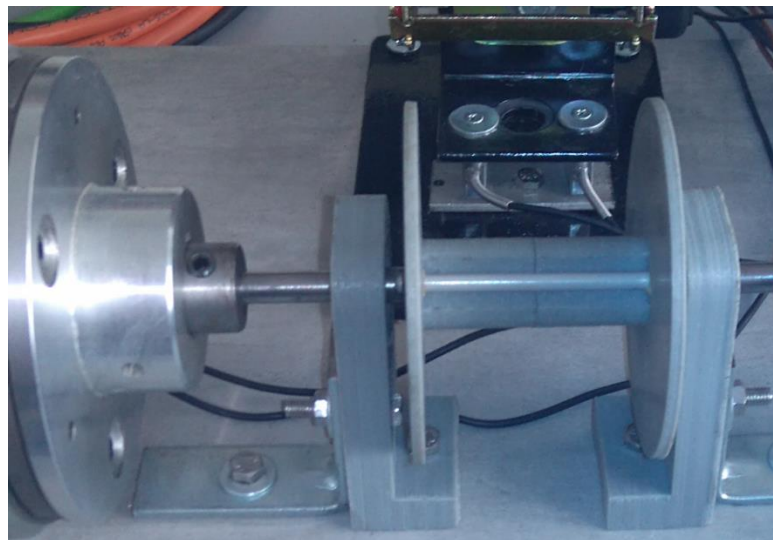


Figura 59. Sistema de Retracción

4.2.2.3. Acoples

Para adaptar el eje del sistema de retracción con el sistema de embrague electromagnético es preciso utilizar un acople maquinado mediante torno de precisión, este acople fabricado en acero se adapta al eje de rotación y se ajusta mediante prisioneros, por otro lado está construido para adaptarse de forma directa con el bocín del embrague electromagnético, además el sistema requiere un acople adicional para

unir el eje del sistema con el encoder incremental, estos dos acoples presentes en el sistema permiten la unión completa de los elementos que forman el sistema mecánico para la extensión y retracción del cinturón de seguridad, los planos detallados se establecen en el **Anexo 1**.

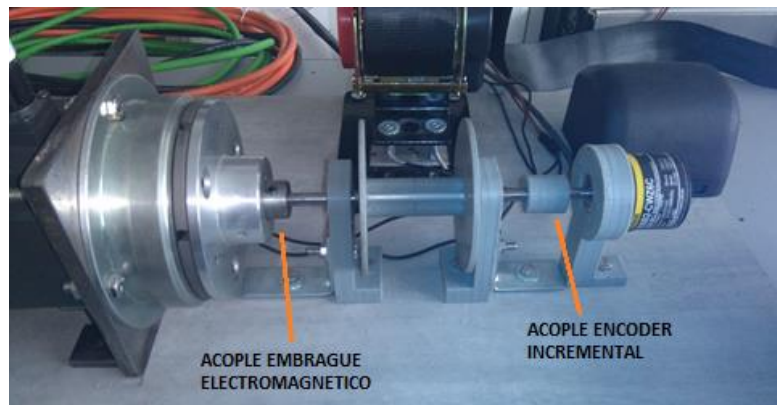


Figura 60. Sistema Mecánico de Retracción

4.2.3. Instrumentación y Control

Para la implementación del sistema de instrumentación dentro del prototipo de análisis de durabilidad del carrete retractable se debe considerar una adecuada alineación y la presencia de todos los elementos mecánicos para realizar una medición óptima del parámetro del proceso, el montaje del encoder incremental en sistema de retracción está directamente asociado con el soporte de encoder descrito en la sección de soportes del sistema mecánico, utiliza el acople para la sujeción al eje de giro del sistema de retracción y así permite registrar la velocidad y monitorear la posición referencial a la cual se encuentra el eje del carrete, esto permite de forma directa el control del embrague para el retorno a la posición inicial del sistema en el proceso de retracción.



Figura 61. Encoder OMROM

El encoder tiene 5 cables de conexión, adicional del cable de conexión a masa, la descripción de conexión al PLC se encuentra detallados en los planos eléctricos **Anexo 2**, se utiliza la función de contador rápido HSC, disponible en el controlador S7-1200 y configurado de acuerdo a la tabla 9 en la sección diseño de control e interfaz gráfica.

El sistema de monitoreo de fuerza en el proceso de extensión permite conocer la tensión en la cinta del cinturón de seguridad durante la ejecución de la prueba, este sistema está constituido por el transmisor y la celda de carga, para conexión de los elementos es importante conocer que al pertenecer al mismo fabricante los elementos se conectan de forma directa mediante conectores M12, y la descripción de la conexión de la señal analógica de salida del transmisor está contemplada en los planos eléctricos en el anexo B.

4.2.4. Programación del Controlador

Para el desarrollo e implementación de la programación del controlador lógico se utiliza una forma estructurada, con la creación de funciones para operar de forma adecuada actuadores, sensores y etapas del proceso.

La programación del autómatas S7-1200 se puede realizar mediante los lenguajes de programación KOP o lenguaje escalera, que está basado en la utilización de contactos y esquemas eléctricos, FUP basado en bloque de funciones y SCL que es un lenguaje de programación de alto nivel cuya caracterización es similar al uso de lenguaje C y permite la indexación y comunicación con la base de datos, es un requerimiento mencionar a su vez los tipos de bloque que se implementaran en el controlador.

- **Bloque de Organización:** Este bloque de ejecución cíclica realiza el llamado a las funciones adicionales, el bloque de organización OB1 ejecuta el programa principal del sistema.
- **Bloque de Función FB:** Es por definición un bloque de función con memoria es decir los datos involucrados con la ejecución de este tipo de función se registran en un bloque de datos asociado llamado bloque de datos de instancia, allí se encuentran los parámetros estáticos, temporales de entrada y salida del bloque de función.

- **Bloque de Datos DB:** Es un segmento de memoria de donde el programador puede escribir o leer datos desde el programa de usuario, este bloque de datos puede ser modificado en cualquier momento y permite mantener el orden el programa y no tener la definición excesiva de variables del programa.

El programa que se implementa en el autómata está conformado por los siguientes bloques, distribuidos entre bloques de ejecución cíclica bloque de función:

- Bloques de Ejecución Cíclica
 - MAIN (OB1)

El bloque de ejecución cíclica OB1 es la función principal del programa, este bloque es el responsable del llamado a las funciones adicionales utilizadas, la ejecución del OB1 define el tiempo de ciclo del programa que es el tiempo total que se demora el controlador en ejecutar todas las líneas de programa de usuario, cumple la función de realizar cíclicamente el llamado a todas las funciones con el control del sistema prototipo es así que su funcionamiento se describe mediante el diagrama de flujo representado en la figura 62.

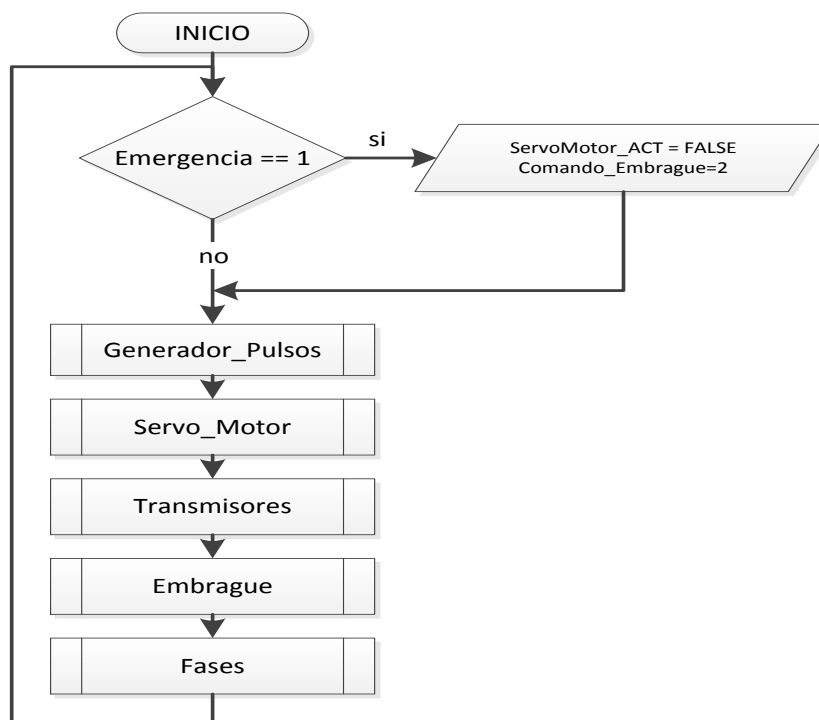


Figura 62. Diagrama de Flujo MAIN (OB1)

○ ENCODER (OB30)

El bloque de ejecución cíclica OB30 pertenece a la parte del programa que se encarga de monitorear y calcular la velocidad en el proceso de retracción dentro del ciclo de ejecución de la prueba, este bloque de programa se ejecuta cada 10 ms y realiza el cálculo de velocidad de acuerdo a la parametrización configurada en el bloque de datos de instancia db_Encoder (DB10), bloque que permite realizar la configuración de operación para el cálculo de la velocidad real del sistema.

La función del bloque particularmente consiste en realizar el amortiguamiento o (“damping”) de la señal del encoder incremental, se realizará la puesta en marcha y calibración de estos parámetros comparando con la velocidad real generada por el servomotor la cual tiene un grado de precisión de $\pm 1\%$ de esta forma se asegura que la velocidad monitoreada del retorno es la correcta.

Tabla 25.
Variables de bloque de datos db_Encoder (DB10)

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|-----------------|--------------|--|
| PULSOS_ANTERIOR | DInt | Registro que almacena el valor de número de pulsos de la ejecución anterior del OB |
| ACUMULADOR | Real | Cumple la función de sumar los valores en cada ejecución del OB |
| Damping | Int | Valor de número de valores a promediar |
| Damping_ACTUAL | Int | Valor actual de valores registrados |
| V_INSTANTANEO | Real | Valor de Velocidad instantánea |
| V_REAL | Real | Valor de Velocidad real promediada |

La definición de las variables dentro de un bloque de datos adicional permite el manejo eficiente de variables dentro del programa de usuario, el diagrama de flujo correspondiente a esta función esta descrito en la figura 63, este bloque se ejecuta cada 10ms paralelamente al OB1.

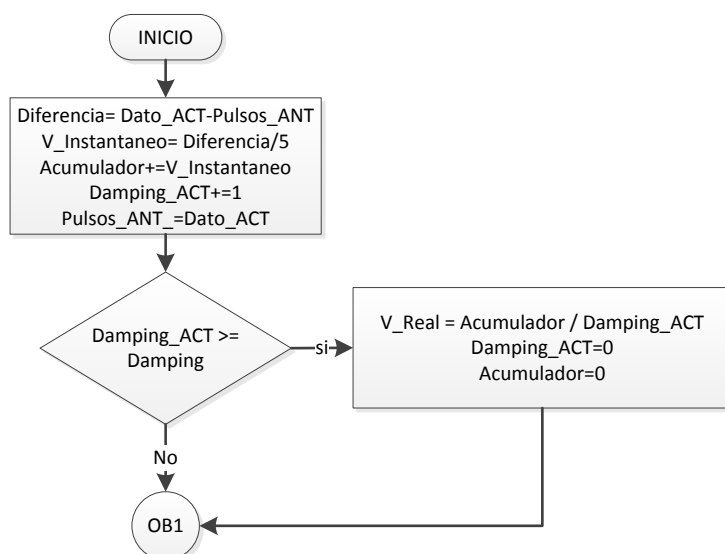


Figura 63. Diagrama de Flujo Función Encoder (OB30)

○ BLOCK_CHECK (OB32)

La función de detección de Bloqueo OB32 realiza el monitoreo constante de la variable analógica registrada como lectura del valor de torque del motor, esta función se ejecuta cada 1ms para evitar daños en los equipos si el valor del registro analógico supera a un valor parametrizable de acuerdo a los requerimientos del usuario.

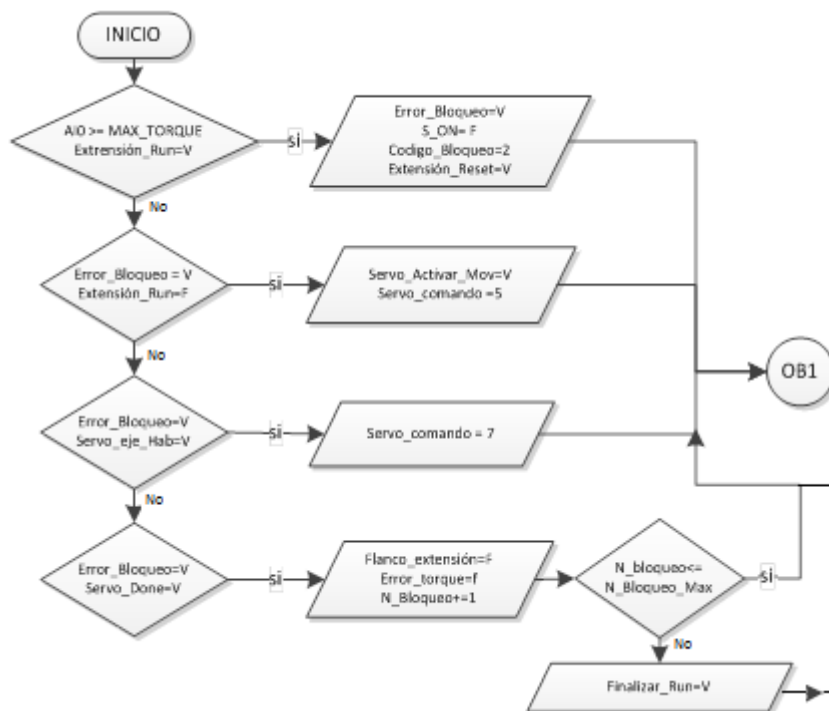


Figura 64. Diagrama de Flujo Block Check (OB32)

○ REGISTRO_CÍCLICO (OB31)

El bloque de organización OB31 cumple la función de realizar el llamado a la función 09_Registro con el bloque de datos de instancia 09_Registro_db cada 24 ms, esto se realiza para almacenar los datos de velocidad, torque y tensión de un ciclo completo en el bloque de datos Registro_DAT.

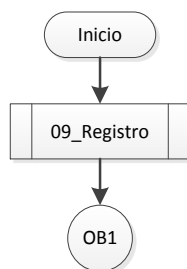


Figura 65. Diagrama de Flujo Registro Cíclico (OB31)

- Bloques de Función FB de Fases de proceso
 - 01_Inicializar

La función inicializar como su nombre lo indica realiza los primeros pasos dentro del proceso de prueba, es una función parametrizable en la cual se configura la velocidad y el número de revoluciones iniciales que requiere el sistema para su trabajo, esta función está directamente relacionada con el objeto Inicialización que pertenece al bloque de función de elementos de Fase que contiene las variables para iniciar, reinicializar bloquear y parar la ejecución de la función.

Tabla 26.
Variables de la Función Inicializar

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|------------------|--------------|---|
| Static | | |
| Start | Bool | Variable que indica el inicio del proceso de inicialización |
| Número_Vueltas | Int | Parámetro de configuración de vueltas de inicio |
| Velocidad_Avance | Real | Parámetro de configuración de velocidad |
| Flanco_1_START | Bool | Flanco de Inicio |
| Flanco_0_START | Bool | Flanco de finalización |
| Flanco_HOME_2 | Bool | Flanco de posición cero en el motor |

Continua

| | | |
|---------------|------|---|
| siempre_1 | Bool | Variable Auxiliar siempre activada |
| Flanco_HOME | Bool | Flanco de posición inicial del motor |
| Flanco_Avance | Bool | Flanco para realizar el movimiento del motor |
| Avance_OK | Bool | Señal informativa de finalización de Movimiento |

La función se encarga de controlar a cada elemento que interviene dentro del proceso de prueba, espera la respuesta y la ejecución de la acción requerida para proceder con el siguiente paso, es necesario entender que el servomotor debe estar inicializado y se debe configurar la posición de referencia o cero para poder realizar cualquier movimiento además del requerimiento de la señal de “Start” durante todo el proceso.

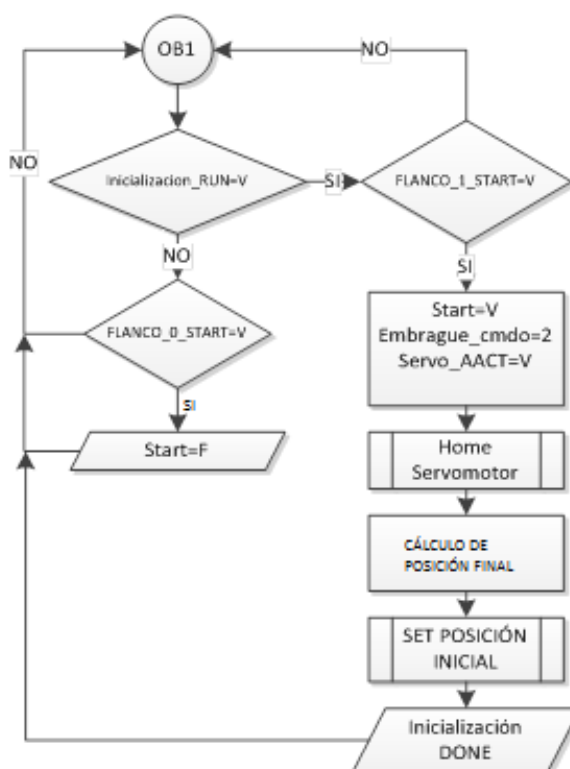


Figura 66. Diagrama de Flujo 01_Inicialización

La función de inicialización posiciona la cinta del sistema de seguridad de tal forma que quede tensionada, una vez finalizada la función de inicialización se almacena la posición monitoreada por encoder incremental, esto permitirá al proceso iniciar desde el mismo punto en cada ciclo de la prueba completa.

○ 02_Configurar_EXT

Esta función permite realizar la configuración de la posición final del ciclo en la que el cinturón de seguridad se encuentra totalmente extendido, esta operación se realiza mediante el control manual del operador utilizando la interfaz de usuario, la función se puede configurar y parametrizar de acuerdo a los requerimientos del usuario, valores como la velocidad y el torque máximo pueden ser modificados considerando los valores permitidos en la configuración global del sistema.

Para el llamado de la función se utiliza el bloque de datos de instancia 02_Configurar_EXT_DB, que es el espacio de memoria donde se almacenan las variables necesarias para la programación del algoritmo de control.

Tabla 27.
Variables de función Configurar_EXT

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|----------------|--------------|---|
| Static | | |
| Flanco_1_START | Bool | Flanco de inicio de función |
| Flanco_0_START | Bool | Flanco de finalización de función |
| Start | Bool | Variable que indica el estado de la función |
| Velocidad | Real | Variable de configuración de velocidad de avance |
| Avance | Bool | Señal de activación del motor sentido positivo |
| Guardar_POS | Bool | Señal para guardar la posición final |
| Posicion_Final | Real | Registro que almacena la posición final, servomotor |
| Encoder_Final | Int | Registro que almacena la posición final, encoder |
| POS_OK | Bool | Señal de finalización de la extensión |
| Flanco_Home | Bool | Señal de retorno a posición cero |
| Torque_Max | Real | Variable de configuración de torque máximo |
| Tension_Max | Real | Variable de configuración de tensión máxima |
| Extension_Max | Real | Parámetro de extensión máxima permitida |
| Extension_Min | Real | Parámetro de extensión mínima permitida |

La función configurar extensión realiza un monitoreo de la posición, torque del motor y tensión de la cinta del cinturón, adicional realiza el control sobre el servomotor enviando los comandos requeridos para su posicionamiento y activación.

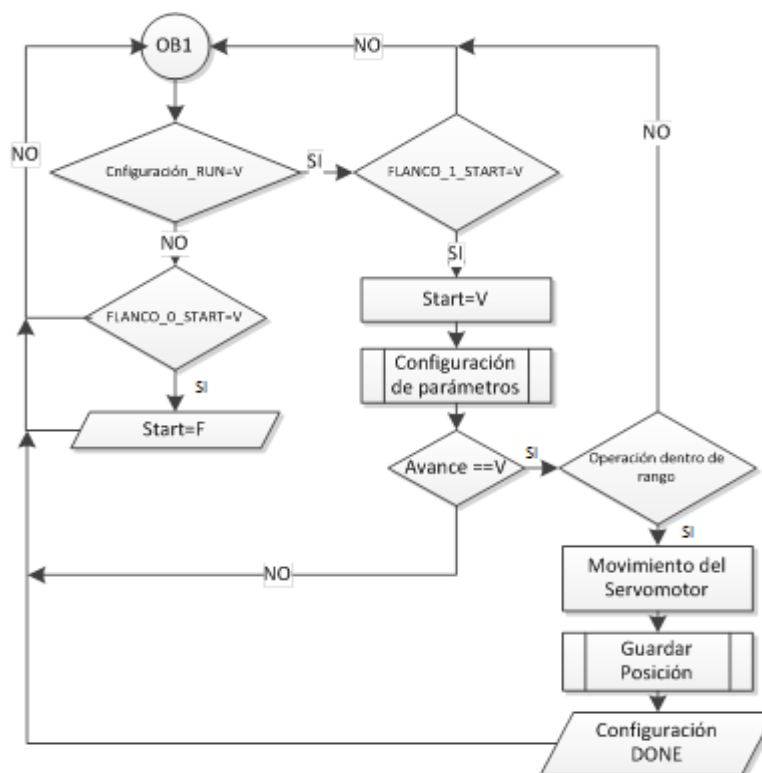


Figura 67. Diagrama de Flujo Configurar_EXT

○ 03_Extension

La función de esta fase del programa es realizar el proceso de extensión de la cinta del sistema de seguridad, considerando factores como velocidad, posición y error de bloqueo, el llamado a la función se realiza utilizando el bloque de datos de instancia 03_Extension_DB, que contiene las variables necesarias para realizar el proceso de configuración y ejecución del movimiento.

Tabla 28.
Variables de función 03_Extensión

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|----------------|--------------|---|
| Flanco_1_START | Bool | Flanco de inicio de función |
| Flanco_0_START | Bool | Flanco de finalización de función |
| Start | Bool | Variable que indica el estado de la función |

Continua

| | | |
|---------------------|------|---|
| Velocidad_Extension | Real | Parámetro de configuración de velocidad |
| Ejecutar | Bool | Señal de ejecución de operación |
| Torque_Max | Real | Parámetro de configuración de torque |
| Error_Torque | Bool | Señal que indica error de torque |
| Flanco_Avance | Bool | Flanco para ejecución de operación |

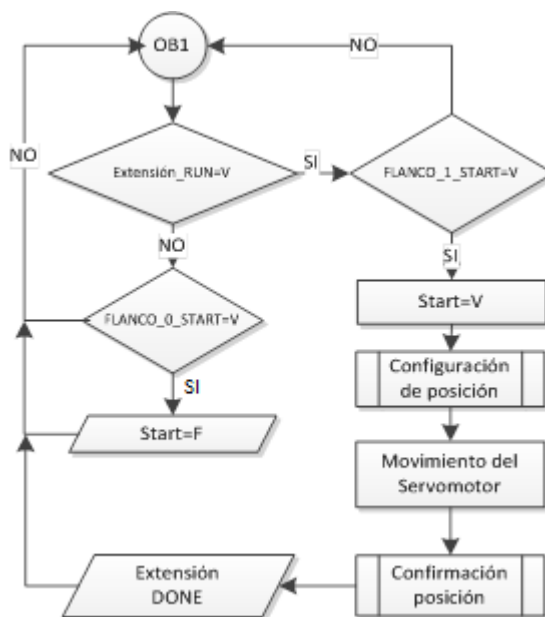


Figura 68. Diagrama de flujo función 03_Extension

○ 04_Retraccion

Esta función es la responsable de realizar el proceso de retracción en el ciclo de prueba, el sistema realiza la operación de desacoplar el eje, es decir desactivar el embrague electromagnético permitiendo que el carrete retractable realice la recolección automática de la cinta mediante sus resortes, el eje del motor ya no transmite la fuerza hacia el sistema de retracción de la cinta y así este se libera.

Durante esta etapa se monitorea la velocidad de giro en revoluciones por minuto, con la cual el carrete automático recoge la cinta, este dato será almacenado para su posterior tabulación y registro, además para finalizar esta etapa se debe posicionar el sistema en el set point de inicialización para el siguiente ciclo, esto se lleva a cabo mediante el control del embrague electromagnético una vez realizada ya la recolección de la cinta se monitorea la posición de acuerdo al valor generado por encoder incremental y con una banda de histéresis se vuelve a realizar la activación del

embrague, para finalizar se realiza la rectificación de posición utilizando comandos del servomotor y se encera nuevamente todo el ciclo.

La memoria de esta función se almacena en el bloque de datos de instancia 04_Reetracción_DB.

Tabla 29.
Variables de función 04_Reetracción

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|-----------------|--------------|---|
| Static | | |
| N_pulso_INICIAL | DInt | Valor de posición inicial (encoder) |
| Flanco_1_Start | Bool | Flanco de inicio de función |
| Flanco_0_Start | Bool | Flanco de finalización de función |
| Start | Bool | Variable que indica el estado de la función |
| Flanco_OFF | Bool | Flanco de desactivación de embrague |
| Flanco_ON | Bool | Flanco de activación de embrague |
| Avance_Relativo | Real | Valor de configuración de avance |
| CERO_OK | Bool | Señal de finalización de posición cero |
| Flanco_HOME | Bool | Señal para ir a posición cero |
| Ajustar | Bool | Señal para realizar el ajuste de posición |
| H_CERO_P | Int | Valor de Histéresis positivo |
| H_CERO_N | Int | Valor de Histéresis negativo |
| H_CERO | Int | Valor de Histéresis |
| POS_ON | Int | Posición de Encendido del Embrague |
| T_OFF_ACT | Int | Tiempo de espera actual de sobre impulso |
| T_OFF_TAR | Int | tiempo de espera de sobre impulso |
| Torque_Max | Real | Variable de configuración de torque |
| AUX_POS_ON | Int | Variable auxiliar de posición de activación de embrague |
| Flanco_Block | Bool | flanco de bloqueo |
| Input | | |
| fp1s | Bool | Pulso de 1 segundo |

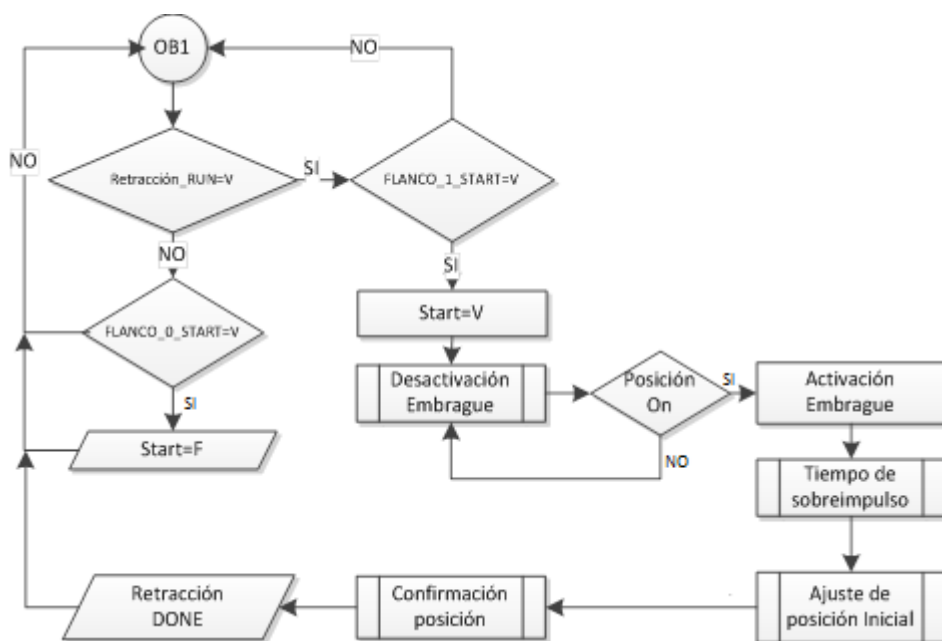


Figura 69. Diagrama de Flujo Función 04_Retracción

○ 05_Prueba_Tensión

La fase de prueba de tensión está directamente relacionada con la prueba de carga ejecutada cuando el cinturón de seguridad se encuentra totalmente extendido, la prueba consiste en aplicar 11.2 N de carga cuando el cinturón haya sido extendido en su totalidad y deberá por lo menos soportar esa carga durante 1 segundo.

Para la programación y llamado de la función se utiliza el bloque de datos de instancia 05_Prueba_Tensión_DB, este bloque contiene las variables necesarias para controlar el avance del motor utilizando algoritmo ON/OFF, la variable que se controla es la tensión envía por la celda de carga y una vez superados los 11.2 N finaliza esta fase para continuar con la retracción.

Tabla 30.
Variables de función 05_Prueba_Tensión

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|----------------|--------------|---|
| Static | | |
| Flanco_1_Start | Bool | Flanco de inicio de función |
| Flanco_0_Start | Bool | Flanco de finalización de función |
| Start | Bool | Variable que indica el estado de la función |
| Paso_Avance | Real | Posición relativa de avance del motor |

Continua

| | | |
|---------------|------|----------------------------------|
| SP_Tension | Real | Valor de la tensión |
| Ejecutar | Bool | Señal que ejecuta el proceso |
| T_TENSION_ACT | Int | Tiempo de tensión actual |
| T_TENSION_TAR | Int | Tiempo de tensión |
| Torque_Max | Real | Valor de torque máximo permitido |
| Error_Torque | Bool | Señal de error de torque |

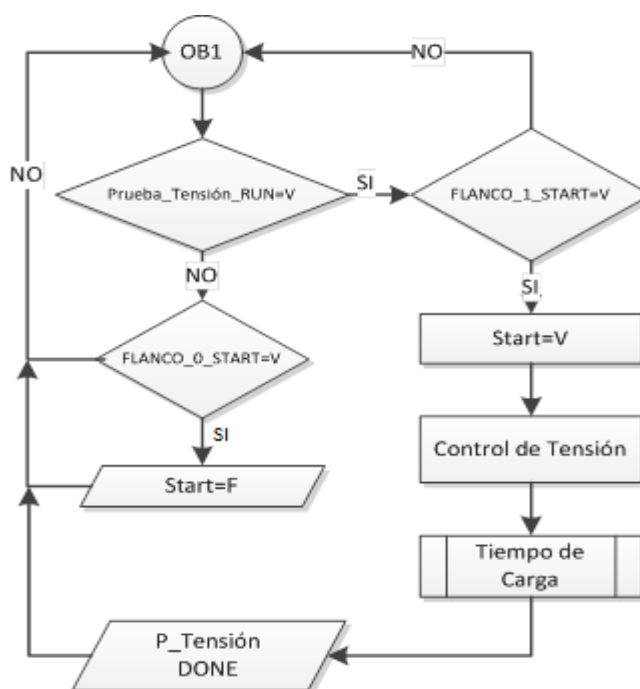


Figura 70. Diagrama de Flujo función 05_Prueba_Tensión

○ 07_Bloqueo

La función principal de este bloque es permitir el control de torque en el motor, así evitar sobrecargas y daños en el equipo, se monitorea la señal proporcionada por el transmisor de torque del driver V90 que emite una señal analógica de 0-10V , si el carrito retractable del cinturón de seguridad se bloquea se da un incremento significativo en esta señal analógica, inmediatamente se realiza la parada total del motor evitando que se produzca una falla en el driver, esto dispara una señal adicional que permite realizar una secuencia de desbloqueo sin perder la información de fase del proceso que se encuentra ejecutando.

El bloque de datos de instancia de la función de bloqueo es el 07_Bloqueo_DB, en este espacio de memoria se encuentran las variables necesarias para realizar el proceso

de desbloqueo del sistema sin perder la referencia, variables como la posición del servomotor y el valor del registro generado por el encoder se requieren y son

Tabla 31.
Variables de función 07_Bloqueo_DB

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|----------------|--------------|---|
| Static | | |
| Start | Bool | Variable que indica el estado de la función |
| Flanco_1_START | Bool | Flanco de inicio de función |
| Flanco_0_Start | Bool | Flanco de finalización de función |
| Flanco_ON | Bool | Flanco de inicio de acción de desbloqueo |
| Valor_Desblock | Real | Valor de desplazamiento para desbloqueo |
| Posicion_ACT | Real | Posición actual de bloqueo |
| No_Bloqueos | Int | Variable de registro del número de bloqueo |

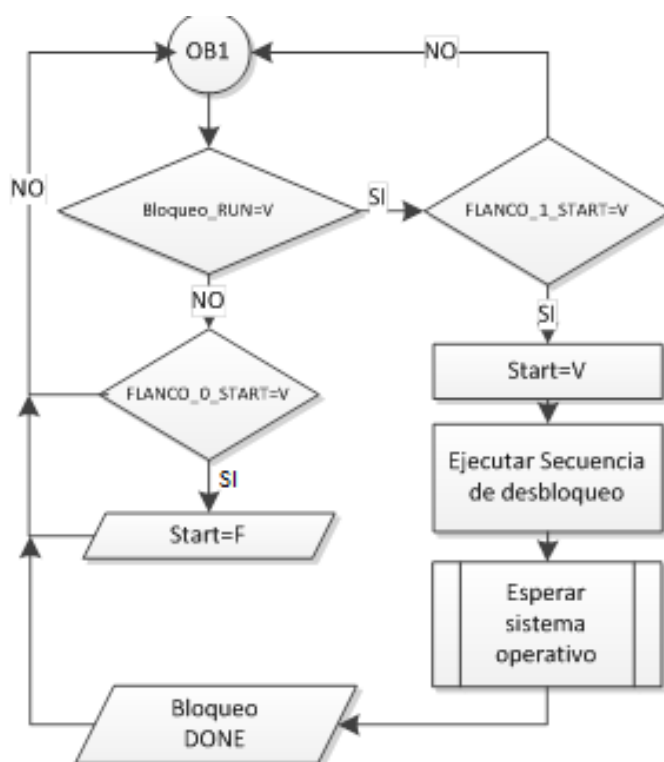


Figura 71. Diagrama de flujo función 07_Bloqueo

- 08_Secuencia

El secuenciador o función de secuencia que se encarga de ejecutar cada una de las etapas del ciclo de prueba, del manejo de la comunicación con los elementos y de realizar la acción predeterminada dentro del ciclo de prueba, en esta fase se realiza la ejecución o activación de las señales de arranque de las funciones descritas anteriormente.

En este bloque es el responsable de que se ejecute completamente el ciclo de prueba pasando por las fases de extensión, prueba de tensión y retracción además de permitir continuar el trabajo y la ejecución se presenta un bloque del sistema.

La función de secuencia utiliza como bloque de datos de instancia el 08_Secuencia_DB el mismo que almacena todas las variables requeridas para su operación. 2404 - 1234

Tabla 32.
Variables de la función 08_Secuencia

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|---------------------|--------------|--|
| Static | | |
| Flanco_1_Start | Bool | Flanco de arranque de secuencia |
| Flanco_0_Start | Bool | Flanco de finalización de secuencia |
| Flanco_Extension | Bool | Flanco para iniciar fase de extensión |
| Flanco_Carga | Bool | Flanco para iniciar fase de tensión |
| Flanco_Retraccion | Bool | Flanco para iniciar fase de retracción |
| Ciclos_Prom_ACT | Int | Número de ciclos para promedio actual |
| Ciclos_Prom_TAR | Int | Número de ciclos para promedio |
| Secuencia_OK | Bool | Finalización de secuencia |
| Error_Torque | Bool | Error de torque en secuencia |
| Codigo_Bloqueo | Int | Código de bloqueo |
| Flanco_Block | Bool | Flanco de bloqueo |
| CICLOS_PRUEBA_TOTAL | Int | Número de ciclos totales |
| Reset_ALL | Bool | Resetear todas las variables |

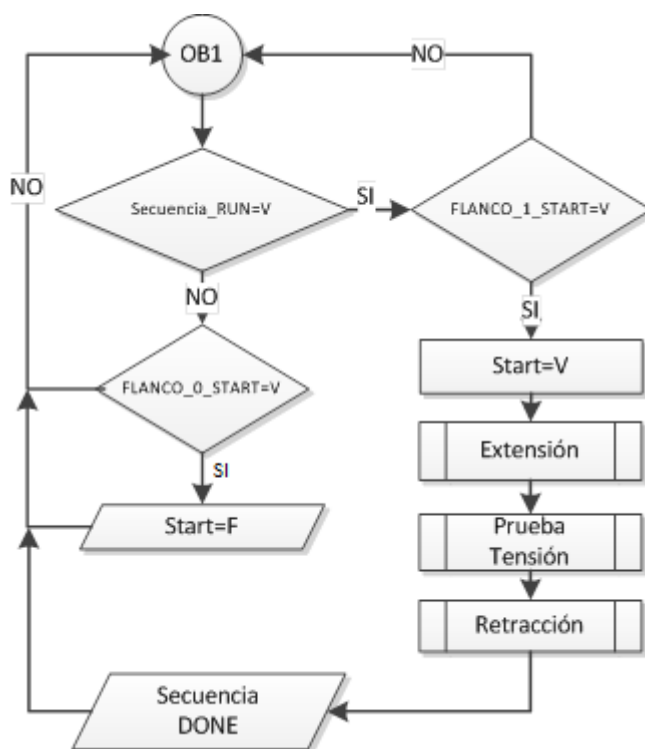


Figura 72. Diagrama de Flujo 08_Secuencia

○ 09_Registro

La función de registro está programada con la finalidad de realizar el almacenamiento indexado de datos dentro del bloque de datos REGISTRO_DAT, el cual almacena los valores de velocidad, torque y tensión generados durante el ciclo de prueba y guardados durante los periodos de funcionamiento de cada fase relacionada.

La programación de la función de registro se realiza mediante lenguaje SCL (Lenguaje de Control Estructurado) que guarda una estrecha relación con el lenguaje de programación C y facilita la indexación de parámetros dentro de un arreglo de datos mediante el uso de bucles FOR y sentencia IF.

El llamado de la función utiliza como bloque de datos de instancia al bloque 09_Registro_DB, en este bloque se define y almacena las variables utilizadas dentro del bloque de función.

Tabla 33.
Variables de la función 09_Registro

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|----------------------|--------------|--------------------------------|
| Static | | |
| i | Int | Índice de Indexación Velocidad |
| j | Int | Índice de Indexación Torque |
| k | Int | Índice de indexación Tensión |
| Encerar | Bool | Señal de encerado d e índices |
| Guardar | Bool | Señal de guardar datos |
| Hab_Dummping_Tension | Bool | Habilitar amortiguamiento |
| Acumulador_Tension | Real | Registro acumulador de tensión |
| Dummp_ACT | Int | Amortiguamiento actual |
| Dummp_TAR | Int | Amortiguamiento configurado |

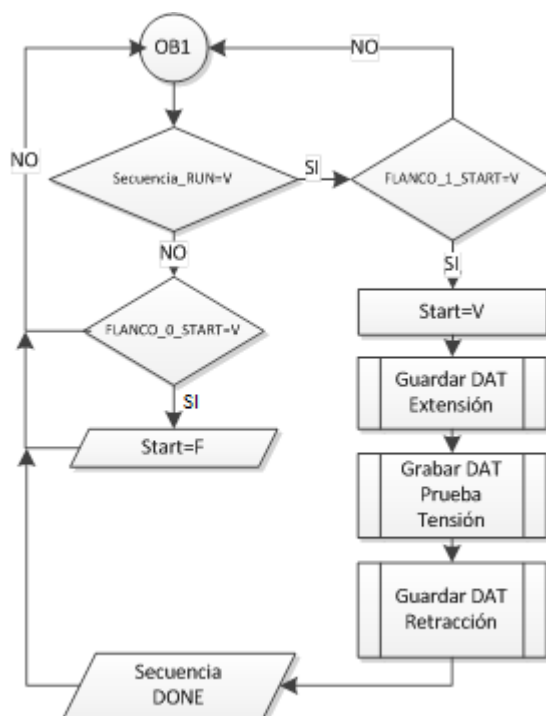


Figura 73. Diagrama de Flujo 09_Registro

○ 10_Tabulacion_Dat

La fase de tabulación de datos realiza la comunicación con la interfaz de usuario para realizar el almacenamiento de resultados en la base de datos, dependiendo de la selección se puede realizar la ejecución de esta función para el modo modelo de referencia o ciclos de prueba los cuales se diferencia principalmente en la tabla de almacenamiento en la base de datos.

El control del número de ciclos almacenados y tabulados se registra, permitiendo mediante esta función reinicializar la secuencia tantas veces sea necesario para completar la prueba completa configurada por el operador, las variable requeridas para cumplir con estos requerimientos se almacenan en el bloque de datos de instancia 10_Tabulacion_Dat_DB.

Tabla 34.
Variables de Función 10_Tabulacion_DAT

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|---------------------|--------------|--|
| Static | | |
| Modelo_Referencia | Bool | Indicador modo Modelo de Referencia |
| Ciclos_Prueba | Bool | Indicador modo Prueba |
| Tabular_DAT_MODELO | Bool | Señal de tabulación de datos modelo |
| Tabular_DAT_PRUEBA | Bool | Señal de tabulación de datos prueba |
| Flanco_TAB1_OK | Bool | Flanco de finalización de tabulación 1 |
| Flanco_TAB2_OK | Bool | Flanco de finalización de tabulación 2 |
| Numero_Tabulaciones | Int | Contador número de tabulaciones |
| Numero_CiclosT | Int | Contador número de ciclos totales |
| MODELO_CREADO | Bool | Señal de modelo creado correctamente |
| PRUEBA_FINALIZADA | Bool | Señal de prueba finalizada |
| ready | Bool | Señal de estado del sistema listo |
| Flanco_SECUENCIA | Bool | Flanco de inicio de secuencia |
| Siguiente_tab | Bool | Señal de realizar siguiente tabulación |
| Reset | Bool | Señal de Reset |

○ 11_Finalizar

Para finalizar la prueba completa con los datos tabulados y almacenados, se requiere la implementación de una función que reinicialice todas las operaciones y variables utilizadas dentro del proceso, la creación de la función 11_Finalizar junto con su bloque de datos de instancia 11_Finalizar DB serán los encargados de realizar esta acción.

Si el sistema se detiene por razones como bloqueos excesivos, errores en el sistema, bloqueo del servomotor, errores de baja tensión etc. El equipo debe realizar alguna acción para salir del estado de falla y continuar su operación, la secuencia requerida para realizar esta operación se programó mediante esta función en lenguaje KOP.

Tabla 35.
Variables de función 11_Finalizar

| Variable | Tipo de Dato | Descripción |
|----------------|--------------|---|
| Static | | |
| Flanco_1_START | Bool | Flanco de inicio de función |
| Flanco_0_START | Bool | Flanco de finalización de función |
| Start | Bool | Señal de función iniciada |
| Velocidad | Real | Parámetro de configuración de velocidad |
| Avance | Bool | Señal de arranque de motor |
| Guardar_POS | Bool | Registro de almacenamiento de posición |
| Posicion_Final | Real | Posición final del sistema |
| Encoder_Final | Int | Valor de registro del encoder |
| POS_OK | Bool | Señal de posicionamiento listo |
| Flanco_Home | Bool | Flanco de movimiento a posición cero |
| Torque_Max | Real | Parámetro de configuración de torque |
| Tension_Max | Real | Parámetro de configuración de tensión |
| Tiempo_Act | Int | Registro de tiempo de proceso |
| Error_Guardar | Bool | Señal de error al guardar datos |
| Guardando_DAT | Bool | Señal indicadora de proceso |
| Falla | Bool | Señal de error en el sistema |

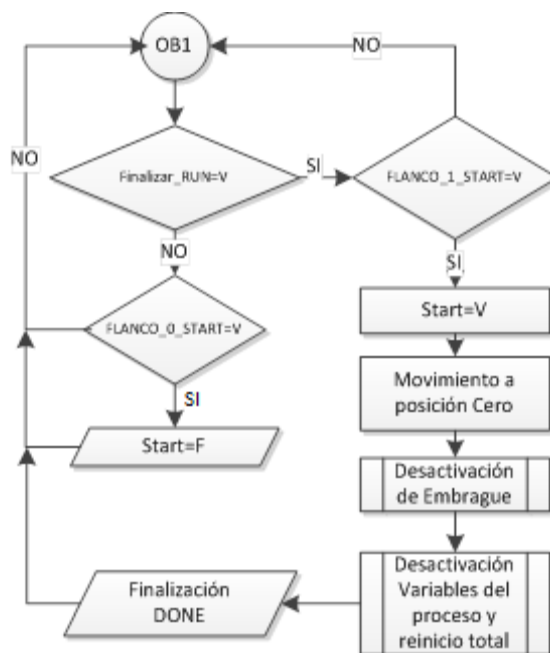


Figura 74. Diagrama de Flujo 11_Finalizar

- Bloques de Función FB de Elementos

Las funciones FB de elementos son clases que permiten un mejor control y manejo de cada dispositivo que participa dentro del proceso, cada objeto tendrá las características de su clase por lo que se maneja un estándar y de esta forma se ejecuta la misma función para cada uno optimizando recursos y desarrollando un programa con mayor eficiencia, permitiendo la flexibilidad del proceso al no requerir cambios estructurales si se requiere su ampliación o modificación de parámetros.

○ EMBRAGUE

La función de Embrague como su nombre lo indica permite realizar el control todo o nada del dispositivo electromagnético, esta función está basada en comandos, si en la fase del proceso se asigna un valor a la variable del comando propia de la clase embrague el dispositivo ejecutará la acción programada de activación, desactivación, arranque automático o reset del sistema.

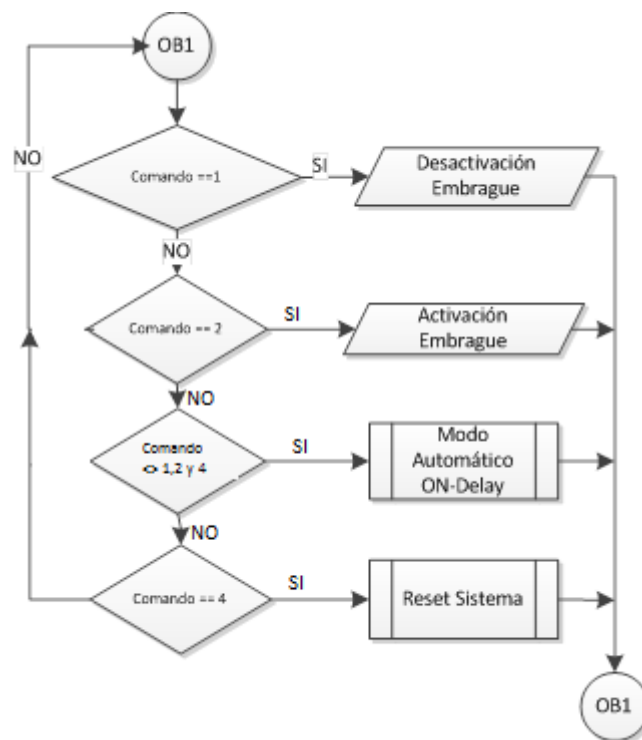


Figura 75. Diagrama de Flujo FB_Embrague

○ FASE

Para el control de las fases del proceso se crea una función que permite manipular las variables del sistema de tal forma que la ejecución de una determinada etapa se realice de forma organizada, es así que el FB_Fase permite realizar y visualizar el estado de una determinada fase para realizar la secuencia necesaria.

Como explicación más detallada de esta función se dice que se encarga de activar o desactivar los bits de estado y control de una fase del proceso de forma independiente, esto se realiza para llevar a cabo una secuencia establecida por ejemplo si se requiere realizar la extensión del cinturón se ejecuta un “START” a la fase Extensión y esta se encarga de informar a través de los bits de estado cuando se realizó la finalización de la misma para continuar con otra etapa, siendo capaz de volver a realizar la extensión si es necesario ya que las variables dentro de la función cíclica al finalizar la etapa retornan a su valor inicial.

Las funciones que se cumplen en esta clase son el control del inicio, finalización, reinicio y pausa de las etapas del proceso de forma manual de acuerdo con el siguiente diagrama de flujo.

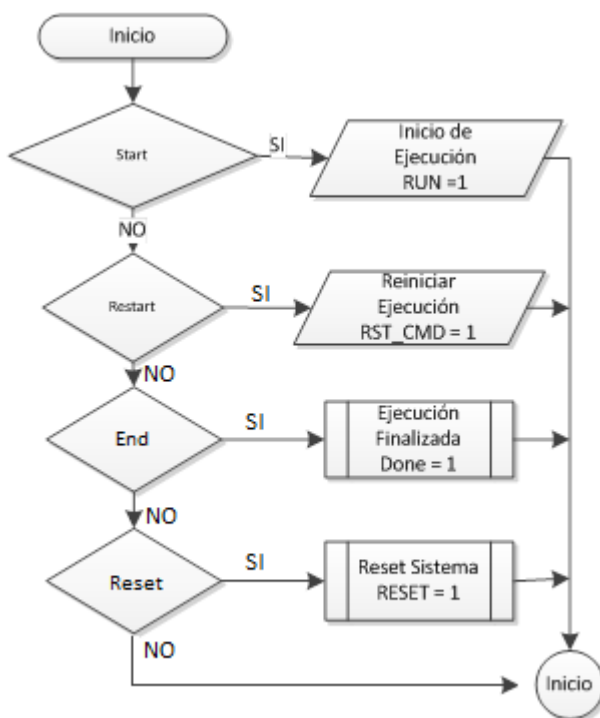


Figura 76. Diagrama de Flujo Control de Fase

Los Bits de estado:

- RUN: Indica fase en ejecución.
- RST_CMD: Indica reinicio de fase
- Done: Fase finalizada
- Reset: Indicador de reinicio de fase

Estos bits permitirán realizar la ejecución de una acción dentro del proceso completo, se utilizan en las funciones como extensión, retracción, prueba de tensión para realizar una acción programada.

○ GENERADOR_PULSOS

La función de Generación de pulsos es muy utilizada ya que mediante su ejecución se obtiene osciladores periódicos, que permiten realizar el control de indicadores o la activación y desactivación de señales de control en tiempos específicos parametrizables.

Para la programación del generador de impulsos se implementa los temporizadores que incorpora el controlador, estos son introducidos a la función como parámetros de entrada, allí se configuran y se manipulan sus variables para obtener la oscilación requerida.

En el proceso de prueba se requiere únicamente dos temporizadores una de 1 segundo y uno de 30 mili-segundos, estos temporizadores también se utilizan para realizar los filtros de visualización de las variables analógicas.

○ SERVO_MOTOR

La clase servomotor permite realizar el control total del dispositivo mediante comandos, esta función es responsable de la inicialización, manipulación y reseteo de las funciones específicas del “Motion Control” que permiten realizar la comunicación con el driver de control V90.

La parametrización de valores de configuración también se realiza en este bloque, variables como la velocidad máxima, torque y aceleración o desaceleración del motor se configuran trasladando espacios de memoria a los diferentes bloques de datos de instancia del Eje configurado, las funciones específicas para cada acción están descritas en la sección de diseño de Lógica de control, este bloque de función organiza y ejecuta una acción mediante la comparación del valor almacenado en la variable “comando” como indica el diagrama de flujo, de acuerdo al valor que tome esta variable se ejecutará una determinada acción como movimientos absolutos a una posición específica o retorno a la posición de Home.

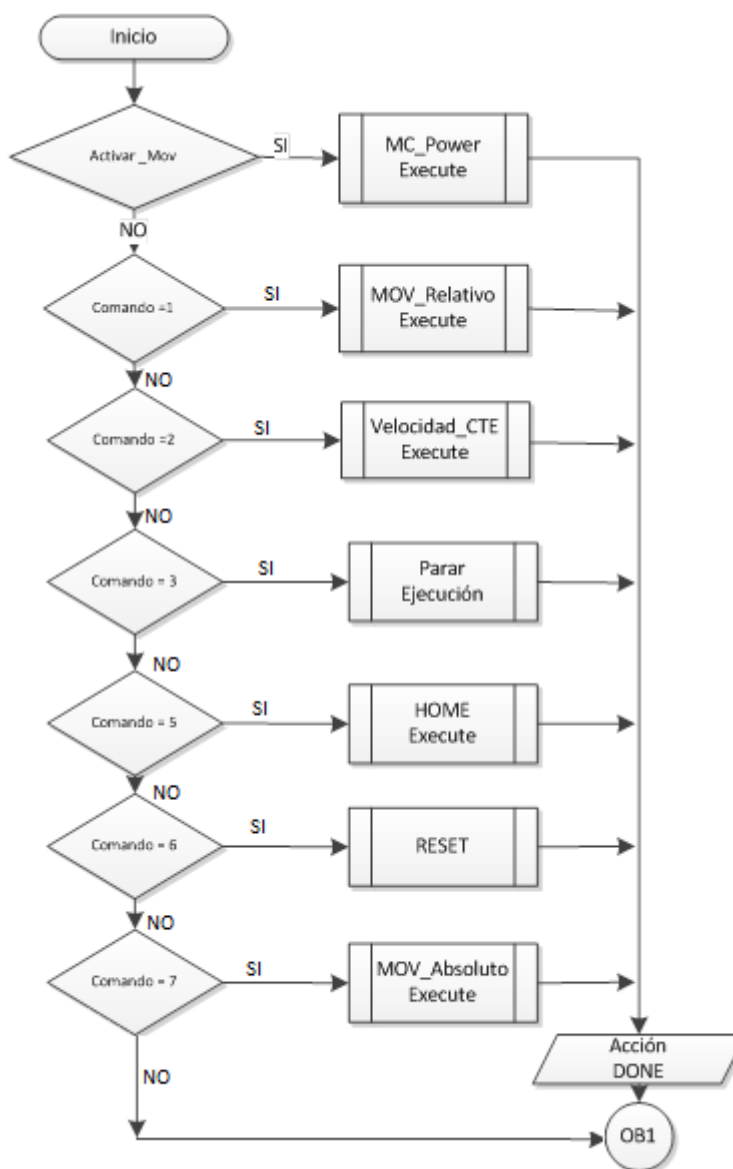


Figura 77. Diagrama de flujo Servo_Motor

○ TRANSMISOR

La función transmisor permite realizar la lectura de la variable analógica y la tabulación de la misma para la presentación o almacenamiento dentro del proceso, los dos transmisores utilizados son el de tensión o fuerza de la celda de carga cuya salida es 0-10 V y el transmisor de torque del motor señal transmitida a través del driver V90.

La función es completamente parametrizable, utiliza los valores instantáneos para sacar el valor promedio dentro de un tiempo específico configurado, para obtener un

valor de ingeniería a partir de un valor de registro analógico del autómeta se utiliza el cálculo de un punto conociendo la pendiente y un punto.

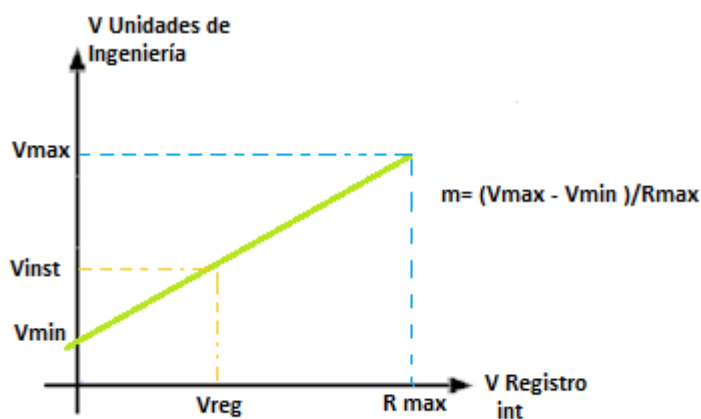


Figura 78. Conversión a Unidades de Ingeniería

Para entender el cálculo las variables utilizadas son:

- Vmax: Valor máximo en unidades de ingeniería (°C, N, Lts, ect)
- Vmin: Valor mínimo en Unidades de ingeniería
- R max: Valor máximo del registro en el controlador (27648 Siemens)
- Vinst: Valor instantáneo , unidades de ingeniería
- Vreg: Valor del registro analógico actual.

Así el Valor instantáneo medido utilizando la ecuación de Punto y pendiente será:

$$V_{inst} = m \times (V_{reg} - R_{max}) + V_{max}$$

Adicional el programa del transmisor debe permitir realizar el amortiguamiento de la señal, conocido también como un filtro o valor promedio en un tiempo configurado que está en el orden de milisegundos o segundos dependiendo la aplicación, esta función es flexible y permite configurar todos los transmisores del proceso.

4.2.4.1. Desarrollo de Interfaz Gráfica

Para la implementación de la interface gráfica de usuario se utiliza el software Wincc Advanced, suministrado por Siemens este software se incorpora en el entorno de programación de TIA Portal V13, permite la conexión simple con base de datos y la generación de reportes mediante SAP Crystal Reports, la implementación debe cumplir con los requerimientos planteados en la fase de diseño HMI y permitir al operador el manejo intuitivo al igual que simple del sistema prototipo.

El sistema incorpora 7 pantallas en su arquitectura que cumplen con las normas y los requerimientos específicos para el control del sistema prototipo, se podrán visualizar los diferentes parámetros del proceso y configurar las variables del mismo en cada una de ellas ofreciendo una navegación flexible y un entorno amigable para el operador.

- Ventana 01_INICIO:

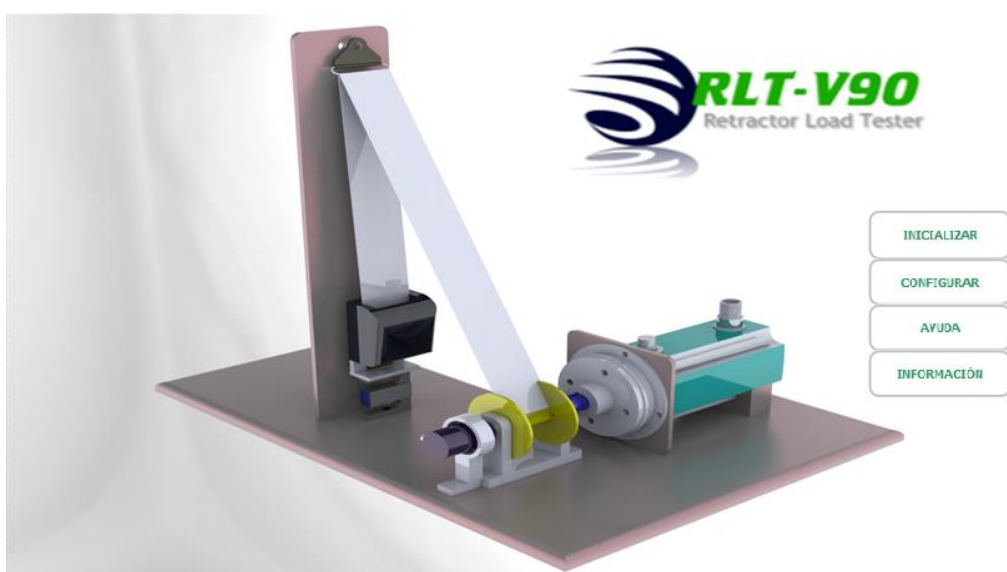


Figura 79.Ventana 01_Inicio

La ventana de inicio es la ventana principal que se despliega al abrir la aplicación, esta ventana presenta un mímico del sistema prototipo y muestra la el nombre del sistema, el bloque de navegación permite dirigirse a las ventanas de Inicialización, configuración, ayuda e información.

- Ventana 02_INICIALIZACIÓN



Figura 80. Ventana 02_Inicialización

La función de esta ventana es permitir la parametrización e inicialización del sistema prototipo, se configura el número de revoluciones y la velocidad del movimiento inicial para lograr establecer la posición en la cual la cinta del cinturón esta tensionada, el control y manejo de esta función es de forma manual utilizando los botones Avanzar y retroceder dispuestos en el bloque de parámetros de extensión.

La parametrización del proceso de extensión se realiza también en esta ventana, la velocidad de avance, el torque máximo y la tensión máxima permitida se establecen de forma clara. Se realiza la manipulación manual de la posición hasta lograr obtener la posición final de extensión requerida sin que se excedan los valor antes configurados, se puede visualizar las variables del proceso pulsando sobre el observador en el mímico del proceso y así evitar sobretensiones o una mala posición final.

Secciones como los indicadores de estado del sistema, alarmas, paro de emergencia y navegación hacia las otras ventanas del sistema son similares en las ventanas de todo el proceso, y permiten obtener la información del estado del prototipo.

- Ventana 03_MODELO DE REFERENCIA:



Figura 81. Ventana 03_Modelo de Referencia

Para la creación de un modelo de referencia se introduce un código del cinturón, una descripción de la prueba y el número de ciclos que se requieren, esta ventana faculta al operador la introducción de estas variables, la creación del modelo de referencia y la visualización del estado actual de la señales del proceso.

- Ventana 04_CONFIGURACIÓN DE TEST

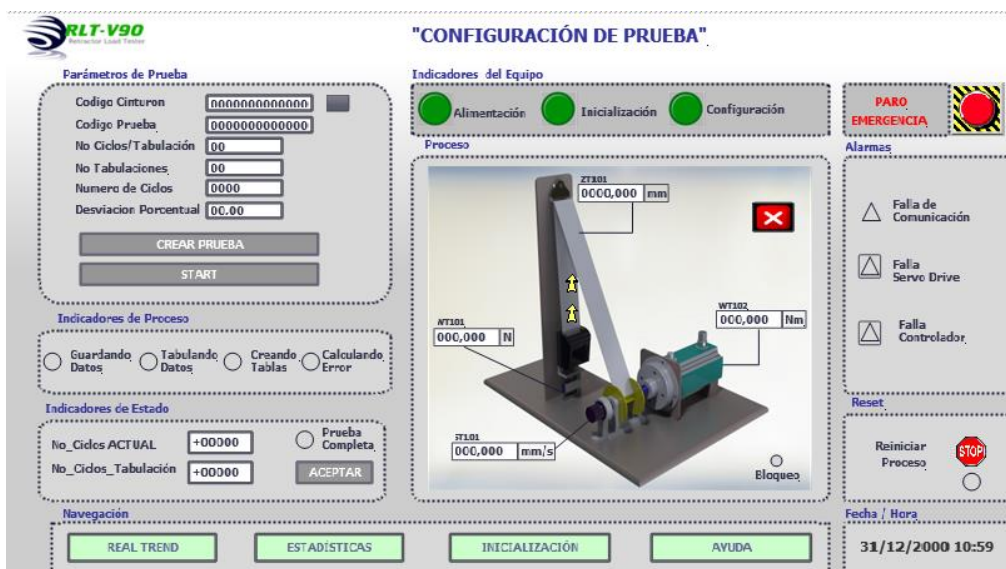


Figura 82. Ventana 04_Configuración de Test

La función de esta ventana de proceso es introducir el código de prueba, el número de ciclos de tabulación, el número de tabulaciones además del código del modelo de referencia del cinturón, una vez configurados estos parámetros se procede a crear la prueba e iniciar el proceso completo.

Permite la visualización de los valores de proceso y el estado o función que se encuentra ejecutando, junto con todos los indicadores de estado del sistema y alarmas al igual que los botones de navegación

- Ventana 05_REAL TIME



Figura 83. Ventana 05_Real Time

La ventana de visualización en tiempo real permite observar los valores de torque, velocidad y tensión en función del tiempo, el proceso de visualización se lleva a cabo utilizando la herramienta de Visualización de curvas incorporado en las funciones de WinCC Advanced.

Indicadores del proceso y valores de ciclos realizados así como número de bloqueos y errores en el sistema se presentan con campos de texto y luces indicadoras, la navegación entre ventanas permite al operador desplazarse a través de todas las ventanas de proceso.

- Ventana 06_ESTADÍSTICAS

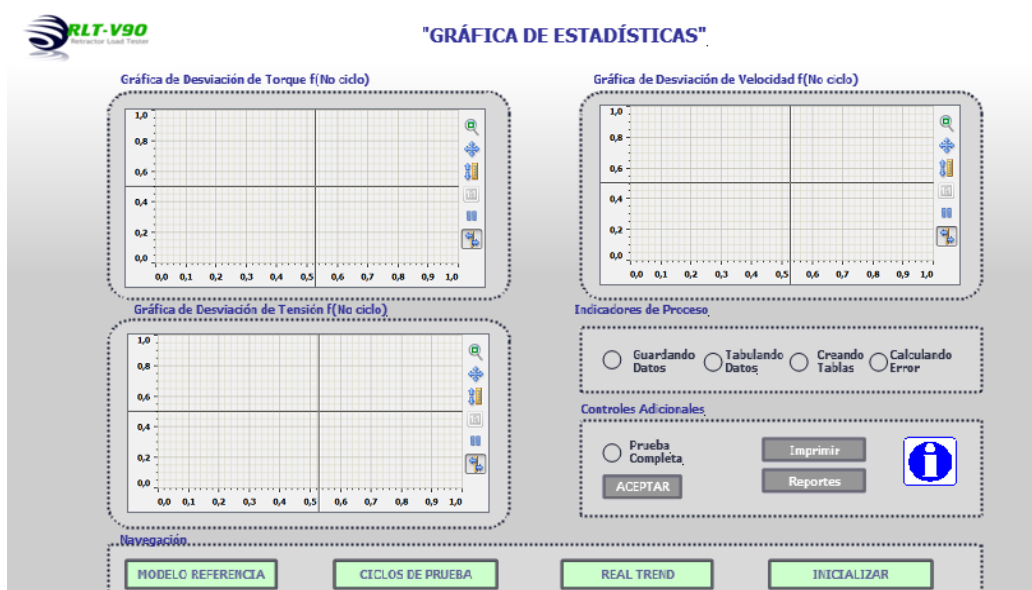


Figura 84. Ventana 06_Estadísticas

La ventana de estadísticas muestra por cada tabulación realizada un punto de comparación en dos dimensiones, el número de ciclos y el valor de error porcentual en comparación con el valor registrado en el modelo de referencia seleccionado, esto permite obtener una gráfica de visualización del error porcentual de acuerdo al número de ciclos realizados.

Se presenta una gráfica de error de torque, velocidad y tensión en función del número de ciclos realizados, esto se lleva a cabo mediante la utilización de la herramienta FuncionTrendControl incorporada en WinCC Advanced, esta función utiliza el almacenamiento de datos mediante ficheros el cual se dispara cada ciclo de ejecución o con la variación de la señal del proceso monitoreada.

La ventana de gráficas estadísticas también cumple la función de imprimir las gráficas de forma directa utilizando un programa externo como PDF Creator, esto exporta las gráficas que se obtienen de forma directa al sistema de archivos o mediante una impresora de forma física para el análisis y posterior almacenamiento, desde esta ventana se puede dirigir o ejecutar el programa de generación de reportes.

- Ventana 07_CONFIGURACIÓN

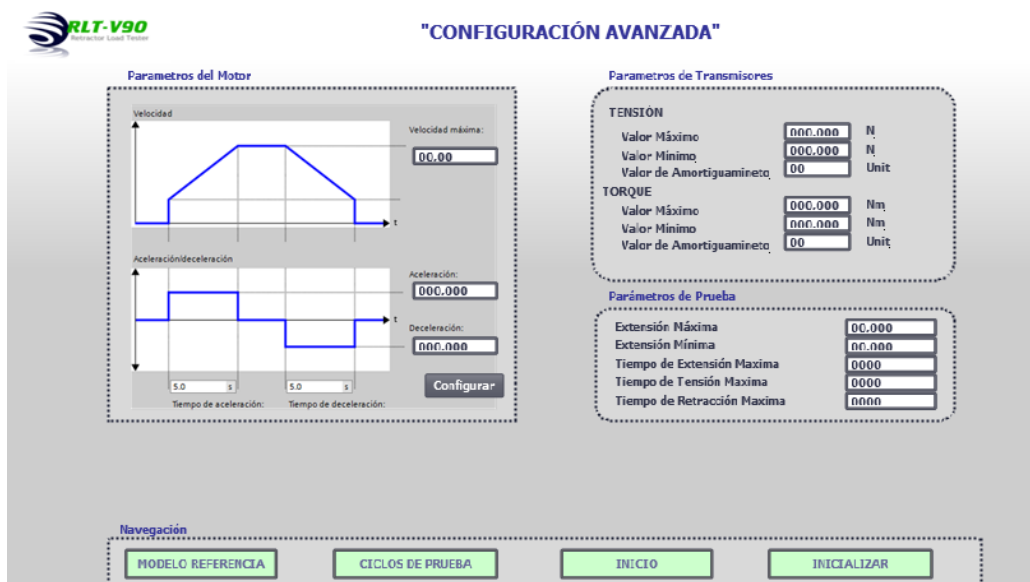


Figura 85. Ventana 07_Configuración

La ventana de configuración permite modificar de forma directa los parámetros que definen el funcionamiento del equipo, los tiempos de aceleración y desaceleración, valores máximos y mínimos permitidos de tensión o torque dentro del proceso, esta ventana debe ser únicamente modificada por personal capacitado en el manejo de servomotores de Siemens, es importante conocer que al modificar estos parámetros la forma de funcionamiento del servomotor cambia y puede presentarse daños tanto en el equipo como en el operador.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Pruebas de Operación

El sistema una vez implementado en su totalidad debe cumplir con la fase de pruebas de funcionamiento y utilidad, para esta etapa del desarrollo es importante considerar que un prototipo es un sistema que cumple con los objetivos de diseño como demostrar el funcionamiento del equipo y analizar su factibilidad de implementación en la industria.

Es indispensable observar el correcto funcionamiento tanto de la parte mecánica como del sistema de control, el comportamiento del equipo frente a un número de ciclos determinados y su operatividad.

- Sistema Mecánico

El ensamble del sistema mecánico se debe realizar considerando la correcta alineación y dirección de cada uno de los elementos, como el conjunto de pruebas referentes al sistema mecánico se debe analizar el correcto funcionamiento del electro embrague, sujeción y prueba de tensión a máxima extensión del cinturón de seguridad, resistencia de bloqueo y funcionamiento de ciclo completo prueba.

- Funcionamiento Electro embrague

Para la observación del funcionamiento correcto del electro embrague se debe considerar la transmisión de fuerza del servo-motor al mecanismo de retracción, medir la distancia entre la placa y la lámina ferromagnética con membranas, la distancia medida debe ser menor a 1.5 mm.

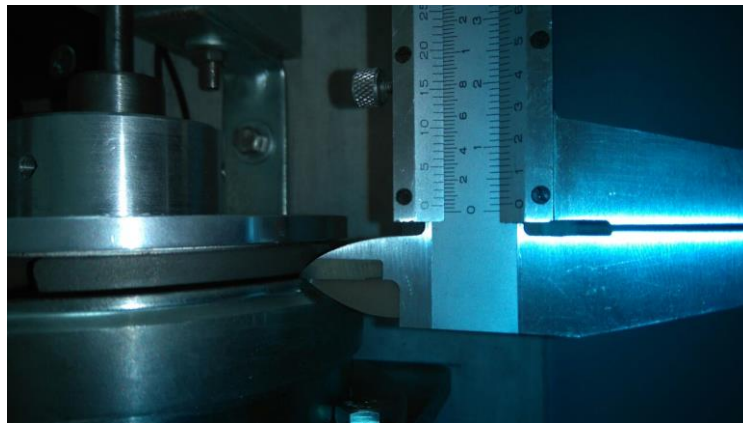


Figura 86. Medida de montaje Embrague Electromagnético

Para la prueba de funcionamiento y transmisión de fuerza se utiliza el control manual del servomotor implementado en la función de inicialización, se realiza el avance y tensión de cinta durante 5 s con el cinturón totalmente extendido y una tensión máxima de 20N, ratificando de esta forma que el embrague electromagnético cumple con la función requerida de acople y transmisión de fuerza del servomotor hacia el mecanismo de retracción.

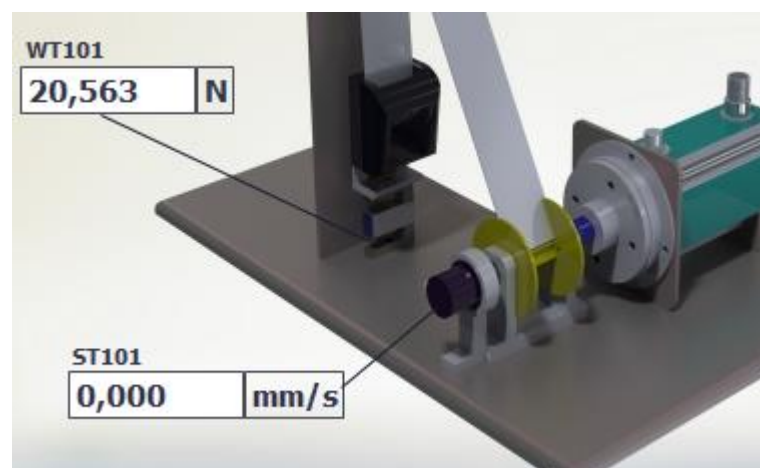


Figura 87. Prueba de Montaje 20N

Una vez comprobada la carga se realiza la prueba de desacople del embrague y se observa el correcto retorno de la cinta a la posición inicial.

- Tensión máxima y sujeción

Para la prueba de tensión máxima se aplicará una fuerza de 11.2 N con la cinta del cinturón totalmente extendida durante un segundo de acuerdo con la prueba del ciclo

completo estipulado en la normativa técnica TP-209-08, una vez extendido el cinturón y tensionado a la fuerza necesaria se bloquea el avance y se analiza el montaje mecánico comprobando tensión y sujeción de los componentes del sistema de retracción.

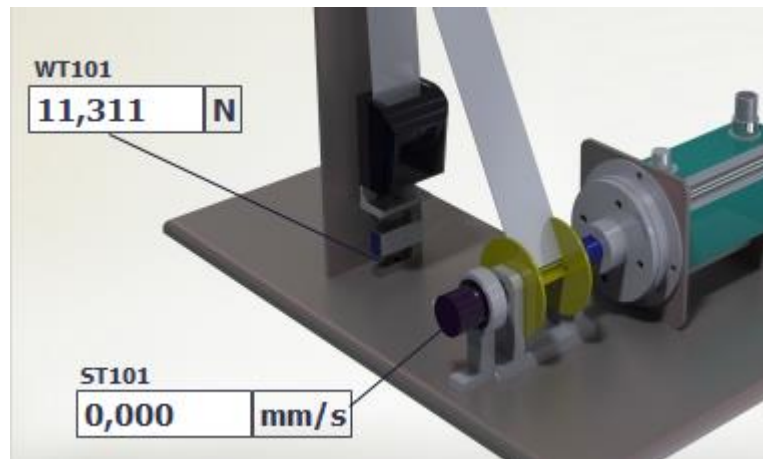


Figura 88. Prueba de Tensión mayor a 11.2 N

○ Prueba de Bloqueo

Para visualizar la prueba del sistema mecánico en caso de un bloqueo de sistema de seguridad se procedió manualmente a realizar la prueba durante 50 ciclos de bloqueo y se analiza el ensamble mecánico y las piezas de acople que unen el carrete retractable con el sistema de monitoreo de fuerza (cedas de carga), se procedió adicionalmente a comprobar que el sistema no presente la desviación del valor inicial (cero) del instrumento transmisor comprobando de esta forma la funcionalidad del sistema en caso de bloqueo dentro de los ciclos de prueba.



Figura 89. Prueba de Bloqueo Manual

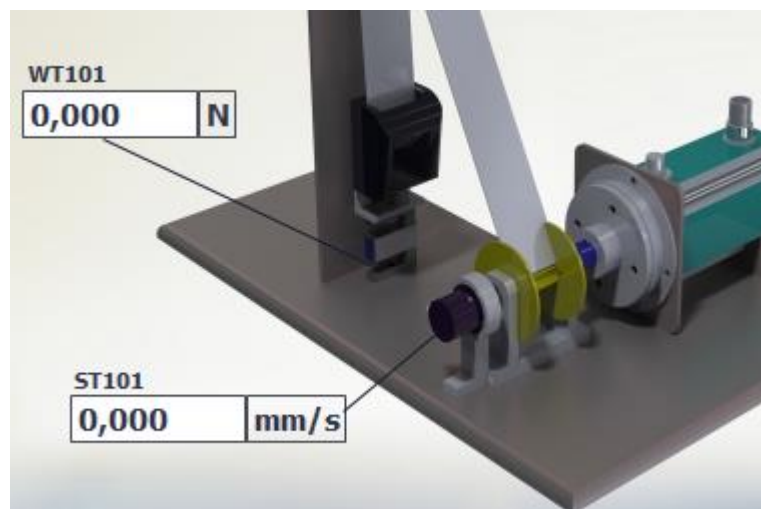


Figura 90. Verificación de retorno a cero prueba de bloqueo

- Sistema Electrónico

El sistema electrónico y de control desarrollado debe facultar al operador a reiniciar el proceso en cualquier punto de su ejecución, el sistema debe ser robusto y permitir salir de cualquier tipo de falla sea esta de comunicación, error en el controlador o error en el driver del servomotor, las pruebas realizadas consisten en analizar el comportamiento del sistema en el desarrollo de los ciclos de prueba frente a fallos y reinicio de sistema.

La visualización y almacenamiento de datos son otra parte fundamental dentro del sistema por tanto comprobar su correcto funcionamiento es indispensable en esta etapa del proyecto.

- Respuesta a Fallos

El sistema realiza el monitoreo constante del torque requerido en cada ciclo de prueba para evitar posibles daños o sobreesfuerzo en el motor, esto se realiza para evitar que el servo drive cambie su estado a falla y el sistema se detenga, como prueba del sistema de control se proceded a bloquear manualmente el sistema de seguridad y analizar la respuesta del sistema, esto se realizó durante 50 ciclos de bloqueo comprobando el funcionamiento tanto de la subrutina como de la monitorización de parámetros.

Si bien la rutina se comprueba bajo este método se debe comprobar el posible fallo o bloqueo permanente del sistema de retracción automática del cinturón de seguridad, esto se llevó a cabo forzando una falla en el servo drive y observando la respuesta del sistema mediante la aplicación HMI.



Figura 91. Mensaje y código de error en Servo Drive V90

Este procedimiento se realizó durante 20 ocasiones dentro del ciclo de prueba y se demostró la funcionalidad del sistema frente a fallos del servo drive.

- Almacenamiento de Datos

El almacenamiento de datos en la base de datos SQL se lleva a cabo mediante la función F01_GUARDAR_DAT implementada mediante WinCC en la aplicación

HMI, esta función está desarrollada en VB Script y se encarga de comunicarse con la base de datos mediante un ODBC, la comprobación y prueba de comunicación se realiza mediante la función de prueba de origen de datos ODB de SQL Server, una herramienta que incorpora Microsoft en su sistema operativo.

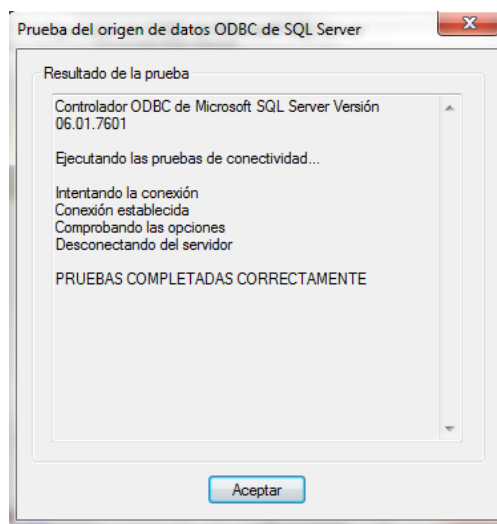
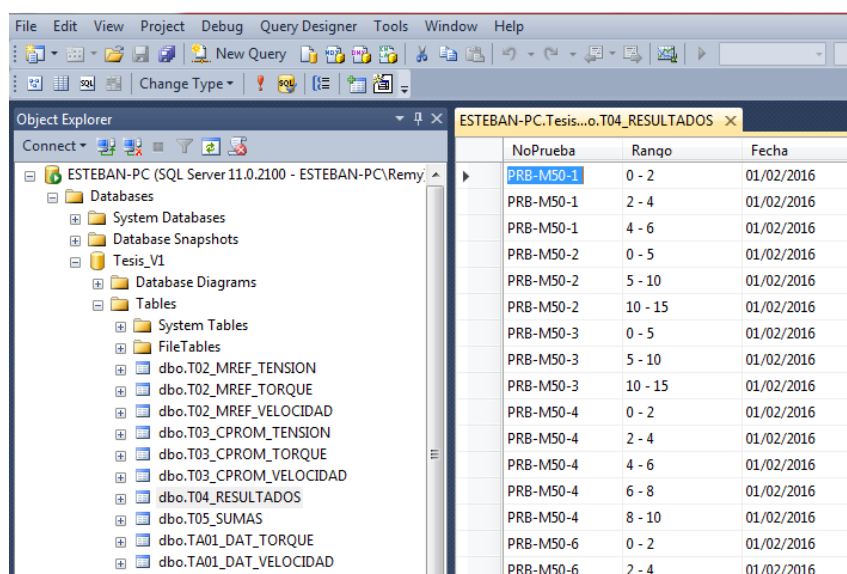


Figura 92. Prueba de Origen de Datos ODBC

Una vez comprobada la conexión mediante esta prueba se procedió a realizar la escritura y lectura de datos a través de la aplicación HMI desarrollada, abriendo la base de datos se comprobó la creación actualización y lectura de los datos almacenados.




| NoPrueba | Rango | Fecha |
|-----------|---------|------------|
| PRB-M50-1 | 0 - 2 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-1 | 2 - 4 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-1 | 4 - 6 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-2 | 0 - 5 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-2 | 5 - 10 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-2 | 10 - 15 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-3 | 0 - 5 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-3 | 5 - 10 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-3 | 10 - 15 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-4 | 0 - 2 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-4 | 2 - 4 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-4 | 4 - 6 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-4 | 6 - 8 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-4 | 8 - 10 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-6 | 0 - 2 | 01/02/2016 |
| PRB-M50-6 | 2 - 4 | 01/02/2016 |

Figura 93. Escritura en Base de Datos SQL

Desarrolladas las pruebas de escritura y verificación de comunicación con la base de datos se procede a la verificación de la comunicación con el software de presentación de reportes SAP Crystal Reports.

"INFORME DE RESULTADOS "
RLT-V90



| Fecha | M.Referencia | Código de Prueba | Rango | Error Velocidad | Error Torque | Error Tensión | Desviación % | Resultado |
|------------|--------------|------------------|-----------|-----------------|--------------|---------------|--------------|-----------|
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 0 - 50 | 0.44 | 0.05 | 0.11 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 50 - 100 | 0.96 | 0.08 | 1.31 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 100 - 150 | 0.73 | 0.09 | 1.41 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 150 - 200 | 0.50 | 0.10 | 3.11 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 200 - 250 | 2.56 | 0.11 | 2.84 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 250 - 300 | 2.33 | 0.11 | 2.97 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 300 - 350 | 2.42 | 0.12 | 2.84 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 350 - 400 | 2.05 | 0.12 | 3.36 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 450 - 500 | 2.72 | 0.12 | 3.63 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 0 - 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 400 - 450 | 2.51 | 0.12 | 3.70 | 4 | Aprobado |
| 02/02/2016 | RLT-M 100 | PRB-M 100-1 | 0 - 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4 | Aprobado |

Figura 94. Generación de reportes SAP Crystal Reports

5.2. Tabulación de Datos

Dentro del capítulo de pruebas para comprobar la funcionalidad del equipo se llevó a cabo tres pruebas de operación de cada una de las funciones del sistema, creación de modelos de referencia y ciclos de prueba de durabilidad, estas pruebas se realizaron con base a la normativa técnica estipulada en el Capítulo N°2, sección Normativas y estándares, que hace referencia principalmente al número de ciclos que se requiere para el cumplimiento de los estándares.

- Creación de Modelo de Referencia

Cumple la función de generar, guardar y tabular los datos de un modelo de referencia, se realiza con la finalidad de obtener un conjunto de datos guía que represente el funcionamiento de un sistema de seguridad en sus primeros ciclos de retracción, estos datos permitirán realizar la comparación en cada tabulación y generar un error porcentual que se registra en cada ciclo de prueba.

Se procede entonces a realizar la obtención de datos mediante la configuración de los siguientes parámetros:

a) RLT-M30

El modelo de referencia que se obtiene de los 30 primeros ciclos de funcionamiento del cinturón de seguridad modelo FEB005, de fabricación genérica, con aplicación para cualquier tipo de vehículo.



RLT-V90
Retractor Load Tester

Parámetros de Modelo de Referencia

| | |
|------------------|--|
| Codigo | <input type="text" value="RLT-M30"/> |
| Descripción | <input type="text" value="CINTURON FEB005"/> |
| Numero de Ciclos | <input type="text" value="30"/> |

Figura 95. Parámetros RLT-M30

b) RLT-M50

Modelo de referencia de los 50 primeros ciclos de funcionamiento del cinturón de seguridad modelo FEB005, fabricación genérica con aplicación para cualquier tipo de vehículo.



RLT-V90
Retractor Load Tester

Parámetros de Modelo de Referencia

Codigo:

Descripción:

Numero de Ciclos:

CREAR MODELO DE REFERENCIA

START

Figura 96. Parámetros RLT-M50

c) RLT-P100

Modelo de referencia de los 100 ciclos de funcionamiento del cinturón de seguridad FEB005, fabricación genérica de aplicación para cualquier tipo de vehículo.



RLT-V90
Retractor Load Tester

Parámetros de Modelo de Referencia

Codigo:

Descripción:

Numero de Ciclos:

CREAR MODELO DE REFERENCIA

START

Figura 97. Parámetros RLT-P100

- Creación de Ciclo de Prueba

El ciclo de prueba es la función que permite realizar la prueba de extensión y retracción de forma cíclica aplicando una tensión de carga de 11.2 N con el cinturón totalmente extendido, este procedimiento se debe realizar un número parametrizable de veces tanto para la tabulación de datos como del número de ciclos totales, es así que plantea 3 pruebas utilizando los modelos de referencia que se obtuvieron en el

proceso de prueba anterior con la finalidad de observar las curvas estadísticas de error que se generan de acuerdo al número de ciclos configurado.

- Prueba PTSC-300

El código de prueba PTSC-300 representa las siglas de Prueba de Tensión de 300 Ciclos completos (600 pruebas), esta prueba consiste en utilizar el modelo de Referencia RLT-30M generado en la sección anterior para obtener la respuesta de los 300 ciclos analizando su velocidad, torque y tensión de carga.

Se observará la desviación del error con respecto al número de ciclo con la generación de curvas estadísticas, el sistema generará un punto cada 30 ciclos, y presentará 10 puntos en la curva cumpliendo así con los 300 ciclos completos configurados.

Parámetros de Prueba

| | |
|-----------------------|----------|
| Codigo Cinturon | RLT-M30 |
| Codigo Prueba | PTSC-300 |
| No Ciclos/Tabulación | 30 |
| No Tabulaciones | 10 |
| Numero de Ciclos | 300 |
| Desviacion Porcentual | 5.00 |

CREAR PRUEBA

START

Figura 98. Prueba PTSC-300

- Prueba PTSC-800

La prueba PTSC-800 realizará 800 ciclos completos (1600 pruebas), utilizando el modelo de referencia de 50 muestras que se obtuvo en la sección anterior se realizará el cálculo de error, el sistema realizará una tabulación de datos cada 20 ciclos y esto se llevará a cabo 40 veces para alcanzar los 800 ciclos completos configurados.

Parámetros de Prueba

| | |
|-----------------------|----------|
| Codigo Cinturon | RLT-50M |
| Codigo Prueba | PTSC-800 |
| No Ciclos/Tabulación | 20 |
| No Tabulaciones | 40 |
| Numero de Ciclos | 800 |
| Desviacion Porcentual | 5.00 |

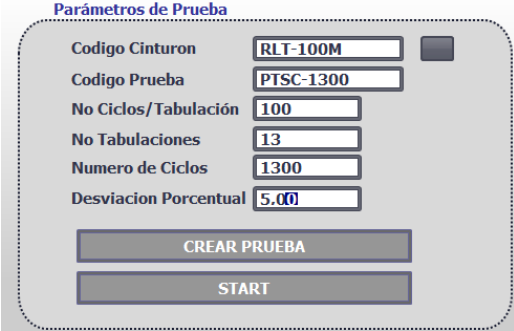
CREAR PRUEBA

START

Figura 99. Prueba PTSC-800

- Prueba PTSC-1300

La prueba PTSC-1300 realizará un total de 1300 ciclos completos (2600 pruebas), utilizando el modelo de referencia generado de 100 muestras, el sistema realizará 13 tabulaciones alcanzando las 1300 pruebas configuradas, así mismo realizará el cálculo de error presentando una gráfica en dos dimensiones de estadísticas representando el desgaste en función del número de ciclos realizados.



| Parámetros de Prueba | |
|-----------------------|-----------|
| Codigo Cinturon | RLT-100M |
| Codigo Prueba | PTSC-1300 |
| No Ciclos/Tabulación | 100 |
| No Tabulaciones | 13 |
| Numero de Ciclos | 1300 |
| Desviacion Porcentual | 5.00 |

CREAR PRUEBA

START

Figura 100. Prueba PTSC-1300

5.3. Análisis de Resultado

Dentro del desarrollo de la etapa de pruebas es importante analizar la respuesta que presenta un sistema de seguridad, observando las gráficas de error en relación al número de ciclos realizados se puede definir un comportamiento y establecer diferencias entre la aplicación de diferentes parámetros variables dentro de una prueba como son los números de tabulaciones y los modelos de referencia utilizados.

La prueba se realizó utilizando un mismo sistema de seguridad para las tres pruebas generando un total de 2400 ciclos completos sobre el carrete retractable y se observó la siguiente respuesta:

○ Prueba PTSC-300

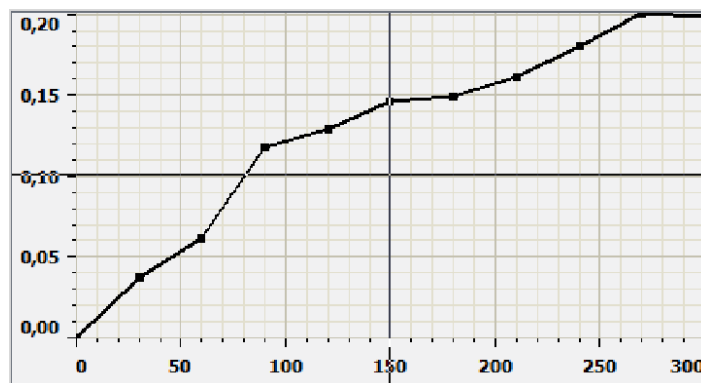


Figura 101. Desviación de Torque PTSC-300

El error de torque en los 300 primeros ciclos es del 0.20% de acuerdo con los datos obtenidos en la prueba PTSC-300, se observa la creciente de la curva a medida que aumenta el número de ciclos, se realizó la tabulación de datos utilizando el modelo de referencia de 30 muestras y se promedió el error por 10 ocasiones, cada una representada en un rango de 0 a 30 ciclos, el desgaste observado en este rango de pruebas realizados es mínimo y la respuesta del sistema es estable se observa con claridad la creciente de la curva de erro demostrando la funcionalidad y veracidad del sistema

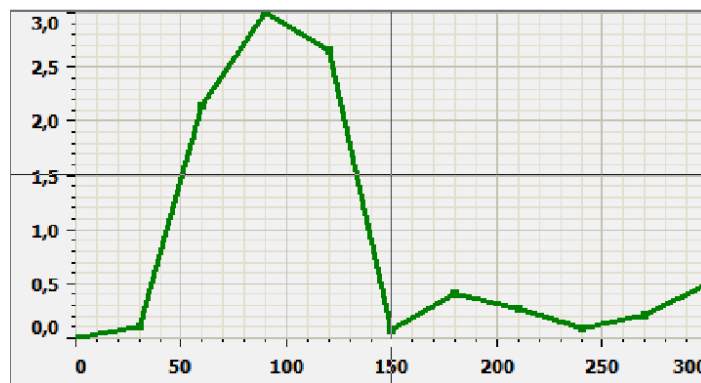


Figura 102. Desviación de Velocidad PTSC-300

La velocidad de retracción del carrete presenta una respuesta variable a lo largo de los primeros 300 ciclos de funcionamiento, se observa una desviación pronunciada en los ciclos correspondiente al rango entre 60 y 120 ciclos llegando a una desviación aproximada del 3%, para luego estabilizarse en un rango de 0.1 al 0.6 % de desviación, esta respuesta es producto de una inestabilidad pronunciada en el resorte de retracción en los 100 primeros ciclos, pero su estabilización en los ciclos siguientes

y el no superar el 5% de desviación máxima permitida hacen que en este rango el sistema sea correctamente aprobado.

Una respuesta similar se observa en la gráfica de desviación de tensión obtenida en los 300 primeros ciclos de funcionamiento, esto significa que la tensión en la sistema de seguridad en un rango de ciclos entre 60 y 90 repeticiones presenta una variación aproximada del 3%.

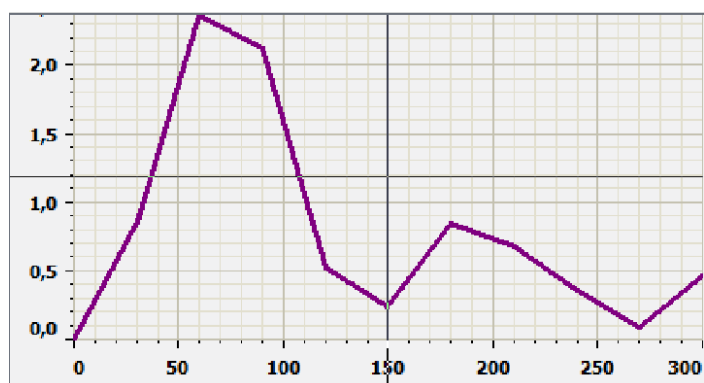


Figura 103. Desviación de Tensión PTSC-300

La respuesta luego de finalizar la prueba es de 0.5% de desviación, esto guarda una estrecha relación en torno a la desviación de velocidad de retracción observado en la gráfica anterior, se observa claramente que el sistema en el rango de 60 ciclos cambia pronunciadamente su respuesta para luego estabilizarse en un valor no mayor al 1% dando como resultado la aprobación en los 300 primeros ciclos de funcionamiento, la presentación del reporte se encuentra en el **Anexo 3**.

○ Prueba PTSC-800

La prueba de 800 ciclos se realizó utilizando el sistema que cruzó ya las 300 pruebas realizadas en la prueba PTSC-300, es decir este proceso completó los 1100 ciclos de prueba del carrete retractable, para la tabulación y cálculo de la desviación o error en relación al número de ciclos se utilizó el modelo de referencia generado con el código RLT-50M que utiliza 50 ciclos de muestra, permitiendo observar los resultados.

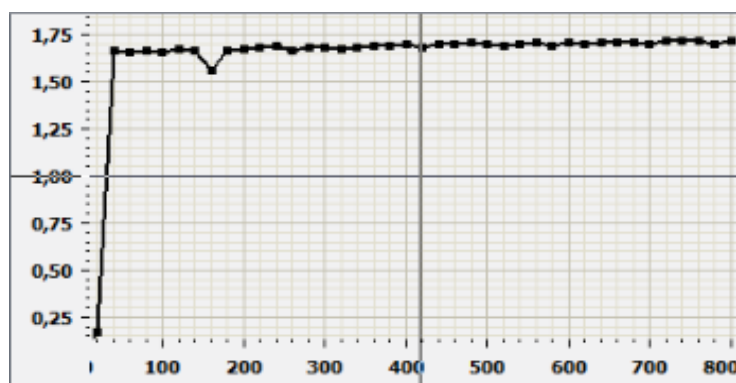


Figura 104. Desviación de Torque prueba PTSC-800

En la gráfica se observa que la desviación en comparación a los 50 primeros ciclos del cinturón de seguridad se encuentra en promedio a 1.65%, a diferencia de lo que se obtuvo en comparación a los datos alcanzados con el modelo de referencia de 30 ciclos cuya desviación máxima está en el 0.20%, este resultado se observa calculando el error cada 25 ciclos completos por tanto se demuestra el desgaste ocasionado en el cinturón y el aumento del torque necesario en un 1.65% en el rango de 300 a 1100 repeticiones.

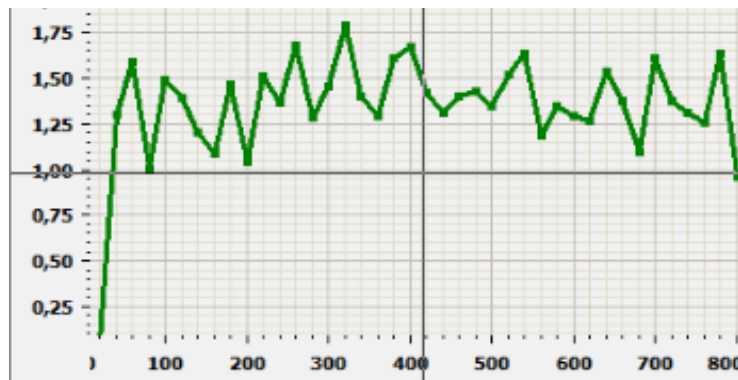


Figura 105. Desviación de Velocidad prueba PTSC-800

En cuanto a la desviación en la velocidad de retracción del carrete en el rango de 300 a 1100 ciclos la respuesta es oscilatoria llegando a un máximo de 1,75 %, y finalizando con un margen de 1%, el desgaste en el resorte de retracción se evidencia con la respuesta oscilatoria en este rango, adicionalmente la utilización de 25 ciclos de muestra en comparación a los 50 ciclos configurados en el modelo de referencia es una razón adicional de este tipo de respuesta por tanto la configuración de la prueba debe realizarse con el mismo número de ciclos de muestra utilizados en el modelo de referencia.

Una respuesta similar se obtiene en cuanto a la desviación de tensión cuyos valores oscilan entre un máximo de 1,4% y un valor final del 1%, la respuesta tiene las mismas características que la gráfica de velocidad y demuestra claramente el aumento de la tensión ejercida por el carrete producto del desgaste de los rodamientos internos del sistema de retracción.

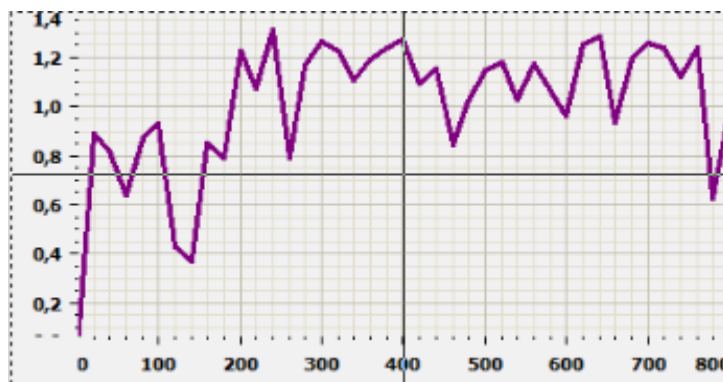


Figura 106. Desviación de Tensión prueba PTSC-800

○ Prueba PTSC-1300

La prueba final de funcionamiento del carrete retractable se realizó completando los 2400 ciclos de prueba de un sistema de seguridad, realizando 1300 ciclos adicionales a los 1100 desarrollados en las pruebas anteriores, se utilizó para esta prueba el modelo de referencia de 100 muestras y realizando la tabulación y cálculo de error cada 100 ciclos de funcionamiento.

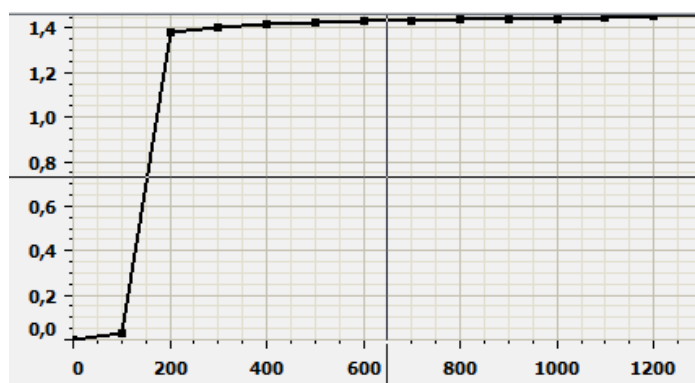


Figura 107. Desviación de Torque prueba PTSC-1300

La desviación final del sistema está alcanzando el 1,48% en cuanto a torque necesario, esto demuestra el desgaste del sistema de retracción a lo largo de los 2400 ciclos realizados, con respecto a la prueba anterior el error porcentual es menor

indicando que el sistema en el rango de 300 a 1100 pruebas tubo una desviación mayor pero no lo suficientemente pronunciado para detener el proceso y reprobar el sistema.

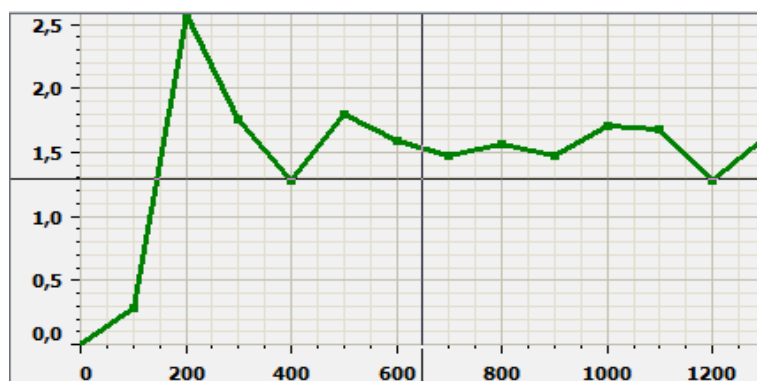


Figura 108. Desviación de Velocidad prueba PTSC-1300

La desviación de velocidad alcanza un valor final de 1,6% pero con un pico máximo de 2.6%, la respuesta de esta prueba deja de ser oscilatoria y muestra el desgaste del resorte de retracción que va perdiendo sus características elásticas a lo largo de la prueba.

De la misma forma en cuanto a la tensión requerida en el ciclo de carga el error va en aumento finalizando en 0.75% con un pico máximo de 1.8%, a diferencia de la prueba anterior la configuración realizada en este rango permite la obtención de una curva con menor número de oscilaciones y demuestra que en el rango anterior existió una perturbación notoria en cuanto al funcionamiento del carrete, el mismo que permanece en los 100 primeros ciclos de esta prueba para luego reducir su error y estabilizarse en un valor menos del 1%.

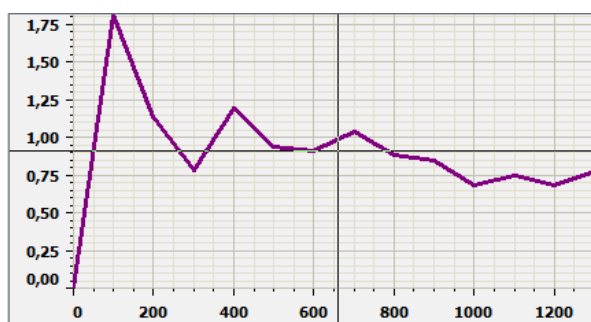


Figura 109. Tensión prueba PTSC-1300

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

- Se diseñó e implementó un sistema prototipo utilizando el software Repetier-Host Leapfrog V0.90C para el control de la impresora 3D, la configuración de parámetros como la altura de capa a 0.2 mm, la temperatura de extrusión en 262°C con la plataforma en 80°C, y densidad de relleno 1 a 45° permitieron obtener un sistema sólido capaz de soportar 20N durante los ciclos de prueba de carga sin presentar deformación y cumpliendo los requerimientos de diseño.
- Se estableció mediante la investigación de la normativa técnica que la desviación porcentual máxima permitida es del 50% en relación al modelo de referencia después de su exposición a pruebas de corrosión y resistencia al polvo, el sistema prototipo después de 2400 ciclo de prueba fue capaz de registrar una desviación de 1.48% en torque del motor, en velocidad se registró 1,6% y en tensión una desviación 0.75%.
- Se implementó la lógica de control diseñada en torno una programación estructurada basada en utilizar multi-instancias, la cual reduce significativamente el espacio de memoria requerido a 14 KB de programa de usuario, optimizando los costos y recursos de implantación.
- Se obtuvo una curva representativa que describe la desviación porcentual en función de los 2400 ciclos realizados, la interfaz gráfica de usuario incorpora la herramienta de visualización de curvas FuntionTrendControl que presenta gráficas continuas de los valores almacenados en ficheros de datos dinámicos, esto permite al sistema almacenar temporalmente los datos tabulados y presenta los valores porcentuales de desviación en el rango dinámico 0-100 ciclos por tabulación.
- Se estableció los parámetros de funcionamiento y configuración del sistema de instrumentación, el transmisor de carga implementado tiene una precisión de <0.1% FS (Full Scale), la velocidad esta monitoreada por un encoder incremental cuya resolución es de 0.72 °, esto permitió que sistema

prototipo muestre valores de proceso y se obtenga una desviación porcentual real como resultado en el análisis de durabilidad de carrete retractable.

- Se desarrolló el sistema prototipo utilizando equipos de alta gama, que integran tecnologías de control avanzado como “Motion Control” para manejo de servo-motores Siemens, programación e integración de lenguaje SCL en controladores s7-1200, comunicación de datos entre WinCC advanced y SQL server utilizando VBScripts, se consolidó un esquema base para la configuración y puesta en marcha rápida de estos equipos sentando un precedente para el desarrollo de nuevas aplicaciones industriales.
- El proyecto demostró la funcionalidad del sistema automático para la realizar la prueba de extensión, retracción y carga del carrete retractable, generando un informe de durabilidad representado en la curva de desviación porcentual en función del número de ciclos, logrando que las empresas de ensamble se vean interesadas en adquirir el sistema para realizar la prueba de durabilidad de forma local disminuyendo los costos de producción y asegurando la calidad de sus productos.

6.2. Recomendaciones.

- Investigar las nuevas formas y tecnologías existentes para el desarrollo e implementación de sistemas prototipo así como los diferentes programas que permiten realizar la simulación e integración de sistemas mecánicos con dispositivos electrónicos para producir nuevos y mejores productos.
- Fomentar la inclusión de sistemas prototipo de bajo costo en el ámbito industrial, con la finalidad de aplicar los conocimientos adquiridos para dar solución a las necesidades del mercado de forma local.
- Investigar las diferentes características de nuevos equipos y tecnologías de instrumentación y control que se adapten a las necesidades industriales para fomentar la implementación de sistemas automatizados.
- Capacitarse en el uso de los nuevos entornos de programación y desarrollo de aplicaciones disponibles en el mercado para optimizar recursos y utilizar las nuevas prestaciones incorporadas en la actualización de software.

- Investigar la utilización de lenguajes avanzados como SCL y AWL permitirán al programador implementar funcionalidades como indexación en arreglos o direccionamiento indirecto, herramientas necesarias para la comunicación y registro con la base de datos
- Desarrollar esquemas de conexión claros y en base a los manuales de operación de cada equipo es parte fundamental en la implementación del sistema para evitar daños materiales y al operador.

BIBLIOGRAFÍA

- AEADE. (2015, 10 15). Retrieved from http://www.aeade.net/web/index.php?option=com_content&view=article&id=145
- ALLBIZ. (2016). Retrieved from <http://bogota.all.biz/cinturones-de-seguridad-g3548#.VytdoYThDIU>
- ATOS Engineering. (2013). Retrieved from http://www.atosengineering.com/php/seatbelt_retractor_p6125.php
- CONSUVIAL. (2011). Retrieved from <http://consulvial-ecuador.blogspot.com/2012/10/1-de-diciembre-dia-mundial-de-uso-del.html>

- Firoozian, R. (2014). *Servo Motors and Industrial Control Theory*. Springer International Publishing.
- LIGENT. (2015). LZ700 DC.
- Martinez, J. C. (2013, Octubre 09). *SlideShare*. Retrieved from <http://es.slideshare.net/JoseCrisolMartinez/ud2-sistemas-de-transmision-y-frenado>
- Morris, A. S. (2001). *Measurement & Instrumentation Principles*. Butterworth Heinemann.
- National Instruments. (2016). Retrieved from <http://www.ni.com/getting-started/set-up-hardware/data-acquisition/esa/strain-gages#Wiring> a Strain Gage to Your Device
- NTE INEN 2675. (2013). CINTURONES DE SEGURIDAD. REQUISITOS E INSPECCIÓN. *NTE INEN 2675 :2013*.
- OMROM. (2015). Catálogo-2015.
- SIEMENS. (2015). Catálogo 2015.
- SIEMENS. (2015). SINAMICS V90- Brochure.
- Tian-Ji. (2015). Catálogo 2015 TJ-A2.
- U.S. Department of Transportation. (2007). Laboratory Test Procedure for FMVS-209. 26.
- VSR technologies. (2009). Retrieved from <http://www.vsrtech.com/products-restraint-cycler.htm>
- Zwick. (2011). Retrieved from <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/automocion/desarrollo-en-serie-y-produccion/interior-y-seguridad/ensayo-de-traccion-en-cinturones-de-seguridad.html>

ANEXOS

