

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MODULAR Y RECONFIGURABLE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE ZIPPERS.**

**Ricardo Manzano, Christian Jiménez.**

**Ing. Hernán Lara, Ing. José Pérez.**

**Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica,  
Escuela Politécnica del Ejército.**

**Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador.**

## **RESUMEN.**

El presente proyecto denominado diseño e implementación de un sistema modular y reconfigurable para el control de calidad de zippers basa su desarrollo en el diseño mecatrónico, puesto que se aplican teorías innovadoras para el desarrollo de nuevos productos y la eficiencia del sistema con la teoría de modularidad y reconfigurabilidad.

El control de calidad en zippers se basa en la norma ASTM D 2061-07, "Standard Test Methods for Strength Tests for Zippers", la cual establece ciertos ensayos de tracción para garantizar la calidad de un cierre.

Para el desarrollo conceptual del sistema se aplicaron varias teorías con el fin de cumplir con las necesidades del cliente y permitir que el sistema posea características modulares y reconfigurables, para esto se aplicó el desarrollo de la función de calidad QFD, matriz MIM

(Matriz de indicación de módulos), la modularidad y reconfigurabilidad en la ejecución del orden de realización de ensayos, con el fin de alcanzar la secuencia más eficiente para el sistema.

A través de los resultados de los diferentes análisis expuestos, se realiza el diseño mecánico, electrónico, eléctrico y de la interfaz del usuario, haciendo énfasis en los requerimientos técnicos planteados de acuerdo a las necesidades del cliente, así como en los requerimientos técnicos expuestos en la norma ASTM D 2061-07.

## **INTRODUCCIÓN.**

El sistema basa su diseño en la norma ASTM D 2061-07, por lo cual es indispensable destacar los ensayos de la misma.

**Resistencia de la cadena a la carga lateral (Chain Crosswise Strength Test).**

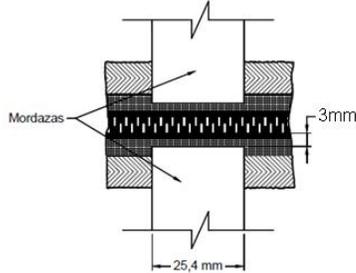


Figura 1. Esquema del ensayo de resistencia de la cadena a la carga lateral.<sup>1</sup>

Tiene como objeto evaluar la resistencia de la cadena del cierre a la carga lateral, para esto utiliza 2 mordazas con características específicas y distancias de posicionamiento definidas.

**Resistencia a la fijación del tope superior (Top Stop Holding Test).**

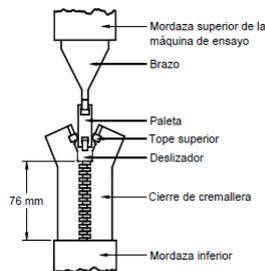


Figura 2. Resistencia a la fijación del tope superior.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 40.

<sup>2</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 38.

Dicho ensayo evalúa la resistencia del tope superior del cierre de cremallera, para esto utiliza una herramienta auxiliar a las mordazas principales y posee características de posicionamiento determinadas.

**Resistencia a la fijación del tope inferior a través del deslizador (Bottom Stop Holding, Slider Test).**

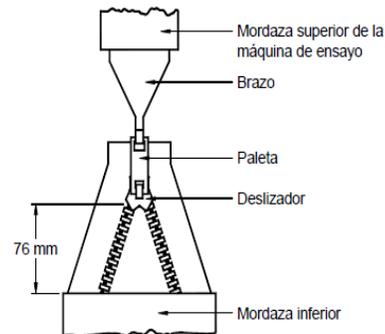


Figura 3. Resistencia a la fijación del tope inferior a través del deslizador.<sup>3</sup>

El presente ensayo evalúa la resistencia al tope inferior utilizando una mordaza auxiliar y un distancia de 76mm entre ellas.

**Resistencia a la fijación del tope inferior a la carga lateral (Bottom Stop Holding, Crosswise Test).**

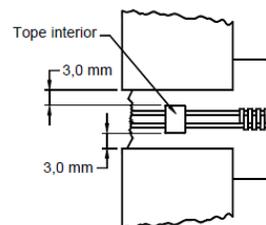


Figura 4. Resistencia a la fijación del tope inferior a la carga.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 38.

Dicho ensayo evalúa el tope inferior a carga lateral, en dicho ensayo se utilizan dos mordazas principales y 3mm de separación a cada lado de la cadena del cierre.

**Resistencia a la fijación del tope inferior por separación de la tira (Bottom Stop Holding, Stringer Separation Test).**

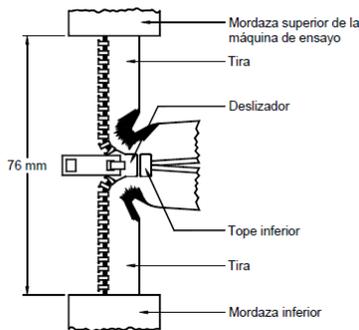


Figura 5. Resistencia a la fijación del tope inferior por separación de la tira.<sup>5</sup>

El presente ensayo evalúa el tope inferior a la separación de las tiras, se utiliza dos mordazas principales y una distancia de 76mm entre cada mordaza. Se debe destacar que cada ensayo valora el mismo elemento del cierre más se evalúa el uso del mismo en diferentes orientaciones.

**Resistencia a la fijación del tope superior por separación de la tira (Bridge Top Stop, Stringer Separation Test).**

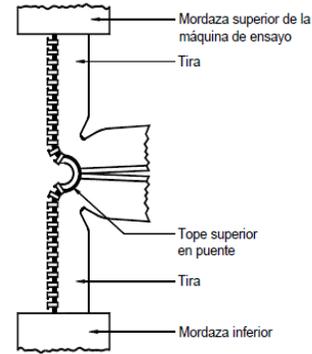


Figura 6. Resistencia a la fijación del tope superior por separación de la tira.<sup>6</sup>

Dicho ensayo evalúa el tope inferior en puente para cierres abiertos.

Utiliza dos mordazas principales y una distancia de 76mm entre ellas.

**Resistencia a la fijación de la unidad de separación a una carga lateral (Separating Unit, Crosswise).**

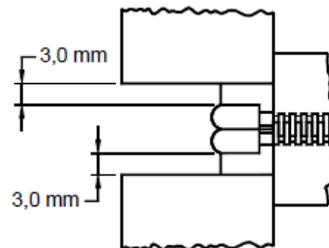


Figura 7. Resistencia a la fijación de la unidad de separación a una carga lateral.<sup>7</sup>

El presente ensayo evalúa un tipo de cierre de clase abierto, igualmente valora la separación de la unión de

<sup>4</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 40.

<sup>5</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 41.

<sup>6</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 8.

<sup>7</sup> Norma NTC2512, CONFECCIONES, CIERRE DE CREMALLERA. Colombia, 2008.p 44.

los topes superiores a carga lateral, utiliza dos mordazas principales y una distancia de 3mm a cada lado de la cadena del cierre de cremallera.

## DISEÑO MODULAR Y RECONFIGURABLE.

Dicho diseño está orientado a dos cuestiones:

Modularidad del sistema de acuerdo a su estructura.

Para esto se evaluó inicialmente las necesidades del cliente que fueron transformadas en requerimientos técnicos del sistema mediante el QFD, obteniendo una estructura funcional general para el sistema.

De acuerdo a la estructura general del sistema, se evalúa cada subsistema de acuerdo a parámetros de desarrollo de productos planteados por la teoría de Erixon, mediante la matriz MIM( matriz de indicación de módulos), obteniendo los módulos estructurales del sistema.

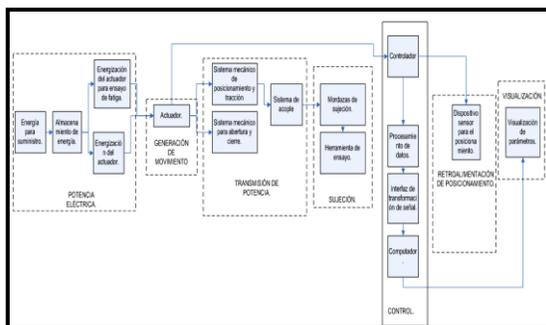


Figura 8. Módulos del sistema.

Modularidad y reconfigurabilidad del sistema de acuerdo a los ensayos.

De acuerdo a la teoría de familia de productos se plantea dicho análisis

donde se evalúa 3 parámetros importantes para el sistema con cada uno de los ensayos descritos anteriormente:

- Precio del sistema.
  - Menor tiempo de ejecución por ensayo y menor consumo de energía.
  - Escalabilidad de los datos.
- Obteniendo el orden de realización de los ensayos.

ORDEN DE REALIZACIÓN	TIPO DE ENSAYO
1	Determinación de la resistencia del tope superior a la carga longitudinal
2	Determinación de la resistencia del tope inferior a la carga longitudinal
3	Determinación de la resistencia del tope inferior a la separación de las tiras
4	Determinación de la resistencia del tope superior a la separación de las tiras
5	Resistencia a la cadena a la carga lateral.
6	Determinación de la resistencia del tope inferior a la carga lateral.
7	Determinación de la resistencia del unidad separable a la carga lateral

Tabla 1. Orden de ensayo de acuerdo a modularidad y reconfigurabilidad.

De acuerdo a las etapas de diseño se procede a la selección y diseño de los elementos del sistema.

### DISEÑO MECÁNICO.

En dicha etapa se realizó el diseño del tornillo de bolas, los pasadores, elementos estructurales.

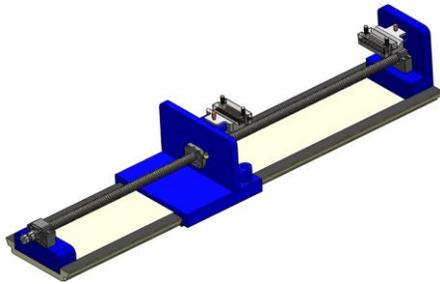


Figura 9. Sistema mecánico del sistema.

Obteniendo los siguientes resultados:

### Tornillo de bolas.



Figura 10. Tornillo de potencia, tuerca y soportes de la empresa UGRA CNC.<sup>8</sup>

El tornillo de potencia seleccionado, es un tornillo de potencia de bolas 2005-4, de un solo inicio, de perfil de rosca ojival con arco gótico, de 1000 (mm) de longitud, 20 (mm) de diámetro nominal y con

<sup>8</sup> UGRA CNC, Parts-Components. Catálogo Ball Screw BK-2005. 2012. p 5.

acoplamientos en los extremos izquierdo y derecho, BK12 y BF12, a 12 y 51 (mm) de sus extremos respectivamente.

### Pasadores.

Serán fabricados con diámetro 6mm.

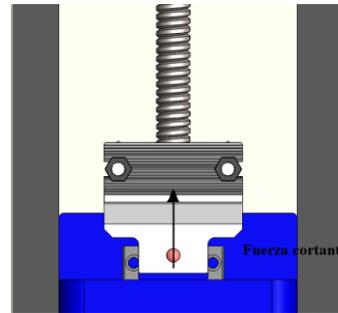


Figura 11. Diseño pasador de las mordazas.

### Elementos estructurales.

En dicho análisis se evaluó las partes más críticas mediante análisis de elementos finitos, con el fin de conocer si se produce la falla del material a carga crítica, se obtuvo que el carro móvil y fijo poseen un factor de seguridad de 12, suficiente para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

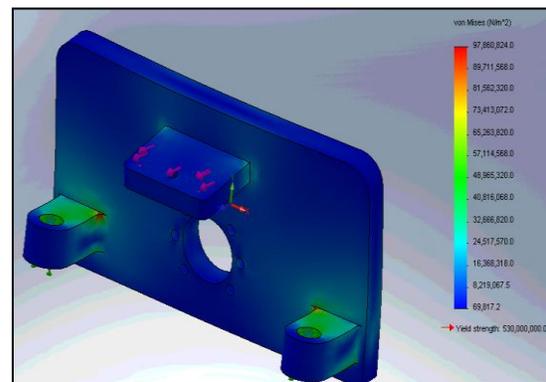


Figura 12. Análisis de elementos finitos carro móvil y fijo del sistema.

## DISEÑO ELECTRÓNICO.

Basándose en sistemas innovadores para la generación de movimiento se procedió a la selección de un servo sistema, el cual se obtuvo después de una análisis de diseño concurrente para varias alternativas.

El servo-sistema seleccionado es de la marca XINJE con las siguientes características.

	Característica	Valor
Servomotor	Encoder absoluto	2500 PPR
	Torque nominal	6 Nm
	Potencia	2 HP
Medición de variables	Temperatura del Motor	° C
	Torque ejercido por el eje del motor	Nm
	Velocidad de rotación del eje del motor	RPM
	Posición absoluta de la posición del motor	PPR
Servo-driver	Control de precisión de posición de 0,001 mm	
	Control de precisión de velocidad.	
	Control de precisión de torque.	
<b>*PPR: Pulsos por revolución.</b>		

Tabla 2. Características servo motor.

El servo-drive fue seleccionado de acuerdo a las características del servomotor, puesto que se requiere una compatibilidad entre los mismos.

Para el control del servo-sistema se utilizó un controlador lógico

programable de la marca XINJE, y se utilizó diagrama de estados para su programación.

## DISEÑO DE LA INTERFAZ DEL USUARIO.

El diseño de la interfaz de usuario se la realizó de acuerdo a las necesidades que el cliente planteó, por lo cual se creó cuatro ventanas.

La primera muestra las comunicaciones para el sistema, así como su estado actual.



Figura 13. Interfaz de usuario ventana 1.

La segunda está diseñada para que el usuario realice todos los ensayos de acuerdo al análisis de modularidad y reconfigurabilidad del sistema, o que se realice cada ensayo de tracción individualmente.

determinar el control de calidad de un cierre de cremallera.

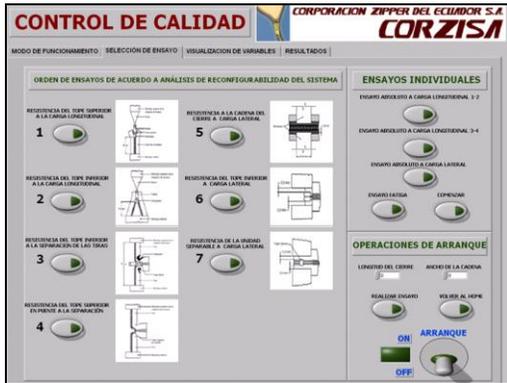


Figura 14. Interfaz de usuario ventana 2.

La tercera ventana está directamente relacionada con la visualización de la fuerza en tiempo real, su gráfica, y parámetros importantes como velocidad de ensayo, fuerza de ruptura, temperatura del sistema, deformación.



Figura 15. Interfaz de usuario ventana 3.

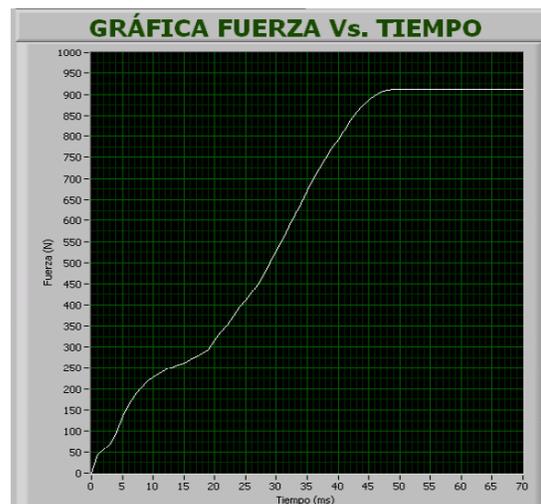
La última ventana compara cada uno de los valores de fuerza obtenidos en cada ensayo con valores de la norma ASTM D 2061-07, con el fin de



Figura 16. Interfaz de usuario ventana 4.

## RESULTADOS.

Para evaluar el correcto cremallera a carga lateral.



Se debe destacar que el sistema crea una base de datos guardando información importante para el usuario.

## CONCLUSIONES.

- Se concluye que el análisis de modularidad y reconfigurabilidad del sistema enfocado a la ejecución de ensayos se cumple a cabalidad puesto que el sistema se posiciona con una precisión milimétrica de 0,001 (*mm*), siguiendo un orden predeterminado por el análisis de reconfigurabilidad, garantizando la menor cantidad de tiempos muertos entre cada ensayo y la mayor eficiencia del sistema.

- El análisis de modularidad y reconfigurabilidad toma en cuenta la Función de Calidad (QFD) donde se evalúa los requerimientos planteados por el cliente y se los transforma en requerimientos técnicos para el sistema. Los cuales fueron cumplidos a cabalidad puesto que una sola persona puede manejar, analizar y procesar los datos obtenidos del sistema de manera fácil y rápida, además se cumple con varias exigencias de la norma ASTM D 2061-07, referentes a la precisión en el posicionamiento previo para cada ensayo, fabricación de las mordazas de acuerdo a especificaciones técnica y velocidad de ensayo de acuerdo a especificaciones.

- Se cumple con exigencias de seguridad industrial y seguridad ambiental, ya que gracias a la interfaz de usuario amigable desarrollada, la cual presenta variables en tiempo real de vital importancia para la empresa CORZISA, como son: fuerza de ensayo, velocidad de ensayo, temperatura del motor y deformación, garantiza la seguridad del operario ya que el mismo no tiene contacto físico como tal con el sistema en

movimiento y el mismo no genera ruido excesivo perjudicial para el operario gracias a la selección y construcción de los diferentes subsistema del equipo.

- La flexibilidad del sistema se asegura con los dos modos de funcionamiento, el primer modo acredita la modularidad y reconfigurabilidad con respecto a la orden de los ensayos planteados, y el segundo modo asevera la utilización de cualquier tipo de cierre de cremallera sin importar su longitud (rango 0- 250 mm) o ancho de la cadena (mínimo 4 mm), tipo o material de cierre, así como la selección de cualquier ensayo sin importar el orden de análisis de reconfigurabilidad y modularidad.

- El valor de 2000 (*N*) correspondiente al valor máximo de los ensayos preliminares realizadas en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército fueron el dato técnico para determinar rangos de trabajo para el sistema, así como para su diseño, además de aportar ideas importantes sobre la estructuración del sistema modular y reconfigurable.

- El análisis de modularidad y reconfigurabilidad enfocado a la estructuración del sistema evalúa varios parámetros como son: diseño hacia el futuro, cambio o daño de un subsistema, pos-entrega y calidad, los cuales garantizan que un cambio en el producto de la empresa CORZISA afectará al sistema modularmente y no en toda su estructura funcional.

- En la implementación del sistema se tomó en cuenta la evaluación y diseño del mismo a través de teorías nuevas como es el diseño concurrente con el objetivo de realizar la mejor selección del sistema, así como el diseño modular y reconfigurable. Seleccionando un servo-motor como el actuador para el sistema, el cual genera la potencia necesaria para posicionar y realizar cada ensayo con características como: bajas vibraciones, bajo ruido, alta precisión, entre otras, dicho motor es uno de los sistemas más innovadores que se utiliza actualmente en el mundo. Además se utilizo el drive del servo-motor como sensor para la medición de fuerza lo cual disminuyo en gran forma el costo del sistema. Logrando de esta manera seleccionar uno de los sistemas más eficientes en la transmisión de movimiento con el objetivo de darle al sistema mayor robustez y fiabilidad.

- El sistema modular y reconfigurable fue estructurado con el objetivo de que la empresa CORZISA en futuro establezca políticas de calidad de acuerdo a los resultados obtenidos de cada ensayo, así como que dichos resultados sean la integración del sistema modular y reconfigurable hacia los diferentes departamentos de producción de la empresa, en especial en la calibración de parámetros de las diferentes máquinas de producción, de acuerdo a los criterios obtenidos del control de calidad.

### **RECOMENDACIONES.**

- Seguir el procedimiento descrito en el capítulo 5 con el fin de

garantizar la seguridad del operario y el funcionamiento idóneo del equipo.

- Si la empresa CORZISA desea evaluar y certificar el sistema a través del INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN), la implementación de una celda de carga en el sistema para la medición de la fuerza de ensayo es primordial para lograr un error menor al 1% con respecto a la medición proporcionada por el INEN.

- Si el requerimiento de la empresa CORZISA en un futuro es realizar otro tipo de ensayos se recomienda fabricar dichas herramientas con características similares que las mordazas ya implementadas, para no interferir con el funcionamiento del sistema.

### **BIBLIOGRAFÍA.**

- ROBERT L. NORTON., Diseños de máquinas. Pearson, 1999.

- SHIGLEY J., MITCHELL LARRY D. Manual de diseño mecánico. Traducido del inglés por Francisco Paniagua.3ra ed., McGraw-Hill, 2002.

- OYSTEIN EGGEN. "Modular product development". Norwegian University of Science and Technology.

- KATJA HOLTTA-OTTO. Modular Product Platform Design. Doctoral Dissertation. Helsinki University of Technology. 2005.

- J. PANDREMENOS, G, CHRYSSOLOURIS. Modular product design and customization. Cranfield University. 2009.
- ROBERT B. STONE, KRISTIN L. WOOD. A heuristic method to identify modules from functional description of a product. University of Missouri-Rolla. 1998.
- ROBERT B. STONE, KRISTIN L. WOOD. A heuristic method for identifying modules for product architectures. The University of Texas at Austin. 2001
- KIKUO FUJITA, HISATO SAKAGUCHI. Product variety deployment and its optimization under modular architecture and module commonalization. Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences. 1999.
- JEFFREY B. DAHMUS, JAVIER P., Modular product architecture. Center for Innovation in Product Development. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. 2001.
- ZENTENO SÁNCHEZ, BORJA VICENTE. Diseño modular de productos mediante la matriz de diseño estructural. Universidad Autónoma de México. Monterrey 2010.
- YAN WANG, BARTHOLOMEW NNAJI. Functionality-Based Modular Design for Mechanical Product Customization Over the internet. University of Pittsburgh. 2001.
- K. OSMAN, N. BOJCETIC. Implementation of modular architecture of cooling generators. International design conference Design. 2008.
- ALEXANDER BERONIUS. Case study of modularization in the industry. Sweden. H01alebe@du.se.
- AYOADE OYEBODE. Modularity and quality. Nigerian.
- CHRISTIAN PIRRUNG. Comparison of different methods of modularisation and their best application. German.
- DAN PEARSON. Modules and interfaces. Swedish. 2004.
- DIRK OFFERMANS. Advantages of modularity. Netherlands.
- REGH, J., & KRAEBBER, H.(2005). Computer-Integrated Manufacturing, Third Edition. United States: Pearson-Prentice Hall
- RIHAR, M., & GODENA, G. (1999). Automation of Specification Process for PLC Control Systems Software. IEEE Xplore, Dept. Computer Automation and Control .
- PÉTIN, J., MOREL, G., & PANETTO, H. (2005). Formal Specification method for systems automation. France: Centre de Recherche en Automatique de Nancy; Campus Scientifique.
- GROOVER, M. (2008). Automation, production systems, and Computer-Integrated

Manufacturing, Third Edition. United States: Prentice Hall.

- Diseño de máquinas y herramientas reconfigurables: caso de un cepillo para el procesamiento del bambú (2010). [Base de datos]. Cuba: Instituto de información científica y tecnológica. Disponible en:

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=181517919024>.