

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

FACULTA DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Y COMUNICACIÓN TIC's

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y MECÁNICA

LICENCIATURA EN INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en

Ingeniería Electromecánica

Implementación de un Torque Semiautomático para la reducción de

incidentes de seguridad en las líneas de producción de productos

endoscópicos, Boston Scientific (Coyol), Costa Rica

Autor:

Ricardo Ocampo Soto

Heredia, Costa Rica

Fecha: 01/09/2022

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Implementación de un Torque Semiautomático para la reducción de incidentes de seguridad en las líneas de producción de productos endoscópicos, Boston Scientific (Coyol), Costa Rica, por el estudiante: Ricardo Ocampo Soto, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina de Costa Rica, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:



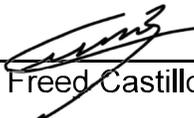
Ing. Luis Andrés Brenes Oses

Tutor



Ing. Ángel Alejo Quirós García

Lector



Ing. Fred Castillo Moya

Representante

Heredia, 6 de septiembre de 2022

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Implementación de un Torque Semiautomático para la reducción de incidentes de seguridad en las líneas de producción de productos endoscópicos, Boston Scientific (Coyol), Costa Rica, elaborado por el estudiante Ricardo Ocampo Soto puedan optar por Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Luis Andrés Brenes Oses

Tutor

Heredia, 6 de septiembre de 2022

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Implementación de un Torque Semiautomático para la reducción de incidentes de seguridad en las líneas de producción de productos endoscópicos, Boston Scientific (Coyol), Costa Rica , elaborado por el estudiante Ricardo Ocampo Soto puedan optar por Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



_____.

Ing. Ángel Alejo Quirós García

Lector

San José, 30 de agosto del 2022

Señores
Comisión de Trabajos Finales de Graduación
Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Eléctrica y Mecánica
Carrera de Ingeniería Electromecánica

Presente:

Estimables señores:

Por medio de la presente me permito comunicarle que el alumno **Ricardo Ocampo Soto**, ha solicitado la revisión filológica de su Tesis de Licenciatura titulada **Implementación de unTorque Semiautomático para la reducción de incidentes de seguridad en las líneas de producción de productos endoscópicos, Boston Scientific (Coyol), Costa Rica**, la cual presenta para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Para tal efecto se ha procedido a revisar aspectos gramaticales, errores de ortografía, morfología y sintaxis. Se destaca que en la revisión del documento se ha respetado el estilo propio del autor y la estructura del trabajo establecida por la Universidad. Por lo anterior, se estima que el documento está listo para el trámite correspondiente.

Atentamente,

ANNA HALINA
MOLINA

STRUGALA (FIRMA)

Anna Halina Molina Strugala

Código ACFIL No. 0054

Filóloga Española, Universidad de Costa Rica

Teléfono: 8396-41-46

Correo electrónico: halinalimolina@gmail.com

Firmado digitalmente por
ANNA HALINA MOLINA
STRUGALA (FIRMA)
Fecha: 2022.08.30 10:58:15

-06/801

Declaración Jurada

Yo, Ricardo Ocampo Soto estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy el Autor Intelectual del Proyecto de Graduación , titulado:

Implementación de un Torque Semiautomático para la reducción de incidentes de seguridad en las líneas de producción de productos endoscópicos, Boston Scientific (Coyol), Costa Rica

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Coyol de Alajuela, 31 de agosto de 2022



Ing. Ricardo Ocampo Soto

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	
De la Carrera / Programa:	
Modalidad de TFG:	
Titulado:	

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “**AUTOR**”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “**OBRA**”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “**UNIVERSIDAD**”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO:** El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO:** El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO:** El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día de de a las

Firma del estudiante(s):



Agradecimientos

Les agradezco a mis padres por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por su constante interés en mi desarrollo profesional y por siempre estar para mí.

A Cristian Campos, Nelson Picado y su equipo de técnicos de Boston Scientific que me extendieron su ayuda, me guiaron con sus conocimientos y recomendaciones durante el proceso de elaboración de este proyecto.

Introducción

Boston Scientific Sede Coyol es una empresa que desde sus inicios en 1979 se ha dedicado a la manufactura de diferentes equipos médicos para tratar varias afecciones del cuerpo humano. Debido a una trayectoria histórica que gira en torno a la entrega de equipos médicos para mejorar la calidad de vida de las personas en diferentes partes del mundo, es de suma importancia para Boston Scientific mantenerse en la línea de calidad de vida y asegurar que las condiciones de trabajo para sus colaboradores sean las mejores y las más seguras. Por eso, Boston Scientific toma muy en serio el aumento de quejas relacionadas con eventos de seguridad.

En el caso de la estación de Torque Manual, en las líneas de producción de equipos endoscópicos, en los últimos años se ha dado un crecimiento exponencial en los casos en donde los operarios sufren por alguna situación insegura generada por la manipulación de este equipo. Debido a eso, el Departamento de EH&S (*Environmental, Health & Safety*) junto con el equipo de ingenieros inició el mapeo de las condiciones que suscitaban a los incidentes en la estación. Tras la etapa de identificación de condiciones inseguras, se definieron los requisitos importantes con los que debía contar el equipo por área funcional. Finalmente, se inició con la mecanización del equipo de Torque Semiautomático como respuesta definitiva para eliminar todos los riesgos que se identificaron en la estación de Torque Manual.

El Torque Semiautomático logra su objetivo principal en la mejora de las condiciones de trabajo ya que por medio del uso de la tecnología, el proceso de ensamble se hizo semiautomático al reducir las tareas del operario a solo colocar las piezas en el *fixture* del equipo y a accionar el movimiento torque mediante el uso de dos sensores para sus manos. De esta forma se corrige el riesgo de que la persona se golpee con el torque, gracias a que tendrá ambas manos en los sensores durante todo el proceso de funcionamiento la máquina.

De igual forma, con esta máquina mejoró el aspecto de calidad a partir de la automatización de la prueba de jalón. Mediante el uso del eje horizontal del equipo, la fuerza de jalón aplicada se estandarizó al 100% de las unidades ensambladas. Esto permitió corregir la variabilidad que se generaba por el factor humano al realizar esta prueba por medio de pinzas manuales.

Finalmente, se innovó con el Torque Semiautomático ya que se logró la transmisión de datos en tiempo real desde el equipo a la base de datos de la empresa, almacenando los resultados de la prueba de jalón y el porcentaje de torque aplicado a la unidad. Los procesos recién descritos le permitieron a esta máquina ser uno de los primeros equipos en la empresa en formar parte del programa *Smart Factory*. Con este programa la compañía plantea un control preventivo del proceso de producción, mediante el análisis continuo de los datos obtenidos en las pruebas de calidad efectuadas por sus equipos y es así como los ingenieros pueden ingeniar correcciones del proceso productivo previo a un problema.

Índice General

CAPÍTULO I	1
1. Problema y Propósito	1
1.1 Síntoma	1
1.2 Causas	1
1.3 Pronóstico	2
1.4 Control al pronóstico.....	2
1.5 Formulación del problema	3
1.6 Sistematización del problema	3
1.7 Objetivo General.....	4
1.8 Objetivos Específicos.....	4
1.9 Estado actual de la investigación	4
1.10 Metodología	5
CAPÍTULO II.....	6
2 Marco Teórico.....	6
2.1 Marco Situacional	6
2.2 Antecedentes históricos de la empresa	6
2.3 Misión de la Empresa.....	7
2.4 Visión de la Empresa	7
2.5 Ubicación Espacial.....	7
2.6 Organigrama	8
2.7 Marco Teórico del Objeto de Estudio.....	9
Dispositivo médico	9
Equipo médico	9
Programmable Logic Controller (PLC)	10
Automatización	10
Equipos Neumáticos	11
Torque.....	12
Protocolo de comunicación.....	13
ISO 45001	14
2.8 Hipótesis	14

2.9	Limitaciones.....	14
2.10	Alcances.....	15
CAPÍTULO III.....		16
3	Desarrollo.....	16
3.1	Máquina Torque Manual.....	16
3.2	Seguridad.....	17
3.3	Eventos de seguridad.....	18
3.4	Riesgos en la estación.....	20
3.5	Requisitos Torque Semiautomático.....	21
	EH&S (Environment, health and safety).....	22
	Ingeniería de Manufactura.....	22
	Calidad.....	23
	Ingeniería de equipos.....	23
	Ingeniería industrial.....	23
3.6	Requerimientos operativos.....	24
3.7	Aspectos de seguridad.....	24
3.8	Equipo.....	25
	Panel de Control.....	25
	Controlador.....	27
	Módulo de sensores CTSL.....	27
	Controlador de ejes eléctricos.....	27
	Cilindros de accionamiento.....	27
	Válvulas de accionamiento.....	27
	Unidad de mantenimiento.....	27
3.9	Puntos externos de la máquina.....	28
	Puertos de calibración de aire comprimido.....	28
	Puerto de conexión a Ethernet.....	28
	Dispositivo de <i>reset</i>	28
	Luces de ciclo.....	28
3.10	Ajustes mecánicos de la máquina según el modelo.....	29
	Modelo 1.....	29
	Modelo 2.....	31

Modelo 3	32
3.11 Funcionamiento.....	34
Encendido de la máquina	34
Arranque	34
Modos de operación	35
3.11.1.1 Modelo 1	35
3.11.1.2 Modelo 2.....	35
3.11.1.3 Modelo 3.....	36
Paro de la máquina.....	36
Paro de emergencia.....	37
Apagado	37
3.12 Puntos LOTO	37
3.13 Pantalla.....	38
Pantalla principal	38
3.13.1.1 Botones de mando	38
Indicadores.....	39
Mantenimiento	39
3.13.1.2 Actuadores	40
3.13.1.3 Producción.....	40
3.13.1.4 Parámetros	41
3.13.1.5 Acceso	42
Alarmas por falla.....	42
3.13.1.6 Fallo de sujetador de sujeción por no cerrar.....	43
3.13.1.7 Fallo de sujetador de sujeción por no abrir.....	43
3.13.1.8 Fallo de sujetador radial por no cerrar.....	43
3.13.1.9 Fallo de sujetador radial por no abrir.....	44
3.13.1.10 Fallo de tope adelante	44
3.13.1.11 Fallo de tope atrás	45
3.13.1.12 Fallo de deslizadera de Pull-Test adelante.....	45
3.13.1.13 Fallo de deslizadera de <i>Pull-Test</i> atrás.....	45
3.13.1.14 Fallo de deslizadera adelante	46
3.13.1.15 Fallo de deslizadera atrás	46

3.13.1.16	Fallo de eje vertical.....	46
3.13.1.17	Fallo de eje horizontal.....	47
3.13.1.18	Fallo paro emergencia activado	47
3.13.1.19	Fallo bajo nivel de aire comprimido	47
3.13.1.20	Fallo accionador mal colocado	48
3.13.1.21	Fallo de roscado	48
3.14	Comunicaciones	48
3.15	Formulación de experimento	49
3.16	Pruebas de comunicación.....	51
3.17	Pruebas de toma de tiempos.....	52
	Conclusiones	59
	Recomendaciones	60
	Bibliografía	61
	Hoja Guarda	62

Índice de Tablas

Tabla 1.	Resultados de comunicación	52
Tabla 2.	Resultados Calculo de B para Operario 1	53
Tabla 3.	Resultados Calculo de B para Operario 2.....	54
Tabla 4.	Resultados Calculo de B para Operario 3.....	55

Índice de Figuras

Figura 1.	Ubicación espacial Boston Scientific, Coyol.....	8
Figura 2.	Organigrama	8
Figura 3.	Torque Manual.....	16
Figura 4.	Comparación de eventos de seguridad 2021 vs 2022.	19
Figura 5.	Comparación de eventos de seguridad 2021 vs 2022.	20
Figura 6.	Diagrama Ishikawa de la estación de Torque Manual.	21
Figura 7.	Equipo Torque Semiautomático.	25
Figura 8.	<i>Fixture</i> Modelo 1.	30
Figura 9.	<i>Fixture</i> Modelo 1.	30
Figura 10.	<i>Fixture</i> Modelo 1.	31
Figura 11.	<i>Fixture</i> Modelo 2.	32
Figura 12.	<i>Fixture</i> Modelo 2.	32
Figura 13.	<i>Fixture</i> Modelo 2.	32
Figura 14.	<i>Fixture</i> Modelo 3.	33
Figura 15.	<i>Fixture</i> Modelo 3.	33
Figura 16.	Diagrama de transmisión de Datos de la estación de Torque Semiautomático	49
Figura 17.	Curva de Aprendizaje del Operario 1.	54
Figura 18.	Curva de Aprendizaje del Operario 2.	55
Figura 19.	Curva de Aprendizaje del Operario 3.	56
Figura 20.	Curva de Aprendizaje del Modelo 2.	57
Figura 21.	Curva de Aprendizaje del Modelo 3.	58

CAPÍTULO I

1. Problema y Propósito

1.1 Síntoma

La estación de Torque está en la línea de producción de productos endoscópicos en el Coyol. En esta estación se encuentra la máquina de Torque Manual, el objetivo de esta máquina es aplicar un valor de torque preestablecido, según el modelo que esté produciéndose, para unir el tornillo conector por medio de la rosca, el catéter con el accionador de plástico y así generar el dispositivo final. Tras colocar las piezas mencionadas anteriormente en un *fixture* o base, el torque, que se mantiene en una base tipo torre, se acciona al ser bajado por el operario contra el *fixture* donde se encuentran las piezas y las atornilla hasta llegar al tope. Al final del proceso de atornillado, el torque vuelve a su posición original y el operario realiza una prueba de jalón manual para verificar que el atornillado o torque de la pieza se diera correctamente.

Cabe destacar que uno de los principales problemas en la estación de Torque ya ha sido identificado debido al aumento de quejas registradas por parte de los operarios; estas quejas son principalmente por eventos de seguridad y de ergonomía en esta estación.

Otro problema identificado es la no estandarización de la prueba de jalón. Actualmente, cada operario realiza el jalón por medio de pinzas para asegurarse que las piezas quedaron bien ensambladas. Sin embargo, la fuerza aplicada no es la misma entre cada persona que la realiza, lo cual puede generar un problema de calidad con el producto si no se ejecuta correctamente.

1.2 Causas

Debido a la alta demanda de los productos endoscópicos de Boston Scientific, a diario se espera en las líneas de producción, el cumplimiento de la cuota de producto fabricado. La complejidad del ensamblado en la estación de Torque, el número de piezas con las que el operario debe trabajar y la gran cantidad de movimientos que debe realizar para colocar las piezas en su

lugar y activar el torquímetro, han sido las principales causas por las cuales se han reportado quejas relacionadas con el proceso de ensamblado en esta estación.

Los principales problemas relacionados con el equipo han sido la técnica del operario al accionar el torque, esta provoca que se golpee los dedos al bajarlo para atornillar las piezas. Se destaca también el fallo del sistema de polea que sostiene la estructura superior en la base del torque y genera que el torquímetro se baje de repente y golpee al operario. Dentro de los problemas se detallan los golpes de manos con la punta del torque al estar muy expuesta en la estación; finalmente, el desgaste en los dedos por el giro que se genera en la punta del torque al colocarle el tornillo.

1.3 Pronóstico

De no resolver el problema, la empresa podría experimentar un aumento en el registro de los eventos de seguridad en la estación de Torque, con esto aumentarían las bajas de personal por incapacidades. La falta de personal afectaría directamente el proceso de producción, ya que no se estaría cumpliendo con la cuota diaria necesaria para satisfacer las necesidades del mercado. Por lo que la empresa estaría registrando pérdidas económicas.

Al no estandarizar el proceso de la prueba de jalón la calidad del producto se vería comprometida. Al suceder esto no solo los productos de la familia de endoscópicos estarían siendo afectados, sino también que otros productos fabricados Boston Scientific serían impactados ya que la empresa perdería credibilidad entre sus clientes y no los seguirían consumiendo. De la misma forma se registrarían pérdidas económicas.

1.4 Control al pronóstico

Primeramente, para este proyecto estaría realizándose un estudio de la estación de Torque. Con esto se pretende identificar los diferentes puntos de la estación en los cuales están generándose los eventos de seguridad. Una vez completado lo anterior se procedería al diseño de un prototipo

de máquina que permitiría eliminar todos los riesgos de seguridad en la estación previamente identificados. Seguidamente, el prototipo de máquina de torque estaría utilizándose para realizar pruebas con operarios certificados en la operación de torque y así confirmar que se removieron efectivamente los riesgos de la estación y, por supuesto, retar la ergonomía del equipo.

Tras confirmarse que ya no hay riesgos de seguridad, el prototipo de torque pasaría a la fase de toma de tiempos de producción para probar que cumpla con los tiempos del equipo actual. Si esta condición se cumpliera se confirmaría la viabilidad del proyecto por los pilares de seguridad, producción y calidad. Todas las etapas del proyecto seguirían los requisitos y estándares que exige Boston Scientific para garantizar con certeza que el producto final no se vea afectado.

1.5 Formulación del problema

El problema consiste en que el equipo actual ubicado en la estación de Torque de la línea de producción de endoscópicos ha presentado un aumento exponencial de eventos de seguridad. Los operarios que trabajan en esta estación han visto afectada su integridad al ser heridos por la máquina al realizar el proceso de ensamblado. Por esto es importante experimentar con un prototipo de máquina que solucione todos los riesgos presentes en la estación. De igual manera este prototipo solventará la necesidad de estandarizar la prueba de jalón para eliminar el riesgo asociado al factor humano y, finalmente, que la producción no se vea afectada por la implementación de este equipo.

1.6 Sistematización del problema

Para resolver este problema el sistema a utilizar consiste primero en comprender cómo se dan las situaciones inseguras en la estación actual de Torque Manual, es decir, si es método del operario o si el equipo en sí presenta condiciones riesgosas. Posteriormente, trabajar en un prototipo de máquina de torque semiautomático que solucione los problemas identificados previamente en la estación de Torque Manual. Finalmente, implementar el equipo de Torque Semiautomático en conjunto con el nuevo proceso de ensamble del producto tras corroborar la viabilidad del proyecto en los pilares de seguridad, calidad y producción.

1.7 Objetivo General

Implementar un prototipo de torque semiautomático que permita la disminución de incidentes de seguridad que ocurren en la estación de Torque para la mejora de condiciones de trabajo de los operarios en las líneas de producción de equipos endoscópicos en Boston Scientific (Coyol), Costa Rica.

1.8 Objetivos Específicos

- Identificar los riesgos de seguridad presentes en la estación de Torque.
- Desarrollar un equipo de torque que elimine los riesgos de seguridad identificados.
- Diseñar un proceso de adaptabilidad que permita al operario entender el funcionamiento del nuevo equipo.
- Demostrar que el prototipo del equipo de torque y el proceso de ensamble propuesto cumplen con las expectativas de la empresa.

1.9 Estado actual de la investigación

El tema de investigación para este proyecto tiene como enfoque el desarrollo de un prototipo de máquina, automatizado por un tercero previamente aprobado por Boston Scientific.

Para la implementación de este proyecto deben tomarse en cuenta conocimientos de distintas áreas de la ingeniería como neumática, mecánica y los procesos de producción e interpretación de datos. El grado de interés del proyecto es medio-alto debido a que el equipo propuesto viene a solucionar los riesgos de seguridad que actualmente se dan en la línea de producción. Esta solución crea un espacio seguro de trabajo para los operarios y a su vez mejora la calidad del producto final.

De igual forma este proyecto es importante ya que la empresa está apuntando a ser más tecnológica cada día y, por eso, un equipo capaz de transferir datos con información del proceso de producción en tiempo real es relevante para la compañía. La máquina de torque pretende lograrlo y, a su vez, ser de las primeras en su tipo en la planta. El proceso de este equipo serviría

como modelo para la implementación de nuevos equipos que vayan a formar parte del programa de *Smart Factory*.

1.10 Metodología

Este proyecto es de carácter teórico-práctico debido a la investigación de conceptos y términos que se utilizarán durante su realización. Primeramente, para entender lo que sucede en la estación de Torque es importante desarrollar un estudio que identifique la raíz de los diferentes eventos de seguridad en esta estación. Una vez hecho esto, debe moldearse el prototipo de máquina con soluciones para todas las causas identificadas.

Ya desarrollado el equipo, inicia la etapa práctica del proyecto. En etapa es necesario el diseño de un plan que rete al prototipo mediante experimentos y pruebas con el fin de probar su eficiencia tanto en el pilar de seguridad como en el de calidad y producción. Una vez concluida la etapa de pruebas deben analizarse los datos recopilados para garantizarle a la empresa que el equipo propuesto para la estación de torque eliminó completamente los riesgos identificados, cumple con los requisitos necesarios para sustituir exitosamente el equipo actual y el producto final está dentro de las especificaciones que aseguren calidad para el paciente.

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

2.1 Marco Situacional

Este proyecto consiste en el desarrollo e implementación de un equipo de torque para la empresa Boston Scientific, Sede Coyol, que elimine los riesgos de seguridad relacionados con las tareas de ensamble en la estación de torque ubicada en las líneas de producción. La inquietud que origina el proyecto gira en torno al alza de casos que se han generado por el torque en los últimos años. Así, para la empresa es importante desarrollar proyectos que resguarden la seguridad e integridad de los operarios en las líneas de producción, que estos proyectos integren la tecnología a los procesos actuales, le permitan a la empresa seguir vigente y no rezagarse con respecto a la competencia.

Una vez concluida la etapa de mecanizado, las fases de implementación del nuevo equipo de torque consisten en la caracterización del nuevo proceso de producción y ensamble del producto. Es importante el apoyo de Boston Scientific para lograr el desarrollo efectivo de cada una de las etapas mapeadas debido a que la empresa, como principal interesada del proyecto, se compromete a proporcionar el material necesario para evaluar el equipo, así como facilitar sus instalaciones y recursos tanto tecnológicos como humanos. Los reportes con el análisis de datos obtenidos del nuevo equipo se documentarán según las políticas internas de la empresa.

2.2 Antecedentes históricos de la empresa

Boston Scientific es una empresa de origen estadounidense con su sede central en Marlborough, Massachusetts, y está especializada en la producción de equipo médico. En 1979 abrió sus puertas con el objetivo de diseñar y comercializar dispositivos médicos para procedimientos médicos menos invasivos y con precios mucho más bajos que la competencia. Con el tiempo han ido expandiendo su cartera de productos en diferentes campos de la medicina y

destacan con equipos cardiológicos, neurovasculares, endoscópicos, oncológicos también para urología y ginecología, entre otros.

En el año 2004 Boston Scientific inició operaciones en Costa Rica. Primeramente, en su sede de Heredia y más tarde en el 2009 en Coyol de Alajuela. Tras décadas de establecimiento, Boston Scientific ha ampliado exponencialmente su huella en la industria nacional, siendo así, la empresa de equipos médicos más grande de nuestra nación.

2.3 Misión de la Empresa

La compañía Boston Scientific está dedicada a transformar la calidad de vida ofreciendo soluciones médicas innovadoras que mejoran la salud de los pacientes de todo el mundo. (Boston Scientific, 2022).

2.4 Visión de la Empresa

Ser el proveedor global de soluciones médicas de mayor rendimiento. (Boston Scientific, 2022).

2.5 Ubicación Espacial.

Boston Scientific, Propark Free Zone, First Street Coyol, Alajuela, Costa Rica.



Figura 1. Ubicación espacial Boston Scientific, Coyoil
Fuente: (Google Maps, 2022)

2.6 Organigrama

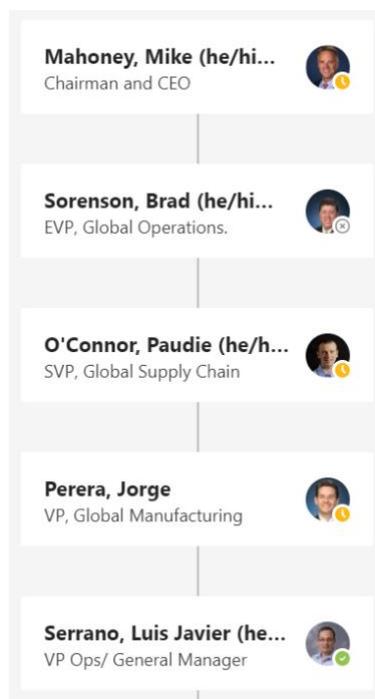


Figura 2. Organigrama
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

2.7 Marco Teórico del Objeto de Estudio

A continuación, se documentarán conceptos clave para la comprensión del siguiente trabajo de investigación:

Dispositivo médico

La Organización Mundial de la Salud (2012) lo describe como:

Un artículo, instrumento, aparato o máquina que se utiliza para la prevención, el diagnóstico o el tratamiento de una enfermedad, o para detectar, medir, restablecer, corregir o modificar la estructura o la funcionalidad del organismo con algún propósito médico o sanitario. Generalmente, un dispositivo médico no actúa a través de mecanismos farmacológicos, inmunitarios ni metabólicos. (p. 5)

Equipo médico

La Organización Mundial de la Salud (2012) establece las características de un equipo médico de la siguiente manera:

Un dispositivo médico que requiere calibración, mantenimiento, reparación, capacitación de los usuarios y retirada del servicio, actividades gestionadas normalmente por ingenieros clínicos. El equipo médico se usa específicamente para el diagnóstico, el tratamiento o la rehabilitación de una enfermedad o lesión, ya sea solo o junto con accesorios, material fungible (también conocido como material consumible) u otros equipos médicos. No se consideran equipos médicos los dispositivos médicos implantables, desechables o de un solo uso. (p. 5)

Programmable Logic Controller (PLC)

Sanchis et al. (2010) concluyeron que:

Se trata de un computador especial, tanto en el software como en el hardware. En el software, porque se programa en un lenguaje especial diseñado específicamente para generar de forma sencilla el programa que implementa el algoritmo de control de procesos secuenciales (de sistemas de eventos discretos), y porque el algoritmo de control programado es ejecutado de forma periódica en un ciclo temporal que es lo bastante breve como para poder controlar los procesos en tiempo real. En el hardware, porque utiliza componentes robustos que soportan condiciones de trabajo adversas, como las que se dan en ambientes industriales (polvo, temperatura, vibraciones, etc.), y porque su constitución física incluye los circuitos de interfaz necesarios para conectarlo de forma directa a los sensores y actuadores del proceso.

Automatización

En cuanto a la automatización, Sanchis et al. (2010) en el libro sobre automatización industrial, la describen de la siguiente manera:

Se define un sistema (máquina o proceso) automatizado como aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención del operario) ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado.

Por otra parte, la automatización tecnológica es la que incorpora elementos electrónicos que permiten que el sistema automatizado tenga mejor performance y usos, como se describe a continuación:

La descripción tecnológica del automatismo es el conjunto de elementos físicos que lo forman. En concreto, estos elementos son los sensores, los actuadores y el sistema de

control. Por otra parte, está la descripción funcional, que se refiere a las características de funcionamiento del sistema automatizado. Los sensores son los elementos que permiten obtener información de lo que sucede en el proceso. (Sanchis et al. 2010)

Entre las ventajas que trae la automatización se destaca el aspecto de seguridad laboral, por ejemplo, reduce la intervención humana en el proceso de ensamble y el proceso de producción es más estable debido a la repetitividad que el proceso automatizado garantiza. A continuación, Sanchis et al. (2010) exponen:

Un aspecto que tiene especial importancia en la implementación de automatismos es la seguridad. Esta se debe tener en cuenta de dos formas. Por una parte, se debe definir la secuencia de operaciones del proceso de forma que se garantice en todo momento la seguridad de los operarios.

Más adelante en el mismo texto Sanchis et al. (2010) describen que en si la automatización no evita que eventos de seguridad vayan a suceder y resaltan la importancia tomar en cuenta todos los posibles escenarios de fallo del equipo para evitar una situación de peligro para el operario al programar correctamente la secuencia de trabajo.

Equipos Neumáticos

El autor Creus Solé (2011) en su texto sobre la neumática define a los equipos neumáticos como:

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos, y se aplican en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc.

Más adelante Creus Solé (2011) plantea algunas ventajas sobre los equipos neumáticos, las cuales son:

Las ventajas que presenta el uso de la neumática son el bajo coste de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo o par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja (típico 6 bar), lo que constituye un factor de seguridad. Otras características favorables son el riesgo nulo de explosión, su conversión fácil al movimiento giratorio, así como al lineal, la posibilidad de transmitir energía a grandes distancias, una construcción y mantenimiento fáciles y la economía en las aplicaciones.

Finalmente, Creus Solé (2011) resalta en su texto, la adaptabilidad que poseen los sistemas neumáticos al tener la facilidad de integrarse con sistemas eléctricos y electrónicos para elevar aún más su funcionabilidad y alcance, como se lee a continuación:

Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos, lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvulas de solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. El PLC les permite programar la lógica de funcionamiento de un cilindro o de un conjunto de cilindros realizando una tarea específica.

Torque

Méndez (2020) describe el torque como:

El torque puede entenderse como el momento de fuerza o momento dinámico. Se trata de una magnitud vectorial que se obtiene a partir del punto de aplicación de la fuerza. La misma está constituida por el producto vectorial (el vector ortogonal que surge tras una operación binaria entre un par de vectores de un espacio euclídeo de tres dimensiones).

En este sentido, el torque hace que se produzca un giro sobre el cuerpo que lo recibe. La magnitud resulta propia de aquellos elementos donde se aplica torsión o flexión,

como una viga o el eje de una máquina. El momento de fuerza puede expresarse a través de la unidad newton metro.

Protocolo de comunicación

La máquina de torque semiautomático cuenta con un PLC marca FESTO que permite la comunicación y transmisión de datos entre el equipo y la red local de la empresa. El protocolo de comunicación utilizado en este caso es Modbus/TCP, el cual usa como base de trabajo el Ethernet y hace posible captar información por medio del sistema de adquisición de datos *Ignition*.

“Modbus/TCP es un protocolo de comunicación diseñado para permitir a equipos industriales tales como Controladores Lógicos Programables (PLCs), computadores, drivers para motores y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida comunicarse sobre una red” (Ruiz Olaya et al. 2011).

Ruiz Olaya et al. (2011) destacan también las ventajas del uso de este tipo de protocolo de comunicación:

- Es escalable en complejidad. Un dispositivo que tenga un propósito simple necesita implementar solo uno o dos tipos de mensaje.
- Es simple para administrar y expandir. No se requiere usar herramientas de configuración complejas cuando se añade una nueva estación a una red Modbus/TCP.
- No es necesario equipo o software propietario de algún vendedor. Cualquier sistema de cómputo con una pila de protocolos TCP/IP puede usar Modbus/TCP.
- Puede ser usado para comunicación con una gran base instalada de dispositivos MODBUS, usando productos de conversión los cuales no requieren configuración.
- Es de muy alto desempeño, limitado típicamente por las capacidades de comunicación del sistema operativo del computador. Se pueden obtener altas tasas de transmisión sobre una estación única y la red puede ser configurada para lograr tiempos de respuesta garantizados en el rango de milisegundos.

ISO 45001

La norma ISO 45001 expone cómo gestionar la seguridad de forma sistemática con un alcance de protección no solamente a trabajadores, sino a cualquier persona que ingrese a las instalaciones de una empresa. La ISO 45001 se creó para eliminar cualquier situación en un lugar de trabajo que pueda causar daños irreversibles.

El Sistema de Gestión Seguridad y Salud Ocupacional (SG-SST) se encarga del bienestar de los trabajadores, previniendo y mejorando así la reducción de accidentes laborales centrada en la aplicación de la norma ISO 45001:2018. Estos desafíos existenciales requieren que las empresas encuentren formas de volverse más resistentes frente a tales complejidades. La resiliencia es la capacidad que poseen los sistemas y subsistemas para mantener tanto sus funciones como sus estructuras frente al cambio. (Mena et al. 2022)

2.8 Hipótesis

La implementación de un nuevo equipo en la estación de torque y proceso de ensamble del dispositivo médico que garantice que la estación no presenta riesgos de seguridad para el operario.

2.9 Limitaciones

Tras concluir la etapa de mecanización de la máquina de torque es necesario realizar pruebas de ensamble de los dispositivos médicos con operarios para confirmar que el proceso de ensamble es seguro y elimina todos los riesgos identificados previamente en la estación del torque antiguo. De igual forma, es mandatorio realizar pruebas con enfoque del proceso de producción para obtener la información necesaria para aprobar el equipo.

Al ser un equipo nuevo, los operarios presentan cierta resistencia al cambio debido a que están acostumbrados al flujo de ensamble de la máquina actual que, además, limita que cumplan con el tiempo establecido de ensamble de unidades por producción. Sin embargo, la principal

limitante para realizar las pruebas es conseguir espacio dentro del tiempo de producción para probar el equipo sin afectar el acumulado mensual de producto que debe ser producido por la unidad de producción para cumplir con la demanda del mercado internacional.

2.10 Alcances

Al concluir con el proyecto se espera que la máquina de torque cumpla con todos los requisitos propuestos por Boston Scientific, principalmente desde los pilares de seguridad, producción y calidad. De igual manera se pretende que la empresa no tenga más eventos de seguridad registrados por algún incidente en la máquina de torque. Asimismo, que los operarios se sientan a gusto con su trabajo y apoyados por parte del equipo de ingenieros que buscan soluciones para proveerles condiciones de trabajo más seguras.

De igual forma, se desea que el producto ensamblado en la estación de torque sea de la mejor calidad para que el día que deba ser usado por un paciente cumpla con su objetivo y el trabajo de muchas personas se vea impactado con una mejor calidad de vida.

CAPÍTULO III

3 Desarrollo

3.1 Máquina Torque Manual

La estación de torque está en la línea de producción de productos endoscópicos de Boston Scientific. El objetivo de esta máquina es unir, por medio de un torquímetro o taladro eléctrico, un tornillo a un de tope metálico y así unir el catéter con el accionador de plástico. Tras colocar las piezas mencionadas anteriormente en un *fixture* o base, el torque que se mantiene en la parte alta de una base tipo torre, como se referencia en la Figura 3, se acciona al ser bajado por el operario hasta que entra en contacto con el *fixture* en el pie de la base donde se encuentran las piezas y las atornilla hasta llegar al tope.

Tras finalizar proceso de atornillado, el torque se detiene y vuelve a su posición inicial al elevarse nuevamente a la sección alta de la base que lo sostiene. Luego el operario se dispone a realizar la prueba de jalón manual mediante el uso de pinzas para verificar que el atornillado de las piezas se diera correctamente.

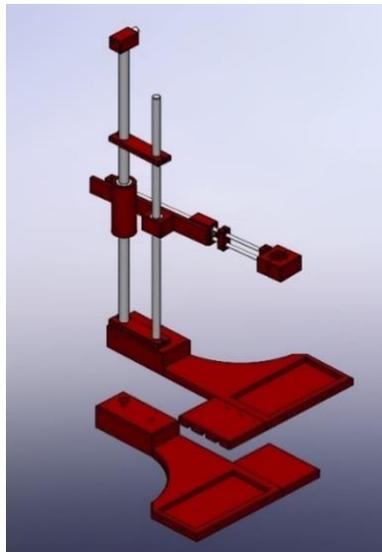


Figura 3. Torque Manual
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

Debido a que el operario tiene mucho movimiento en la estación al colocar las piezas y activar el torquímetro, se han dado múltiples incidentes de seguridad. Los principales problemas con el equipo se han dado por la técnica del operario quien al accionar el torque se golpea los dedos al bajarlo para atornillar las piezas. Se presenta también el fallo del sistema de poleas que sostiene el torquímetro en la parte superior de la base que genera que el torquímetro se baje de repente y golpee al operario. De igual manera se registran golpes de manos con la punta del torque al estar muy expuesta en la estación y también se menciona desgaste en los dedos por el giro que se genera en la punta del torque al colocarle el tornillo.

3.2 Seguridad

En caso de ocurrir un evento de seguridad en una estación de trabajo o en una situación relacionada, por procedimiento interno debe reportarse inmediatamente lo sucedido al consultorio médico de la empresa para su pronta evaluación. El objetivo de reportar el evento es clasificar lo sucedido según las características que presente, ya sea, un registrable o un primer auxilio. Según los reglamentos de Boston Scientific (2022) en caso de suceder un incidente registrable o primer auxilio debe procederse de la siguiente manera según lo indica el protocolo.

Primero se plantea el informe de lo sucedido, este es entregado a los profesionales de la salud, ya que a partir de la información proporcionada cuentan con una imagen más clara de lo que sucedió. Seguidamente, se clasifica el evento como registrable o primer auxilio, según el tratamiento con el que deba tratarse al paciente y se documenta en la plataforma de la empresa.

A continuación, el representante de EHS (*Environmental, Health & Safety*) para la unidad de producción en donde sucedió el evento, es informado por medio de la plataforma digital. Una vez informado, el Departamento de EHS inicia la investigación de lo que sucedió dentro de un tiempo de 24 horas. Por medio de la investigación se quiere determinar la causa raíz, si previamente ha ocurrido un evento similar y si este evento puede replicarse.

A partir de los datos recabados se determinan acciones de contención y más adelante las acciones correctivas para acabar con el problema. Una vez realizadas las acciones correctivas el representante de EHS da su seguimiento para determinar la efectividad de estas acciones y así continuar con el respectivo cierre de documentación del evento. De no ser eficaces deben replantearse nuevas acciones correctivas e iniciar nuevamente con el proceso.

3.3 Eventos de seguridad

Como se detalló anteriormente en la sección de seguridad, cada evento de seguridad que sucede en la empresa es registrado y se le da su debido seguimiento según lo que indica el procedimiento interno del Departamento de EH&S (*Environmental, Health & Safety*). Por medio de este registro puede rescatarse el número de casos mes a mes de los eventos de seguridad ocurridos en los últimos dos años.

A continuación, en la Figura 4 se muestra como en los primeros tres meses de ambos años, la frecuencia de eventos se mantuvo similar, sin embargo, para los meses de abril y junio del año 2022 hubo un repunte en el número de los eventos con respecto al año anterior. A pesar de que para el primer semestre de ambos años el total de casos se mantuvo en 26, ya para mayo de 2021 había sucedido el primer evento registrable, aspecto que no sucedió para el primer semestre de 2022. Esto muestra como las acciones tomadas por la empresa para reducir los eventos de seguridad han sido suficientes para eliminar los registrables en la estación de Torque.

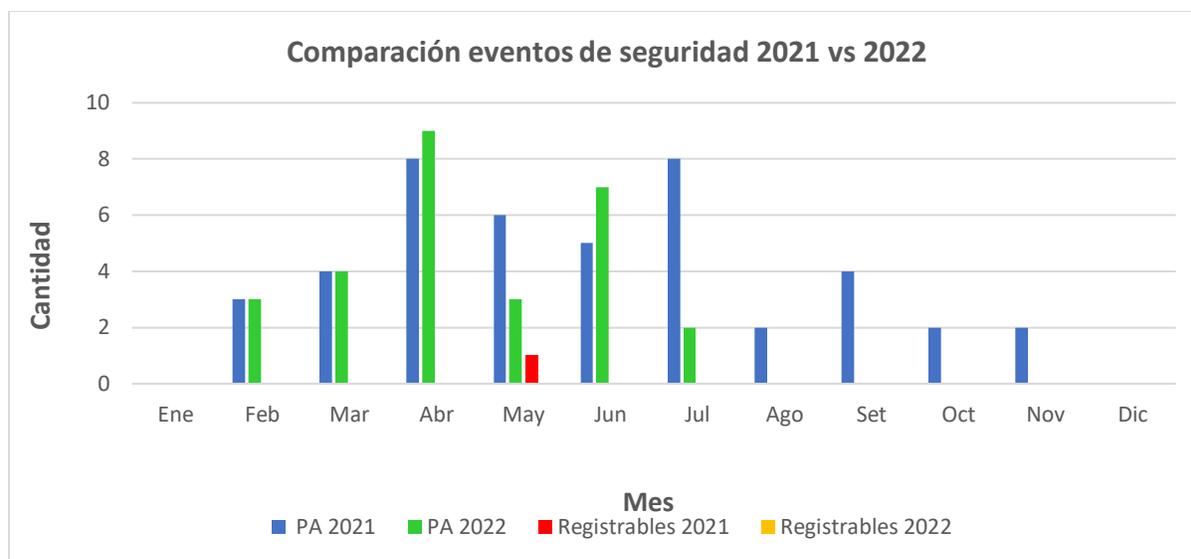


Figura 4. Comparación de eventos de seguridad 2021 vs 2022.
Fuente: Boston Scientific (2022)

La empresa tiene como meta mantener el índice de frecuencia de los primeros auxilios registrados por debajo del 59.49%. Para lograr este porcentaje se utiliza la siguiente fórmula, la cual toma el total de eventos registrados al mes de objeto de estudio y los divide por el total de horas laboradas, para luego los multiplicarlos por 10^6 , como se muestra a continuación:

$$KPI = \frac{\text{Total de Primeros Auxilios}}{\text{Total de horas laboradas}} \times 10^6$$

Ecuación 1.

Según la información recopilada para el año 2021 en los meses de mayo y a partir de julio hasta diciembre de ese año, el índice de frecuencia de primeros auxilios superó la meta de los 59.49%. Lo cual nos muestra que, en esos meses por horas laboradas, los eventos de primeros auxilios sucedieron con más frecuencia de lo que deberían suceder según los estándares de la empresa. En la Figura 5 se muestra la tendencia del índice de frecuencia de primeros auxilios del año 2021 y medio año de 2022.

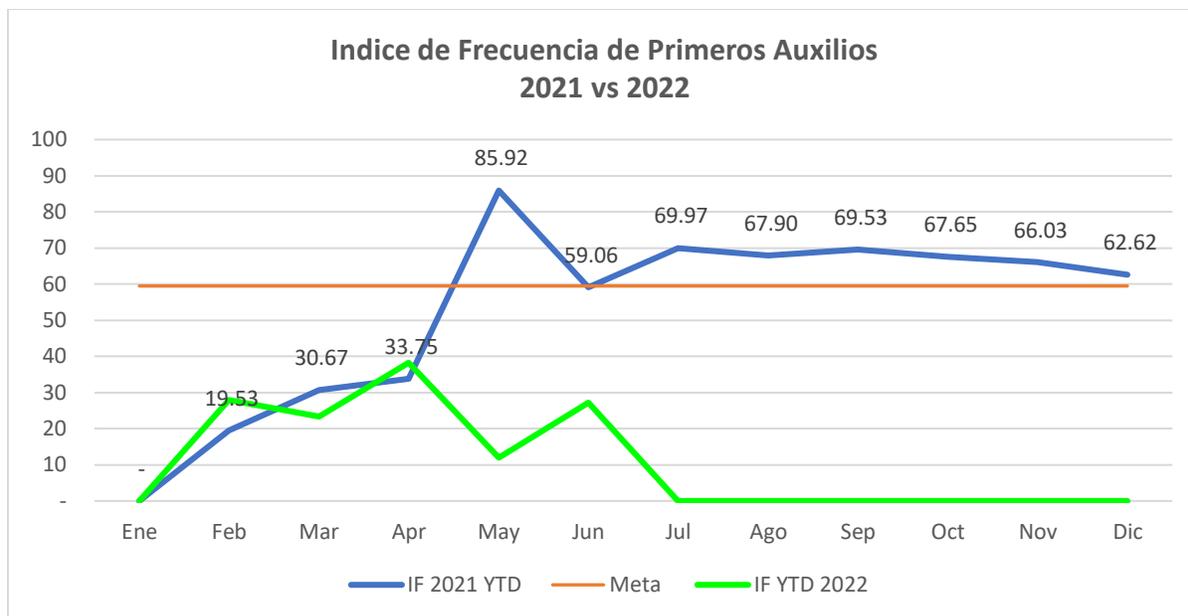


Figura 5. Comparación de eventos de seguridad 2021 vs 2022.
Fuente: Boston Scientific (2022)

3.4 Riesgos en la estación

Para evidenciar los riesgos de la estación de torque el equipo de EH&S (*Environmental, Health & Safety*) se realizó un estudio en dicha estación y se identificaron todas las posibles condiciones inseguras que cuenta el equipo del Torque Manual. Tras un análisis detenido, todas las posibles causas fueron mapeadas por medio de la elaboración de un diagrama de Ishikawa, así como la causa contribuyente. A continuación, se muestra un ejemplo del diagrama de Ishikawa con el análisis de las causas que potenció el aumento de los eventos de seguridad ocurridos en la estación de Torque Manual.

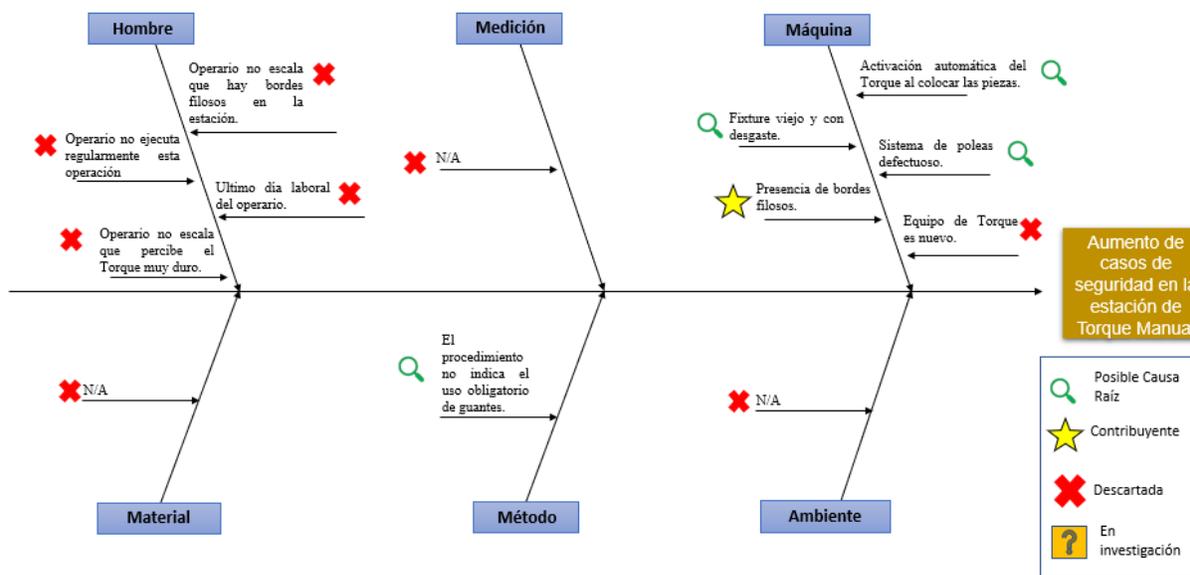


Figura 6. Diagrama Ishikawa de la estación de Torque Manual.

Fuente: (Boston Scientific, 2022)

Con este análisis se determinó que la causa contribuyente de los eventos de seguridad es la presencia de bordes filosos en la estación, sin embargo, esta condición fue potenciada por las siguientes causas raíz: la ausencia de una especificación en el procedimiento de trabajo que indique el uso de guantes de protección en la estación de Torque Manual. Cabe destacar que el *fixture* donde se colocan las piezas para el ensamble de la unidad cuenta con un desgaste que interfiere con el buen flujo del operario en la estación, lo que provoca que el operario deba detenerse en varias veces durante el proceso y se golpee. El sistema de poleas está defectuoso, esto causa que el Torque no se retraiga correctamente y genere un rebote que golpea la mano del operario. Adicionalmente, la activación de la punta del torque, al colocar el tornillo, gira automáticamente, y esto con el tiempo de estar el operario en la estación, crea un desgaste en la yema de sus dedos que se torna en heridas abiertas.

3.5 Requisitos Torque Semiautomático

Tras el análisis de la estación se establecieron los siguientes requisitos que se alinean a las necesidades de Boston Scientific:

EH&S (Environment, health and safety)

- El movimiento del torque debe ser accionado mediante el uso de sensores, uno para cada mano. Durante el periodo en el que el torque está activado es requerido que el operador mantenga sus dos manos sobre los sensores hasta que el ciclo del equipo finalice.
- Es necesario eliminar el movimiento de giro de la punta del torque que se activa al colocar el tornillo.
- El equipo debe tener suficiente espacio de acceso para realizar su debido mantenimiento. Tanto para su mantenimiento preventivo como correctivo, el equipo debe contar con la capacidad de realizarle “*Lockout-Tagout*” (LOTO).
- El equipo debe tener un sistema “*Emergency machine off*” (EMO) que permita aislarlo y liberarlo de cualquier energía que esté en funcionamiento y/o almacenada, ya sea voltaica, neumática, etc.
- El equipo de torque tiene que hacer uso eficiente de la energía para evitar el gasto excesivo de energía eléctrica.
- El diseño del equipo debe ser lo más seguro y ergonómico posible. Que cumpla con los requisitos establecidos por los procedimientos de EH&S de Boston Scientific.

Ingeniería de Manufactura

- El equipo debe unir correctamente las piezas.
- El equipo debe permitir el remover fácil la pieza ensamblada del *fixture*.
- El equipo debe ejecutar el *Pull-Test* dentro del rango de 2lb a 5 lb.
- El equipo de torque debe completar el proceso de ensamble sin inducir defectos en la unidad, el rendimiento debe ser mayor al 99.5%.

Calidad

- El equipo propuesto no debe afectar el flujo del proceso y no hacer la estación más vulnerable. El equipo debe ser *Poka-Yoke*.
- La máquina debe tener un sistema de alerta, mediante ayudas visuales, que indique cuando el proceso no se realizó correctamente y cuando sí se realizó correctamente.
- Cuando el equipo alerta de que el proceso no se realizó correctamente, el sistema debe bloquear el funcionamiento de la máquina para asegurar que el operador y técnico corrijan la situación que generó el error.

Ingeniería de equipos

- El equipo debe ser capaz de trabajar grandes volúmenes de producción por periodos de 24 horas y 7 días a la semana.
- El equipo debe ser resistente a trabajar bajo condiciones de cuarto limpio, según la temperatura y humedad del lugar. Sus materiales no deben desprender partículas dentro del ambiente del cuarto limpio.
- El equipo debe trabajar con 110 VAC $\pm 10\%$ en fase sencilla a 60 Hz.
- La interfaz del equipo debe ser en español.
- El equipo debe contar con un sistema de alarma que notifique error de *Pull-Test* y Torque.
- El equipo debe ser considerado como portable y tanto sus parámetros como configuración no deben perderse o borrarse si el equipo es apagado, desenergizado o relocalizado.

Ingeniería industrial

- El tiempo total de ciclo, incluida la colocación de piezas, tiempo de ensamble de la máquina y el tiempo de cambio de piezas debe ser de al menos 9.98 segundos.

- La huella del equipo no debe de ser mayor a 32cm de frente, 45cm de ancho y 51cm de altura.

3.6 Requerimientos operativos

En la línea de producción en la cual se ubique el equipo del torque semiautomático debe contarse con los siguientes requerimientos para el correcto funcionamiento de la máquina:

- Alimentación eléctrica a 110 VAC monofásico.
- Alimentación de aire comprimido a 95 psi.

3.7 Aspectos de seguridad

A pesar de que la propuesta de equipo de torque semiautomático eliminaría los riesgos identificados en la estación de torque, se insta a que el operario del equipo acate las recomendaciones de seguridad establecidas por el Departamento de EHS (*Environment, health and safety*) antes, durante y después de la manipulación del equipo con el fin de salvaguardar su integridad física.

El equipo cuenta con elementos que permiten la desconexión de la energía eléctrica y aire comprimido para realizar trabajos de mantenimiento de manera segura. Con respecto al manejo de la energía eléctrica, el panel eléctrico cuenta con un interruptor principal que se ubicada en su parte lateral. Para colocar el elemento de bloqueo LOTO (*Lockout-Tagout*) solamente se gira un cuarto de vuelta el interruptor en sentido contrario a las manecillas de reloj, cuando alcanza la posición *OFF* el dispositivo deja abierto el espacio para la inserción del elemento de bloqueo. Para realizar el mantenimiento de la máquina se insta al técnico a utilizar el equipo de protección personal requerido para cada actividad en específico.

3.8 Equipo



Figura 7. Equipo Torque Semiautomático.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

Panel de Control

El panel o gabinete de control alberga todos los componentes eléctricos y electrónicos necesarios para llevar a cabo las labores de control de la máquina. Este está compuesto por la sección de frontal e interna.

Sección Frontal: Está conformada por las luces que indican los estados del ciclo de trabajo de la máquina, como son la luz verde, luz roja y luz amarilla. Además, esta sección cuenta con la pantalla de control y el botón de paro de emergencia.

Sección Interna: Esta sección está conformada por:

- **Eje vertical eléctrico:** Se encarga del movimiento del taladro de atornillado. El taladro del torque está sujeto por 6 tornillos Allen de cabeza rasante, encargados de sostener el taladro al montaje. Para desmontar el taladro en caso de necesitar sustituirlo se

recomienda destornillar los 6 de la estructura, posteriormente apagar el controlador del taladro y, finalmente, desconectar el cable de acople respectivo.

- **Eje horizontal eléctrico:** Se encarga de mover la placa para manipular el *Handle* en el *Fixture*. Participa en las funciones de ensamble del producto, de igual forma, una vez ensamblado el producto, se encarga de realizar el jalón de loa prueba *Pull-Test*.
- **Bloque de Válvulas:** Este bloque cuenta con 9 válvulas que son necesarias para el funcionamiento de los cilindros neumáticos presentes en el equipo.
- **Sección de Reguladores:** En la máquina hay dos tipos de reguladores para el sistema: regulador de flujo y regulador de presión.
 1. **Regulador de flujo:** su función es regular la velocidad de movimiento del cilindro neumático. Cada cilindro posee la característica de regulación para ambos sentidos de movimiento.
 2. **Regulador de presión:** se encarga de regular la fuerza con la que se mueve el cilindro neumático. En el equipo existe un solo regulador de presión que está permanentemente regulando la fuerza de movimiento del cilindro de la Deslizadera.
- **Amplificadores:** La máquina está configurada con dos amplificadores que a su vez están conectados a una fibra óptica.
 1. **Lado izquierdo:** Este monitorea la reflexión de luz cuando es colocada la cánula del catéter en el *fixture*.
 2. **Lado derecho:** Este detecta que el accionador del producto haya sido colocado adecuadamente. Este amplificador es utilizado exclusivamente para el producto endoscópico modelo 1.
- **Sensores inductivos:** Estos sensores detectan la presencia del *fixture*. El sensor izquierdo detecta que el modelo del producto endoscópico que se está ensamblando es el modelo 1. El sensor derecho detecta que el modelo en producción es el modelo 2. Y cuando los dos sensores detectan la señal es porque se está ensamblando el modelo 3.

Controlador

El controlador es un PLC FESTO modelo CECC-LK, está dotado de módulos de 14 entradas digitales localizadas en el PLC CECC-LK y 8 módulos de salidas digitales localizadas en el PLC CECC-LK. Ambos módulos se encuentran en el panel de control.

Módulo de sensores CTSL

Módulo CTSL-16 con conexión IOLINK, conformado por 16 entradas digitales y ubicado en la parte frontal de la máquina para la conexión de los sensores de los cilindros, entre otros.

Controlador de ejes eléctricos

Control de ejes bajo el protocolo IOLINK, encargado del control y monitoreo para el eje vertical y para el eje horizontal.

Cilindros de accionamiento

Estos cilindros neumáticos se encargan de realizar el desplazamiento de los cabezales de vulcanizado.

Válvulas de accionamiento

Válvula encargada de permitir el paso de aire comprimido para el accionamiento de los cilindros neumáticos presentes en el equipo.

Unidad de mantenimiento

Es el dispositivo encargado de regular la presión de alimentación de los cilindros presentes que desplazan los cabezales de calentamiento. También se cuenta con una válvula principal para apertura y cierre del paso del aire comprimido.

3.9 Puntos externos de la máquina

Puertos de calibración de aire comprimido

Son puertos previstos en la máquina para calibrar los valores de presión de trabajo para cada una de las estaciones.

Puerto de conexión a Ethernet

Corresponde al punto de red necesario para la conexión de red de la empresa. Con esta conexión se pretende la extracción constante de datos con el objetivo de registrar las pruebas de jalón del equipo y que a su vez se registre si se hizo correctamente el *Pull-Test*. De igual forma, mediante este puerto de conexión pueden realizarse diferentes configuraciones al equipo mediante el uso de una computadora externa.

Dispositivo de *reset*

Mediante este dispositivo se logra el restablecimiento de la máquina durante un proceso de falla.

Luces de ciclo

El equipo cuenta con tres luces que indican el estado del ciclo en el que se encuentra trabajando la máquina. Estas luces están ubicadas en la parte frontal de la máquina para que el operador pueda verlas con facilidad en caso de que la condición del ciclo cambie.

Cuando el ciclo de la máquina se encuentra detenido, la luz verde se encontrará encendida e indicará que la maquina está lista para ser operada. Por lo que, la luces roja y amarilla van a encontrarse apagadas.

Cuando el equipo entra al ciclo de operación, la luz verde se va a encender y apagar con una frecuencia constante. Si durante el ciclo de operación, la luz amarilla se enciende, es señal de que hay una falla en el proceso, por ejemplo, si la pieza ensamblada tiene una falla por torque o *Pull-Test* o por amabas fallas.

Finalmente, la luz roja se iluminará en caso de que el botón de emergencia sea accionado, esto para indicar que el equipo se encuentra completamente detenido. Esta luz cambiará a verde una vez que el paro de emergencia sea liberado.

3.10 Ajustes mecánicos de la máquina según el modelo.

La máquina cuenta con tres diferentes configuraciones, según los tres modelos del producto endoscópico que se produce en Boston Scientific. Estas configuraciones se logran a partir del uso de un *fixture* dedicado a cada modelo. El técnico a la hora de ajustar el equipo debe hacer el cambio respectivo del *fixture* como parte del ajuste mecánico y también hacer la modificación de parámetros. A continuación, se destacan los ajustes a realizar según el modelo:

Modelo 1

- Se coloca la placa en el carro de *Pull-Test*.
- Se atornilla el tornillo para fijar la placa al carro de *Pull-Test*.
- Debe colocarse el *fixture* de Modelo 1 deslizándolo sobre la ranura hasta que esté en contacto con el tope mecánico.
- Atornillar el tornillo con el fin de fijar el *fixture* a la placa de la máquina.
- Debe verificarse el reconocimiento del *fixture* por los sensores inductivos en la pantalla que se encuentra en el panel frontal del equipo, indicando Modelo 1.
- El amplificador debe ajustarse de la siguiente manera:

- Primero presione el botón *Edit* del amplificador hasta que muestre la palabra *ADJ*.
- Luego presione el botón *Edit* una vez más.
- Haga uso de las flechas del amplificador para ajustar el valor requerido para que las fibras del amplificador detecten la cánula del catéter.
- Finalmente, deje presionado el botón *Edit* hasta que en el *display* del amplificador presente la palabra *RUN*.



Figura 8. *Fixture* Modelo 1.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)



Figura 9. *Fixture* Modelo 1.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

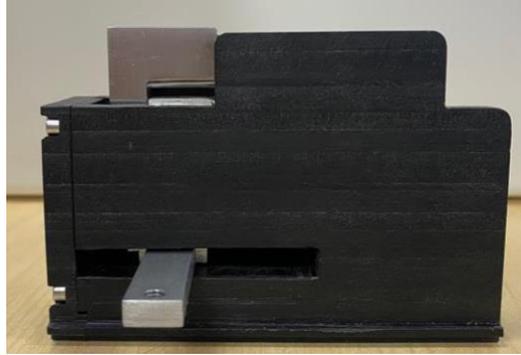


Figura 10. *Fixture* Modelo 1.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

Modelo 2

- Se coloca la placa en el carro de *Pull-Test*.
- Se atornilla el tornillo para fijar la placa al carro de *Pull-Test*.
- Debe colocarse el *fixture* de Modelo 2 deslizándolo sobre la ranura hasta que esté en contacto con el tope mecánico.
- Atornillar el tornillo con el fin de fijar el *fixture* a la placa de la máquina.
- Debe de verificarse el reconocimiento del *fixture* por los sensores inductivos en la pantalla que se encuentra en el panel frontal del equipo, indicando Modelo 2.
- El amplificador debe ajustarse de la siguiente manera:
 - Primero presione el botón *Edit* del amplificador hasta que muestre la palabra *ADJ*.
 - Luego presione el botón *Edit* una vez más.
 - Haga uso de las flechas del amplificador para ajustar el valor requerido para que las fibras del amplificador detecten la cánula del catéter.
 - Finalmente, deje presionado el botón *Edit* hasta que en el *display* del amplificador presente la palabra *RUN*.



Figura 11. *Fixture* Modelo 2.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

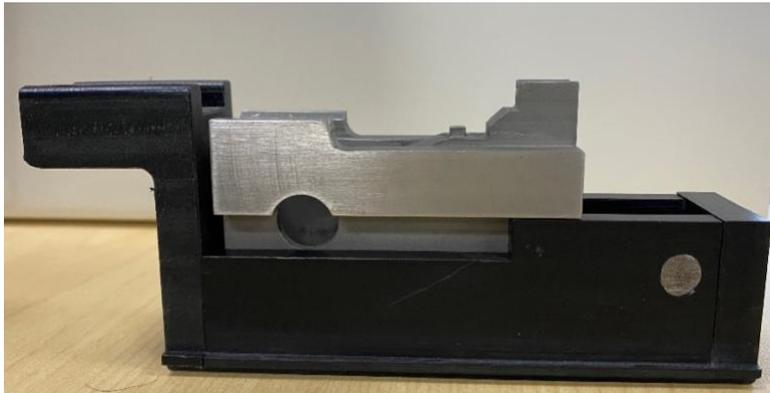


Figura 12. *Fixture* Modelo 2.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)



Figura 13. *Fixture* Modelo 2.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

Modelo 3

- Se coloca la placa en el carro de *Pull-Test*.
- Se atornilla el tornillo para fijar la placa al carro de *Pull-Test*.

- Debe colocarse el *fixture* de Modelo, 3 deslizándolo sobre la ranura hasta que esté en contacto con el tope mecánico.
- Atornillar el tornillo con el fin de fijar el *fixture* a la placa de la máquina.
- Debe verificarse el reconocimiento del *fixture* por los sensores inductivos en la pantalla que se encuentra en el panel frontal del equipo, indicando Modelo 3.
- El amplificador debe ajustarse de la siguiente manera:
 - Primero presione el botón *Edit* del amplificador hasta que muestre la palabra *ADJ*.
 - Luego presione el botón *Edit* una vez más.
 - Haga uso de las flechas del amplificador para ajustar el valor requerido para que las fibras del amplificador detecten la cánula del catéter.

Finalmente, deje presionado el botón *Edit* hasta que en el *display* del amplificador presente la palabra *RUN*.



Figura 14. *Fixture* Modelo 3.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

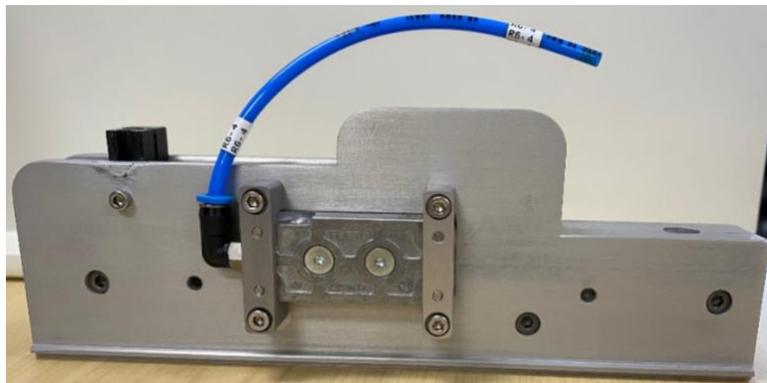


Figura 15. *Fixture* Modelo 3.
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

3.11 Funcionamiento

Encendido de la máquina

Una vez colocado el equipo en su sitio, para encender el equipo debe realizarse lo siguiente:

- Debe de girarse el interruptor de encendido en sentido de las manecillas del reloj un cuarto de vuelta para habilitar el paso de la energía eléctrica. Este interruptor se encuentra ubicado en la parte lateral del panel de control.
- Durante el encendido espere 40 segundos, mientras el controlador realiza el reconocimiento de todos los componentes periféricos. El equipo estará listo una vez que la pantalla se visualice que se ha finalizado de cargar la aplicación respectiva.
- Si durante el proceso de encendido la luz roja se enciende, esto es señal de que hay algún error en el sistema. Al suceder esto, aparecerá una alarma en la pantalla de alarmas confirmando el error.
- Parte del proceso de encendido del equipo consta en revisar la presión de aire que alimenta la máquina.
- Debe verificarse que el botón de paro de emergencia, que está ubicado en parte frontal de la máquina, no se encuentre accionado. Si estuviese accionado, el botón de paro de emergencia debe ser girado un cuarto de vuelta en sentido de giro de las manecillas del reloj para que este vuelva a su posición inicial. Una vez liberado el paro de emergencia debe presionarse el botón *RESET* en la pantalla de operación.

Una vez realizado el proceso anterior la máquina esta lista para ser utilizada indicándolo por medio de la luz verde.

Arranque

Antes de iniciar el ensamble de unidades el operador debe de solicitar a los técnicos el ajuste de la máquina. Principalmente, la colocación del *fixture* según el modelo a que se vaya a trabajar en la línea de producción.

Modos de operación

3.11.1.1 Modelo 1

Una vez ajustada la máquina para este modelo la secuencia de ejecución del ciclo se describe de la siguiente manera:

- Colocar el tope metálico en la ranura del *fixture*.
- Colocar el accionador en el *fixture*, este debe ser detectado por las fibras del amplificador que indica que el accionador está en posición.
- Se coloca el tornillo metálico en la punta del taladro.
- Se colocan las manos en cada sensor, uno para mano izquierda y otro para la mano derecha.
- Deben retirarse las manos de los sensores de la mano izquierda y derecha.
- Se inserta la cánula hasta que toque el pistón.
- Nuevamente se colocan las manos en los sensores de la mano derecha e izquierda. En este paso no deben retirarse las manos de los sensores hasta el final del ciclo.
- Una vez concluido el ciclo se retiran las manos de los sensores y la unidad ensamblada del *fixture* y se repite el proceso.
-

3.11.1.2 Modelo 2

Una vez ajustada la máquina para este modelo la secuencia de ejecución del ciclo se describe de la siguiente manera:

- Colocar el tope metálico dentro del accionador de plástico.
- Se coloca el tornillo metálico en la punta del taladro.
- Colocar el accionador en el *fixture*, este debe ser detectado por las fibras del amplificador que indica que el accionador está en posición.
- Se colocan las manos en cada sensor, uno para mano izquierda y otro para la mano derecha.
- Deben retirarse las manos de los sensores de la mano izquierda y derecha.
- Se inserta la cánula hasta que toque el pistón.

- Nuevamente se colocan las manos en los sensores de la mano derecha e izquierda. En este paso no deben retirarse las manos de los sensores hasta el final del ciclo.
- Una vez concluido el ciclo se retiran las manos de los sensores y la unidad ensamblada del *fixture* y se repite el proceso.

3.11.1.3 Modelo 3

Una vez ajustada la máquina para este modelo la secuencia de ejecución del ciclo se describe de la siguiente manera:

- Colocar el tope metálico en la ranura del *fixture*.
- Se coloca el tornillo metálico en la punta del taladro.
- Colocar el accionador en el *fixture*, este debe ser detectado por las fibras del amplificador que indica que el accionador está en posición.
- Se colocan las manos en los sensores de la mano derecha e izquierda. En este paso no deben retirarse las manos de los sensores hasta el final del ciclo.
- Una vez concluido el ciclo se retiran las manos de los sensores y la unidad ensamblada del *fixture* y se repite el proceso.

Durante el proceso de funcionamiento la máquina es capaz de revisar el estado del ensamble de la unidad, el resultado del torque como el resultado del *Pull-Test*. Si los resultados de ambas pruebas son satisfactorios, la luz verde del equipo va a iluminarse. De igual forma, si alguna de las dos pruebas no es satisfactoria la luz amarilla del equipo va a iluminarse; además, se presentará una alerta escrita en la pantalla que indica cuál fue el error para ser corregido. Una vez corregido el error, para continuar con el ensamble de piezas se presiona el botón *OK* de la pantalla de alarmas y seguidamente se presiona el botón *RESET*. El equipo identificará que ya no hay alarmas presentes por lo que la luz verde se va a volver a iluminar.

Paro de la máquina

La máquina cuenta con diferentes modos de paro del equipo, por ejemplo, la máquina se detiene de forma automática una vez que haya finalizado el ciclo. Sin embargo, si en el desarrollo del ciclo se presenta alguna alarma, la máquina determinará de forma automática si la misma

detiene el ciclo de operación o continúa con el ciclo. Si se detiene, debe presionarse el botón de *RESET* en pantalla por 2 segundos, con esto la máquina regresa a su punto de inicio o *Home*.

Paro de emergencia

Si durante la operación de la máquina de torque, esta requiere ser detenida por alguna situación de emergencia, solo debe presionarse el botón de paro de emergencia. Una vez accionado el paro de emergencia, la máquina cerrará la válvula principal de aire comprimido y suspende el ciclo de máquina que se esté ejecutando.

Cuando esto sucede operario debe actuar de la siguiente manera:

- Revisar el estado en la que el sistema se detuvo, retirar las partes de producto del *Fixture* y del sistema de atornillado.
- Para restablecer la falla, debe desactivarse el botón de paro de emergencia y, posteriormente, presionar el botón en pantalla de *RESET* por 2 segundos para el restablecimiento de la máquina.
- Ejecutar el procedimiento de arranque normal.

Apagado

En caso de necesitar apagar el equipo por completo debe seguirse el siguiente procedimiento:

- Debe ejecutarse el proceso de parada como el descrito en la sección 2.7.12.2.3.
- Debe moverse el interruptor de encendido a la posición de apagado, girándolo un cuarto de vuelta en sentido contrario a las manecillas del reloj.

3.12 Puntos LOTO

El sistema se encuentra dotado por elementos que permiten la desconexión de la energía eléctrica y energía neumática para realizar trabajos de mantenimiento de manera segura. En cuanto

al manejo de la energía eléctrica, se cuenta con el interruptor principal ubicado en la parte lateral del gabinete de control. Para colocar el elemento de bloqueo solamente se gira un cuarto de vuelta el interruptor en sentido contrario a las manecillas de reloj, cuando alcanza la posición *OFF* el dispositivo deja abierto el espacio para la inserción del elemento de bloqueo.

Para restablecer la energía eléctrica debe retirarse el elemento de bloqueo y girar el interruptor un cuarto de vuelta en sentido de las manecillas del reloj. Con esta acción se reestablece la alimentación de energía eléctrica, así como la energía suministrada de aire comprimido.

3.13 Pantalla

La máquina posee diferentes funciones que se pueden controlar directamente desde la pantalla ubicada en la parte frontal de la máquina, tales como:

- Visualización de datos.
- Establecer parámetros del sistema.
- Visualizar alarmas.

Pantalla principal

La pantalla principal muestra los siguientes botones:

3.13.1.1 Botones de mando

- **Abortar:** Se utiliza cuando se decide que al iniciar un ciclo se desea “abortar” el mismo, por ejemplo, por mal posicionamiento del producto. Para que ejecute la acción presiónelo una vez para “abortar” el ciclo.
- **Reset:** Con este botón se actualiza el estado de la maquina por diferentes causas:
 1. Alarma generada en el proceso de ensamble.
 2. Alarma presente que no permite el funcionamiento de la máquina.

Una vez la alarma corregida, se actualizan los dispositivos y/o cilindros a la posición de funcionamiento óptimo. Si se necesita regresar al estado de inicio del ciclo de la máquina, presione este botón por 2 segundos.

- **Alarmas:** Con este botón al ser seleccionado muestra a la pantalla con la descripción de Alarmas.
- **Resultado *Pull-Test*:** Al presionar este botón se accesa a la pantalla de *Pull-Test*.
- **Mantenimiento:** Al presionar este botón se accesa a la pantalla de MANTENIMIENTO en la cual se da acceso a otra serie de pantallas.

Indicadores

- **Ciclo de máquina:** Es el tiempo en que dura la máquina por completar un ciclo, en este tiempo se incluye el ensamblaje y prueba de jalón de la unidad.
- **Ciclo de operario:** Es el tiempo total que dura el operador colocando las piezas para el ensamblado hasta que las retira para iniciar el siguiente ciclo.
- **Fixture:** En la pantalla de la máquina, este indica cual es el modelo que se está produciendo según el *fixture* instalado y detectado por los sensores inductivos. Ya sea modelo 1, modelo 2 o modelo 3; así se verán identificados en el *display* del equipo.
- **Máquina trabajando:** Indica mediante el parpadeo de luces cuando la máquina está en un ciclo de trabajo. Parpadeo de luz verde si la piza está correctamente ensamblada y roja si la pieza se ensambló mal.
- **Unidades:** Corresponde al contador de unidades ensambladas correctamente. Este puede visualizarse en el *display* del equipo.
- **Usuario:** Hace referencia al nivel de acceso en el que se encuentre el equipo trabajando según el usuario.

Mantenimiento

Al presionar el botón de mantenimiento en la pantalla principal se puede ingresar a diferentes elementos del equipo para su configuración respectiva.

3.13.1.2 Actuadores

Al presionar el botón de actuadores se ingresa a la pantalla en la cual pueden manipularse los diferentes cilindros neumáticos y a su vez pueden visualizarse su respectiva posición por medio del uso de los sensores. Estos son:

- **Deslizadera:** Este botón activa y/o desactiva la válvula que controla el cilindro de la deslizadera.
- **Tope Pistón:** Este botón activa y/o desactiva la válvula que controla el cilindro del Tope del pistón.
- **Deslizadera *Pull-Test*:** Este botón activa y/o desactiva la válvula que controla el cilindro de la deslizadera encargada de realizar la prueba de jalón.
- **Sujetador radial:** Este botón activa y/o desactiva la válvula que controla el cilindro de la del sujetador radial.
- **Sujetador de sujeción:** Este botón activa y/o desactiva la válvula que controla el cilindro el sujetador de sujeción.
- **Eje Vertical:** Este botón, al ser presionado, realiza el movimiento hacia arriba o hacia abajo del torquímetro según se seleccione el sentido.
- **Eje Horizontal:** Este botón, al ser presionado, realiza un movimiento hacia atrás o delante de la deslizadera de la prueba de jalón en caso de necesitar cambiar el *fixture*.

3.13.1.3 Producción

Presionando el botón de producción se ingresa a la pantalla en la cual se pueden visualizar los contadores de unidades producidas según los criterios de piezas buenas o malas.

- **Unidades Buenas:** Contador que indica la cantidad de unidades producidas en buenas condiciones.
- **Unidades Malas:** Contador que indica la cantidad de unidades producidas en malas condiciones.
- **Restablecer Contadores:** Este botón reestablece los contadores de unidades buenas y malas.

3.13.1.4 Parámetros

Presionando el botón de parámetros se ingresa a la pantalla en la cual se puede ingresar a los parámetros de operación según cada modelo:

Modelo 1: Presionando el botón parámetros Modelo 1 se visualiza lo siguiente:

- **Fuerza Prueba Jalón:** Es la fuerza aplicada al realizar el halado de la cánula una vez ensamblado el producto.
- **Tiempo Prueba Jalón:** Es el tiempo que dura la prueba de jalón una vez alcanzada la fuerza programada en la opción de Fuerza Prueba Jalón.
- **Posición Max Prueba Jalón:** Es la posición máxima de desplazamiento aceptada para la prueba de jalón. Con este parámetro se mide a partir de la prueba de jalón si la pieza ensamblada esta conforme o no.
- **Posición Inicial Eje Vertical:** Es la posición de inicio del torquímetro en el eje vertical.
- **Posición Inicio Eje Horizontal:** Es la posición de inicio del eje horizontal.

Modelo 2: Presionando el botón parámetros Modelo 1 se visualiza lo siguiente:

- **Fuerza Prueba Jalón:** Es la fuerza aplicada al realizar el halado de la cánula una vez ensamblado el producto.
- **Tiempo Prueba Jalón:** Es el tiempo que dura la prueba de jalón una vez alcanzada la fuerza programada en la opción de Fuerza Prueba Jalón.
- **Posición Max Prueba Jalón:** Es la posición máxima de desplazamiento aceptada para la prueba de jalón. Con este parámetro se mide a partir de la prueba de jalón si la pieza ensamblada está conforme o no.
- **Posición Inicial Eje Vertical:** Es la posición de inicio del torquímetro en el eje vertical.
- **Posición Inicio Eje Horizontal:** Es la posición de inicio del eje horizontal.

Modelo 3: Presionando el botón parámetros Modelo 1 se visualiza lo siguiente:

- **Fuerza Prueba Jalón:** Es la fuerza aplicada al realizar el halado de la cánula una vez ensamblado el producto.
- **Tiempo Prueba Jalón:** Es el tiempo que dura la prueba de jalón una vez alcanzada la fuerza programa nada en la opción de Fuerza Prueba Jalón.
- **Posición Max Prueba Jalón:** Es la posición máxima de desplazamiento aceptada para la prueba de jalón. Con este parámetro se mide a partir de la prueba de jalón si la pieza ensamblada esta conforme o no.
- **Posición Inicial Eje Vertical:** Es la posición de inicio del torquímetro en el eje vertical.
- **Posición Inicio Eje Horizontal:** Es la posición de inicio del eje horizontal.

3.13.1.5 Acceso

Los dos niveles de acceso son el de operario y el de ingeniería. El nivel de acceso del operario está activado por *default* durante todo el tiempo de producción, en este nivel el operario solo puede manipular las alarmas para tener conocimiento de lo que está sucediendo y tener oportunidad de corregirlas.

El nivel de ingeniería se ingresa presionando el botón de acceso, el cual desplegará una pantalla para el ingreso del usuario por medio de nombre y contraseña. Una vez finalizado el registro de usuario se desbloqueará el nivel de acceso en el cual solo los técnicos o personal autorizado pueden ingresar. Con ese acceso se habilita la opción de realizar modificaciones en la máquina, por ejemplo, parámetros y actuadores.

Alarmas por falla

En la pantalla de alarmas se muestran un histórico de las alarmas que se activan durante el proceso de producción de unidades. De igual forma el sistema cuenta con la aparición de una notificación cada vez que sucede un fallo indicando la alarma. Esto sucede durante el ciclo de

producción por automonitoreo de las condiciones operativas. A continuación, se describen las posibles fallas:

3.13.1.6 Fallo de sujetador de sujeción por no cerrar

Condición: Indica que el sujetador de sujeción no se cerró adecuadamente, este se encarga de sujetar la cánula para realizar la prueba de jalón.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en el Módulo CTSL16.
- Revisar el estado del hule y los porta hule del sujetador.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.

3.13.1.7 Fallo de sujetador de sujeción por no abrir

Condición: Indica que el sujetador de sujeción no abrió adecuadamente, este es el que sujeta la cánula para realizar la prueba de Pull Test.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en el Módulo CTSL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.

3.13.1.8 Fallo de sujetador radial por no cerrar

Condición: Indica que el sujetador radial no cerró adecuadamente, este realiza la alienación de la cánula para el ensamble de la unidad.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el cobertor del sujetador radial del *fixture* que no esté obstruyendo el funcionamiento del cilindro.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del PLC.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.

3.13.1.9 Fallo de sujetador radial por no abrir

Condición: Indica que el sujetador radial no abrió adecuadamente, este realiza la alienación de la cánula para el ensamble de la unidad.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar que el cobertor del sujetador radial del *fixture* no esté obstruyendo el funcionamiento del cilindro.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del PLC.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.

3.13.1.10 Fallo de tope adelante

Condición: Indica que el pistón de tope no se extendió hacia adelante adecuadamente, este realiza como tope de la cánula una vez que se insertó.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del Módulo CTL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.

3.13.1.11 Fallo de tope atrás

Condición: Indica que el pistón de tope no se retrajo hacia atrás adecuadamente, este realiza como tope de la cánula una vez que se insertó.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del Módulo CTL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se desactive.

3.13.1.12 Fallo de deslizadera de Pull-Test adelante

Condición: Indica que la deslizadera de *Pull-test* no se extendió hacia adelante adecuadamente, este ayuda a ser una guía para la prueba de jalón.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del Módulo CTL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.
- Revisar el correcto montaje de las piezas.

3.13.1.13 Fallo de deslizadera de *Pull-Test* atrás

Condición: Indica que la deslizadera de *Pull-test* no se retrajo hacia atrás adecuadamente, este ayuda a ser una guía para la prueba de jalón.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del Módulo CTL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se desactive.

3.13.1.14 Fallo de deslizadera adelante

Condición: Indica que la deslizadera no se extendió hacia adelante correctamente.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del Módulo CTL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se active.

3.13.1.15 Fallo de deslizadera atrás

Condición: Indica que la deslizadera no se retrajo hacia atrás correctamente.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del sensor.
- Revisar el estado del cable, así como el conector correspondiente en la entrada del Módulo CTL16.
- Revisar que la válvula correspondiente se desactive.

3.13.1.16 Fallo de eje vertical

Condición: Indica que el eje vertical del equipo cuenta con una falla de desplazamiento.

Solución:

- Revisar el montaje mecánico del eje.
- Revisar el montaje mecánico del torquímetro en el eje.
- Revisar el estado del cable y su conexión al motor y al *encoder*.

Condición: Indica que el eje vertical del equipo cuenta con una falla de comunicación con el PLC.

Solución:

- Revisar alimentación eléctrica del control del motor.
- Revisar el cableado de los conectores del control del motor.

- Revisar el estado del cable y su conexión al motor y al *encoder*.

3.13.1.17 Fallo de eje horizontal

Condición: Indica que el eje horizontal del equipo cuenta con una falla de desplazamiento.

Solución:

- Revisar el montaje mecánico del eje.
- Revisar el montaje mecánico del *fixture* y sus accesorios.
- Revisar el estado del cable y su conexión al motor y al *encoder*.
- Revisar el montaje mecánico de la deslizadera de *Pull-Test*.

Condición: Indica que el eje horizontal del equipo cuenta con una falla de comunicación con el PLC.

Solución:

- Revisar alimentación eléctrica del control del motor.
- Revisar el cableado de los conectores del control del motor.
- Revisar el estado del cable y su conexión al motor y al *encoder*.

3.13.1.18 Fallo paro emergencia activado

Condición: Indica que el paro de emergencia esta activado.

Solución:

- Revisar el cableado del sistema de paro de emergencia.
- Revisar el conector en la entrada del Módulo CTL16.

3.13.1.19 Fallo bajo nivel de aire comprimido

Condición: Indica que el nivel de presión del aire comprimido está por debajo de 95 PSI.

Solución:

- Revisar el cableado del sensor de presión.
- Revisar el conector correspondiente en la entrada del PLC.

- Revisar la presión de línea de aire comprimido que este igual o mayor que 95 PSI.

3.13.1.20 Fallo accionador mal colocado

Condición: Indica que el accionador fue mal colocado en el *fixture*. Solo para el Modelo 1.

Solución:

- Revisar el ajuste mecánico del amplificador.
- Revisar el estado y ajuste mecánico de la fibra óptica.

3.13.1.21 Fallo de roscado

Condición: Indica que tornillo no fue correctamente roscado a las piezas que se colocaron en el *fixture*.

Solución:

- Revisar que el accionador fue colocado correctamente
- Revisar de que no haya una obstrucción en el *fixture* que impida el atornillado de la pieza.
- Revisar la condición de las piezas a ensamblar; que estén conformes y no presenten alguna deformidad.
- Revisar el montaje mecánico del *fixture*.

3.14 Comunicaciones

Para este equipo está implementándose el uso del software *Ignition* para el almacenaje de data que es transmitida por medio del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP. Por medio del mecanismo de comunicación estándar OPC, el software *Ignition* es capaz de conectarse con varios tipos de PLCs, entre ellos el PLC FESTO modelo CECC-LK que se utilizó para este proyecto.

Una vez configurado el software, se mapean las variables que quieren recolectarse, en el caso de este proyecto, las variables son el porcentaje de torque aplicado en la operación y el resultado de la prueba de jalón si pasa o falla.

Seguidamente, se realiza la configuración del nombre de la conexión en el software *Ignition* y se le agrega la dirección IP del PLC FESTO modelo CECC-LK. Todo el proceso de transmisión de datos desde el equipo de Torque Semiautomático a la Base de Datos se visualiza como en la imagen de a continuación:

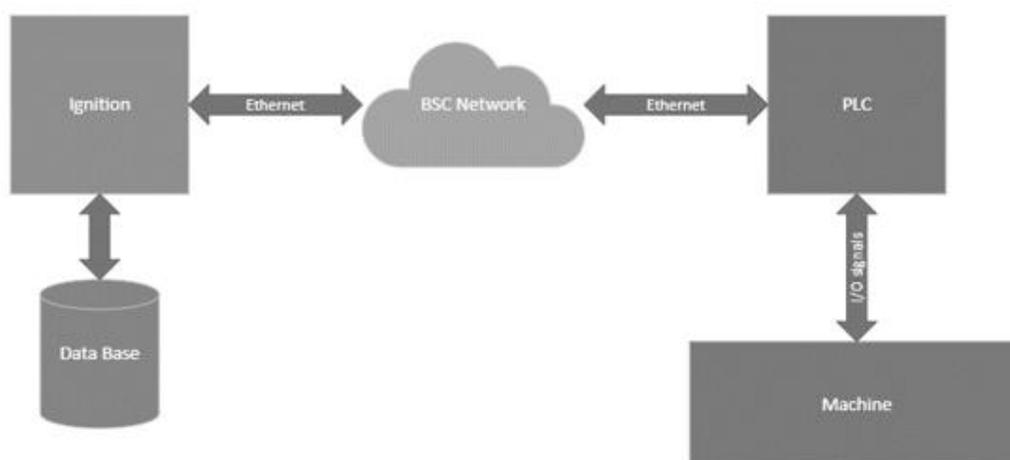


Figura 16. Diagrama de transmisión de Datos de la estación de Torque Semiautomático
Fuente: (Boston Scientific, 2022)

3.15 Formulación de experimento

El equipo de torque semiautomático surgió como una necesidad para la reducción de los eventos de seguridad que ocurrían en la estación de Torque Manual. Debido a esto se analizó la incidencia del equipo con cada uno de los primeros auxilios que sucedieron en esta estación; por otro lado, también se examinaron las quejas de los operarios. Gracias a que el Departamento de EH&S lleva un registro de cada evento de seguridad ocurrido en la empresa, se evidenció que la tendencia por eventos de seguridad en la estación de Torque Manual iba al alza. Por lo anterior, se realizaron reuniones internas con el equipo de ingenieros del área para establecer como prioridad, el desarrollo de un proyecto relacionado al torque y así solventar estos eventos.

Cada ingeniero representante del área dio su opinión de lo que para ellos eran requisitos indispensables que la nueva máquina de Torque debía tener. Con estos requisitos y con el análisis de los eventos de seguridad, se conceptualizó un modelo de máquina de Torque que solventara los problemas previamente identificados. Tras esta conceptualización se contactó a un proveedor al cual se le expuso el caso y el concepto de equipo propuesto para que este continuara con la mecanización y automatización de la de máquina.

Se sostuvieron varias reuniones con el proveedor a lo largo de la realización de este proyecto, principalmente, para afinar detalles con respecto a la construcción el prototipo y los costos de fabricación de este. Uno de los principales retos en la fase de mecanización del equipo fue el atraso de los contenedores a nivel mundial debido a la pandemia del SARS-COV-2, que provocó atrasos en las importaciones de piezas necesarias para el equipo, atrasando así la entrega de la máquina prototipo.

Una vez finalizada la fase de mecanización y automatización del equipo de Torque Semiautomático, se realizaron pequeñas pruebas con el proveedor en las cuales se fabricó un número limitado de unidades para comprobar que el equipo era capaz de ensamblar unidades, así como para finiquitar detalles de funcionamiento de la máquina.

Más adelante, se realizó una nueva visita para retar el equipo contra el *checklist* de EH&S, el cual va punto por punto revisando diferentes condiciones de la máquina, por ejemplo, si hay puntos filosos en la estación, posibles zonas de atrapamiento, riesgos eléctricos, chequeo de sistema de paro de emergencia y ergonomía, entre otros.

Finalmente, previo al transporte del equipo a la planta de Boston Scientific, se realizaron pruebas con un operario para que tuviera la oportunidad de ensamblar unidades, dar su opinión y también entender cómo el operario interpretaba el equipo tras su primer encuentro con la máquina de Torque Semiautomático.

Tras las pruebas en las instalaciones del proveedor se realizaron unos últimos cambios al equipo y se procedió con el transporte de la máquina de Torque Semiautomático a las instalaciones

de la empresa. La instalación del nuevo equipo en la línea de producción fue sencilla, ya que en la fase de conceptualización se mapearon las medidas exactas para que el equipo nuevo cupiera en el espacio previamente ocupado por el Torque Manual en la línea de producción. Las mediciones previas hicieron que en el momento de la sustitución de los equipos no se dieran problemas y la acción consistió principalmente en conectar el equipo nuevo a la red de eléctrica y al ducto de aire comprimido.

Finalmente, tras la instalación del equipo en la línea de producción se corrieron órdenes especiales para realizar pruebas con cada uno de los diferentes modelos que normalmente se producen. El principal objetivo de las pruebas fue confirmar que efectivamente se eliminaran los riesgos que se identificaron en la máquina de Torque Manual y que la prueba de jalón se realizara al 100% de las unidades ensambladas por el prototipo de Torque Semiautomático.

Es necesario recordar la importancia de estas dos pruebas ya que representan los dos pilares del proyecto, a saber, la seguridad y la calidad. Una vez verificados estos dos pilares, por orden de importancia, se continuó con la realización de tomas de tiempos para el ensamble de unidades con el objetivo de determinar si el equipo de Torque Semiautomático es capaz de sustituir al equipo de Torque Manual con la producción diaria de unidades. Adicionalmente se aprovechó para definir el método de ensamble de unidades que mejor se apegue al tiempo establecido por los ingenieros industriales, que no presente un riesgo ergonómico para el operario y que tampoco ponga el riesgo la calidad del producto final.

3.16 Pruebas de comunicación

La fase de pruebas de comunicación del equipo con la red de Boston Scientific, se llevó a cabo con la participación de un operario que se encargó en la construcción de unidades para comprobar que cada unidad ensamblada se le realizara correctamente la prueba de jalón y que su resultado fuera enviado y almacenado por medio del protocolo de comunicación descrito en el Capítulo 2 en la sección 2.7. Tras realizar estas pruebas se emitió el reporte que se visualiza en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Resultados de comunicación

Date & Time	Torque Percentage	Result
6/8/2022 11:10	19	Pass
6/8/2022 11:11	19	Pass
6/8/2022 11:11	20	Pass
6/8/2022 11:11	20	Pass
6/8/2022 11:11	19	Pass
6/8/2022 11:12	19	Pass
6/8/2022 11:12	19	Pass
6/8/2022 11:12	17	Pass
6/8/2022 11:12	18	Fail
6/8/2022 11:13	17	Pass
6/8/2022 11:13	18	Pass
6/8/2022 11:13	18	Pass
6/8/2022 11:14	19	Pass
6/8/2022 11:17	18	Pass

Fuente. (Boston Scientific, 2022)

Este reporte muestra el porcentaje de torque aplicado a cada unidad y si la unidad pasó (*Pass*) la prueba de jalón o la falló (*Fail*). Analizando los resultados se determinó que la principal causa para que una unidad fallara la prueba de *Pull-Test* fue debido a la mala colocación de la unidad en el *fixture*. Al suceder esta condición, causa que los sujetadores de sujeción no capturaren la unidad al cerrarse, por lo tanto, no se registra la fuerza de jalón que se le aplica normalmente a la unidad ensamblada y por consecuente se registra como fallo.

3.17 Pruebas de toma de tiempos

Como ya previamente se estableció, esta máquina de Torque Semiautomático cuenta con la capacidad de ensamblar tres tipos modelos de equipos endoscópicos. Cada modelo se ajusta mediante la instalación de *fixtures* especiales de acuerdo con el diseño del producto.

Para la toma de tiempos de producción de unidades endoscópicas participaron tres operarios. Estas personas fueron selectas según su rendimiento en las líneas de producción. La primera persona sobrepasa la expectativa diaria de producción de unidades; la segunda, se encuentra en la media de producción diaria. La tercera persona cuenta con la condición de ser nueva en la empresa.

A cada uno de estos operarios se le midió su curva de aprendizaje, primero por el método de colocación de las piezas en el *fixture*, para definir cuál de los tres métodos presenta la curva más rápida de aprendizaje y que su vez sea la mejor técnica. Es importante resaltar que, para esta prueba de método, se realizó con el modelo que presenta más demanda de producción para la empresa, es decir, el modelo con el que más trabajan diariamente y están más familiarizados. La curva de aprendizaje se calculó mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$Y_n = Y_1 X_n^{\frac{\log(B)}{\log(2)}}$$

Ecuación 2

En donde:

- $Y_n =$ Tiempo de curva de aprendizaje.
- $Y_1 =$ Primer tiempo registrado.
- $X_n =$ Numero de prueba al que se quiere saber el tiempo.
- $B =$ Tasa de aprendizaje.

Al Operario 1 se le tomaron los tiempos de ensamble de 70 unidades, con estos tiempos se prosiguió al cálculo de B, lo cual indicó que la tasa de aprendizaje del Operario 1 fue de un 78%.

Tabla 2. Resultados Calculo de B para Operario 1

Calculo de B Modelo 1 - Operario 1				
Unidad anterior	Unidad duplicada	Valor Anterior	Valor Duplicado	Porcentaje %
1	2	56.47	48.01	0.85
2	4	48.01	30.5	0.64
4	8	30.5	24.94	0.82
8	16	24.94	18.5	0.74
16	32	18.5	15.08	0.82
32	64	15.08	12.76	0.85
La tasa de aprendizaje es de 78%			Promedio B	0.78

Fuente. Elaboración propia.

Con la tasa de aprendizaje calculada se continuó con el cálculo del número unidades que el Operario 1 debe producir para llegar al tiempo de 9 segundos, por unidad ensamblada, que es el

tiempo de propuesto por el Departamento de Ingeniería Industrial de la empresa. Como se ve en el gráfico a continuación, al Operario 1 le tomarían más de 150 unidades para estar por debajo de los 9 segundos.

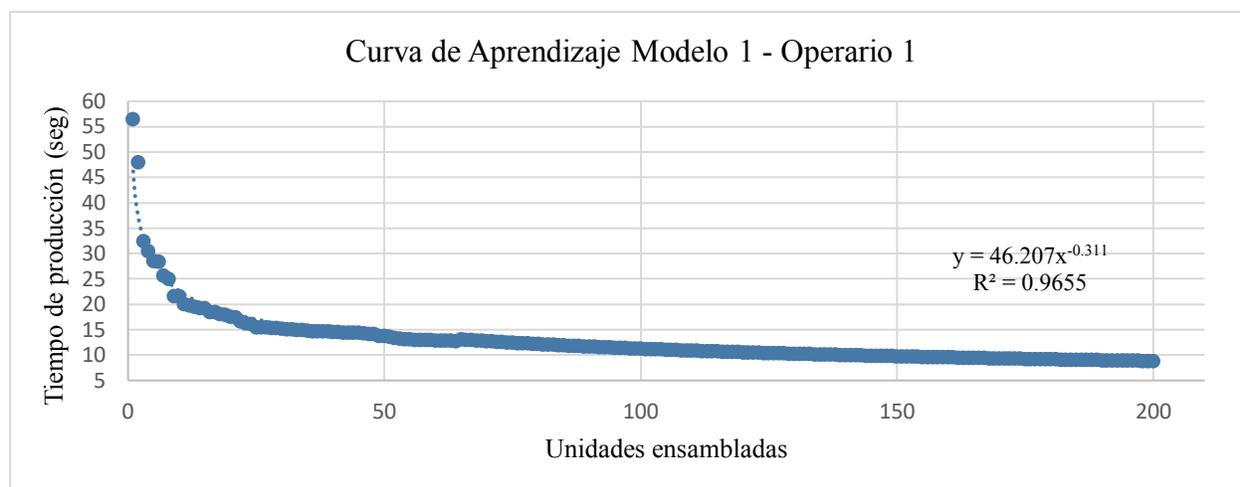


Figura 17. Curva de Aprendizaje del Operario 1.
Fuente. Elaboración propia.

De igual forma al Operario 2 se le tomaron los tiempos de ensamble de 70 unidades, con estos tiempos se prosiguió al cálculo de B, lo cual dio como resultado que su tasa de aprendizaje fue de un 85%.

Tabla 3. Resultados Cálculo de B para Operario 2

Cálculo de B Modelo 1 - Operario 2				
Unidad anterior	Unidad duplicada	Valor Anterior	Valor Duplicado	Porcentaje %
1	2	45.86	45.48	0.99
2	4	45.48	38.45	0.85
4	8	38.45	29.64	0.77
8	16	29.64	24.15	0.81
16	32	24.15	19.76	0.82
32	64	19.76	17.27	0.87
La tasa de aprendizaje es de 85%			Promedio B	0.85

Con esta tasa de aprendizaje se calculó el número de unidades que el Operario 2 debe producir para llegar al tiempo mínimo de 9 segundos por unidad ensamblada. Para el Operario 2 dio como resultado que debe ensamblar al menos 800 unidades para llegar al tiempo propuesto, a diferencia

del Operario 1 quien con 200 unidades producidas estaría muy por debajo de los 9 segundos. A continuación, se muestra la gráfica de la curva de aprendizaje del Operario 2.

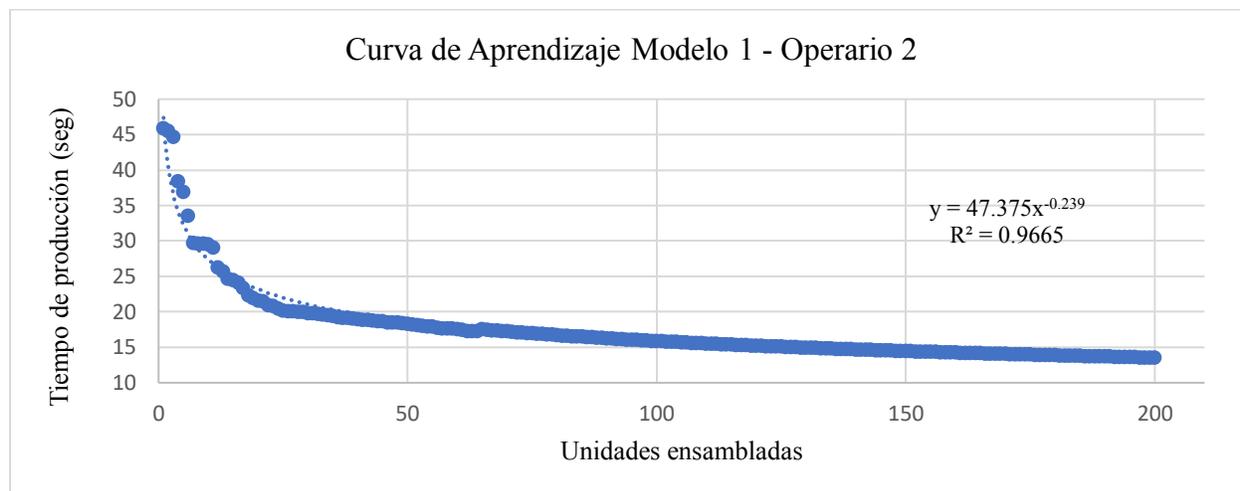


Figura 18. Curva de Aprendizaje del Operario 2.
Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, al Operario 3 se le tomaron los tiempos de ensamble de 70 unidades, con estos tiempos se prosiguió al cálculo de B, lo cual dio como resultado que la tasa de aprendizaje del Operario 3 fue de un 81%.

Tabla 4. Resultados Calculo de B para Operario 3.

Calculo de B Modelo 1 - Operario 3				
Unidad anterior	Unidad duplicada	Valor Anterior	Valor Duplicado	Porcentaje %
1	2	48.68	47.18	0.97
2	4	47.18	39.03	0.83
4	8	39.03	27.72	0.71
8	16	27.72	20.7	0.75
16	32	20.7	17.15	0.83
32	64	17.15	13.01	0.76
La tasa de aprendizaje es de 81%			Promedio B	0.81

Fuente. Elaboración propia.

Según la tasa de aprendizaje del Operario 3 tiene que ensamblar al menos 170 unidades para estar dentro los 9 segundos de producción por unidad, está en un aproximado de 20 unidades

atrás del Operario 1. El Operario 3 muestra mejor curva de aprendizaje que el Operario 2. A continuación, se muestra la curva de aprendizaje del Operario 3.

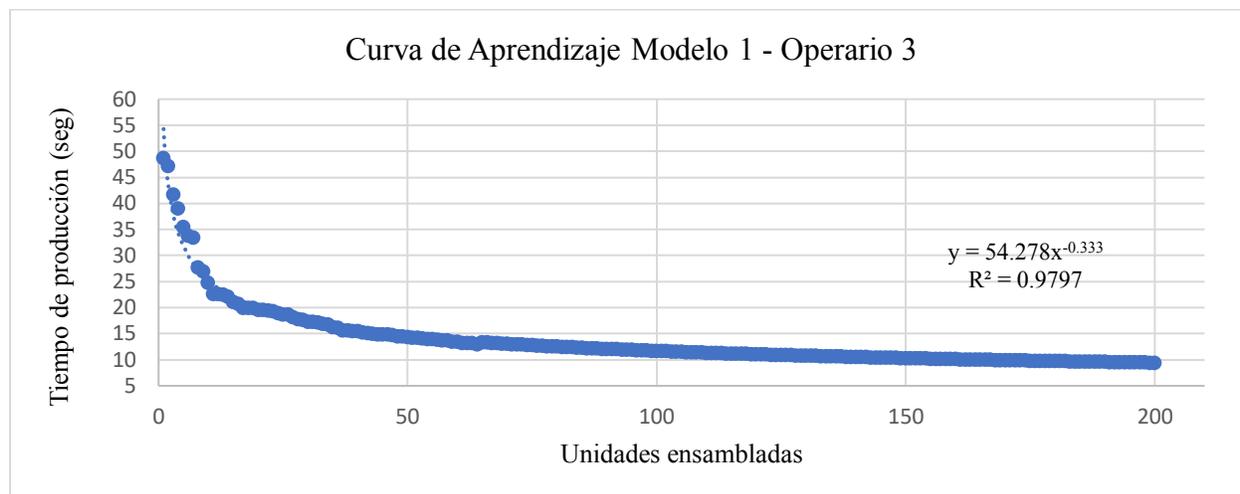


Figura 19. Curva de Aprendizaje del Operario 3.
Fuente. Elaboración propia.

Para el ensamblaje de las unidades a los tres operarios se les dejó utilizar el método que mejor les pareciera según su experiencia y según como se acomodaran mejor ergonómicamente, sin embargo, para el análisis de tiempos de producción mediante la curva de aprendizaje se determinó que el método que permitirá llegar más rápido a los 9 segundos es el del Operario 1. Seguidamente, estuvo el Operario 3 quien utilizó un método muy similar al del Operario 1 y, finalmente, el método más lento fue el Operario 2 quien utilizó un flujo de trabajo completamente distinto al de los otros dos operarios.

Cabe rescatar que al inicio de esta sección se aclaró que cada uno de estos operarios contaban con características distintas, las cuales fueron la razón por la cual se escogieron en primer lugar. Efectivamente, el Operario 1 es quien sobrepasa la expectativa diaria de producción de unidades y se entiende que su velocidad y entendimiento del proceso es un factor que incide en los tiempos de producción. No obstante, el Operario 3, quien estuvo muy similar en la curva de aprendizaje, es la persona con menos tiempo en la empresa. Ambos operarios utilizaron un método muy similar y esto ayudó a definir ese método como el ideal para trabajar con el equipo de Torque Semiautomático.

Una vez estandarizado el método de trabajo en la estación de Torque, se continuó con este ejercicio de cálculo de curvas de aprendizaje para los otros dos modelos. Para el Modelo 2, la curva de aprendizaje fue más amplia que la curva de los modelos 1 y 3 debido a que el diseño las unidades deben ensamblarse con más cautela. El análisis evidenció que con un promedio de 200 unidades no da el tiempo de producción requerido como sí sucede con el Modelo 1.

Para este modelo, la curva de aprendizaje se amplía a un promedio de 700 unidades. Esto se traduce a que el costo de entrenamiento para este modelo es mayor, debido al aumento en el número de unidades por ensamblar para que el operario logre cumplir con la producción. A continuación, la curva de aprendizaje para el Modelo 2:

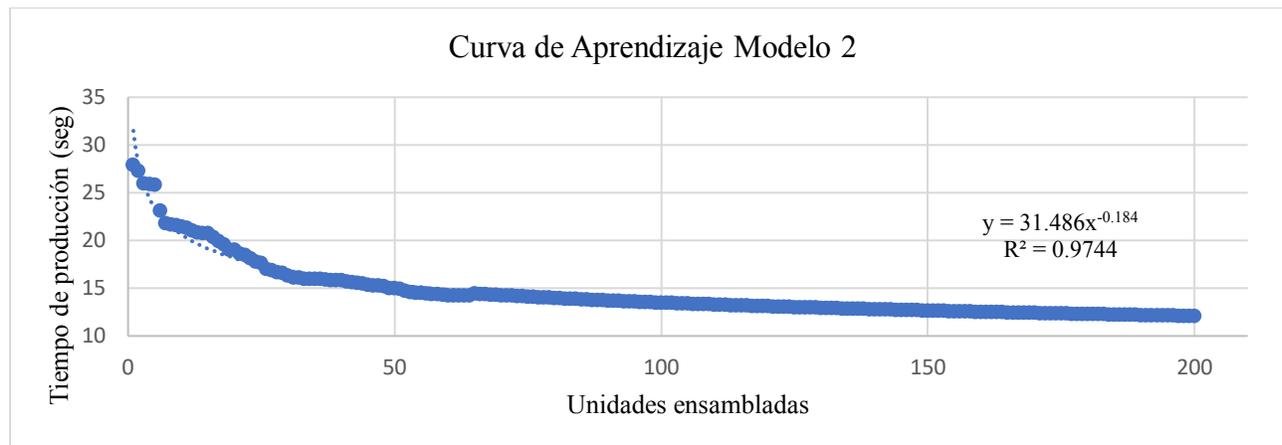


Figura 20. Curva de Aprendizaje del Modelo 2.
Fuente. Elaboración propia.

La curva de aprendizaje para el Modelo 3 es similar a la curva del Modelo 1. A pesar de que las curvas son similares, el proceso de formación para el tercer modelo necesita al menos del ensamblaje de 100 unidades más en comparación con el primer modelo para estar dentro del tiempo deseable de producción. En total, la cantidad de unidades es de 300. Este incremento en unidades para este modelo genera que su entrenamiento tome más tiempo y dinero. Ahora bien, este aumento no es tan dramático como lo es para el Modelo 2. A continuación, se ilustra la curva de aprendizaje para el Modelo 3:

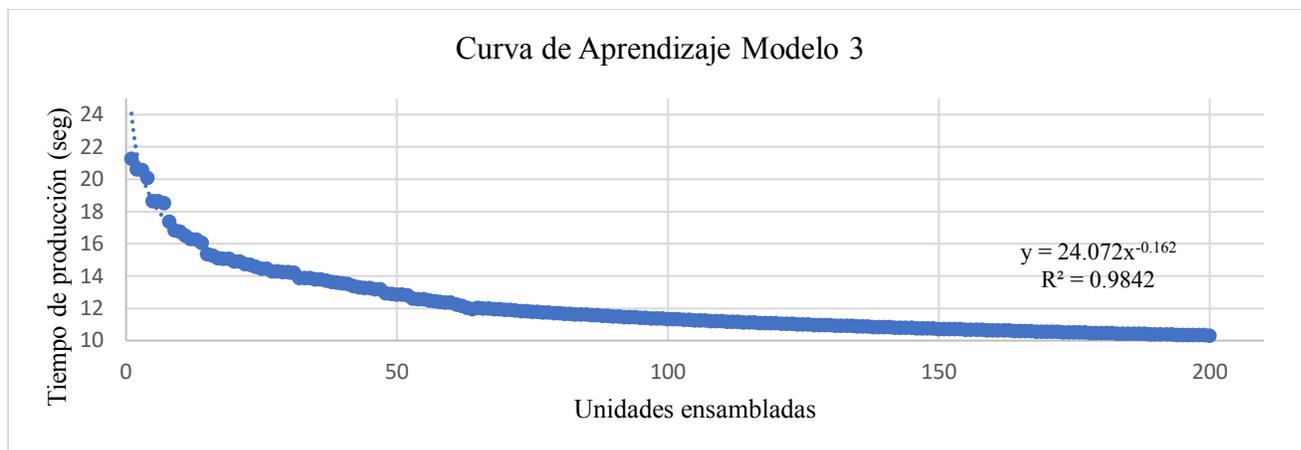


Figura 21. Curva de Aprendizaje del Modelo 3.
Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones

Se concluye que este proyecto cumple con los objetivos planteados debido a que logró desarrollarse un equipo que permite el ensamblaje de unidades sin que los operarios vean en riesgo su seguridad. El equipo de Torque Semiautomático se retó por medio de distintas pruebas y se confirmó que se eliminaron todas las condiciones de riesgo que presentaba la antigua estación de Torque Manual. Como parte de este proceso y con ayuda del Departamento de EH&S se calificó este equipo como seguro para ser utilizado en las líneas de producción.

Por parte del objetivo de la mejora de calidad, se cumplió ya que la máquina de Torque Semiautomático cuenta con un sistema para realizar las pruebas de jalón al 100% de las unidades producidas mediante una fuerza estandarizada. Con esto se elimina la prueba de jalón por pinza de la estación del Torque. Y no solo eso, los resultados de la prueba de jalón logran transmitirse en tiempo real a la base de datos de la empresa.

A partir de este proceso, los ingenieros de manufactura y calidad del área pueden mapear la condición de las unidades ensambladas y tomar acciones inmediatas en caso de una condición anormal. Gracias a este equipo se diseñó una ruta para que los nuevos equipos de la empresa puedan ser parte del programa *Smart Factory*.

El equipo de Torque Semiautomático fue entregado a Boston Scientific, este cumple con todos los requisitos que cada departamento del área planteó al inicio de este proyecto. Su implementación definitiva en las líneas de producción queda a discreción de la empresa, según el momento que sea más factible para realizar el cambio y genere menos impacto en la producción.

Recomendaciones

Como recomendación para la implementación de este proyecto en las líneas de producción, se necesita un mejor diseño del *layout* de las piezas con las que se trabajan en la estación, ya que la forma en la que están colocadas para la estación de Torque Manual no es la mejor para el equipo de Torque Semiautomático. La colocación actual genera que el operario no pueda trabajar de la forma más eficiente. Por ello, se recomienda el diseño de equipo adjunto tipo tolva que le facilite al operario el manejo de las piezas con las que trabaja en la estación, al ser entregadas en la misma posición en la que deben colocarse en el *fixture* del Torque Semiautomático.

De igual forma se recomienda que tras la instalación del equipo en la estación de la línea de producción, se haga un boquete a la mesa que permita que las piezas que se caen durante el proceso de ensamblaje vayan directo a este hueco y se almacenen en una especie de canasta, para que el operario no pierda el tiempo quitando piezas caídas en la estación. Con este cambio, el flujo de trabajo no se vería interrumpido y permitiría que al final del turno todas las piezas que cayeron, puedan ser recolectadas fácilmente.

Finalmente, se recomienda que antes de implementar la máquina de Torque Semiautomático se agende un espacio de entrenamiento con todos los operarios para explicar detenidamente las razones del cambio del equipo de Torque, también para demostrar cada modificación y cambio de tecnología que trae este equipo. La capacitación tendrá como propósito presentarles el nuevo método de ensamblaje con el que deben trabajar y despejar las dudas que tengan durante este entrenamiento.

Bibliografía

Creus Solé, A. (2011). *NEUMÁTICA E HIDRÁULICA*. Barcelona: Marcombo.

Google. (25 de June de 2022). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/place/Boston+Scientific+Coyol/@9.9894378,-84.2739826,2862m/data=!3m1!1e3!4m9!1m2!2m1!1sboston+scientific!3m5!1s0x8fa0f92c57c01461:0x862e1d6b001394f1!8m2!3d9.986403!4d-84.2613729!15sCg9ib3N0b24gc2NpZW5maWOSAQtYW51ZmFjdHVyZXI>

Mena, S., Muyulema, J. C., Bermeo, M., & Reyes, F. (2022). *La norma ISO 45001:2018 y la reducción de accidentabilidad en empresas resilientes. Una revisión sistemática*. La Libertad: AlfaPublicaciones.

Méndez, Y. (2020). *FÍSICA I*. Ciudad de México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

Organization, W. H. (2012). *Evaluación de las necesidades de dispositivos médicos*. Villars-sous-Yens: World Health Organization.

Ruiz Olaya, A., Barandica López, A., & Guerrero Moreno, F. (7 de June de 2011). *Ingeniería y Competitividad Revista Científica y Tecnológica*. Obtenido de Revista Ingeniería: https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2277

Sanchis, R., Romero, J., & Ariño, C. (2010). *Automatización industrial*. Castellón : UNIVERSITAT JAUME I.

Scientific, B. (25 de Jue de 2022). *Boston Scientific* . Obtenido de Boston Scientific : <https://bostonscientific.sharepoint.com/sites/intranet>

Serway, & Vuille. (2011). *College Physics*. Boston: Brooks/Cole.

Hoja Guarda