

Raúl Arjona Armisén

Automatización Test de Descargas Eléctricas (ESD)

TRABAJO DE FIN DE GRADO

dirigido por el Dr. Enric Vidal Idiarte

Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Lear Corporation por darme la oportunidad de realizar mi estancia de prácticas en una empresa de tan alto prestigio. De manera especial, quiero agradecer a mi tutor en la empresa, Marc Pijuan, por su constante apoyo y guía durante este periodo. Su conocimiento técnico y su calidad humana han sido una fuente constante de inspiración y motivación para mí, y he aprendido mucho bajo su tutela.

También quiero reconocer a todos mis compañeros de prácticas, quienes, aunque no han influido directamente en el desarrollo de mi proyecto, han sido una parte muy importante de esta experiencia. He podido realizar el proyecto en un ambiente de colaboración que ha hecho de esta etapa una de las más enriquecedoras de mi formación. La dedicación y entusiasmo que todos han mostrado han sido un ejemplo a seguir y han reforzado mi pasión por la ingeniería.

Un agradecimiento especial a mi tutor académico, Enric Vidal, por su inestimable apoyo y orientación a lo largo de este proyecto. Sus consejos, su dedicación y el interés constante que ha mostrado han sido fundamentales para la consecución de este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que, de una manera u otra, han formado parte de este proyecto, directa o indirectamente. A mis compañeros de equipo, por su colaboración y apoyo constante; a los proveedores, por su profesionalismo y la involucración en el proyecto; y a todos los colegas y profesionales con los que he tenido el placer de interactuar durante este tiempo.

Gracias a todos por hacer posible este logro y por el apoyo brindado en cada etapa del camino.

Resumen

El proyecto Automatic ESD Tool surge como respuesta a la necesidad de optimizar la realización del test de descargas electrostáticas (ESD). Mediante un sistema robótico, se busca reemplazar al ingeniero actualmente asignado a esta tarea y garantizar así la seguridad y repetibilidad del proceso.

En el desarrollo del proyecto, se lleva a cabo un estudio exhaustivo de las normativas y limitaciones del proceso, así como un análisis del mercado y de las posibles soluciones. Como resultado, se materializa un prototipo basado en un brazo robótico que sostiene el simulador ESD y que requiere algunas modificaciones adicionales en la zona de pruebas.

Este sistema automático es capaz de ejecutar de manera autónoma la parte más significativa del Test ESD, reduciendo la necesidad de interacción directa con el ingeniero y generando beneficios tanto en términos laborales como económicos.

Resum

El projecte Automatic ESD Tool neix com a resposta a la necessitat d'optimitzar la realització de proves de descàrrega electrostàtica (ESD). Mitjançant un sistema robòtic, es pretén substituir l'enginyer actualment assignat a aquesta tasca i assegurar la seguretat i repetibilitat del procés.

En el desenvolupament del projecte, es duu a terme un estudi exhaustiu de les normatives i limitacions del procés, així com un anàlisi del mercat i de les possibles solucions. Com a resultat, es materialitza un prototip basat en un braç robòtic que sosté el simulador ESD i que requereix algunes modificacions addicionals en la zona de proves.

Aquest sistema automàtic és capaç d'executar de manera autònoma la part més significativa de la prova ESD, reduint la necessitat d'interacció directa amb l'enginyer i generant beneficis tant en termes tant laborals com econòmics.

Abstract

The Automatic ESD Tool project arises in response to the need to optimize the execution of electrostatic discharge (ESD) tests. Through a robotic system, it aims to replace the engineer currently assigned to this task and ensure process safety and repeatability.

During the project development, an exhaustive study of regulations and process limitations is conducted, along with an analysis of the market and potential solutions. As a result, a prototype based on a robotic arm holding the ESD simulator is realized, requiring additional modifications to the setup.

This automated system can autonomously perform the most significant part of the ESD test, reducing the need for direct interaction with the engineer and yielding both labor and economic benefits.

Contenidos

1. Introducción.....	5
1.1. Empresa: <i>Lear CORPORATION</i>	5
1.2. Objetivos:	6
1.3. Estructura del proyecto.....	6
1.4. Estado del Arte.....	7
1.5. Definiciones y abreviaturas	8
1.5.1. Definiciones.....	8
1.5.2. Abreviaturas	9
2. Marco teórico:	10
2.1. Test ESD:.....	10
2.1.1. Test Funcional:	11
2.1.2. Test de paramétricos:	11
2.1.3. Descargas ESD:	12
2.2. Simulador ESD:	16
2.3. Laboratorio	17
2.3.1. Laboratorio <i>Pre-Compliance</i>	17
2.3.2. Laboratorio de validación ESD	17
3. Desarrollo de la solución.....	18
3.1. Requisitos de diseño:.....	18
3.1.1. Limitaciones de la prueba	18
3.1.2. Limitaciones ISO y enmienda	20
3.1.3. Limitaciones adicionales.....	20
3.2. Análisis de las soluciones	22
3.2.1. Sistema Robótico:.....	22
3.2.2. Módulo:.....	24
3.2.3. Set-up.....	25
3.3. Propuesta final	26
3.3.1. Automatic ESD Tool.....	26
3.3.2. Ejecución del proceso automatizado.....	27
3.3.3. Coste total.....	28
3.4. Desarrollo del prototipo.....	29
3.4.1. Elementos del Prototipo	29
3.4.2. Pruebas y validación:	30
3.5. Resultados.....	36
3.5.1. Eficiencia del proceso	36
3.5.2. Viabilidad del sistema.....	37

4. Conclusiones.....	38
4.1. Conclusiones Técnicas	38
4.2. Conclusiones Personales.....	39
5. Referencias Bibliográficas	40
Anexo 1 – Reformulación Objetivo.....	43
Anexo 2 – Onyx 30.....	44
Anexo 3 – Prueba Experimental.....	45
Anexo 4 – Recursos	46
Diseño	46
FreeCAD.....	46
Blender	47
Catia	47
Esquemático	48
ViseCAD	48
Programación.....	48
PyCharm.....	48
Organización.....	49
Mural.....	49
Pack Office	49
Anexo 5 – Extremidad	50
Anexo 6 – Evaluación de Riesgos	51
Anexo 7 – Código.....	52
Anexo 8 – Encuesta Test ESD.....	53
Reflexión encuesta.....	56

Lista de Figuras

Figura 1: Banner Lear	5
Figura 2: Test ESD - ISO 10605 ^[31]	11
Figura 3: Representación medición paramétricos.....	12
Figura 4: ONYX 30 - Simulador ESD.....	16
Figura 5: Detectus AB RQ642EH ^[16]	22
Figura 6: Brazo robótico industrial - YA-R3F ^[18]	23
Figura 7: Brazo robótico colaborativo – UR5e ^[58]	23
Figura 8: SCARA ^[28]	24
Figura 9: Gráfica error relativo posicionamiento CoordX (todas las descargas)	31
Figura 10: Gráfica error relativo posicionamiento CoordY (todas las descargas)	31
Figura 11: Gráfica error relativo posicionamiento CoordX (media por pin)	32
Figura 12: Gráfica error relativo posicionamiento CoordY (media por pin)	32
Figura 13: Gráfica Fuerza de Contacto (todas las descargas)	34
Figura 14: Gráfica Fuerza de Contacto (media por pin)	34
Figura 15: ONYX 30 – Simulador ESD Disponible.....	44
Figura 16: Respuestas pregunta 1 encuesta	53
Figura 17: Respuestas pregunta 2 encuesta	54
Figura 18: Respuestas pregunta 3 encuesta	54
Figura 19: Respuestas pregunta 4 encuesta	55
Figura 20: Respuestas pregunta 5 encuesta	55

Lista de Tablas

Tabla 1: Tiempos simulación	33
-----------------------------------	----

1. Introducción

El proyecto Automatic ESD nace de la necesidad de optimización de la realización del test ESD. En la actualidad, este proceso es esencial para la industria electrónica y automotriz, dado que evalúa la capacidad de los dispositivos de soportar descargas sin sufrir daños y garantiza la durabilidad y fiabilidad de los productos.

Sin embargo, los métodos actuales para realizar estos tests suelen ser manuales y propensos a errores humanos, afectando la consistencia y precisión de los resultados. Además, el proceso manual es lento y laborioso, lo que limita la eficiencia en entornos de producción donde se requieren numerosas pruebas continuas y en ocasiones, paraliza el ritmo esperado de validación.

En este contexto, se propone el desarrollo de un sistema capaz de realizar de manera autónoma el test, permitiendo así una estandarización de los procedimientos, eliminando la variabilidad y los errores asociados con la intervención humana y optimizando al máximo el tiempo de ejecución.

1.1. Empresa: *Lear CORPORATION*

Lear Corporation es una empresa global, líder en el diseño y fabricación de tecnologías relacionadas con el vehículo. Sus dos sectores principales son los sistemas de asiento y los componentes electrónicos. Actualmente, la empresa cuenta con más de 100 años de experiencia y ya desde sus inicios se mostraba implicada con el progreso y la sostenibilidad, marcándose objetivos ambiciosos en relación con la disminución de las emisiones de carbono.



Figura 1: Banner Lear

En la actualidad, la multinacional americana, cuenta con un total de 253 plantas distribuidas en 37 países. Este proyecto se ha desarrollado en las inmediaciones de Valls, dedicadas principalmente al ámbito de *E-Systems* basado en el desarrollo de componentes electrónicos, gracias a la planta de manufactura de la que dispone.

La planta de Valls está destinada a la venta, marketing, finanzas, legislación y manufactura de componentes electrónicos y plásticos. Se pueden encontrar alrededor de los 1000 trabajadores, divididos en diferentes sectores como *Advanced Engineering*, *Cybersecurity*, *Management*, *Systems*, ... El proyecto se ha desarrollado conjuntamente al equipo de *Hardware*, más concretamente del *EMC Laboratory*.

1.2. Objetivos:

Los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Diseñar un sistema autónomo que automatice la parte más significativa del test ESD, específicamente las descargas *unpowered* (incluyendo paramétricos). Se recomienda consultar el [Anexo 1 – Reformulación Objetivo](#).
- Evaluar la viabilidad del sistema en conformidad con las normativas vigentes y con los diferentes escenarios habituales documentados en las enmiendas de los clientes.
- Demostrar la viabilidad técnica del sistema, asegurando precisión, repetibilidad y monitoreo constante, así como la interacción adecuada entre todos los elementos del sistema.
- Reducir el tiempo de ejecución del test ESD, mostrando una mejora en la eficiencia del proceso.
- Comprobar la viabilidad económica del producto, asegurando que sea rentable.
- Evaluar los riesgos asociados al sistema y proponer medidas de seguridad para mitigarlos o eliminarlos.
- Desarrollar un prototipo que simule la implementación final del sistema.
- Desarrollar el código necesario para generar el fichero de coordenadas que el sistema interpretará.

1.3. Estructura del proyecto

El proyecto comienza con una introducción a los Test ESD, donde se explica en qué consiste el proceso, se mencionan los diferentes elementos involucrados y se describe el entorno en el que se lleva a cabo la validación.

A continuación, la investigación se orienta hacia la búsqueda de soluciones para el sistema automático, detallando los pros y los contras de cada alternativa y derivando en la selección de una solución final.

Por último, se desarrolla un prototipo funcional que permite la realización de una serie de pruebas que ayudarán a demostrar la funcionalidad y viabilidad del sistema planteado.

Finalmente, se desarrolla un prototipo funcional que permite realizar una serie de pruebas para demostrar la funcionalidad y viabilidad del sistema propuesto.

Para facilitar la lectura del trabajo, se han utilizado anexos que recogen todos aquellos conceptos cruciales para el desarrollo del proyecto, cuya inclusión en el cuerpo principal podría dificultar la fluidez de lectura del documento. Se recomienda consultar los anexos cuando se indique en el texto, ya que proporcionarán al lector una mejor comprensión de los conceptos y del desarrollo del proyecto.

1.4. Estado del Arte

La automatización de los test ESD ha avanzado significativamente, proporcionando soluciones que mejoran la precisión, la repetibilidad y la eficiencia de las pruebas de dispositivos electrónicos.

Actualmente, el mercado ofrece una variedad de sistemas automatizados que permiten la realización de pruebas ESD de manera estandarizada y con altos niveles de precisión. Entre los productos destacados se encuentran el ES620 Automated ESD Test System de Thermo Fisher Scientific, el EM Test Dito de EM Test (parte de Ametek CTS) y el ZapMaster de KeyTek (Thermo Fisher Scientific). Sin embargo, estos sistemas avanzados presentan ciertas limitaciones que afectan su aplicabilidad y eficiencia.

En primer lugar, la mayoría de las herramientas ESD automáticas están diseñadas para pruebas específicas y son difícilmente adaptables a todos los tipos de módulos o configuraciones. Esta falta de adaptabilidad limita su uso en entornos donde la diversidad de componentes es alta, ya que cada tipo de módulo puede requerir ajustes y configuraciones particulares.

Además, muchos de estos sistemas requieren configuraciones predeterminadas para cada tipo de prueba, lo que implica ajustes manuales y tiempo adicional para reconfiguraciones. Este proceso manual no solo consume tiempo, sino que también introduce la posibilidad de errores humanos, lo que puede afectar a la precisión y consistencia de las pruebas.

Los costes asociados con estos sistemas automatizados también son un factor significativo. La adquisición inicial de estos equipos suele ser elevada y, además, los costes de mantenimiento son considerables. Esto conlleva que algunas organizaciones con presupuestos reducidos no puedan adquirirlos, haciendo más significativa la brecha con organizaciones de mayor tamaño.

Otra limitación importante es que muchos sistemas están diseñados principalmente para realizar las pruebas en un estado determinado (*powered*). Esto puede no ser ideal en todas las situaciones y puede no representar todas las condiciones de uso real de los módulos. La capacidad de realizar pruebas en módulos sin alimentación (*unpowered*) es menos común, pero es crucial para evaluar completamente los módulos.

En definitiva, aunque los sistemas automatizados de prueba ESD disponibles en el mercado ofrecen mejoras significativas en términos de precisión y eficiencia, presentan limitaciones importantes en términos de adaptabilidad, configuración, costes y capacidades de prueba sin alimentación. Estas limitaciones sugieren la necesidad de desarrollar soluciones más flexibles y económicas que puedan adaptarse a una mayor variedad de módulos y proporcionar una evaluación más completa.

1.5. Definiciones y abreviaturas

1.5.1. Definiciones

Ánodo: electrodo donde ocurre la oxidación y los electrones salen del dispositivo. En términos de energía, el ánodo es la fuente de electrones.

Automatización: proceso mediante el cual se utilizan sistemas de control para operar equipos, procesos o procedimientos con mínima o ninguna intervención humana.

Cátodo: electrodo donde ocurre la reducción y los electrones entran en el dispositivo. En términos de energía, el cátodo es el receptor de electrones.

Cobot: robot diseñado para trabajar en la misma zona de trabajo que los humanos de manera segura, sin necesidad de barreras de protección.

Compatibilidad electromagnética: capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar correctamente en su entorno electromagnético sin causar ni sufrir interferencias electromagnéticas no deseadas.

DataFrame: estructura de datos tabular bidimensional en la biblioteca Pandas de Python. Es similar a una hoja de cálculo o una tabla de base de datos, donde los datos están organizados en filas y columnas.

Descarga electrostática: consiste en el flujo repentino y momentáneo de electricidad estática entre dos objetos de diferente potencial eléctrico, causado por el contacto, un corto o una ruptura dieléctrica.

Hazard Rating Number (HRN): cifra utilizada para evaluar y priorizar los riesgos asociados a diferentes peligros en un entorno, combinando factores como la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias.

Normas ISO: estándares internacionales que especifican y estandarizan los requisitos y procedimientos para diferentes tipos de pruebas.

Punto de equilibrio: momento económico en el que se produce el equilibrio entre los ingresos y los costes totales.

Set-up: configuración física y técnica necesaria para llevar a cabo pruebas o experimentos, que incluye la disposición de equipos, la conexión de dispositivos, la preparación de software y hardware, así como cualquier ajuste o calibración necesaria para garantizar que las pruebas se realicen de manera adecuada.

1.5.2. Abreviaturas

- **BCM:** *Body Control Module* o Módulo de Control de Carrocería.
- **CAD:** *Computer-Aided Design* o Diseño Asistido por Computadora.
- **EMC:** *Electromagnetic Compatibility* o Compatibilidad Electromagnética.
- **ESD:** *Electrostatic Discharge* o Descarga Electrostática.
- **GND:** *Ground* o tierra (referido al plano de masa).
- **HRN:** *Hazard Rating Number* o Número de Clasificación de peligro.
- **ISO:** *International Organization for Standardization* u Organización Internacional de Normalización.
- **RC:** Resistencia – Capacitancia.

2. Marco teórico:

En cualquier proyecto, la fase de búsqueda y familiarización de la información es un componente crítico en el proceso de investigación y desarrollo. Antes de proponer una solución, es esencial comprender el contexto y los antecedentes relacionados con el problema que se abordará. Esto se hace para situar el trabajo dentro del panorama existente, identificar lagunas en el conocimiento o áreas que requieran de una mayor investigación, evitar duplicar esfuerzos aprovechando los logros existentes y tener un criterio apto para evaluar la viabilidad de las ideas.

En este apartado, se recoge de manera detallada toda la información de importancia necesaria para la familiarización con el proyecto.

2.1. Test ESD:

La prueba de Descarga Electroestática es un procedimiento fundamental en la evaluación y validación de componentes electrónicos en la industria automotriz y otros sectores donde la integridad de los sistemas electrónicos es crítica. Esta prueba simula situaciones del mundo real donde la acumulación de cargas electrostáticas puede generar descargas, poniendo en riesgo la funcionalidad y la seguridad de los dispositivos electrónicos. Un evento ESD puede ocurrir en diversas etapas, desde la fabricación y el ensamblaje hasta el transporte y el uso final del producto.

La norma ISO 10605 [31] establece los requisitos y métodos de prueba para evaluar la resistencia de los sistemas eléctricos y electrónicos de vehículos a eventos ESD. Esta norma proporciona pautas específicas para la aplicación de descargas electrostáticas en vehículos automóviles, abordando la necesidad de un estándar común en la industria. En este documento, se definen los niveles de energía, las formas de onda y los procedimientos de prueba para simular condiciones del mundo real.

En términos generales, la norma establece un marco para la evaluación de la inmunidad de los sistemas a las descargas electrostáticas, garantizando que los componentes electrónicos en un vehículo puedan resistir y funcionar correctamente ante situaciones adversas. Sus requisitos abarcan aspectos como la descarga directa en componentes individuales, la inmunidad de sistemas completos y la evaluación de sistemas electrónicos en condiciones específicas de carga electrostática.

La aplicación rigurosa de dicha norma en el contexto de la industria automotriz es esencial para garantizar la fiabilidad y la seguridad de los vehículos en situaciones donde las descargas electrostáticas podrían comprometer la funcionalidad de los sistemas electrónicos. La conformidad con esta norma se ha vuelto de gran importancia para los fabricantes de automóviles, ya que asegura la calidad y la resistencia de los sistemas eléctricos ante desafíos del mundo real, fortaleciendo así la confianza del consumidor en la seguridad y la durabilidad de los vehículos.

A continuación, se muestran las diferentes partes que forman el test:

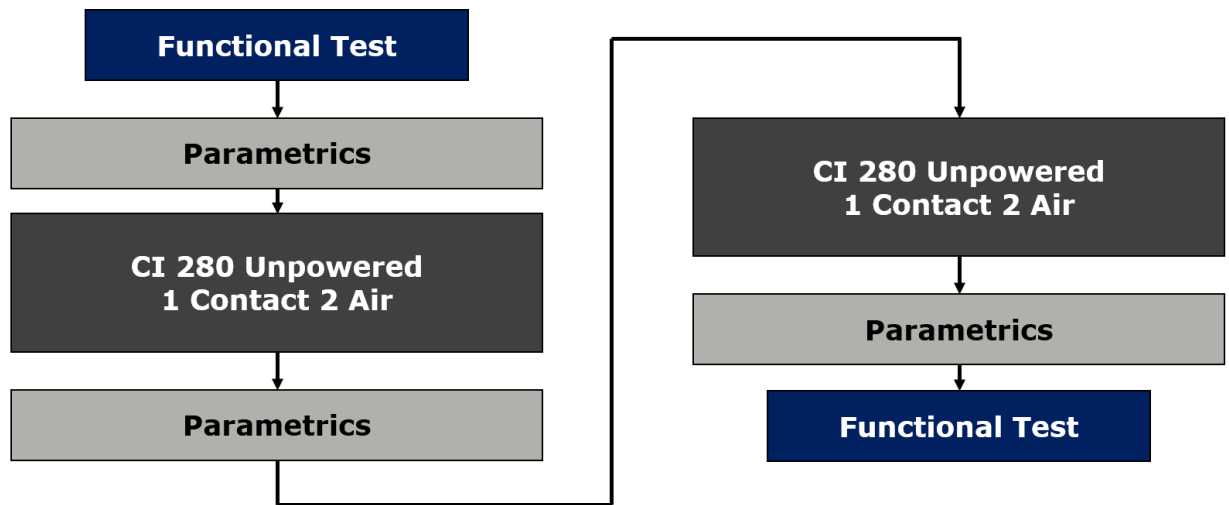


Figura 2: Test ESD - ISO 10605 ^[31]

2.1.1. Test Funcional:

El test funcional es una evaluación de componentes electrónicos, aplicada antes y después de eventos simulados de ESD.

- Antes de la descarga, el objetivo es establecer una línea base de funcionamiento, asegurándose de que el componente opera según las especificaciones previstas. Este paso permite identificar vulnerabilidades iniciales y anticipar posibles áreas de preocupación.
- Después de la descarga, el test funcional evalúa la capacidad del componente para recuperarse y mantener su funcionalidad. Esta comprobación pretende identificar impactos inmediatos en la operatividad y evaluar posibles efectos a largo plazo que podrían no ser evidentes de inmediato. La finalidad es garantizar que el componente conserve su rendimiento y fiabilidad, incluso después de las descargas, para asegurar la seguridad y la integridad de los sistemas electrónicos.

Al realizar el test funcional previa y posteriormente a las descargas, se obtiene una evaluación completa de la resistencia y capacidad de recuperación del componente ante situaciones de carga electrostática. Este proceso permite fortalecer los estándares de calidad y seguridad en la industria, asegurando que los componentes electrónicos mantengan su funcionalidad incluso en entornos propensos a eventos ESD.

2.1.2. Test de parámetros:

El test de parámetros es uno de los procesos que se realizan durante la evaluación de la integridad de componentes electrónicos en la industria, especialmente en el ámbito automotriz. Este tipo de prueba se centra en medir y analizar los parámetros eléctricos de un componente antes, durante y después de someterlo a eventos ESD simulados. La finalidad es evaluar la capacidad del dispositivo para mantener su funcionalidad y características eléctricas en condiciones de carga electrostática adversa.

Durante la realización del test de parámetros, se monitorean diversos aspectos eléctricos, como la resistencia, la capacitancia y la inductancia del componente bajo prueba. Estos parámetros son importantes para comprender cómo responde el módulo a las descargas electrostáticas y cómo se ve afectado en términos de sus propiedades eléctricas fundamentales. Para ello, se requieren equipos de medición especializados y una comprensión profunda de los requisitos específicos del componente.

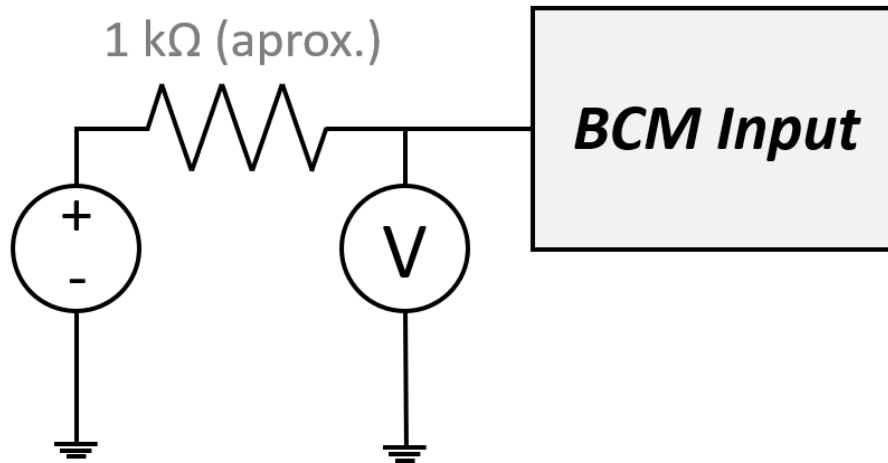


Figura 3: Representación medición paramétricos

La prueba de resistencia eléctrica, por ejemplo, evalúa la capacidad del componente para mantener su conductividad frente a las descargas electrostáticas, mientras que la medición de la capacitancia y la inductancia proporciona información sobre cómo la geometría y la disposición de los elementos internos pueden afectar a la respuesta del componente ante estos eventos.

Este tipo de evaluación no solo se centra en la funcionalidad inmediata del componente durante la descarga, sino que también busca comprender los efectos a largo plazo. Las mediciones después de las descargas permiten obtener valores de degradación y de tolerancia de los diferentes elementos del módulo, lo cual permite determinar la durabilidad y la resistencia del componente ante los eventos ESD.

2.1.3. Descargas ESD:

Las descargas ESD son parte del proceso de validación ESD y consisten en la liberación repentina de electricidad estática acumulada en un dispositivo, en este caso una simulador ESD (comúnmente denominado “Pistola ESD”). Este tipo de descargas ocurre cuando dos objetos con cargas eléctricas diferentes entran en contacto o se acercan lo suficiente, pudiendo tratarse de un usuario entrando en contacto con zonas accesibles del vehículo, contactos indeseados en el módulo o descargas durante el transporte de los módulos. Se dividen en dos partes principales: descargas unpowered y descargas powered.

2.1.3.1. *Descargas Unpowered:*

Este tipo de descargas hace referencia a aquellas que ocurren en dispositivos o componentes que no se encuentran conectados a una fuente de alimentación externa. Es decir, el módulo no tiene energía eléctrica aplicada en el momento de la descarga. Se pueden desglosar en dos formas principales: descargas de contacto y descargas de aire.

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra un diagrama procedente de la enmienda de un cliente, correspondiente a la disposición del *set-up* durante las descargas *unpowered*.

- Descargas de contacto:

Las descargas de contacto implican la transferencia directa de una carga electrostática entre un objeto cargado (simulador ESD) a un objeto descargado (módulo electrónico). A efectos prácticos, esta prueba pretende simular escenarios donde un objeto cargado, como la mano de una persona, entra en contacto directo con un componente electrónico o dispositivo no alimentado. Esta prueba se lleva a cabo con una punta con terminación puntiaguda, que permite contactar con mayor facilidad con resortes de reducida superficie.

Durante la prueba, se definen puntos específicos de contacto en el módulo, como conectores, pines o superficies, donde las descargas electrostáticas sean más propensas a aparecer en escenarios reales. La punta de descarga hace contacto con los puntos de contacto del módulo, de acuerdo con unas especificaciones técnicas (grado máximo de inclinación, uso de extensores, etc.).

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra un diagrama procedente de la enmienda de un cliente, correspondiente a las zonas del módulo en las que se realizan las descargas de contacto para el caso *unpowered*.

- Descargas de aire:

Las descargas de aire simulan situaciones en qué una persona u objeto cargado electrostáticamente genera una chispa que salta a través del aire hacia un dispositivo electrónico que no se encuentra conectado a una fuente de alimentación. En este caso se emplea una punta circular y se definen puntos críticos del módulo donde las descargas tienen más probabilidad de suceder, incluyendo puntos como conectores, superficies expuestas o áreas sensibles a la electricidad estática. La punta de descarga se desplaza por los puntos (o superficie) del módulo, de acuerdo a unas especificaciones técnicas (velocidad de aproximación, velocidad de desplazamiento, etc.).

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra un diagrama procedente de la enmienda de un cliente, correspondiente a las zonas del módulo en las que se realizan las descargas de aire para el caso *unpowered*.

2.1.3.2. *Descargas Powered:*

A diferencia de las descargas *unpowered*, donde los módulos no se encuentran conectados a una fuente de alimentación externa, las descargas *powered* implican la presencia de energía eléctrica en el momento de la descarga, es decir, los eventos de descarga electrostática ocurren en módulos que están conectados y operativos. Este tipo de descargas simulan situaciones donde los dispositivos se encuentran alimentados y sufren alteraciones por cargas inesperadas, lo que podría resultar en fallos temporales o permanentes.

La importancia de esta prueba reside en comprobar la capacidad de los dispositivos para proteger circuitos o elementos sensibles, como transistores o microchips. En este caso, también se dividen en dos partes principales: descargas de contacto y descargas de aire.

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra un diagrama procedente de la enmienda de un cliente, correspondiente a la disposición del *set-up* durante las descargas *powered*.

- Descargas de contacto:

Las descargas de contacto pretenden imitar situaciones cotidianas donde un usuario interactúa directamente con un dispositivo, como por ejemplo tocar una pantalla táctil, botones u otras áreas de contacto de un vehículo durante su funcionamiento.

El procedimiento es el mismo que para el caso de las descargas de contacto *unpowered*, llevándose a cabo con una terminación puntiaguda y definiendo previamente puntos de contacto en el módulo, con la diferencia que en este caso no se podrán realizar descargas en los pines, ya que estos se encontrarán cubiertos por los conectores que alimentan el elemento.

- Descargas de aire:

Las descargas de aire simulan escenarios donde la descarga no involucra un contacto directo, sino que la energía se disipa en el aire antes de alcanzar el dispositivo. Son esenciales para evaluar la capacidad del módulo de resistir descargas inesperadas, sin necesidad de contacto, como por ejemplo en entornos secos y polvorientos, atmósferas cargadas, uso en vehículos o aviones, etc.

El procedimiento es el mismo que para el caso de las descargas de aire *unpowered*, acoplado en este caso la terminación circular y definiendo los puntos y la ruta a seguir en el módulo. Es probable que el operario tenga que acomodar los cables durante el proceso para poder acceder a algunos puntos de la superficie cubiertos por la alimentación.

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra un diagrama procedente de la enmienda de un cliente, correspondiente a las zonas del módulo en las que se realizan las descargas para el caso *powered*.

2.2. Simulador ESD:

Una de las partes fundamentales del test de descargas electrostáticas son los simuladores capaces de aplicar ESD a diferentes voltajes. Estas herramientas desempeñan un papel crucial al brindarle al ingeniero la oportunidad de simular de manera controlada diferentes tipos de descargas, simulando así situaciones del mundo real y sometiendo los dispositivos a niveles de estrés realistas y variados.

Los simuladores están equipados con electrodos diseñados específicamente para replicar situaciones de contacto o de aire, permitiendo un rango de simulación mucho más amplio, haciendo posible ver el comportamiento del módulo en diferentes ambientes donde la descarga no implique un contacto físico directo con el dispositivo. Además, facilitan considerablemente el proceso de validación dada su capacidad de regulación en la energía de la descarga, adquiriendo control absoluto sobre el estrés al que se quiere someter el módulo.

Actualmente, debido a la creciente demanda de dispositivos electrónicos y la necesidad de una fabricación cada vez más resistente y eficaz, el mercado de simuladores ESD ha experimentado un auge considerable, ofreciendo mayor precisión y versatilidad. Fabricantes líderes han introducido tecnologías innovadoras, como electrodos intercambiables, rangos de energía más amplios o la característica de conectividad a sistemas de gestión de pruebas y análisis de datos en tiempo real. Además, la aparición de estos simuladores contribuyó a la estandarización de las pruebas, estando estas sujetas a estándares como IEX61000-4-2^[33] y actuando de acorde a la ISO 10605^[31]. Todas estas características hacen que el experimento resulte un proceso más fácil de monitorear y recopilar, permitiendo de esta manera el análisis posprueba e incluso la comparación entre módulos.

La elección del equipo de ESD no es una tarea fácil, dado que se deben considerar aspectos como el tipo de descargas que se va a llevar a cabo, rango de energías de descarga de la prueba, peso, centro de gravedad, precio, etc. En este caso, la herramienta ESD de la que ya dispone la empresa es la *Onyx 30*:



Figura 4: ONYX 30 - Simulador ESD

Para obtener más información del simulador ESD Onyx 30, véase [Anexo 2 - Onyx 30](#).

2.3. Laboratorio

Los laboratorios son espacios dedicados a la validación de procesos, sistemas o cualquier actividad que requiera de una homologación. Es habitual que el laboratorio de validación se destine exclusivamente a la comprobación final del producto y que exista otro laboratorio destinado a la investigación durante la fase del desarrollo.

2.3.1. Laboratorio *Pre-Compliance*

El laboratorio *Pre-Compliance* está destinado, entre otras cosas, a la investigación y comprobación de módulos durante las fases de desarrollo. Esta fase, crucial en el proceso de diseño, se enfoca en evaluar la resistencia de los dispositivos ante situaciones potencialmente perjudiciales, contribuyendo así a garantizar la confiabilidad y durabilidad del producto final.

En el laboratorio, los ingenieros llevan a cabo pruebas de ESD para simular y analizar escenarios donde la electricidad estática podría comprometer el rendimiento del producto. Estas pruebas, realizadas durante diversas etapas del desarrollo, permiten identificar vulnerabilidades y aplicar medidas correctivas de manera proactiva. Además, no solo se limita a cumplir con estándares regulatorios, sino que busca anticiparse a posibles desafíos que podrían surgir en condiciones del mundo real.

La eficiencia de las soluciones adoptadas puede ser cuantificada gracias a las técnicas avanzadas de medición y análisis de las que dispone el laboratorio. De esta manera, se asegura que la solución es la más adecuada de entre las soluciones posibles y se permite al equipo continuar con el desarrollo.

Es habitual que este laboratorio se sitúe en las cercanías de departamentos como el de Software o Hardware, dado que son los principales involucrados en el desarrollo de los módulos electrónicos.

En este laboratorio se llevó a cabo una prueba experimental recogida en el [Anexo 3 – Prueba Experimental](#).

2.3.2. Laboratorio de validación ESD

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestran imágenes del estado de uno de los módulos durante los procesos de descarga *powered* y *unpowered*, en el laboratorio de validación de la compañía.

3. Desarrollo de la solución

En esta sección, se profundizará en la parte principal del proyecto, explorando cada faceta de la propuesta diseñada para abordar las problemáticas identificadas. Inicialmente, se realizará un análisis de la solución en base a las limitaciones que presenta el proceso. Seguidamente, se hablará de la solución adoptada, justificando las diferentes partes que la conforman. Por último, realizará un prototipo funcional, basado en la solución, que demostrará la posibilidad de la automatización del proceso.

3.1. Requisitos de diseño:

El sistema escogido para la automatización del proceso deberá estar sujeto a algunas condiciones fundamentales. En primer lugar, será un sistema seguro que no suponga ningún riesgo para los trabajadores y la empresa. Si por su diseño así lo requiere el sistema, deberán tomarse las medidas preventivas necesarias para garantizar la seguridad del personal involucrado en el proceso.

El montaje inicial del sistema se llevará a cabo por un especialista que contraste el montaje con las especificaciones detalladas en este informe. Además, se deberán realizar comprobaciones periódicas para conocer el estado del sistema y si se requiere, la sustitución de alguna pieza.

Deberá ser un sistema sencillo, de fácil comprensión, complementado con un curso introductorio para familiarizar al responsable con el entorno y con una interfaz clara y entendedora. También, si se requiere un montaje adicional (además del inicial para configurar el *set-up*), este deberá ser lo más rápido e intuitivo con tal de facilitar y minimizar las tareas desempeñadas por el responsable.

Si el operario considera que el sistema podría afectar a su seguridad o la de los trabajadores cercanos al sistema, tomará las medidas de seguridad que considere adecuadas, siempre y cuando no se comprometa el proceso. Si se trata de un riesgo no recogido en el documento de la Evaluación de Riesgos, se parará el sistema y se notificará a los departamentos pertinentes para actualizar el plan de seguridad.

Por último, deberá dar respuesta a todas las limitaciones expuestas a continuación.

3.1.1. Limitaciones de la prueba

Las limitaciones de la prueba engloban todas aquellas restricciones inherentes que dificultan el proceso o hacen de este un proceso complejo, con unas consideraciones específicas. Estas limitaciones acostumbran a agravarse cuando los diferentes elementos del proceso interactúan entre ellos.

A continuación, se detallan algunas de las limitaciones inherentes presentes en la actualidad en la prueba de ESD.

Módulo

Es habitual que las empresas trabajen con varios proyectos de manera paralela, lo cual se traduce en módulos de diferentes dimensiones y características. Los factores para tener en cuenta son:

- Superficie: en la actualidad, el módulo de superficie más grande del que dispone la empresa tiene unas dimensiones de aproximadamente 40 cm x 20 cm, aunque se trabaja con piezas de todos los tamaños. La solución adoptada debe asegurar una zona de prueba que abarque toda la superficie del módulo, con un margen adicional para acomodar posibles módulos de mayor tamaño en el futuro.
- Conectores: es habitual que los módulos compartan los mismos conectores. Aun así, estos no acostumbran a estar ubicados de la misma manera, a la misma distancia y con la misma orientación. La solución debe contemplar la variabilidad de localizaciones de estos y tener control absoluto sobre sus coordenadas.
- Pines: cada módulo tiene un número determinado de conectores y, por lo tanto, de pines. Esto no supone un problema solo por el aumento de tiempo del proceso, sino también por la reducida superficie que estos tienen, llegando en algunos módulos hasta los 0.3 mm². Este factor resulta limitante, dado que la prueba exige que haya contacto entre la superficie del pin y la punta de descarga del simulador. Por lo tanto, la solución adoptada deberá garantizar el contacto entre ánodo y cátodo previamente a realizar la descarga.

Set-up:

Las limitaciones asociadas a la zona de trabajo en la que se lleva a cabo el test son las siguientes:

- Espacio físico: el espacio disponible para el set-up puede ser limitado. La disposición de todos los elementos involucrados en el proceso debe optimizarse con la intención de reducir el volumen ocupado, evitar interferencias y garantizar la seguridad.
- Conexiones y cables: la complejidad de conexiones entre los dispositivos de prueba y el módulo puede afectar a la automatización. Además, los cables deben ser lo suficientemente largos y flexibles para acomodar las diferentes configuraciones.
- Alineación y posicionamiento: la precisión del test ESD es crucial, por lo que se deberá garantizar que los dispositivos estén correctamente posicionados y fijados para realizar mediciones precisas.
- Seguridad: la automatización no debe comprometer la seguridad del personal y debe incluir procedimientos de emergencia correctamente ubicados y señalizados.

3.1.2. Limitaciones ISO y enmienda

Las normas ISO son directrices y especificaciones técnicas desarrolladas por comités de expertos internacionales. Estas normas pretenden estandarizar procesos, productos y servicios en diferentes ámbitos, con la idea de garantizar la calidad, seguridad y eficiencia. En el contexto del Test ESD, la ISO 10605 ^[31] recoge los métodos de prueba de descarga electrostática necesarios para la evaluación de los módulos electrónicos destinados al uso en vehículos, así como las condiciones y requisitos del proceso.

Por otro lado, los clientes elaboran una enmienda en la que se especifica el método y las condiciones bajo las cuales tiene que desarrollarse el test ESD. Es habitual que dicho documento afecte términos, requisitos o procedimientos respecto a la norma original sin requerir la creación de una nueva norma. Algunas especificaciones habituales de las enmiendas son las siguientes:

- Criterios de prueba (voltajes de descarga o métodos de prueba)
- Conexión al plano de masa (módulo conectado o no durante las descargas)
- Tiempo entre descargas consecutivas
- Condiciones del cable de retorno a masa (longitud)
- Nuevos escenarios de prueba
- Interacción humana (verificación visual de daños físicos)

Además, cabe destacar que no existe una única enmienda, sino que cada cliente elabora su propio documento en el que puede adoptar las medidas o procedimientos que considere de interés para su proceso.

Cualquier avance en el desarrollo del proyecto deberá estar sujeto a las normas ISO mencionadas, así como estudiar cualquier situación, método o condición contemplada en la actualidad por las enmiendas de los clientes. Esto, resulta de gran complejidad, dado que siempre pueden aparecer nuevos módulos que requieran escenarios particulares. Con la intención de minimizar los riesgos asociados a una nueva pieza, se recogerán todos los módulos presentes actualmente en la empresa, se estudiarán las limitaciones más restrictivas y se generarán escenarios con las peores condiciones posibles.

3.1.3. Limitaciones adicionales

La automatización de un proceso ofrece eficiencia y precisión, pero también conlleva algunas limitaciones. A continuación, se exponen las posibles restricciones derivadas a causa de la automatización del proceso:

- Movimiento del módulo: en la actualidad, el módulo se sujeta por el ingeniero responsable mientras se realizan las descargas. Al incorporar un sistema automático es probable que el contacto continuado entre la punta del simulador ESD y los pines, provoque el desplazamiento del módulo.
- Precisión y repetibilidad: el operario garantiza la precisión y la repetibilidad mediante la validación visual, asegurándose que el contacto entre la punta de descarga y el pin se realiza adecuadamente. Al introducir un sistema automático hay que incorporar métodos que controlen el contacto o informen en caso erróneo.
- Interacción humana: si bien es cierto que la idea de la automatización del proceso es eliminar la interacción humana al máximo, esta no puede ser reemplazada por completo debido a la necesidad de algunas tareas que requieren verificación visual o decisiones contextuales que solo pueden ser realizadas por trabajadores cualificados.

- Costes y tiempo de desarrollo: es crucial que la solución adoptada resulte beneficiosa, en el ámbito económico, en comparación con el método actual. No solo hay que considerar la inversión inicial, sino también el mantenimiento del sistema a lo largo del tiempo.
- Seguridad: los altos voltajes que están involucrados en el proceso de validación hacen que sea peligroso incorporar cualquier elemento externo a la prueba. En caso de hacerlo, este debe de estar debidamente protegido o ser adecuado para trabajar en dichos entornos. Además, hay que controlar eventos no deseados en el módulo como consecuencia de las descargas.
- Validación continua: aunque los beneficios asociados a la automatización son muy amplios, esta requiere una revisión periódica con tal de garantizar su precisión y confiabilidad. Cualquier cambio en el entorno o en los procesos pueden afectar la validez de los resultados automatizados.

3.2. Análisis de las soluciones

En este apartado, se detallarán las diferentes alternativas contempladas para la automatización del proyecto. Se expondrán las ventajas y desventajas de su uso, así como la utilidad que podrían tener en el proceso automatizado. Cabe destacar que todas las alternativas mostradas se ajustan a las limitaciones establecidas durante la fase de búsqueda. Para una mayor comprensión del sistema final, este se desglosará en 3 partes principales: sistema robótico, módulo, set-up.

3.2.1. Sistema Robótico:

En el proceso actual, el operario es el encargado de sujetar el simulador ESD mientras las descargas están siendo aplicadas. Para automatizar esto, se requiere de un sistema robótico capaz de transportarlo y orientarlo a las zonas en que se realizarán las descargas. Aquí hay dos opciones:

- Robot cartesiano (XYZ): estos robots también son conocidos como rectilíneos o *Gantry* y se caracterizan por tener tres ejes de movimiento lineal, uno en cada dirección espacial: X, Y y Z. Es el sistema que se utiliza, por ejemplo, en las impresoras 3D.

Este grupo de robots proporcionan una precisión y repetibilidad muy elevadas. Resultan la mejor opción para aplicaciones que requieren de un posicionamiento preciso y consistente, como la manufactura de componentes electrónicos, ensamblaje de productos o pruebas de calidad. Disponen de un área de trabajo definida lo que facilita la programación basándola en las coordenadas. Además, la empresa ya dispone de un robot cartesiano en el laboratorio, concretamente se trata del *Detectus AB*.



Figura 5: Detectus AB RQ642EH ^[16]

- Brazo robótico: son dispositivos mecánicos diseñados para imitar el movimiento y la destreza de un brazo humano. Están compuestos por una serie de articulaciones y segmentos interconectados que permiten numerosos movimientos. Se suelen utilizar en aplicaciones industriales, médicas y de investigación.

La mayoría de ellos están equipados con sensores y actuadores que les permiten interactuar con el entorno y adaptarse a diferentes escenarios. Su versatilidad y capacidad de automatización los hacen valiosos en una amplia gama de aplicaciones.



Figura 6: Brazo robótico industrial - YA-R3F ^[18]

Existe una categoría denominada robots colaborativos, comúnmente denominados “Cobots”, que están diseñados para trabajar en colaboración con los humanos. A diferencia de los robots industriales que están confinados en espacios de seguridad, estos están diseñados para permitir que el operario y el robot compartan zona de trabajo. No resulta un sistema peligroso, dado que están equipados con sensores avanzados que detectan la presencia y reaccionan de manera segura ante cualquier situación inesperada, además de incorporar funciones adicionales de seguridad programables por el usuario. Por último, presentan una programación intuitiva, pudiendo incluso en ocasiones ser programados con el propio movimiento del brazo.



Figura 7: Brazo robótico colaborativo – UR5e ^[58]

- **SCARA:** son robots industriales que destacan por su estructura mecánica única que les confiere una combinación de movimientos precisos y velocidad, ideal para aplicaciones de ensamblaje y manipulación en entornos industriales. Estos robots constan típicamente de dos brazos paralelos que se extienden horizontalmente, con un tercer brazo perpendicular al plano XY del robot. Esta configuración permite que el robot se mueva en un plano horizontal mientras mantiene una precisión excepcional en la vertical, lo que lo hace perfecto para tareas de ensamblaje donde se requiere un alto grado de repetibilidad y velocidad.

Los beneficios de los robots SCARA son su elevada precisión, repetibilidad y velocidad, así como su gran flexibilidad y el ahorro de espacio que proporcionan respecto a otras alternativas. Sin embargo, sus desventajas son su elevado coste inicial, las limitaciones en la movilidad que presentan (acceso limitado en áreas verticales o al realizar movimientos tridimensionales complejos) y su programación puede resultar más compleja que la de otros tipos de robots debido a su estructura mecánica.



Figura 8: SCARA ^[28]

3.2.2. Módulo:

El módulo sobre el que se aplica la prueba presenta numerosas dificultades que deben ser contempladas para poder llevar a cabo la prueba de manera efectiva. Todas estas limitaciones se recogen en el apartado anterior (Limitaciones) y se irán solucionando de manera progresiva.

Primeramente, hay que garantizar que el contacto entre la punta de descargas y los pines se efectúe correctamente. La superficie de los pines acostumbra a ser muy reducida y es habitual que a causa de una mala praxis durante las pruebas, algunos de estos estén desplazados, encontrándose muy cerca del pin siguiente. Con tal de solucionarlo, se deberá escoger una solución que permita, por un lado, el contacto entre simulador y punto de descarga y por otro, la rigidez de los pines y la separación esperada. Otro de los problemas importantes es el movimiento del módulo. La incorporación de un sistema autónomo trae consigo ciertas consideraciones que, en la aplicación actual, las desempeña un trabajador, como es el caso del no movimiento del módulo. Se debe incorporar un método de sujeción para garantizar que este permanece estático durante la prueba.

3.2.3. Set-up

En la actualidad, el set-up de las descargas *unpowered* es lo más simple posible. Aun así, es posible que al introducir modificaciones, este requiera alguna adaptación para dar respuesta a todas las partes del proceso. Se abre la posibilidad de utilizar puntos de calibración para el sistema robótico, protecciones, zonas conectadas al plano de masa para descargar la punta del simulador, etc.

3.3. Propuesta final

En esta sección, se presentará el sistema automático, detallando cada uno de sus componentes. Luego, se describirá la metodología del nuevo proceso, incluyendo las tareas asociadas al ingeniero y la respuesta del sistema. Antes de adentrarse en la explicación, es relevante consultar el [Anexo 6 – Evaluación de Riesgos](#), que han influido directamente en la formulación de la propuesta.

3.3.1. Automatic ESD Tool

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se presentan cada uno de los componentes en los que consiste el sistema automático ESD.

3.3.2. Ejecución del proceso automatizado

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se presenta la metodología del nuevo proceso tras incorporar la herramienta automática ESD.

3.3.3. Coste total

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se presenta el cálculo del coste total del sistema.

3.4. Desarrollo del prototipo

En este apartado se explorará la materialización del sistema diseñado para automatizar el proceso de validación de ESD, por medio de una simulación en el laboratorio *Pre-Compliance*. Se detallarán los diferentes elementos del prototipo y la utilidad de las pruebas que se han llevado a cabo.

Antes del desarrollo, es relevante acudir al [Anexo 6 – Evaluación de Riesgos](#), donde se recogen los riesgos asociados a la simulación y las medidas de seguridad que han hecho posible la materialización del prototipo.

3.4.1. Elementos del Prototipo

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestran los diferentes elementos que forman el prototipo.

3.4.2. Pruebas y validación:

Antes de la puesta en marcha del sistema, un profesional de UR acudió a la planta a realizar una demostración sobre el Cobot, facilitando así la familiarización con el entorno de programación y haciendo una primera aproximación a la automatización final. En esta sesión se elaboró una hoja de ruta para las siguientes semanas en las que se iban a desarrollar varias pruebas con el fin de demostrar:

- La repetibilidad y precisión del Cobot.
- El control de la fuerza de contacto.
- El tiempo total
- Los parámetros de seguridad.

A continuación, se desarrollarán cada uno de estos puntos, explicando de manera detallada las pruebas que se han realizado.

Repetibilidad y precisión:

Uno de los aspectos más preocupantes en el proyecto es garantizar el contacto entre el simulador ESD y los pines del módulo. Aunque el uso de conectores hembra amplie la superficie de contacto, permitiendo una precisión y repetibilidad menores, aun así se requieren unas buenas prestaciones que garanticen que la prueba se puede completar de manera independiente y sin fallos.

El método escogido para validar la exactitud del sistema consiste en generar un fichero .csv en el que se recogen los valores de la altura de la herramienta (respecto al punto de referencia), la fuerza de contacto (en todos los sentidos y rotaciones), el posicionamiento de la herramienta (en todos los sentidos y rotaciones) y el tiempo total del proceso (tanto de los paramétricos, como de las descargas).

Se inicia la prueba con el test de paramétricos en el que se realiza un contacto por pin (total de 54 pines) y un espaciado entre descargas de aproximadamente 7 segundos. Aun habiendo obtenido resultados satisfactorios y de acorde a lo esperado, se sobreentiende que el interés del experimento está en el proceso de las descargas electrostáticas, dado que resulta la parte más compleja. Para ello, se simulan un total de 20 descargas por pin, en la misma cantidad de pines que el test de paramétricos. En este caso, se utiliza la extremidad modificada de 2 puntas, previamente comentada.

El proceso de simulación de las descargas electrostáticas tiene lugar inmediatamente después de haber acabado el test de paramétricos. Las gráficas que se obtienen en este caso son las siguientes:

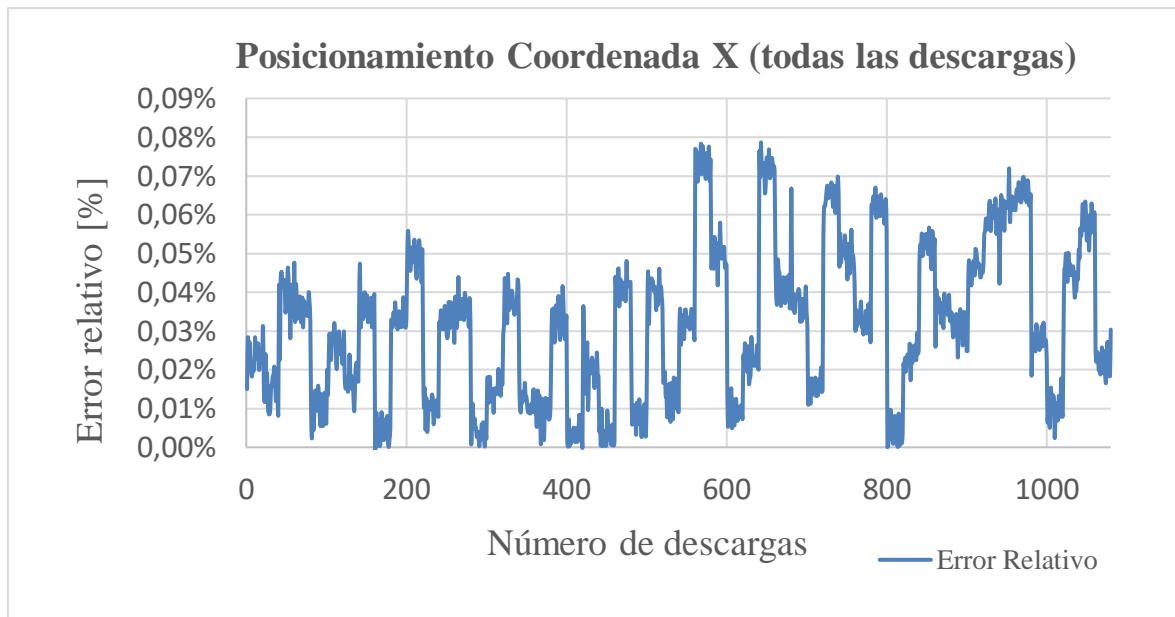


Figura 9: Gráfica error relativo posicionamiento CoordX (todas las descargas)

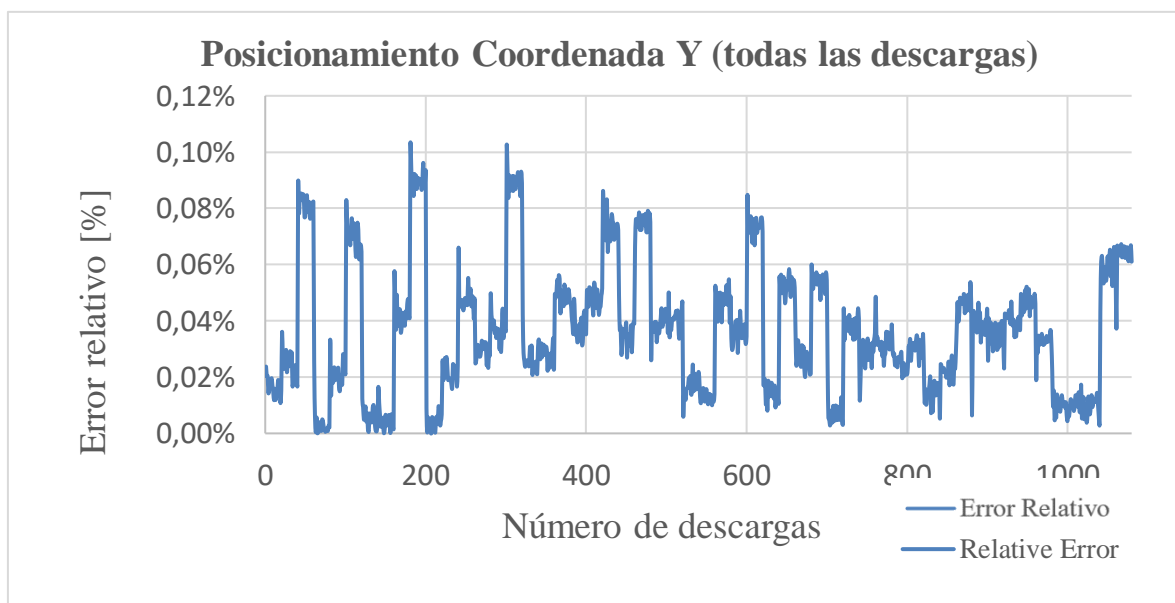


Figura 10: Gráfica error relativo posicionamiento CoordY (todas las descargas)

Los resultados obtenidos son satisfactorios, con un error relativo máximo de posicionamiento de solo 0,10%. Además, este error no resulta acumulativo con el tiempo, ya que cada error es independiente del caso anterior y no se ve influenciado por descargas previas.

Por último, para una mejor comprensión, se calculan los valores de error por cada pin (valor medio de las 20 descargas por pin) y se obtienen las siguientes gráficas.

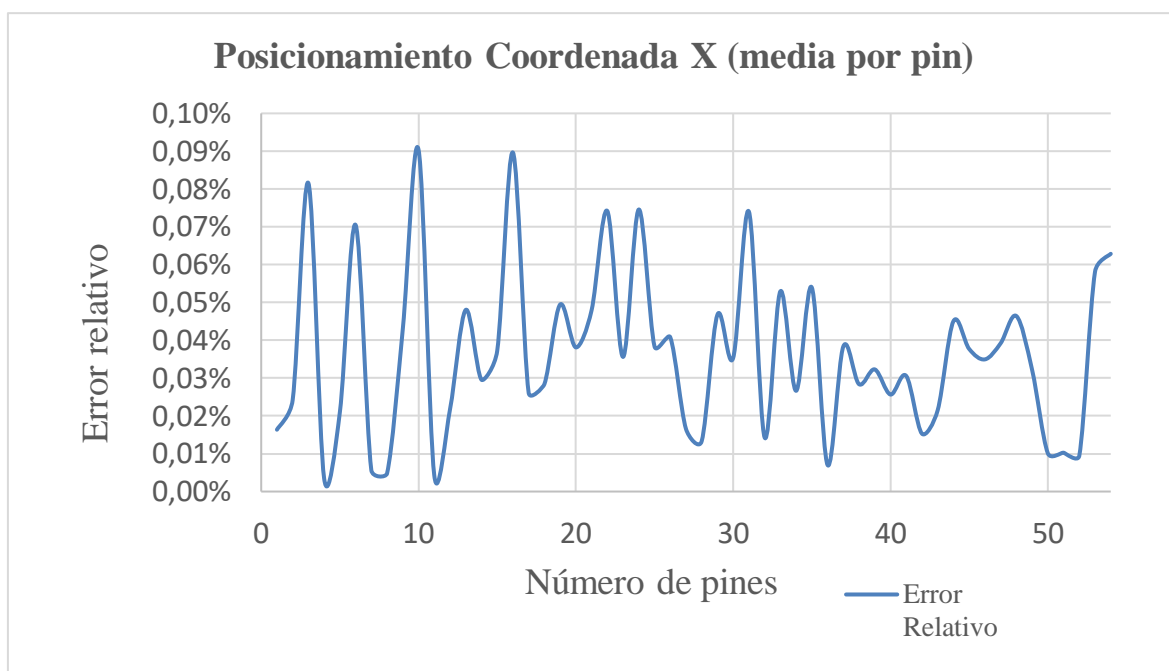


Figura 11: Gráfica error relativo posicionamiento CoordX (media por pin)

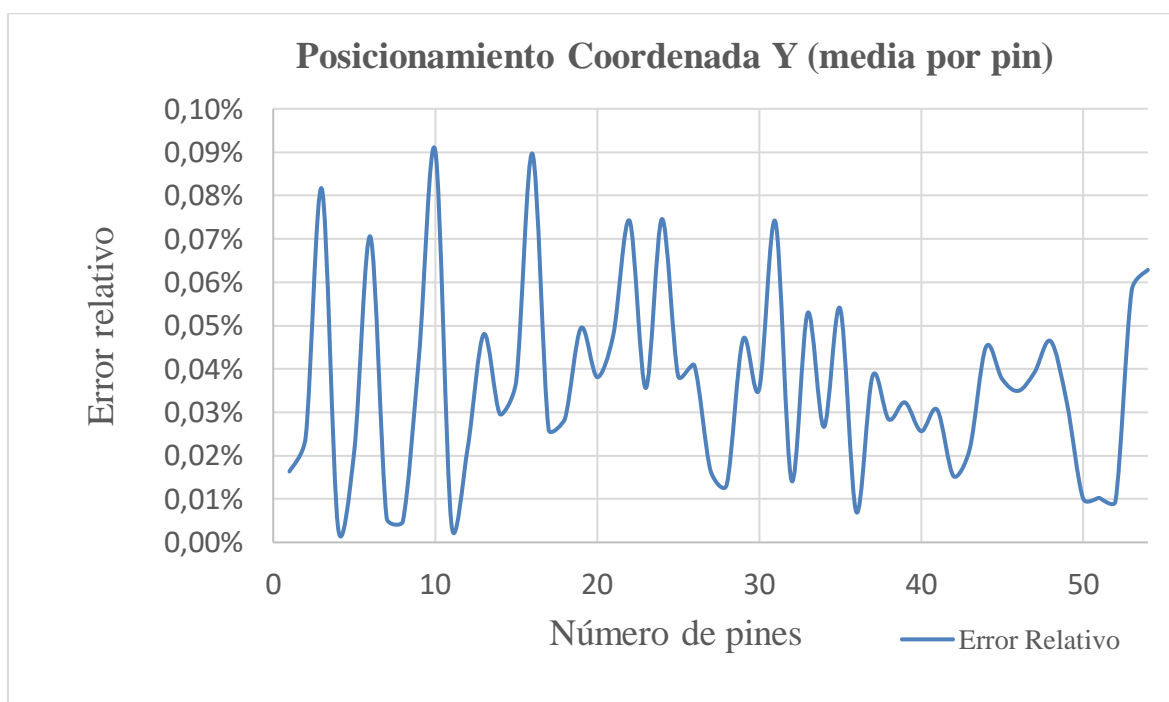


Figura 12: Gráfica error relativo posicionamiento CoordY (media por pin)

Se concluye, los datos obtenidos están de acuerdo con la información técnica proporcionada por el proveedor, llegando a obtener valores muy positivos aun habiendo sometido al robot a situaciones de estrés, cargas elevadas o tiempos de operación prolongados. También, se comprueba que la precisión de posicionamiento es lo suficientemente buena como para completar la prueba con éxito, sin experimentar un incremento en el error conforme transcurre el proceso.

Tiempo total:

De acorde con la enmienda del cliente, el tiempo que debe transcurrir entre descargas debe ser mayor a 5 segundos. Esto, significa que se debe garantizar que el sistema sea capaz de ejecutar los movimientos en dicho tiempo.

Por motivos de seguridad, las velocidades (lineales y rotacionales) estaban limitadas. Aun así, el tiempo obtenido para completar la simulación del proceso de las descargas es el siguiente:

Tiempo total	7602.462001 s
Número de pines	54 s
Tiempo medio por pin	140.7863334 s
Tiempo medio por descarga	7.039316668 s

Tabla 1: Tiempos simulación

El tiempo medio entre descargas es de aproximadamente 7 segundos y se ha obtenido efectuando 20 descargas por pin, en 54 pines de un mismo conector.

Es importante destacar que este valor no considera ciertos factores que podrían influir en el tiempo total. Por ejemplo, la interacción del código con el Cobot o la eliminación de restricciones de velocidad no se han tenido en cuenta. Sin embargo, la consistencia en el tiempo entre descargas es fundamental para la operatividad eficiente del sistema automatizado.

En contraste con un ingeniero realizando descargas manualmente, la automatización garantiza un tiempo constante entre descargas, sin verse afectado por factores humanos como fatiga, falta de atención o errores.

Fuerza de contacto:

La incorporación de los conectores hembra no solo aumenta la superficie de contacto entre el simulador ESD y los pines, sino que también permite que la fuerza que se le aplique sea mayor, dado que esta no recaerá por completo sobre los pines del módulo. De todas maneras, esta fuerza no tiene que ser muy elevada y deberá garantizar el contacto de la punta del simulador ESD sin dañar el módulo sobre el que se realiza la prueba.

El propio Cobot contempla la regulación de la fuerza de contacto, en cualquiera de sus direcciones y rotaciones. Esta prestación fue de utilidad, limitando la fuerza a 1 N y guardando los valores obtenidos, para su posterior comparación y poder realizar un gráfico. A continuación, se muestran los valores de fuerza de contacto obtenidos:

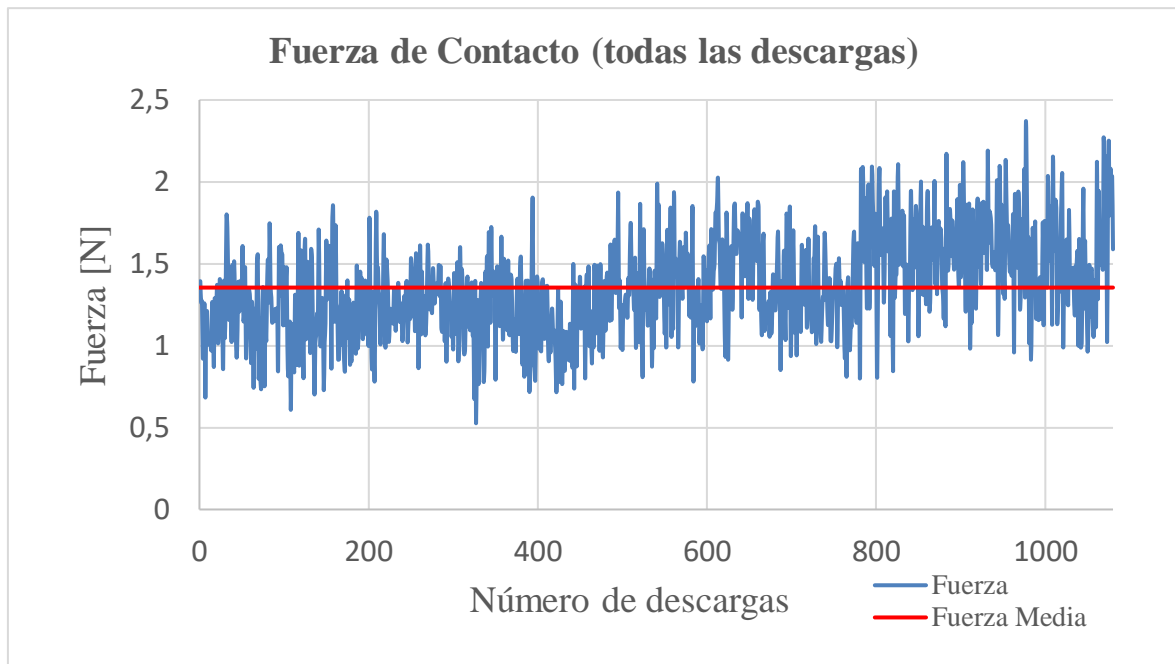


Figura 13: Gráfica Fuerza de Contacto (todas las descargas)

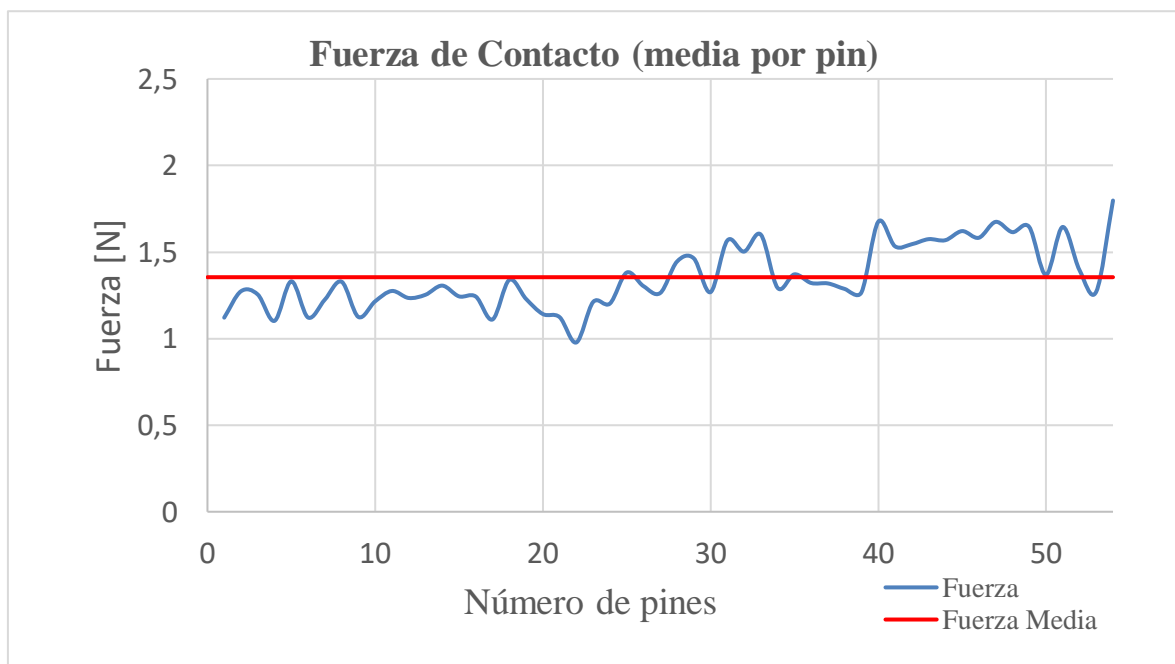


Figura 14: Gráfica Fuerza de Contacto (media por pin)

Durante las primeras fases de desarrollo del proyecto se concretó la fuerza máxima soportable por los pines del módulo. Si bien es cierto que no se obtuvo un valor para el módulo de referencia, se consideró de manera orientativa las características de otros módulos con pines de la misma superficie y se concluyó que el peor de los casos (pin de menor superficie) toleraba una fuerza de contacto de 12 N. Además, tras la incorporación de los conectores hembra, la fuerza aplicable se vería considerablemente aumentada, dado que la actuación de la punta del simulador ESD no recaería directamente sobre el pin, sino sobre el conector.

En este caso, y como se puede apreciar en la gráfica, la limitación de fuerza de contacto estaba predefinida en 1 N. En los puntos en los que el error relativo es mayor, se aprecia como la fuerza de contacto total es de aproximadamente 2 N, lo que supone un error considerable, atribuible al hecho de tratarse de una simulación y no de un producto final. De toda maneras, en un escenario real, no supondría un peligro para el módulo.

Por último, se empleó un conector hembra con terminales metálicos para demostrar el contacto entre el simulador ESD y los pines. Esto, se consiguió soldando las vías de los pines donde se encontraban los extensores entre ellas y conectándolas al plano de masa. Por medio de un multímetro, se comprueba la continuidad.

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestran dos imágenes en las que se demuestra la continuidad (el contacto) del sistema por medio de un multímetro.

En términos generales, se ha demostrado que la automatización de la prueba de ESD es posible y manejable gracias a las prestaciones de los brazos robóticos disponibles en el mercado, concretando en este caso con el Ur5e de Universal Robots. Las comprobaciones que se han llevado a cabo confirman la repetibilidad, precisión y seguridad del sistema, así como el tiempo total de ejecución, pudiendo llegar a reducirlo considerablemente ajustando algunos parámetros.

3.5. Resultados

En este apartado, se recogen los resultados obtenidos de todo el desarrollo. Se comentará la eficiencia del sistema, focalizando en la reducción de tiempo que este comporta, y se estudiará la viabilidad del sistema a través de su relación con los costes que supone desempeñar el Test ESD en la actualidad.

3.5.1. Eficiencia del proceso

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se demuestra la eficiencia del sistema calculando el tiempo destinado a completar el proceso de descargas para uno de los módulos disponibles actualmente en la compañía.

3.5.2. Viabilidad del sistema

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se demuestra la viabilidad económica del sistema por medio de la comparativa de costes entre un ingeniero destinado a jornada completa durante un año y la herramienta automática ESD y los costes de realizar el Test ESD en un laboratorio externo y la inversión inicial del sistema.

4. Conclusiones

4.1. Conclusiones Técnicas

El desarrollo del sistema automático ESD ha demostrado ser un avance significativo en cuanto a eficiencia y efectividad se refiere. El logro más destacable es la considerable reducción de participación del ingeniero en el proceso del test. La automatización de tareas que anteriormente requerían una supervisión constante y ajustes manuales, implica que los ingenieros puedan ahora centrar el foco en tareas de mayor valor añadido, aumentando así la productividad de la empresa.

Además, el sistema garantiza una repetibilidad y precisión de las pruebas, difícilmente equiparable a la que se puede obtener realizándolo de manera manual. La utilización de un brazo robótico programable garantiza que cada prueba se realice de manera uniforme, eliminando la variabilidad introducida por la intervención manual. De esta manera, no solo mejora la calidad de los datos obtenidos, sino que también se asegura que los resultados sean consistentes y fiables, lo cual resulta fundamental en los procesos de validación dentro de la industria automotriz.

Otro aspecto importante es el aumento de la seguridad en el proceso. La minimización de la intervención del operario, junto con la adición de medidas de seguridad que impidan acceder a la zona de pruebas mientras el sistema se encuentra activo, se traduce en una reducción del riesgo de exposición a descargas electrostáticas para los trabajadores, creando así un entorno de trabajo más seguro.

En términos de eficiencia, el sistema ha demostrado ser capaz de reducir significativamente el tiempo de ejecución del proceso. Esta reducción no solo implica una mayor rapidez en la realización de los procesos de validación, sino también una optimización de los recursos disponibles. Se ha demostrado también que se trata de un sistema viable, cuya inversión inicial es recuperada en unos meses tras su implementación.

En resumen, los beneficios obtenidos con la implementación del sistema automático ESD van más allá de la mejora en la obtención de resultados. Se ha logrado una mayor eficiencia operativa, una reducción significativa de los costes a largo plazo y una optimización de los recursos humanos, permitiendo que los ingenieros se enfoquen en tareas de mayor valor añadido. Además, la mejora en el ámbito de la seguridad contribuiría al bienestar de los trabajadores, creando un ambiente de trabajo más seguro y productivo. Estos avances consolidan al sistema automático ESD como una solución adecuada que no solo cumple con los objetivos técnicos, sino que también promueve una gestión más eficiente y segura para la empresa.

4.2. Conclusiones Personales

Mi estancia de prácticas en Lear ha sido una experiencia inigualable, ante la cual solo me queda mostrar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que lo han hecho posible.

Durante este año de desarrollo, he sentido un continuo apoyo e interés por parte de mis compañeros, haciéndome sentir uno más y ofreciéndome toda la ayuda que tenían en sus manos. He tenido la oportunidad de desarrollar un proyecto desafiante y de gran interés para la compañía, lo que ha provocado que todos aquellos relacionados con el proceso se interesasen por el estado del proyecto y aportasen su grano de arena. De hecho, me siento un privilegiado de haber podido compartir zona de trabajo con grandísimos profesionales de una calidad técnica impresionante, pero sobre todo con una excelente calidad humana.

No todo ha sido un camino de rosas y me he enfrentado a innumerables retos, como el aprendizaje autónomo de programas de edición audiovisual o diseño, lenguajes de programación o la redacción de evaluaciones de riesgo. Además, he tenido que defender todos mis avances delante de la empresa, por medio de presentaciones, demostrándome una vez más que el miedo no lleva a ningún sitio y que si el trabajo está hecho de manera adecuada, habla por sí solo.

En cuanto al sistema final, he conseguido plantear una alternativa capaz de solucionar todos los problemas identificados durante las primeras semanas de desarrollo. He cumplido los objetivos planteados inicialmente, consiguiendo una herramienta autónoma, que garantiza la precisión y la repetibilidad, la seguridad del operario y que presupone una opción económicamente viable.

Sinceramente, considero que la única manera en que mi grado de satisfacción con el proyecto podría verse mejorado, hubiera sido viendo el sistema final funcionando en el laboratorio. De todas maneras, el haber desarrollado un prototipo y haber realizado tantas simulaciones, materializaron todo mi desarrollo hecho durante meses, mostrándome que el camino había sido el correcto.

Sobre mi experiencia, siento un crecimiento personal y profesional difícil de explicar. He tenido la oportunidad de introducirme directamente en el mundo de la automatización, llegando incluso a realizar una visita a las oficinas de Universal Robots, en Barcelona. Este proyecto me ha abierto los ojos y me ha retomado con mi yo de hace unos años, ese estudiante que comenzaba la carrera con el sueño de acabar dedicándose al mundo de la automatización.

De nuevo, me siento un privilegiado de la oportunidad que he tenido y recomendaría encarecidamente a cualquier estudiante que tenga la oportunidad de participar en el programa de prácticas de Lear de aceptar el reto y adentrarse en el mundo tecnológico de la mano de una de las multinacionales más influyentes.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] Analog (s/f). *ESD*. Recuperado el 28 de julio de 2023, de: <https://www.analog.com/en/resources/glossary/esd.html>
- [2] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *UNE 12100:2010: Seguridad de las máquinas - Principios generales para el diseño - Evaluación del riesgo y reducción del riesgo*.
- [3] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2020). *UNE 13850:2020: Seguridad de las máquinas - Paradas de emergencia - Aspectos funcionales - Principios para el diseño*.
- [4] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2012). *UNE-EN 61439-1:2012: Conjuntos de aparata de baja tensión - Parte 1: Requisitos generales*.
- [5] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2012). *UNE-EN 61439-2:2012: Conjuntos de aparata de baja tensión - Parte 2: Conjuntos de distribución y control*.
- [6] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2012). *UNE-EN 61439-3:2012: Conjuntos de aparata de baja tensión - Parte 3: Conjuntos de distribución destinados a ser operados por personas no cualificadas (tableros de distribución del tipo de envolvente)*.
- [7] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2012). *UNE-EN ISO 10218-1:2012: Robots y dispositivos robóticos - Requisitos de seguridad para robots industriales - Parte 1: Robots*.
- [8] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2012). *UNE-EN ISO 10218-2:2012: Robots y dispositivos robóticos - Requisitos de seguridad para robots industriales - Parte 2: Sistemas e integración*.
- [9] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2013). *UNE-EN 61439-4:2013: Conjuntos de aparata de baja tensión - Parte 4: Conjuntos para obras de construcción (CDV)*.
- [10] Asociación Española de Normalización y Certificación. (2017). *UNE 135121:2017: Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos de regulación de cuerda*.
- [11] Asociación Española de Normalización. (2019). *UNE-EN 60204-1:Seguridad de las máquinas. Equipos eléctricos de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales*.
- [12] Asociación Española de Normalización. (2021). *UNE-EN IEC 62061:2021: Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de los sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relacionados con la seguridad*.
- [13] Descubrearduino. (2022, abril 5). *Brazos robóticos: Diferentes tipos y cuándo utilizarlos*. Recuperado el 11 de agosto de 2023, de <https://descubrearduino.com/brazos-roboticos-diferentes-tipos-y-cuando-utilizarlos/>
- [14] David, J. (2019, marzo 20). *¿Qué son los brazos robóticos?* Recuperado el 12 de agosto de 2023, de <https://robotesfera.com/que-son-brazos-roboticos>
- [15] Diep, T., & Cline, R. (s/f). *Electrostatic Discharge (ESD)*. Recuperado el 18 de julio de 2023, de: https://www.ti.com/lit/an/ssya010a/ssya010a.pdf?ts=1717598933096&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fsite-search%252Fen-us%252Fdocs%252Funiversalsearch.tsp%253FlangPref%253Den-US
- [16] Doug Deals. (s/f). *Detectus AB RQ642EH RSE 642 3D Thermal Scanning Platform with Optex BA-06TA*. Recuperado el 30 de marzo de 2024, de <https://www.dougdeals.com/detectus-ab-rq642eh-rse-642-3d-thermal-scanning-platform-with-optex-ba-06ta/CARTESIANO>
- [17] EMC directory. (s/f) *What are electro-static discharge(ESD) immunity tests? - EMC directory*. (s/f). Recuperado el 18 de julio de 2023, de <https://www.emc-directory.com/community/what-is-esd-testing>
- [18] Equinlabsac. (s/f). *Robot industrial de 6 grados de libertad - YA-R3F*. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <https://www.equinlabsac.com/content/robot-industrial-de-6-grados-de-libertad-ya-r3f>
- [19] Esneca. (2019, abril 5). *Brazo Robótico: Qué es y en qué Industrias se utiliza?* Recuperado el 12 de agosto de 2023, de <https://www.esneca.com/blog/brazo-robotico-industrias/>
- [20] Esda (s/f). *ESD overview from EOS/ESD association, inc*. Recuperado el de 2023, de: <https://www.esda.org/esd-overview/>

- [21] Esda. (s/f). *The relationship between EMI/EMC and ESD*. Recuperado el 18 de agosto de 2023, de <https://www.esda.org/news/the-relationship-between-emiemc-and-esd/>
- [22] ESDEMC Technology (2018, julio 23). *ESDEMC technology - ESD EMC HV HF solutions*. Recuperado el 1 de agosto de 2023, de: <https://www.esdemc.com/>
- [23] Fircelli Automations. (s/f). *F12 actuadores micro lineales*. Recuperado el 10 de enero de 2024, de <https://www.fircelliauto.com/es/products/f12-micro-linear-actuators?variant=39574554148935>
- [24] Gomez, J. G. (2014, abril 1). *Tutorial de Freecad (1/40): Presentación*. Recuperado el 20 de agosto de 2023, de https://www.youtube.com/watch?v=2_DbFzFV9D4&list=PLmnz0JqIMEzWQV-3ce9tVB_LFH9a91YHF
- [25] Guns, E. S. D. (2015, junio 12). *How to setup and use the Haefely ONYX ESD simulator gun*. Recuperado el 11 de agosto de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=OosXOZPLYgU>
- [26] Hoffmann-group. (s/f). *Guía ESD*. Recuperado el 28 de julio de 2023, de <https://www.hoffmann-group.com/ES/es/hoef/formacion/guias-online/guia-descargas-electrostaticas/e/61367/>
- [27] Iebschool. (s/f). *¿Qué es un robot colaborativo?* Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de <https://www.iebschool.com/blog/que-es-cobot-robot-colaborativo-tecnologia/#:~:text=Un%20cobot%20o%20robot%20colaborativo%2C%20es%20aque%20que%20opera%20en,compartido%20y%20de%20forma%20eficiente>.
- [28] Indiamart. (s/f). *1000mm Mitsubishi SCARA Robot Arm, For Industrial, Number Of Axes: 2*. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <https://www.indiamart.com/proddetail/1000mm-mitsubishi-scara-robot-arm-22699938688.html>
- [29] Infineon (s/f). *ESD, EMC and PCB recommendations for HS CAN transceivers*. Recuperado el 20 de julio de 2023, de: [www.infineon.com/dgdl/Infineon-Z8F54492107-ESD EMC and PCB Recommendations-ApplicationNotes-v01_10-EN.pdf?fileId=5546d46264fee02f016513afb4eb11e3](http://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Z8F54492107-ESD%20EMC%20and%20PCB%20Recommendations-ApplicationNotes-v01_10-EN.pdf?fileId=5546d46264fee02f016513afb4eb11e3).
- [30] Interempresas. (s/f). *Trabajando con robots: principios de prevención, seguridad y salud en el trabajo*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, de <https://www.interempresas.net/Robotica-industrial/Articulos/383330-Trabajando-con-robots-principios-de-prevencion-seguridad-y-salud-en-el-trabajo.html>
- [31] International Organization for Standardization. (2023). *ISO 10605:2023: Road vehicles - Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge*. <https://www.iso.org/standard/79094.html>
- [32] International Organization for Standardization. (2023). *ISO 13849-1: Seguridad de la maquinaria: Partes relacionadas con la seguridad de los sistemas de control – Parte 1: Principios generales para el diseño*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/73481.html>
- [33] International Electrotechnical Commission. (2008). *IEC 61000-4-2:2008: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test*. <https://webstore.iec.ch/publication/4196>
- [34] Isotest (s/f). *Ensayo de descargas electrostáticas, ¿Qué es y cómo se hace?* Recuperado el 23 de julio de 2023, de: https://www.isotest.es/web/instrumentacion_electronica/tipo/instrumentacion_de EMC/descargas_electrostaticas_que_es.html
- [35] Jiménez, A. C. (s/f). *Con robots colaborativos, menos accidentes laborales*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, de <https://www.universal-robots.com/es/blog/prevencion-accidentes-laborales/>
- [36] Kelechava, B. (s/f). *Ansi/esd s20.20-2021. The ANSI Blog; American National Standards Institute*. Recuperado el 10 de agosto de 2023, de <https://blog.ansi.org/tag/ansi-esd-s20-20-2021/>
- [37] Keller, R. (2018, mayo 21). *What is EMC? Academy of EMC*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de: <https://www.academyofemc.com/post/what-is-emc>
- [38] Oira. (s/f). *Cómo llevar a cabo una evaluación de riesgos*. Recuperado el 19 de julio de 2023, de <https://oira.osha.europa.eu/es/how-carry-out-risk-assessment>.
- [39] Pfiffner Group. (s/f) *ONYX 30*. Recuperado el 30 de marzo de 2024, de <https://www.pfiffner-group.com/products-solutions/details/onyx-30>
- [40] Pirani. (s/f). *Guía para realizar la evaluación de riesgos*. Recuperado el 20 de enero de 2024, de <https://www.piranirisk.com/es/academia/especiales/guia-para-realizar-la-evaluacion-del-riesgo>

- [41] Prods, A. (2023, mayo 5). *LA GUÍA DEFINITIVA DE BLENDER 4.0! (Tutorial completo en Español) | Desde cero!* 2023. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=O-tV7uBf5LI>
- [42] QVIRO. (s/f). *KUKA KR 6 R900 Fivve specifications*. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <https://qviro.com/product/kr-6-r900-fivve/specifications>
- [43] Remcom. (s/f). *Simulador de pruebas de descargas electrostáticas. (s/f)*. Recuperado el 10 de agosto de 2023, de: <https://es.remcom.com/applications/electrostatic-discharge-testing>
- [44] RobotShop Europe. (s/f). *Brazos y Pinzas Robóticos*. Recuperado el 11 de agosto de 2023, de <https://eu.robotshop.com/es/collections/robotic-arms>
- [45] Rohde & Schwarz. (s/f). *FLUKE 289*. Recuperado el 10 de enero de 2024, de https://es.rs-online.com/web/p/multimetros/0156730?cjdata=MXxZfDB8WXww&cm_mmc=ES-CJAFF--Kelkoo+Internet+SL--RS+Components+ES+Product+Feed&cjevent=32eb8515236411ef83f0010a0a18b8f9
- [46] Root. (s/f). *PRUEBAS DE ESD: LO BÁSICO*. Recuperado el 19 de julio de 2023, de: <https://es.lisungroup.com/news/technology-news/esd-testing-the-basics.html>
- [47] Safesite (2022, marzo 31). *Guía de seguridad sobre los riesgos de la robótica industrial*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, de <https://safesitehq.com/es/industrial-robotica/>
- [48] SafetyCulture. (2020, enero 16). *Evaluación de riesgos*. Recuperado el 20 de enero de 2024, de: <https://safetyculture.com/es/temas/evaluacion-de-riesgos/>
- [49] Shanghai Sosin Electronics Co., & Ltd. (2022, abril 16). *¿Qué son las pruebas de ESD? – Conocimiento*. Recuperado el 20 de julio de 2023, de: <https://es.sosinemctest.com/info/what-is-esd-testing-70723020.html>
- [50] Siebert, L. (s/f). *What you need to know about internal ESD protection on integrated circuits*. Recuperado el 30 de agosto de 2023, de https://www.ti.com/lit/ta/ssztbv4/ssztbv4.pdf?ts=1717598966434&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fsite-search%252Fen-us%252Fdocs%252Funiversal-search.tsp%253Flang=Pref%253Den-US
- [51] Teledynelecroy. (s/f). *Electrostatic discharge (ESD) electrical fast transient (EFT)*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de https://cdn.teledynelecroy.com/files/pdf/emc_datasheet.pdf
- [52] Testups. (2021, enero 22). *ElectroStatic discharge (ESD) testing*. Recuperado el 24 de julio de 2023, de: <https://www.testups.com/esd-testing/>
- [53] Thermofisher. (s/f). *Electrostatic discharge (ESD) & transmission line pulse (TLP) systems - UK*. (s/f). Recuperado el 20 de julio de 2023, de: <https://www.thermofisher.com/es/es/home/industrial/manufacturing-processing/electrostatic-discharge-esd-electromagnetic-compatibility-emc-transmission-line-pulse-tlp-systems.html>
- [54] Toshiba. (s/f). *What is Electrostatic discharge (ESD) testing ?* Recuperado el 19 de julio de 2023, de: https://toshiba.semicon-storage.com/eu/semiconductor/knowledge/faq/diode_tvs-diodes/what-is-electrostatic-discharge-esd-testing.html
- [55] Treo. (s/f). *Treo: ESD*. Recuperado el 28 de julio de 2023, de <https://treo.de/en/services/emc/esd>
- [56] UNIR. (s.f.). *Cómo hacer una evaluación de riesgos laborales*. Recuperado el 2 de febrero de 2024, de <https://www.unir.net/ingenieria/revista/como-hacer-evaluacion-riesgos-laborales/>
- [57] Universal Robots. (s/f). *UR5+*. Recuperado el 5 de junio de 2024, de <https://www.universal-robots.com/plus/products/ati-industrial-automation/ati-qc-7-robotic-tool-changer/>
- [58] Universal Robots. (s/f). *UR5e*. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>
- [59] Wasabistudio. (s/f). *Electrical tests, EMC and ESD*. Recuperado el 28 de julio de 2023, de <https://www.bosmal.eu/494-electrical-tests-emc-and-esd>
- [60] Wit Automatización. (2024, enero 22). *Trabajar de Forma Segura con Robots Industriales*. Recuperado el 15 de marzo de 2024, de <https://witautomatizacion.es/trabajar-de-forma-segura-con-robots-industriales/>

Anexo 1 – Reformulación Objetivo

Desde un inicio, la idea consistía en una automatización completa del test ESD, incluyendo las descargas *powered* y *unpowered*. Tras una primera búsqueda de información y la asimilación del proceso de validación, se concretaron una serie de reuniones con la mánager del laboratorio y personal relacionado con la prueba y se concluyó que se debía reorientar el objetivo del proyecto a una automatización íntegra de la parte del test ESD correspondiente a las descargas *unpowered*.

Esta decisión, se sustenta en el volumen que tiene esta parte del proceso sobre la totalidad de la prueba. Según estimaciones del personal del laboratorio, este tipo de descargas significaba, en determinados casos, alrededor del 80% del tiempo total del test. Además, resulta una tarea exhaustiva que requiere una supervisión continua y en algunos casos, resulta complejo detectar si ha acontecido algún error. Adicionalmente, la zona de pruebas de las descargas *unpowered* presupone más simple debido a la ausencia de equipos o fuentes de alimentación encima de la mesa. Esto, supondría una complejidad adicional debido a que cualquier solución que se decidiese adoptar debería considerar la presencia de elementos ajenos al sistema.

Por último, otro aspecto a tener en cuenta es que en el proceso de descargas *powered* se emplea un panel de cargas que simula algunas zonas accesibles del vehículo por parte de los usuarios y el ingeniero realiza descargas directamente sobre el panel. Si bien es cierto que esto podría llegar a ser automatizado, la complejidad que esto conllevaría daría para un trabajo a parte y el tiempo destinado al planteamiento del sistema no sería proporcional al beneficio producido.

En definitiva, aunque la automatización del test completo sería una situación idónea y lo más efectiva posible, se decidió reorientar el objetivo y destinar todos los esfuerzos a contemplar la parte más considerable del test, pero sin cerrarle la puerta a una futura automatización del test completo, una vez demostrada la funcionalidad del sistema.

Anexo 2 – Onyx 30

Una de las partes fundamentales del test de ESD es el simulador ESD. Esta herramienta desempeña un papel clave en la simulación controlada de descargas electrostáticas para evaluar la resistencia de dispositivos electrónicos, en este caso módulos.

El simulador de descargas electrostáticas del que se dispone en la actualidad es el Onyx Haefely 30. Esta, es una herramienta diseñada para probar la resistencia de dispositivos electrónicos ante la presencia de descargas electrostáticas. Es capaz de emitir descargas que simulan situaciones del mundo real donde los dispositivos están expuestos a diferentes condiciones: transporte de los módulos, mal funcionamiento en el interior del vehículo, etcétera.



Figura 15: ONYX 30 – Simulador ESD Disponible

En el *datasheet* y *user manual* se especifican las características y el modo de uso del dispositivo. A continuación, se recogen las características más importantes a tener en cuenta para el proyecto:

- Rango de actuación de 1 a 30 kV
- Módulos RC intercambiables de manera manual
- 3 puntas de descarga intercambiables de manera manual (2 para este experimento)
- Peso aproximado de 1,7 kg (con batería incluida)
- Posibilidad de control remoto (cable software)
- Tornillo para trípode
- Dimensiones de 290 mm x 270 mm x 110 mm (largo – ancho – alto)

Al mismo tiempo, se buscaron otras opciones disponibles en el mercado para valorar si había alguna alternativa con mejores características a nivel de dimensiones, peso o calidad. El elevado precio de estas herramientas, junto con la gran calidad que aporta Onyx refutaron la idea de adquirir otra herramienta y se continuó con la investigación basándola en este modelo.

Anexo 3 – Prueba Experimental

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se recoge la prueba experimental realizada en el laboratorio *Pre-Compliance*, consistente en el test de parámetros y parte de las descargas *unpowered* de contacto.

Anexo 4 – Recursos

Durante el desarrollo del proyecto se emplearon diversos recursos y herramientas que facilitaron el trabajo y resultaron de gran ayuda para su realización. Se utilizaron herramientas de diferentes tipos, destacando entre ellas aplicaciones de diseño, visualización de esquemas y organización.

En este apartado se detallan todos los recursos utilizados, acompañados de una breve explicación de cada uno de ellos para comprender su papel en el proyecto. Esto permitirá entender cómo estas herramientas contribuyeron a la realización exitosa del trabajo.

Diseño

FreeCAD

Es un programa de diseño asistido por ordenador de código abierto y gratuito, utilizado principalmente para la creación de modelos 3D paramétricos y diseño de piezas. Además, FreeCAD ofrece una variedad de herramientas y características adicionales que lo convierten en una opción adecuada para diferentes sectores, como por ejemplo el diseño mecánico, la arquitectura y la electrónica, entre otros.

Otra característica destacada es su interfaz de usuario intuitiva y personalizable, que facilita la navegación y el uso del software, especialmente para aquellos que están familiarizados con otros programas de diseño CAD. Además, al ser de código abierto, permite a los usuarios acceder al código fuente y realizar modificaciones según sus necesidades específicas.

A pesar de sus numerosas ventajas, es importante tener en cuenta que también presenta algunas limitaciones en comparación con herramientas comerciales más avanzadas en términos de rendimiento y características específicas. Sin embargo, sigue siendo una buena alternativa de programa de diseño 3D gratuito y de código abierto, especialmente para proyectos de diseño más simples o como herramienta complementaria en un flujo de trabajo de diseño más amplio. En el contexto de este proyecto, aunque no es la herramienta principal utilizada por la empresa, su uso ocasional ha servido como una valiosa herramienta de exploración y visualización durante las etapas iniciales del diseño.

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra una imagen del primer diseño del *set-up* mediante FreeCAD.

Blender

Blender es un software versátil de modelado 3D, animación y renderización utilizado en diversas industrias, que van desde la animación hasta el diseño de videojuegos, pasando por la arquitectura y la ingeniería.

Este programa ofrece una amplia gama de herramientas de modelado que permiten a los usuarios crear geometrías, realizar esculpados digitales e importar modelos 3D desde otros programas, lo que facilita la creación de modelos tridimensionales detallados para una variedad de aplicaciones, como la extremidad del brazo robótico y el set-up del proyecto.

Además de estas capacidades, Blender también tiene la posibilidad de crear animaciones, lo que resulta fundamental para comunicar conceptos de manera visual y comprensible. Esto ha sido especialmente útil en el proyecto, donde se utilizó para explicar la configuración del sistema, como en el caso de la extremidad del brazo robótico, que inicialmente estaba formada por varias capas.

Por último, Blender cuenta con potentes opciones de renderización que permiten generar imágenes y secuencias de alta calidad. Esta característica ha sido fundamental, permitiendo obtener imágenes y vídeos que han ayudado a comunicar y visualizar de manera más entendible el proyecto.

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra una imagen del primer diseño del *set-up* mediante Blender.

Catia

CATIA es un software de diseño asistido por computadora utilizado por ingenieros y diseñadores para crear modelos 3D, realizar simulaciones y generar documentación técnica. Esta herramienta es fundamental en la ingeniería y diseño de productos y destaca por su extensa colección de herramientas que abarcan desde el diseño conceptual hasta la fabricación, cubriendo todo el ciclo de vida del producto.

En este proyecto, CATIA ha sido empleado en la fase final del diseño de la extremidad del brazo robótico. Junto con un experto del departamento de mecánica, se ha utilizado este software para simular con mayor precisión el comportamiento del brazo robótico en condiciones cercanas a la realidad. Una vez completado el diseño en este programa, se llevaron a cabo simulaciones para analizar los esfuerzos e inercias del sistema, lo que permitió comprender mejor su rendimiento y realizar los ajustes necesarios.

Esquemático

ViseCAD

Es una aplicación funcional para ver diseños esquemáticos. Esta aplicación permitió ver el diseño de la pieza con la que estaba trabajando, conociendo así la disposición de los componentes y la ubicación de pines y conectores.

ViseCAD es una aplicación que ofrece una plataforma para visualizar diseños esquemáticos de manera detallada y precisa. Esta herramienta permite a los usuarios examinar en profundidad el diseño de una pieza específica. Al utilizar ViseCAD, se ha explorado la disposición de los componentes dentro del diseño, así como la ubicación precisa de los pines y conectores.

Una de las ventajas de este programa es su capacidad para proporcionar representaciones visuales claras y comprensibles del diseño esquemático. Esta función facilitó enormemente la comprensión del diseño y fue utilizada para identificar los diferentes conectores o pines con los que se trabajaba.

Programación

PyCharm

PyCharm es un entorno de desarrollo integrado específico para el lenguaje de programación Python. Este entorno proporciona una amplia gama de herramientas y funcionalidades que facilitan la escritura, edición y depuración del código. Entre sus características destacadas se encuentran la finalización automática de código, la navegación inteligente, el análisis de errores en tiempo real y la integración con sistemas de control de versiones.

En el desarrollo del proyecto, ha sido de ayuda para ejecutar los códigos que se generaban y comprobar que funcionaban correctamente. Gracias a sus herramientas de depuración y análisis, se han identificado y corregido los errores de manera eficiente, garantizando así la calidad y el rendimiento del código implementado.

Organización

Mural

Es una aplicación de colaboración en línea que ofrece una plataforma versátil para crear diagramas y esquemas visuales. Tiene una gran capacidad de integración de elementos visuales y textuales que permite elaborar diagramas del proceso de manera eficiente, lo que facilitó la planificación y la posterior programación del sistema. La organización del proceso facilitó también la toma de decisiones y la división en fases del desarrollo del proyecto.

Se han realizado algunos diagramas de flujo que han ayudado a mejorar la comprensión del proyecto, como el diagrama del código principal del sistema.

Pack Office

Las aplicaciones utilizadas fueron Microsoft Word, Microsoft Power Point y Microsoft One Note. Se utilizaron para recoger documentación, elaborar presentaciones y tomar notas, respectivamente. Si bien es cierto que se tenían nociones básicas, la realización de este proyecto ha mejorado considerablemente los conocimientos en estos programas.

Anexo 5 – Extremidad

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se detalla el proceso de desarrollo de la herramienta para el brazo robótico, desde su concepción inicial hasta su diseño y posterior impresión 3D.

Anexo 6 – Evaluación de Riesgos

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se recoge la evaluación de riesgos elaborada durante el desarrollo del proyecto, contrastada y supervisada por un profesional del ámbito de la seguridad.

Anexo 7 – Código

Para asegurar la confidencialidad de la información contenida en esta sección, se ha omitido el contenido en esta versión pública. Todos los derechos están reservados para Lear Corporation o cualquiera de sus clientes o proveedores.



Para acceder a la información de esta sección, se debe solicitar permiso explícito a Lear Corporation Valls.

Resumen: En este apartado se muestra el código desarrollado para la implementación del sistema, incluyendo representaciones de diagramas de flujo y explicaciones detalladas de cada fragmento.

Anexo 8 – Encuesta Test ESD

Durante las primeras semanas del desarrollo del proyecto, en las que se priorizó la búsqueda de información, se planteó una encuesta para conocer la opinión de los trabajadores involucrados con el Test ESD. La encuesta fue respondida por 12 ingenieros, entre los que había personal destinado a procesos investigativos y personal destinado al proceso final de validación.

A continuación, se mostrará cada pregunta acompañada del gráfico correspondiente a las respuestas obtenidas.

Pregunta 1: ¿Has realizado alguna vez un Test ESD?

- Sí
- No

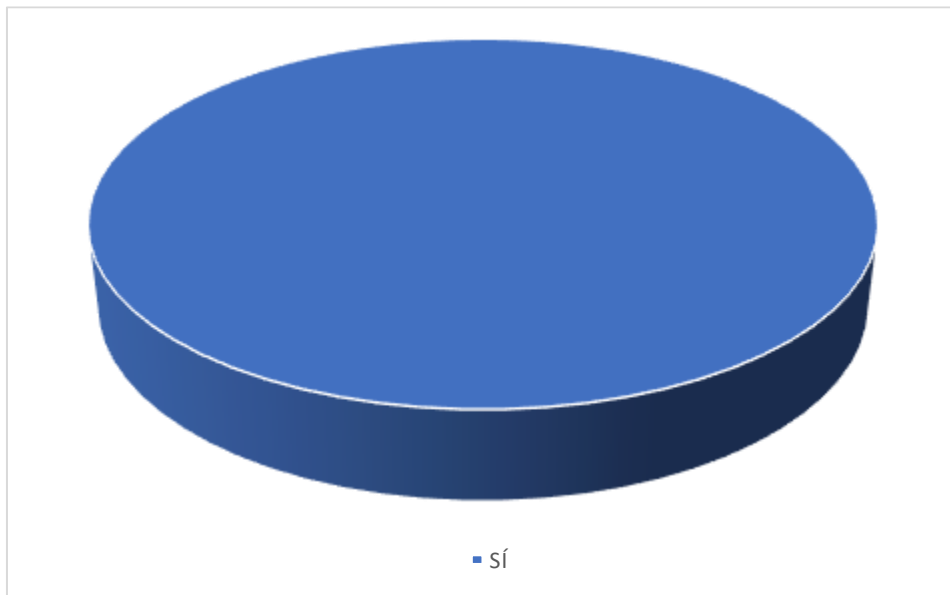


Figura 16: Respuestas pregunta 1 encuesta

Pregunta 2: ¿Qué cantidad de tests has realizado?

- 1-5
- 5-10
- 10-20
- +20

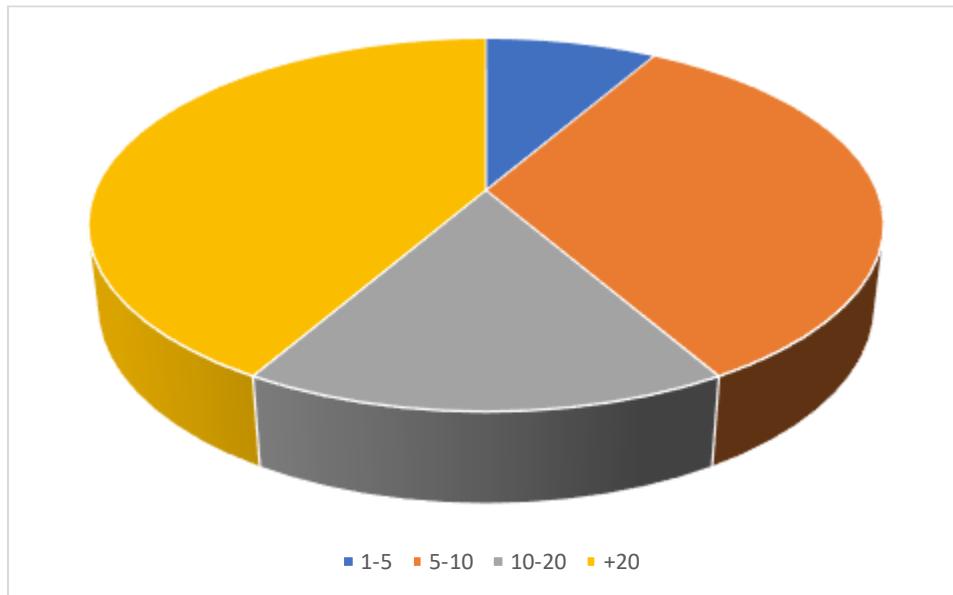


Figura 17: Respuestas pregunta 2 encuesta

Pregunta 3: ¿Consideras que el Test ESD es un proceso largo?

- Sí
- No
- Indiferente

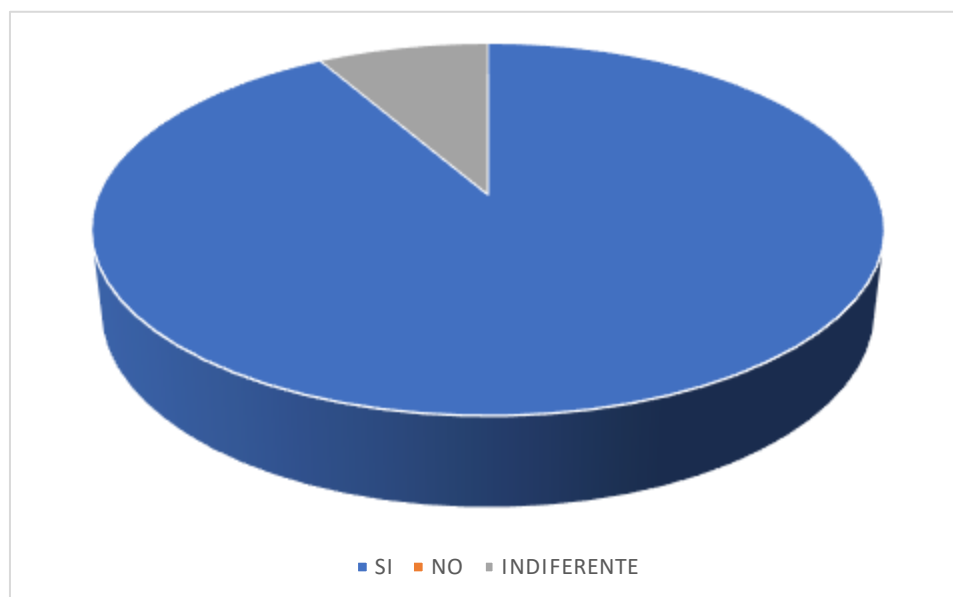


Figura 18: Respuestas pregunta 3 encuesta

Pregunta 4: ¿Consideras que el Test ESD es un proceso que produce fatiga?

- Sí
- No
- Indiferente

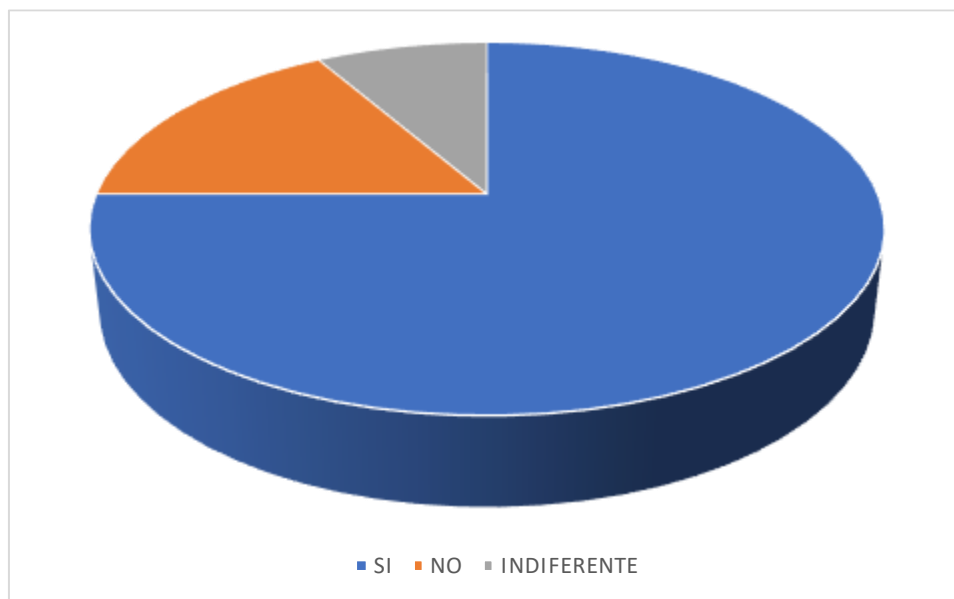


Figura 19: Respuestas pregunta 4 encuesta

Pregunta 5: ¿Consideras que algunos de los errores introducidos en el proceso de validación pueden estar relacionados con una mala praxis?

- Sí
- No
- Indiferente

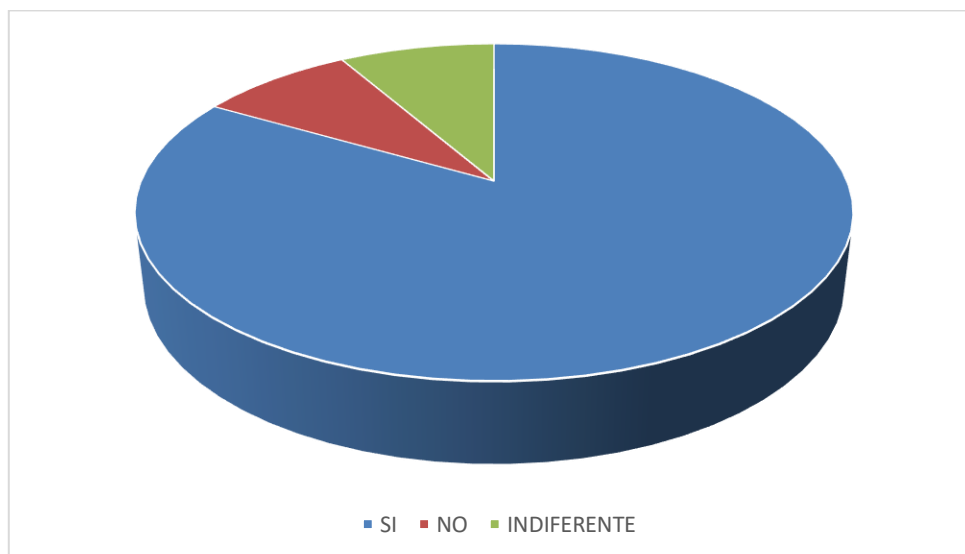


Figura 20: Respuestas pregunta 5 encuesta

Reflexión encuesta

La primera pregunta es una breve introducción, para familiarizar a los encuestados con el contexto de la temática. Como era de esperar, al haber compartido el cuestionario con personal del departamento de *hardware* y del laboratorio de validación, la totalidad de los encuestados han realizado alguna vez un Test ESD.

La segunda pregunta muestra que dentro de los encuestados hay todo tipo de perfiles, desde algunos que han realizado pocos tests, dado que están destinados a procesos investigativos, hasta personal del laboratorio de validación que se enfrentan día tras día a la realización de estas pruebas. Este factor provoca que las respuestas vengan desde diferentes perspectivas y no exclusivamente de aquellos que llevan años desempeñando estas tareas.

En la tercera pregunta, se entra de lleno en la temática del proyecto, preguntando si consideran que el Test es un proceso extenso, ante lo que el 91.6% de los encuestados están de acuerdo y consideran que la extensión del proceso resulta desmesurada.

En la cuarta pregunta, se cuestiona sobre la exhaustividad del proceso, obteniendo un 75% de encuestados que consideran los Test ESD un proceso que produce fatiga. Por otro lado, hay un 16,6% que considera que el proceso no llega a producir fatiga, dejando la anotación que los tests que ellos han realizado no han sido excesivamente complejos y se resumían a uno o varios conectores.

En la quinta pregunta, se cuestiona la validez de los resultados, preguntando si consideran que algunos errores detectados en la fase de validación de la piezas podrían deberse a una mala praxis, ante lo cual un 83,3% está a favor.

Por último, se planteó una pregunta adicional y opcional, en la que los encuestados podían introducir ideas para hacer de este proceso uno más sencillo y algunas de las respuestas más repetidas han sido “Control del estado del Test, indicando el pin en el que se encuentra el proceso” o “Automatización del Test ESD”.

Finalmente, se concluye que la automatización del Test ESD es un proceso viable, de acorde con las respuestas recibidas por parte del entorno de trabajo directamente relacionado con el proceso.