



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN COPETE DE  
SEGURIDAD PARA UN CAJERO MODELO  
WINCOR 280**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**Ingeniero en Mecatrónica**

PRESENTA  
**C. Raúl Jiménez Hernández**

DIRECTORA DE TESIS  
**Dra. Esther Lugo González**

CODIRECTOR DE TESIS  
**M.M.A Mario Alejandro Alvarez Pérez**

H. Cd. de Huajuapán de León, Oaxaca; Junio del 2025





Tesis presentada ante los sinodales:  
Dr. Miguel Alberto Dominguez Gurria  
M.C. Victor Manuel Cruz Martinez  
Ing. Rafael Adrian García García

Codirector de Tesis:  
M.M.A Mario Alejandro Alvarez Pérez

Directora de Tesis:  
Dra. Esther Lugo González



*Dedicado con todo mi afecto  
a la memoria de Héctor Heras  
que con su tenacidad y fortaleza en vida  
me ha inspirado a continuar aun cuando todo parece difícil.*



# *Agradecimientos*

Expreso un profundo agradecimiento a mi madre, Rocío Maribel Hernández Antonio, quien me ha mostrado el camino que nadie más me podría mostrar, gracias por estar siempre a mi lado y pasar muchos años de tu vida cultivando una semilla que crece cada que cierro los ojos y le doy gracias por tenerte conmigo.

A mi padre, Raúl Jiménez Pérez, quien no ha dejado de apoyarme en todos los aspectos de mi vida y me ha inculcado los valores de la perseverancia, el esfuerzo y el trabajo como parte fundamental a una vida de excelencia.

A mi hermano, Irving Daniel, porque seguramente no estuviera yo en este momento si no fuera por su ejemplo y pasión de realizar las cosas de la mejor y perfecta manera posible. Además, gracias a mis queridos abuelos y al resto de mi familia quienes son los responsables de los buenos momentos y pilares con los que hoy me identifico.

Agradezco a la Dra. Esther Lugo Gonzales, quien no solo me apoyo y enseñó en mi carrera universitaria, sino que pude ser testigo de lo maravillosa que puede ser una persona al apoyar a un alumno aun después de mucho tiempo de silencio, significó mucho, ¡gracias!.

Finalmente, a la Universidad tecnológica de la Mixteca, por permitirme formarme como Ingeniero, aprender de excelentes docentes y de sus amables personas en la institución, a todos mis amigos y compañeros en el camino, han dejado una huella de experiencias y horas de conocimientos invaluable, hicieron este reto una vivencia memorable.



# *Resumen*

Este proyecto se centra en el diseño y fabricación de un copete de seguridad para un cajero automático Wincor 280, atendiendo a las necesidades y requerimientos específicos para reforzar las áreas vulnerables del ATM.

El desarrollo del copete comienza con una fase de diseño conceptual, donde se definen los requerimientos y las necesidades fundamentales a cubrir. Utilizando el software SolidWorks, se elabora el diseño detallado del copete, incluyendo simulaciones de elementos finitos que analizan la respuesta del componente ante posibles perturbaciones externas y vandálicas.

En la parte electrónica, se establece la base para el funcionamiento sincronizado de los mecanismos de cierre y apertura del copete, en coordinación con sensores y alarmas de seguridad. Además, se implementa un control de temperatura mediante el método de Ziegler-Nichols, asegurando una temperatura constante y óptima para el funcionamiento prolongado de los componentes electrónicos.

La fase de fabricación comienza con una línea de producción estructurada que incluye el corte y el doblado de la materia prima, seguido del tratamiento para garantizar la rigidez y solidez del copete. Posteriormente, las piezas se ensamblan mediante soldadura MIG, se someten a un proceso de limpieza, y finalmente, se pintan y montan los dispositivos antes de la instalación en sitio.





# *Abstract*

This project focuses on the design and manufacture of a security top for a Wincor 280 ATM, meeting the specific needs and requirements to reinforce the vulnerable areas of the ATM.

The development of the top begins with a conceptual design phase, where the requirements and fundamental needs to be covered are defined. Using SolidWorks software, the detailed design of the top is elaborated, including finite element simulations that analyse the response of the component to possible external disturbances and vandalism.

In the electronic part, the basis is established for the synchronised operation of the closing and opening mechanisms of the coping, in coordination with sensors and security alarms. In addition, temperature control is implemented using the Ziegler-Nichols method, ensuring a constant and optimal temperature for the long-term operation of the electronic components.

The manufacturing phase begins with a structured production line that includes cutting and bending of the raw material, followed by treatment to ensure the rigidity and strength of the top. The parts are then assembled by MIG welding, undergo a cleaning process, and finally, the devices are painted and assembled prior to on-site installation.



# Índice general

Agradecimientos	VII
Resumen	IX
Índice de figuras	XVIII
Índice de tablas	XIX
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	2
1.1.1. Historia Primer cajero automático en México . . . . .	2
1.1.2. Estadísticas en México y América Latina . . . . .	3
1.1.3. Jackpot a cajeros automáticos . . . . .	4
1.1.4. Evolución en la protección de ATM . . . . .	5
1.2. Planteamiento del Problema . . . . .	10
1.3. Justificación . . . . .	11
1.4. Objetivos . . . . .	11
1.4.1. Objetivos General . . . . .	11
1.4.2. Objetivos Específicos . . . . .	11
1.5. Metas . . . . .	12
1.6. Alcances y Limitaciones de la tesis . . . . .	13
1.7. Metodología . . . . .	13
1.8. Propuesta de diseño . . . . .	15
1.8.1. Parámetros . . . . .	17
1.8.2. Métricas . . . . .	18
1.9. Organización del documento de tesis . . . . .	20
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>21</b>
2.1. Cajeros automáticos ATM . . . . .	21
2.1.1. Conceptos básicos . . . . .	22
2.1.2. Tipos de ataques a cajeros ATM . . . . .	24
2.1.3. Mecánica de materiales . . . . .	25
2.1.4. Sistemas de Control . . . . .	26
2.1.5. Herramientales de Fabricación . . . . .	27
2.1.6. Cerradura electrónica Europea . . . . .	29
2.1.7. Metodología de diseño . . . . .	30
<b>3. Diseño del copete de seguridad</b>	<b>32</b>
3.1. Diseño Preliminar . . . . .	33
3.1.1. Casa de la calidad QFD . . . . .	33
3.1.2. Criterios de PDS . . . . .	37

3.1.3.	Selección de Materiales . . . . .	38
3.2.	Diseño CAD . . . . .	40
3.2.1.	Herramienta chapa metálica . . . . .	40
3.2.2.	Diseño de cuerpos . . . . .	42
3.2.3.	Puerta . . . . .	43
3.2.4.	Bisagra . . . . .	43
3.2.5.	Herraje . . . . .	44
3.3.	Diseño electrónico . . . . .	45
3.3.1.	Componentes Electrónicos Generales . . . . .	46
3.3.2.	Electrónica de Control . . . . .	49
3.3.3.	Esquemático de Planta de Temperatura . . . . .	50
3.4.	Diseño del Control . . . . .	51
3.4.1.	Control de Temperatura . . . . .	51
3.4.2.	Control PID . . . . .	52
3.4.3.	Reglas de Ziegler-Nichols para controladores PID . . . . .	52
3.4.4.	Sintonización de Ziegler Nichols en Lazo Abierto . . . . .	53
3.4.5.	Modelo matemático y linealización de la planta de temperatura . . . . .	55
<b>4.</b>	<b>Análisis de Simulaciones</b>	<b>58</b>
4.1.	Simulaciones por método de elementos finitos . . . . .	59
4.1.1.	Propiedades físicas para el Acero al Carbón . . . . .	59
4.2.	Parámetros . . . . .	60
4.3.	Mallado . . . . .	63
4.4.	Fuerza de Impacto . . . . .	64
4.5.	Simulaciones . . . . .	66
4.5.1.	Simulación Análisis 1 . . . . .	66
4.5.2.	Simulación Análisis 2 . . . . .	69
4.5.3.	Simulación Análisis 3 . . . . .	71
4.6.	Pruebas de Impacto Físicas . . . . .	72
4.7.	Simulación electrónica . . . . .	73
4.8.	Simulaciones de Control . . . . .	75
4.8.1.	Simulación Matlab - Ziegler Nichols . . . . .	75
4.8.2.	Resultados de Simulación . . . . .	77
4.8.3.	Implementación Física Matlab Arduino . . . . .	78
4.8.4.	Resultados físicos Ziegler Nichols . . . . .	79
<b>5.</b>	<b>Desarrollo Y Fabricación</b>	<b>81</b>
5.1.	Esquema de Procesos Básicos de la Industria . . . . .	82
5.2.	Corte Laser . . . . .	83
5.3.	Doble . . . . .	84
5.4.	Armado . . . . .	86
5.5.	Montaje e Instalación . . . . .	87
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>90</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	91
6.2.	Principales aportaciones . . . . .	94
6.3.	Trabajos Futuros . . . . .	95
	<b>Bibliografía</b>	<b>96</b>
	<b>Anexos</b>	<b>98</b>



# Índice de figuras

1.1. Primer Cajero en México Fuente Expansión . . . . .	2
1.2. Estadísticas Fuente Elaboración del ONC con datos del SESNSP . . . . .	3
1.3. Jackpot conection [5] . . . . .	4
1.4. Jackpot Fuente UNAM [5] . . . . .	5
1.5. Armadura ATM Fuente SAIMA MEXICO [7] . . . . .	6
1.6. Marco Interior p-ATM Fuente ATM TRADER [8] . . . . .	6
1.7. Quiosco de ATM Fuente ATM TRADER [9]. . . . .	7
1.8. Copete de seguridad . . . . .	8
1.9. Copetes visuales . . . . .	9
1.10. Copete no reforzado . . . . .	9
1.11. Metodología VDI2206. Adaptado [1] . . . . .	13
1.12. Tabla de Casos posibles . . . . .	17
1.13. Diagrama de bloques General . . . . .	20
2.1. ATM Fuente ALAMY [14] . . . . .	21
2.2. MEF Fuente SolidWorks Help . . . . .	26
2.3. Funcion de Transferencia . . . . .	26
2.4. Diagrama de Control PID [22] . . . . .	27
2.5. Soldadura . . . . .	27
2.6. Dobladora . . . . .	28
2.7. Partes del Láser . . . . .	28
2.8. Cerradura Spider . . . . .	29
2.9. Teclado Spider . . . . .	29
2.10. Criterios del PDS. Adaptado de [23] . . . . .	30
2.11. Casa de la calidad QFD. Adaptado [24] . . . . .	31
3.1. Casa de la calidad QFD. Adaptado [24] . . . . .	33
3.2. Casa de la calidad QFD. Requerimientos . . . . .	35
3.3. Herramientas de Chapa metálica . . . . .	40
3.4. Explosivo . . . . .	40
3.5. Parámetros Chapa metálica . . . . .	41
3.6. Cuerpos . . . . .	42
3.7. Cuerpo central-Puerta . . . . .	43
3.8. Cuerpo central-Bisagra . . . . .	43
3.9. Abatimiento y cuñas . . . . .	43
3.10. Herraje . . . . .	44
3.11. Diagrama de funcionamiento . . . . .	45
3.12. Teclado Spider: <a href="https://btvmexicana.com/producto/spider-pro/">https://btvmexicana.com/producto/spider-pro/</a> . . . . .	46
3.13. Cerradura Spider . . . . .	47

3.14. Comunicación UDC: <a href="https://btvmexicana.com/producto/spider-pro-tcp-ip/">https://btvmexicana.com/producto/spider-pro-tcp-ip/</a> . . . . .	47
3.15. microswitches . . . . .	48
3.16. Push boton . . . . .	48
3.17. Controlador Arduino . . . . .	49
3.18. Transistor TIP31C . . . . .	49
3.19. Sensor de Temperatura TMP36 . . . . .	50
3.20. Planta . . . . .	50
3.21. Diagrama de Control PID . . . . .	52
3.22. Respuesta a un escalón unitario de una planta . . . . .	53
3.23. Respuesta en 'S' . . . . .	53
4.1. MEF . . . . .	59
4.2. Materiales: Módulo de Elasticidad [28] . . . . .	60
4.3. Materiales: Resistencia a la Tensión[28] . . . . .	61
4.4. Materiales: Densidad [28] . . . . .	61
4.5. Materiales: Coeficiente de Poisson [28] . . . . .	61
4.6. Materiales: Limite Elastico [29] . . . . .	62
4.7. Material SolidsWorks . . . . .	62
4.8. Mallado . . . . .	63
4.9. Mallado . . . . .	63
4.10. Marro 8lbs . . . . .	64
4.11. Simulación Análisis 1: Copete de Seguridad . . . . .	66
4.12. Simulación Análisis 1: Von Mises . . . . .	66
4.13. Simulación Análisis 1: Desplazamiento . . . . .	68
4.14. Simulación Análisis 2: Copete de Seguridad . . . . .	69
4.15. Simulación Análisis 2: Von Mises . . . . .	69
4.16. Simulación Análisis 2: Desplazamiento . . . . .	70
4.17. Simulación Análisis 3: Fuerzas Actuantes representativas . . . . .	71
4.18. Simulación Análisis 3: Diagrama . . . . .	71
4.19. Pruebas de Impacto . . . . .	72
4.20. Diagrama de Conexiones . . . . .	73
4.21. Conexión Teclado Spider . . . . .	73
4.22. Conexión Cerradura Spider . . . . .	74
4.23. Conexión UDC . . . . .	74
4.24. Conexión Física . . . . .	75
4.25. Inicio de Variables . . . . .	76
4.26. Inicio de variables:Controlador PID . . . . .	76
4.27. PID no lineal . . . . .	76
4.28. PID Modelo lineal . . . . .	77
4.29. PID . . . . .	77
4.30. Declaracion de variables Globales . . . . .	78
4.31. Declaracion de variables del controlador . . . . .	78
4.32. PID Ziegler Nichols Arduino . . . . .	79
4.33. PID no lineal . . . . .	79
5.1. Procesos básicos metalmeccanica: Fuente: ADIMRA [26] . . . . .	82
5.2. Lantek : <a href="https://www.lantek.com/es">https://www.lantek.com/es</a> . . . . .	83
5.3. Piezas Cargadas en Lantek . . . . .	84
5.4. Piezas Optimizadas respecto a material . . . . .	84

5.5. Parametrización . . . . .	85
5.6. Planos de Fabricación Sección de Doblez . . . . .	85
5.7. Piezas dobladas . . . . .	85
5.8. Herraje y Armado . . . . .	86
5.9. Cuerpo y Armado . . . . .	86
5.10. Puerta y Armado . . . . .	87
5.11. Pintura . . . . .	87
5.12. Montaje Parcial . . . . .	88
5.13. Interfaz Spider Pro . . . . .	88
5.14. Instalación Copete de Seguridad . . . . .	89
1. Interfaz Arduino Control PID . . . . .	109
2. Interfaz Arduino matlab Control PID . . . . .	114
3. Simulación PID Ziegler-Nichols . . . . .	119



# Índice de tablas

1.1. Requerimientos del proyecto . . . . .	15
1.2. Casos posibles . . . . .	16
3.1. Tabla de Requerimientos QFD . . . . .	34
3.2. PDS . . . . .	37
3.3. Selección de materiales . . . . .	39
3.4. Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta [22] . . . . .	54
3.5. Tabla de variables respecto al BJT . . . . .	57
6.1. Tabla de requerimientos: Sección Pruebas de impacto y simulaciones . .	91
6.2. Tabla de requerimientos: Sección Diseño . . . . .	92
6.3. Tabla de requerimientos: Sección Armado y Fabricación . . . . .	93

# Capítulo 1

## Introducción

El presente trabajo se centra en el diseño y fabricación de un prototipo funcional que pueda satisfacer las necesidades de seguridad y resguardo de efectivo e información que se manejan dentro de un cajero. El prototipo busca satisfacer las necesidades de seguridad a un cajero modelo wincor 280. Dichos cajeros tienen facultad de realizar transacciones bancarias, depósitos y retiros de efectivo, los cajeros son diseñados para realizar tareas bancarias sin inferir en la seguridad del mismo, por lo tanto, el prototipo de seguridad se enfoca en el resguardo y seguridad del cajero.

El proyecto se presenta como alternativa a la problemática que enfrentan los bancos al colocar cajeros en lugares de poca seguridad como lo son: tiendas departamentales, escuelas y calles poco concurridas, la falta de seguridad en los lugares mencionados ha dado pauta a que personal delictivo intente obtener de manera ilegal el efectivo de los cajeros.

El proyecto es influido por la metodología en el diseño de proyectos mecatrónicos industriales [1], en el cual primeramente se evalúan los requerimientos obtenidos de un levantamiento en campo observando la problemática, posteriormente se realiza un diseño CAD que satisfaga la necesidad y resuelva la problemática, el diseño se valida haciendo uso de herramientas computacionales que simulan la problemática para concluir una validación o un rediseño, el siguiente paso es proponer un diseño electrónico que se integre al diseño CAD para el funcionamiento. El proyecto incluye la fabricación del prototipo en colaboración con la empresa BTV Mexicana [2], por lo tanto se realizan los planos de fabricación, finalmente utilizando Spider cash system como interfaz, se configuran los componentes, parámetros y especificaciones para el funcionamiento del prototipo.

El protocolo de tesis para el proyecto lo conforman los antecedentes que muestran las investigaciones previas a la seguridad de los cajeros, el planteamiento del problema que expone la problemática a amplios rasgos y se plantea la solución, la justificación explica la solución a la problemática, los objetivos y metas delimitan el trabajo y los puntos a cubrir, el marco teórico presenta los conceptos técnicos a conocer para el esclarecimiento y visión más general, finalmente la metodología muestra el proceso para desarrollar el proyecto.

## 1.1. Antecedentes

### 1.1.1. Historia Primer cajero automático en México

Aunque el primer intento de cajero automático se remonta a 1939 en Estados Unidos [3], éste sólo estuvo en servicio seis meses por falta de demanda. Luther George Simjian, un inventor de origen armenio, patentó el prototipo de una máquina que fue instalada en una pared externa del City Bank, en Nueva York. Sin embargo, ante los escasos usuarios interesados en utilizar este servicio el banco decidió discontinuar su uso. Al parecer Simjian se había adelantado demasiado a su tiempo. Décadas después, en 1965, el escocés John Shepherd-Barron fabricó el primer cajero automático de Europa.

Shepherd-Barron trabajaba en la compañía De La Rue, como presidente de la primera empresa de vehículos blindados en Europa: la Security Express, pionera en la impresión de timbres postales en el mundo. Además, dirigía la empresa De La Rue, dedicada a fabricar máquinas para contar billetes y hojas para la impresión de billetes. Junto con su esposa consideraron la necesidad de incluir una clave de seguridad personal; luego de discutirlo, convinieron una contraseña de cuatro dígitos, lo que dio origen al internacionalmente conocido PIN (Personal Identification Number)[3].

Su primer cajero automático fue colocado en una sucursal del banco Barclays, en la calle Enfield, al norte de Londres, e inaugurado el 27 de junio de 1967. El primer usuario de este novedoso sistema fue el actor Reg Verney, de la entonces famosa serie de televisión *On the buses*, por lo que fue una noticia que se difundió en la radio, televisión y periódicos de la Gran Bretaña.

En 1971, esta misma empresa instaló la versión del cajero totalmente automático, tal como lo conocemos actualmente. En México el primer cajero comenzó a operar en 1972 en Banamex[3], convirtiéndose además en el primero de América Latina (Figura 1.1). En 2010, el BPS de Polonia, fue el primer banco de Europa en contar con un cajero automático biométrico, es decir, que se puede retirar efectivo con sólo usar un dedo.



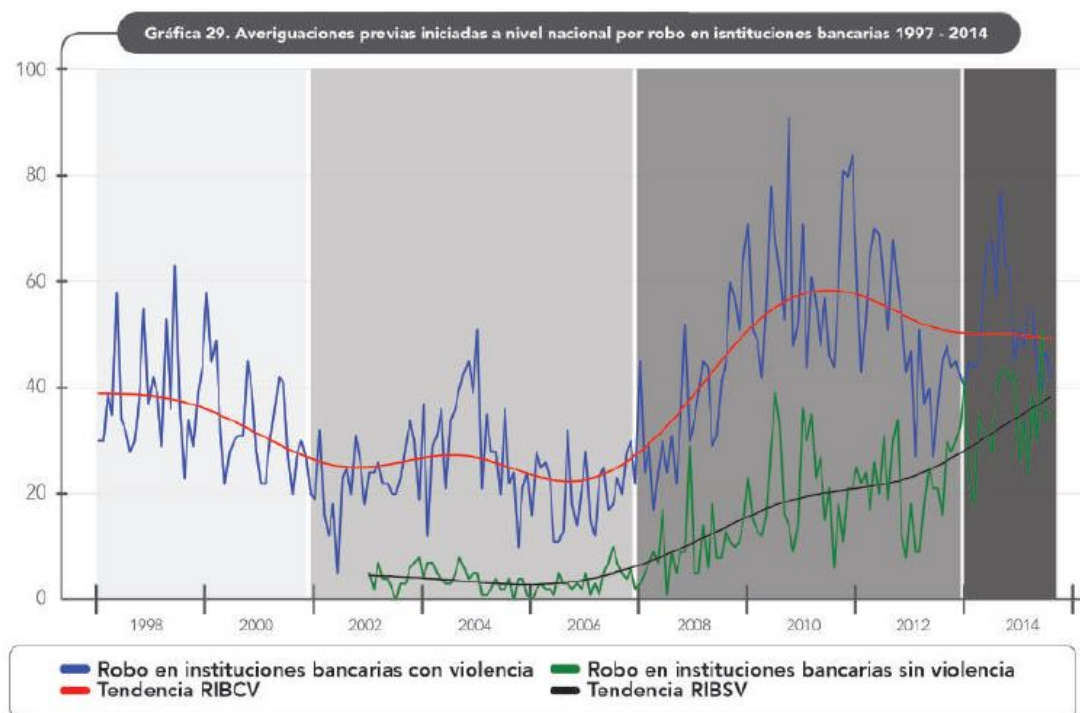
Figura 1.1: Primer Cajero en México Fuente Expansión

### 1.1.2. Estadísticas en México y América Latina

Según cifras publicadas, el cibercrimen costó el año pasado a América Latina \$ 90 mil millones del total de \$ 575 mil millones globales, el 0,5 % del GDP mundial (PIB). El impacto en México asciende hasta los \$ 5 mil millones al año, solo superado por los \$ 8 mil millones de Brasil. Se estima un crecimiento del impacto del cibercrimen en todo el mundo de hasta \$ 6 billones en 2021 [4].

Un estudio de la Council of the Americas cita que el 50 % de las empresas en América Latina sufrieron ataques Malware en 2013. Creciendo a más del 87 % en 2016 en brechas de seguridad. Se estima que el 31 % de los usuarios no se sienten seguros utilizando los ATMs. En 2013 fue detectado el Malware Ploutus en México. Desde entonces se estima que la banca mundial ha perdido en torno a los \$ 450 millones con esta infección. Cada ataque dirigido a un ATM ocasiona de media una pérdida de \$ 50,000 [4].

De acuerdo a los números mostrados en México relacionándolas con las cifras del inegi se puede concluir que el incremento de los cajeros en México va ser siempre al alta, y los usuarios de estos cajeros seguirán sintiéndose inseguros frente a un cajero automático, los ataques con violencia y sin violencia (Figura 1.2), a estos equipos y entidades bancarias seguirían en una constante confrontación buscando nuevas alternativas para solucionar el problema.



Fuente: Elaboración del ONC con datos del SESNSP actualizados al 7 de octubre de 2014

Figura 1.2: Estadísticas Fuente Elaboración del ONC con datos del SESNSP

### 1.1.3. Jackpot a cajeros automáticos

Para llevar a cabo un ataque de jackpot, los ladrones primero deben obtener acceso físico al cajero automático. Desde allí pueden usar malware o productos electrónicos especializados, a menudo una combinación de ambos, para controlar las operaciones del cajero automático.

El 21 de enero de 2018, Krebs On Security comenzó a escuchar rumores sobre los ataques de jackpotting, también conocidos como “Ataques lógicos”, afectando a los cajeros automáticos estadounidenses [5].

Durante los ataques anteriores, los estafadores se vestían como técnicos de ATM y conectaban una computadora portátil con una imagen del sistema operativo de los cajeros automáticos junto con un dispositivo móvil al cajero automático objetivo. Una alerta del Servicio Secreto explica que los atacantes suelen utilizar un endoscopio, un instrumento delgado y flexible que se usa tradicionalmente en medicina para mirar al interior del cuerpo humano, y con ella localizar la parte interna del cajero automático donde pueden conectar un cable que les permita sincronizar su computadora portátil con la computadora del cajero automático (Figura 1.3). Una vez que esto esté completo, el cajero automático estará controlado por los estafadores y el cajero automático aparecerá fuera de servicio para los clientes potenciales.



Figura 1.3: Jackpot conexión [5]

En este punto, los delincuentes que instalan el malware se pondrán en contacto con los conspiradores que pueden controlar remotamente los cajeros automáticos y forzar a las máquinas a dispensar efectivo, una vez que se inicia el ciclo de dispensación, la única manera de detenerlo es presionar cancelar en el teclado. De lo contrario, la máquina quedará completamente vacía de efectivo, de acuerdo con la alerta.

Descubierto por primera vez en México en 2013 [6], Ploutus permitió a los delincuentes vaciar los cajeros automáticos utilizando un teclado externo conectado a la máquina o mediante mensajes SMS, una técnica que nunca se había visto antes, escribió Daniel Regalado de FireEye. Según FireEye, los ataques de Ploutus vistos hasta ahora requieren que los ladrones obtengan acceso físico a un cajero automático de alguna manera, ya sea quitándose las cerraduras, utilizando una llave maestra robada o destruyendo parte de la máquina. Los atacantes pueden conectar un teclado físico para

acceder a la máquina y usar un código de activación proporcionado por el jefe a cargo de la operación para dispensar dinero del cajero automático. Una vez desplegado en un cajero automático, Ploutus hace posible que los delincuentes obtengan miles de billetes en minutos, Figura 1.4. Lo último que hacen los defraudadores antes de abandonar el sitio es volver a enchufar el cable Ethernet.



Figura 1.4: Jackpot Fuente UNAM [5]

#### 1.1.4. Evolución en la protección de ATM

##### Armadura para ATM 2007

ATM Protection es una estructura patentada, fabricada en acero y materiales compuestos pensada para proteger los cajeros automáticos en la zona de la caja fuerte, Figura 1.5. Dicha protección es capaz de evitar que piezas sean expulsadas por el mismo cajero tras un intento de robo mediante una explosión, puedan dañar el entorno, (debido a la fuerza de la explosión). Además, esta protección evitará que los ladrones alcancen el interior del cajero automático.

El grado de protección contra explosiones ha sido probado de acuerdo con las normas UNI EN 1143-1 “Medios de custodia – Requisitos, clasificación y métodos de prueba de resistencia contra robo – Parte 1: Cajas fuertes, cajas fuertes para cajero automático, puerta para habitaciones blindadas y habitaciones blindadas” dichas pruebas fueron realizadas por una Junta de Certificación reconocida y autorizada. La protección para ATM está compuesta por estructuras soldadas de fijación al suelo fabricadas en acero [7].

La fijación al suelo utiliza resinas químicas (que pueden sustituirse por elementos anti-desgarro). Estas resinas se complementan con una red de tiras en materiales compuestos capaz de permitir una alta resistencia contra un acto de tracción y un intento de corte. El grado de esta resistencia resulta indudablemente superior a la acción dada por cualquier cable de acero de las mismas dimensiones.



Figura 1.5: Armadura ATM Fuente SAIMA MEXICO [7]

### Marco interior resistente para bóveda de cajero ATM

La bóveda interior de servicio pesado está diseñada por expertos para mantener seguros los cajeros automáticos, con una bóveda delgada y segura para disuadir a los vándalos y evitar manipulaciones.

El elegante diseño de esta unidad la hace ideal para lugares con espacio limitado, Figura 1.6, como tiendas de conveniencia, gasolineras, lavanderías, bares, etc. Sus características de seguridad mejoradas son adecuadas para establecimientos comerciales que operan hasta altas horas de la noche ó las 24 horas, proporcionando un mayor grado de seguridad y comodidad para los usuarios.

El entorno interior para cajeros automáticos de servicio pesado está fabricado con una sólida construcción de acero de 3/16 pulgadas y se puede personalizar a gusto y necesidad a partir de una lista de opciones disponibles [8].



Figura 1.6: Marco Interior p-ATM Fuente ATM TRADER [8]

### Quiosco de cajero automático al aire libre

El gabinete para cajero automático con parte superior inclinada para exteriores está diseñado para mantener el cajero automático seguro y al mismo tiempo protegerlo de los elementos, Figura 1.7.

Fabricadas con una sólida construcción de acero de 3/16 pulgadas y con una parte superior frontal plana de aluminio sólido, estas unidades de alta resistencia están diseñados para mantener la lluvia, la nieve, el viento y otros elementos externos lejos de la maquinaria de forma segura. Esto ayuda a mantener los cajeros automáticos en buen estado de funcionamiento y prolongar su vida útil [9].



Figura 1.7: Quiosco de ATM Fuente ATM TRADER [9].



### Copete de Seguridad

El copete de seguridad es un modelo innovador diseñado para mejorar la protección de los cajeros automáticos (ATM) Figura 1.8. Este dispositivo se monta sobre el cajero Wincor 280 y está enfocado en controlar, fortalecer e integrar una mayor seguridad al ATM. Está compuesto por tres piezas armables que protegen la fascia, la bóveda y el cajero en su totalidad.

Fabricado con lámina de grueso calibre, el copete cuenta con cerraduras mecánicas especiales e integra un circuito electrónico para el control de la seguridad de la fascia, la bóveda y el propio copete. El material utilizado es maleable, duro, resistente a impactos y a la corrosión, lo que asegura su durabilidad y eficacia sin ofrecer aberturas al exterior.

El diseño del copete permite su instalación en exteriores sin interferir con las tareas operativas del cajero, proporcionando una solución robusta, innovadora y versátil. A diferencia de otros mecanismos de seguridad como cinturones o armaduras tipo carcasa, el copete de seguridad es más rápido de fabricar y no requiere preparación específica del piso para su instalación. Además, su traslado es sencillo gracias a su diseño armable.

Mientras que el cinturón de seguridad solo protege la bóveda y deja expuestas la fascia y el cuerpo del cajero, y las armaduras tipo carcasa presentan complicaciones debido a su peso y la preparación previa que requieren, el copete de seguridad ofrece una protección integral. Se monta sobre el ATM, resguardando simultáneamente el cuerpo del cajero y la fascia, y mejora significativamente la seguridad del cajero Wincor 280 de manera eficiente y práctica.



Figura 1.8: Copete de seguridad

Actualmente, existen diferentes tipos de copetes que se integran a los cajeros automáticos. Sin embargo, muchos de estos copetes no cuentan con la estructura ni el refuerzo necesario para ofrecer una respuesta adecuada en situaciones de estrés. Estos copetes son, en su mayoría, elementos distintivos que carecen de la rigidez y el material necesario para funcionar como accesorios de seguridad efectivos, como se muestra en la Figura 1.9



Figura 1.9: Copetes visuales

Al no considerar el copete como un componente adicional de seguridad para el cajero, se dejan expuestas zonas vulnerables a ataques físicos, como se ilustra en la Figura 1.10. La falta de un copete reforzado permite la existencia de orificios y espacios que facilitan ataques como el jackpotting. Dado el incremento de actos vandálicos, un copete que actúe como refuerzo estructural del cajero es crucial para proteger el valor contenido en el mismo.



Figura 1.10: Copete no reforzado

Por lo tanto, con base en los copetes anteriores y la problemática de las cuales se enfrentan, se diseña un prototipo propio que cumpla con las necesidades y requerimientos que tienden a surgir como, reforzado, asegurado, rígido y controlado.

## 1.2. Planteamiento del Problema

Actualmente en México existe la problemática del robo a cajeros ATM con la técnica *jackpotting* [5] que consiste en conectarse a un puerto USB dentro de la fascia, tener el control del cajero y vaciar la bóveda que contiene el valor efectivo. Además, la demanda de cajeros automáticos hoy en día no satisface la demanda poblacional en las entidades federativas lo que ocasiona un mayor número de cajeros ATM en operaciones que carecen de una seguridad de acuerdo al entorno al que se encuentran. Por lo tanto, las empresas involucradas en colocar los ATM en funcionamiento se ven en la necesidad de fortalecer los 3 elementos principales que definen a un cajero ATM, acorde a un previo estudio y análisis de las situaciones a las cuales podría estar sometido el cajero.

La problemática con el cajero wincor 280, estar colocado en lugares con espacio mínimo y en funcionamiento, por lo que es importante incorporar el copete sin que se afecten las dimensiones de una manera notoria en el ATM, el cajero se considera en lugares poco concurridos ideales para personas que quieran delinquir sin ser observados, por lo que el copete deberá clausurar todos los espacios y zonas que sean accesibles a personas no autorizadas. Habitualmente los cajeros ya cuentan con un complemento que refuerza su seguridad por lo que el copete no deberá presentar la problemática de convivir con un complemento extra, debe ser robusto y adaptarse a un ATM si ya presenta medidas de seguridad previas como un cinturón de seguridad. El cajero wincor debe ser reforzado en sus 3 elementos principales.

- La fascia ubicada en la parte superior representa el primer nivel de seguridad, ya que resguarda la información sensible de los usuarios y la computadora central del ATM. Este aspecto incluye medidas como cámaras de vigilancia, sistemas de detección de intrusiones y tecnologías de encriptación que protegen los datos financieros de los clientes durante las transacciones. El fallo o intrusión de la fascia abre la puerta a la pérdida de información sobre los usuarios y los hace vulnerables a fraudes a nivel cibernético, como transacciones y llamadas de extorsión.
- La bóveda, el segundo pilar de la seguridad ubicado en la parte inferior y se centra en proteger el efectivo almacenado en su interior, está diseñada con materiales resistentes y sistemas de cerraduras avanzados para prevenir accesos no autorizados.
- Finalmente, la protección del cajero en sí mismo es esencial para asegurar su funcionamiento continuo y la seguridad de los usuarios. Esto implica la instalación de dispositivos antivandálicos y sistemas de monitoreo que detectan cualquier actividad sospechosa en las proximidades del cajero.

La falla de uno de estos tres aspectos es crucial por lo que el diseño propuesto complementará la seguridad en la fascia usando componentes mecánicos y electrónicos, la bóveda se abordará con un circuito electrónico centralizado en una UDC y finalmente al propio cajero con materiales resistentes con los que será diseñado el prototipo. El objetivo es reforzar con la combinación de medidas tecnológicas y físicas la seguridad a los tres aspectos mencionados en ubicaciones con poca seguridad y al mismo tiempo brinden un entorno confiable y seguro para realizar transacciones financieras de manera segura y eficiente.

### 1.3. Justificación

De acuerdo con datos del INEGI [10], la población de 18 años en adelante, tanto hombres como mujeres, considera cada vez más inseguro vivir en sus respectivas ciudades. Además, según el artículo “Tipología Fraudes-Cajeros Automáticos” [11] de Hacienda, descubrió una tipología que muestra cómo una banda criminal utilizaba la red de cajeros automáticos para clonar tarjetas de los usuarios. También se han reportado diversas noticias que detallan licitaciones fraudulentas relacionadas con los cajeros automáticos.

A pesar de los avances tecnológicos que permiten realizar transacciones bancarias a través de aplicaciones en teléfonos móviles, el uso de efectivo sigue siendo común. Según el estudio económico “Cajeros Automáticos en México: Análisis para el Crecimiento de la Red” [12], la cantidad de cajeros automáticos por cada cien mil habitantes no satisface las necesidades poblacionales en comparación con otros países. Por lo tanto, se espera un aumento en el número de cajeros automáticos a medida que la demanda de transacciones en efectivo persista.

En este contexto, la necesidad de mejorar la seguridad en los cajeros automáticos es evidente. Se propone un prototipo que aborda este problema en sus tres aspectos mencionados anteriormente: electrónicos, mecánicos y físicos. El objetivo es reducir las estadísticas de asaltos a cajeros automáticos.

El prototipo es diseñado para el modelo Wincor 280 [13], tomando en cuenta las dimensiones del cajero. Se propone un copete de seguridad que resguarde físicamente al cajero, validado por un software de simulación que confirma la viabilidad del diseño mediante el método de elemento finito (MEF). Dentro del copete, se implementa una cerradura electromecánica para controlar los accesos a la fascia y la bóveda, programada en una interfaz. Se diseña un circuito que interconecta todos los componentes electrónicos con la fascia, la bóveda y el copete de seguridad.

El copete de seguridad es una adición al cajero Wincor 280 que busca fortalecer los puntos críticos del cajero, aumentar la seguridad para los usuarios y crecer en conjunto con la red de cajeros en México.

### 1.4. Objetivos

#### 1.4.1. Objetivos General

Diseñar y desarrollar un copete de seguridad de un cajero automático modelo Wincor 280, que incorpore la tecnología Spider para fortalecer las 2 principales zonas de invasión a un cajero fascia y bóveda.

#### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de las especificaciones, características y requerimientos.
- Modelado de propuestas CAD

- Validar el diseño y la selección del material a utilizar haciendo uso de las simulaciones por elemento finito, además las simulaciones en tensión, deformación y desplazamiento marcan un parámetro de resistencia ante un intento vandálico.
- Desarrollar un control de temperatura PID con la técnica de Ziegler Nichols, simulado en Matlab para comparar los resultados con el control PID en forma física con el ambiente y validar su correcto funcionamiento.
- Desarrollar un diagrama de bloques que muestre y explique como su funcionamiento refuerza tanto la fascia como a la bóveda del cajero.
- Fabricar y documentar el desarrollo del prototipo en todas sus áreas de fabricación.
- Concluir los resultados y proponer mejoras que se basen en los resultados del primer prototipo.

### 1.5. Metas

Las metas de este proyecto de acuerdo con los objetivos antes mencionados se enlistan a continuación.

- Durante 4 semanas se estudia sobre el estado del arte referente a los sistemas de seguridad, ATM y conceptos de ingeniería como: control PID y elemento finito, Además se abordan los temas relacionados con la fabricación, tipo de soldadura MIG/ MAG, corte y dobléz.
- Durante 3 semanas se diseña el modelo CAD, contemplando un diseño preliminar QFD y PDS, además de incluir los requerimientos recaudados necesarios y los observados durante la sección de antecedentes.
- Durante 3 semanas se realizan los planos y tablas correspondientes a la fabricación, se incluyen las dimensiones, método de armado y la tabla de materiales.
- Durante 3 semanas se diseña el circuito electrónico para controlar la apertura y acceso al copete de seguridad y al cajero.
- Durante 3 semanas se realiza la validación y verificación del diseño mediante simulaciones por el método de elemento finito (MEF) considerando las especificaciones reales de los materiales seleccionados en la etapa de diseño. Las simulaciones tienen como meta validar el material seleccionado y simular un acto vandálico y como responderá el copete ante la situación.
- Durante 3 semana se fabrica el diseño validado con base en los resultados de las simulaciones en elemento finito, esta sección tiene como meta encontrar las mejoras y los cuellos de botella que genera el copete de seguridad piloto.
- Durante 3 semanas se integran los componentes electrónicos correspondientes y se observan las áreas de mejora tanto para el diseño como para el circuito electrónico.

- Durante 3 semanas se diseña y prueba el control de temperatura basado en Ziegler Nichols. Se hacen las simulaciones en Matlab teniendo como meta que la simulación y la prueba física sean lo mas iguales posibles para su validación del control de temperatura.
- Durante una semana se realizan las conclusiones obtenidas de los anteriores procesos y se deja documentado las áreas de mejoras en cada área involucrada del copete.

## 1.6. Alcances y Limitaciones de la tesis

La presente sección se centra en delimitar el proyecto al desarrollo de un primer prototipo, diseñado con base en un solo modelo (wincor) de una amplia gama de cajeros ATM. Además, al ser un prototipo no se contempla apegarse a una normativa específica en diseño, ya que la tarea del prototipo es mostrar la funcionalidad para mejoras continuas.

- Es importante señalar que este proyecto se lleva a cabo en colaboración con una empresa privada, y de acuerdo con las políticas de privacidad establecidas, no es posible mostrar información que pueda poner en riesgo las operaciones, funcionalidad y seguridad del producto. Por lo tanto, en los capítulos pertinentes se presentará únicamente la información necesaria apoyada de diagramas o bloques para esclarecer dicho punto, asegurando que no se infrinja en la operación del producto y se mantenga la máxima seguridad para el usuario.

## 1.7. Metodología

La metodología VDI2206 por J. Gausemeier y Dr. S. Moehringer [1] muestran la metodología en la cual se basa el proyecto del copete de seguridad. La metodología se subdivide como se muestra en la siguiente Figura 1.11.

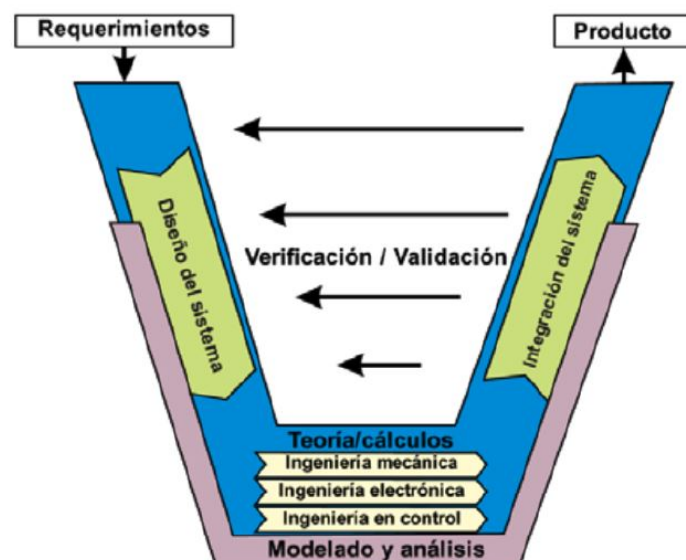


Figura 1.11: Metodología VDI2206. Adaptado [1]

- **Requerimientos:**

La tarea se define y se describen los puntos basados en los lineamientos a considerar dentro del proyecto, además se representan al mismo tiempo los parámetros de evaluación del copete. Dentro de los requerimientos se contempla la problemática y la solución que propondrá el prototipo.
- **Diseño del sistema:**

El objetivo es definir la solución detallada que describa las características Físicas y lógicas esenciales del producto y posteriormente sub dividir al sistema en funciones que aporten con un funcionamiento macro, estas funciones se les asignan principios de funcionamiento, tareas y/o elementos de solución a la problemática, para el copete de seguridad el sistema se subdivide en cuestiones mecánicas, electrónicas y de control, estas funciones se evalúan con el cumplimiento de las tareas asignadas al sistema macro del copete de seguridad
- **Teoría/cálculos:**

En el presente apartado se consideran los diseños matemáticos y cálculos elaborados para garantizar el rendimiento y validación de acuerdo a la función en particular. De acuerdo al copete de seguridad, por la parte mecánica se considera el diseño mecánico, por la parte electrónica, el desarrollo del sistema electrónico y la integración de los componentes y por la parte de control el diseño de un control de temperatura.
- **Modelado y análisis:**

El sistema analiza las funciones apoyándose de herramientas asistidas por computadora, para el caso el proyecto del copete se hace uso de Matlab para simular el control de temperatura y a su vez SolidWorks simulation para simular tensión deformación y desplazamiento en el diseño mecánico.
- **Integración del sistema:**

Los resultados de las funciones o tareas divididas se integran para converger de forma armónica con la solución de la problemática.
- **Verificación/validación:**

El progreso del diseño debe verificarse continuamente y el concepto de solución debe asegurar que las características reales del sistema coinciden con las deseadas y con el cumplimiento de los requerimientos necesarios para poder decir que el copete funciona acorde a los requerimientos deseados.
- **Producto:**

Es el resultado de un macro ciclo exitoso y la integración de las funciones o tareas específicas del sistema en función de la problemática que requiere cubrir el copete de seguridad.

## 1.8. Propuesta de diseño

- A continuación se muestran los requerimientos del copete, los requerimientos en la siguiente tabla delimitan y esclarecen algunos aspectos del proyecto.

No.	REQUERIMIENTOS
1	Que no sobrepase un peso de 150 kg.
2	Que sea resistente ante golpes y ataques de herramientas metálicas.
3	Que no se muestre con orificios en los que pueda ser ingresada una USB.
4	Que el teclado Spider no sea visible y solo el usuario pueda tener acceso.
5	Que no muestre indicios de cómo y en qué puntos está fijado el cajero.
6	Que no se muestre ningún tornillo a la vista del usuario.
7	Que sea armable y facilite el traslado y la instalación.
8	Que no muestre cables de conexiones entre el cajero y el copete.
9	Que cuente con una cerradura Spider en el herraje.
10	Que ningún componente mecánico sea visible en el copete.
11	Que tenga un espacio útil superior a los 80L y menor a los 90L.
12	Que sean 2 calibres de AC antes de llegar al interior del copete (Blindaje de acero).
13	Tener la retroalimentación de instalación para mejoras y conclusiones.
14	Tener un tiempo definido de fabricación final.
15	Tener un costo final del prototipo.
16	Que sea resistente a golpes.
17	Que sea segura.
18	Tener una comparación física entre lo simulado y lo físico.

Tabla 1.1: Requerimientos del proyecto

- A continuación se marcan los escenarios limitantes a las que se considera el copete estará sometido una vez instalado.

### CIRCUNSTANCIAS SOMETIDAS ANTE UNA PERSONA DELICTIVA

#### 1. CASO 1-A

El copete siempre estará montado y fijado al cajero con una pared posterior y a un costado izquierdo. Por lo tanto, la persona delictiva siempre tendrá una vista o acceso al frente del cajero y a un costado derecho.

#### 2. CASO 1-B

El copete siempre estará montado y fijado al cajero con una pared posterior y a un costado derecho. Por lo tanto, la persona delictiva siempre tendrá una vista o acceso al frente del cajero y a un costado izquierdo.

#### 3. CASO 2

El copete siempre estará montado y fijado al cajero con una pared posterior y sin muros a los costados. Por lo tanto, la persona delictiva siempre tendrá una vista o acceso al frente y a ambos costados derecho e izquierdo.



## 4. CASO 3

El copete siempre estará montado y fijado al cajero con una pared posterior y 2 muros a los costados. Por lo tanto la persona delictiva tiene acceso al frente del cajero.

CASO	LATERAL IZQUIERDO	LATERAL DERECHO	SUPERIOR	FRENTE	POSTERIOR	SOLUCIÓN FÍSICA CONSIDERADA	PROTECCIÓN DEL SOFTWARE
CASO 1-A	SIN ACCESO	GOLPES, CORTE, BARRENO, PALANCA	PALANCA	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	SIN ACCESO	Los golpes, cortes y barrenado se consideran 2 calibres antes de tener acceso al interior, como solución, ya que el calibre es resistente y con espesor lo suficientemente grueso para no permitir el acceso del blindaje interior. La palanca se pretende solucionarlo con dejar un mínimo de espacio de entrada entre el cajero y el copete. Ya que entre mayor longitud se tenga al hacer palanca se necesitará menor fuerza para vencer las uniones.	Al exterior del copete no hay acceso lo suficientemente grande para manipular una tarjeta de memoria USB, por lo tanto, se tendría que realizar un primer ataque físico al copete para tener acceso al software.
CASO 1-B	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	SIN ACCESO	PALANCA	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	SIN ACCESO	El lateral derecho muestra una sub-puerta que protege al teclado Spider. La sub-puerta muestra un calibre 10. Si el teclado fuese removido de una manera no autorizada e intentara abrir la puerta el herraje tiene la configuración que al remover o violentar alguna pieza mecánica bloquea el movimiento de los bulones que además bloquean la puerta del frente.	El acceso entre el teclado y el interior del copete es lo suficientemente grande con una medida de 12 mm de diámetro, lo que permite una entrada de cable, si hay manipulación de algún cable con el fin de llegar a los accesorios internos hay otra barrera de calibre blindado. Los bulones que sostienen la puerta de frente están ubicados en el sentido contrario del copete. Una forma directa retirando el copete sería por el costado derecho.
CASO 2	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	PALANCA	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	SIN ACCESO	Ambos lados del copete y el frente contienen 2 calibres 10 antes del interior, que al ser barrenados o por palanca se puede bloquear la puerta frontal.	Al exterior del copete no hay acceso lo suficientemente grande para introducir una memoria USB, por lo tanto, se tendría que realizar un primer ataque físico al copete para tener acceso al software.
CASO 3	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	SIN ACCESO	SIN ACCESO	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	GOLPES, CORTE, BARRENOS, PALANCA	Atacar la puerta con golpes, cortes o barrenados no permitiría el acceso dentro del copete, ya que la puerta tiene una configuración de seguridad añadida a los bulones (costado izquierdo) de los bulones (costado derecho) generaría un bloqueo de la puerta en general por la posición vertical de los bulones.	Con el frente del copete no hay puerta de acceso, ya que no muestra una ranura lo suficientemente grande como para introducir una tarjeta de memoria USB generando un jackpotting.

Tabla 1.2: Casos posibles

- El diseño del control de temperatura pretende cumplir con un área importante de la mecatrónica sin aportar de ninguna manera al objetivo del copete que es reforzar y proteger al ATM.
- Los componentes electrónicos Spider son los componentes principales que ofrecen un control de apertura del copete, se complementa con sensores electrónicos y botones en las cerraduras para darles seguridad al mismo copete, sin embargo no se consideran métodos adicionales de identificación y autenticación a la parte electrónica.
- El proyecto se delimitara a realizar las respectivas simulaciones de tensión de von Mises y desplazamiento, sin llevar a ningún escenario de fatiga o impacto que

produzca una pérdida total del prototipo, ya que la naturaleza del acto vandálico con cortadora implica dañar el prototipo de una manera que genera un costo extra en materia prima y mano de obra, además, que al ser un prototipo y solo estar bajo una normativa específica del blindaje de acero, no es completamente necesaria destruir el copete como prueba en esta etapa del proyecto.

- El diseño preliminar genera 3 diseños inicialmente antes de llegar al prototipo final, los diseños previos cumplen la mayoría de los requerimientos, sin embargo, al evaluarlo a nivel de fabricación y producción, se ajustan algunas partes del cope-te. En las siguientes imágenes se muestra los diseños previos antes del diseño final.



Figura 1.12: Tabla de Casos posibles

### 1.8.1. Parámetros

A continuación se muestran los parámetros como metas de seguridad que el copete deberá considerar para asegurar una protección adecuada contra intentos de robo o vandalismo.

#### 1. Materiales de Construcción

- Resistencia y Durabilidad: El copete debe estar hecho de materiales resis-tentes y duraderos, como acero de alta resistencia.
- Resistencia a la Corrosión: Debe estar protegido contra la corrosión, espe-cialmente si está expuesto a elementos climáticos adversos.

#### 2. Diseño y Estructura

- Integridad Estructural: La estructura del copete debe ser robusta para so-portar impactos físicos, intentos de vandalismo o robos.
- Accesibilidad y Mantenimiento: Debe permitir un fácil acceso para el man-tenimiento y reparaciones, sin comprometer la seguridad.

### 3. Herrajes y Mecanismos de Cierre

- Cerraduras de Alta Seguridad: Utilizar cerraduras certificadas de alta seguridad para evitar aperturas no autorizadas.
- Sistemas de Detección de Manipulación: Incorporar sensores que detecten intentos de manipulación o apertura no autorizada.
- Mecanismos de Refuerzo: Asegurarse de que el herraje mecánico esté bien protegido y reforzado contra ataques físicos.

### 4. Protección Electrónica

- Alarmas y Sensores: Instalar alarmas y sensores que alerten sobre intentos de acceso no autorizado.

### 5. Medidas Adicionales

- Acceso Controlado: Implementar sistemas de control de acceso para limitar quién puede acceder a la estructura del cajero y el copete.

## 1.8.2. Métricas

Para evaluar la efectividad del copete de seguridad para el cajero Wincor 280 y determinar si los resultados del proyecto son correctos, es importante establecer métricas claras y precisas, algunas métricas a considerar:

#### 1. Eficacia de la Protección y Prueba estructural

- Resistencia a Impactos: Pruebas que midan la capacidad del copete para resistir impactos físicos, incluyendo golpes con herramientas pesadas.
- Resistencia a la Perforación: Evaluaciones que determinen cuánto tiempo y esfuerzo se requiere para perforar el copete con herramientas de perforación estándar.
- Simulaciones de Impacto: Usar software de simulación para modelar cómo el copete soporta diferentes tipos de impactos, como golpes con martillos o herramientas pesadas.
- Datos simulados: Sobre fuerza máxima soportada antes de la deformación.

#### 2. Características del Material

- Resistencia a la Corrosión: Pruebas de exposición a ambientes corrosivos para evaluar la durabilidad del material a largo plazo.
- Resistencia: Pruebas o documentación que pruebe que el material es lo suficientemente resistente para determinadas situaciones de estrés.
- Elasticidad: Pruebas o documentación que determinen que el material es lo bastante elástico para ser moldeado, pero a su vez lo bastante elástico para recibir un impacto y regresar a su forma original.

#### 3. Eficiencia de Diseño, Facilidad de Instalación y Mantenimiento

- Tipo de instalación y eficiencia: Tiempo necesario para ensamblar e instalar el copete sin necesidad de preparación especial, a diferencia de una carcasa o un cinturón.

- Simulación de Instalación: Modelar la instalación del copete en el cajero automático para verificar la compatibilidad y los requisitos y pasos necesarios para instalarse.
- Requerimientos de Mantenimiento: Frecuencia y tipo de mantenimiento necesario para asegurar la funcionalidad continua del copete.

#### 4. Impacto Operacional

- Interferencia Operacional: Evaluación de cómo el copete afecta las operaciones diarias del cajero automático, tanto para los usuarios como para el personal de mantenimiento.
- Accesibilidad para el Servicio: Facilidad con la que el personal de mantenimiento puede acceder a las partes críticas del cajero para reparaciones o mantenimiento rutinario.

#### 5. Versatilidad y Adaptabilidad

- Compatibilidad con Diferentes Modelos de ATM : Evaluar si el diseño del copete puede adaptarse a otros modelos de cajeros automáticos además del Wincor 280.

#### 6. Costos

- Costo de Fabricación: Análisis de los costos asociados con la fabricación, transporte e instalación del copete en comparación con otras soluciones de seguridad.

Establecer y medir las métricas permite evaluar de manera objetiva si el copete de seguridad cumple con los objetivos del proyecto y proporciona la protección y funcionalidad necesarias.

- Finalmente en la Figura 1.13 muestra el diagrama general de bloques que tentativamente se integrará al diseño del copete de seguridad, todo esta entorno a una UDC fascia con los respectivos sensores y microinterruptores previamente mostrados. El funcionamiento bloque a bloque se pretende abordar con mas detalle en el capítulo 4 de la tesis.

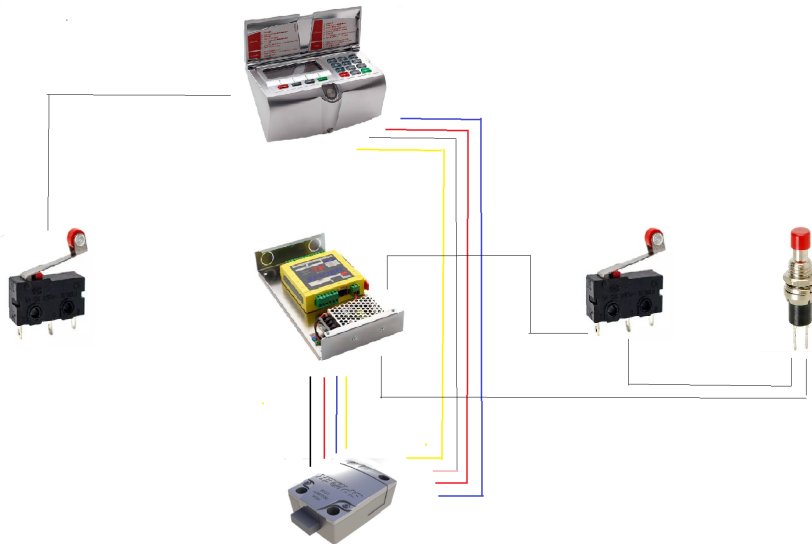


Figura 1.13: Diagrama de bloques General

## 1.9. Organización del documento de tesis

El documento de tesis presentado es desarrollado en 6 capítulos. En el primer capítulo se abordan los temas de investigación anteriores al presente trabajo, que sirven como ante sala al desarrollo del documento. El segundo capítulo se presenta el contenido teórico, abordando temas clave como descripción de un ATM, definición de seguridad, hasta la teoría mas compleja como mecánica de materiales, elemento finito y control PID. Posteriormente, el tercer capítulo se muestra toda la fase de diseño que empieza desde el diseño preliminar, recorriendo apartados como diseño CAD, electrónico y de control. Seguidamente, el cuarto capítulo se muestran los resultados de las simulaciones de los diferentes apartados del capitulo tercero. Después, el quinto capítulo diferente a los anteriores aborda los temas de desarrollo, procesos y fabricación del proyecto para finalmente en el sexto capitulo presentar las conclusiones del trabajo de investigación y los trabajos o propuestas futuras.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Cajeros automáticos ATM

Los cajeros automáticos (Figura 2.1), conocidos como Automated Teller Machines (ATM) en inglés, han revolucionado la forma en que gestionamos nuestro dinero. Estas máquinas especializadas ofrecen una amplia gama de servicios financieros de manera conveniente y eficiente. Estos son máquinas dispensadoras de dinero activadas mediante una tarjeta y una clave secreta personal que identifican a un usuario y cuentan con mecanismos de seguridad, para permitir que sólo quien disponga de dicha tarjeta pueda realizar operaciones [14].



Figura 2.1: ATM Fuente ALAMY [14]

Los cajeros automáticos permiten realizar una variedad de operaciones financieras, lo que los convierte en una herramienta indispensable para los usuarios. Entre las funciones más comunes se incluyen:

- Retiros de efectivo:  
Los usuarios pueden retirar dinero en efectivo de sus cuentas bancarias.
- Depósitos:  
Los usuarios pueden realizar depósitos de efectivo.

- Consultas de saldo:  
Los usuarios pueden verificar el saldo de sus cuentas en tiempo real, lo que les brinda un mayor control sobre sus finanzas.
- Transferencias:  
Algunos cajeros automáticos permiten transferir dinero entre cuentas, facilitando la administración de múltiples cuentas bancarias.

Además, los cajeros automáticos están equipados con mecanismos de seguridad para proteger la privacidad y la seguridad de los usuarios. Algunas características importantes incluyen; Autenticación biométrica, referente a cajeros que utilizan tecnologías como escáneres de huellas dactilares o reconocimiento facial, para verificar la identidad de los usuarios de manera segura. Códigos PIN, los usuarios ingresan un código PIN personalizado para acceder a sus cuentas, lo que proporciona una capa adicional de seguridad.

Finalmente, en México, los cajeros automáticos desempeñan un papel fundamental en el acceso a servicios financieros. A diciembre de 2014, se contabilizaban 42,931 cajeros automáticos operados por 22 de los 45 bancos comerciales del país [12]. Además, la banca de desarrollo, representada por instituciones como Banjército y Bansefi, contribuye con 298 cajeros automáticos adicionales, ampliando aún más la cobertura y accesibilidad de estos servicios.

### 2.1.1. Conceptos básicos

#### Seguridad Bancaria

La seguridad bancaria se define como las distintas formas de controlar o minimizar los riesgos que se generan en el entorno de una entidad bancaria con el fin de procurar todo tipo de acciones ocurridas en este tipo de organizaciones. Salvaguardando así el patrimonio, los clientes y los colaboradores del banco contra todo delito o falta que pudiera afectarlos mediante sistemas de seguridad y protección (físicos y electrónicos) complementados por capacitaciones y planes o procedimientos de seguridad.

Desde su origen, los bancos como institución han tenido que adoptar medidas de seguridad para proteger sus bienes y de los usuarios, los cuales pueden ser perjudicados por hechos delictivos acontecidos en este ámbito, convirtiéndose así en el principal objetivo de las organizaciones delictivas, la institución financiera se convierte en un medio vidente y fácil para conseguir recursos económicos. Por esta razón la delincuencia criminal está permanentemente actualizando sus procedimientos operativos contra estas entidades, cuyas consecuencias por su accionar cada vez son más contundentes que vulneran la seguridad [15].

Por tanto, entre los sistemas de seguridad ideales para sistemas financieros son los siguientes:

- Alarma  
Esta solución detecta las amenazas que pueden suceder en un banco y funciona cuando perciben intrusión tanto afuera como adentro de un establecimiento, produciendo un ruido disuasorio que alerte al personal de la institución por la gran cantidad de dinero que acuña. Colocado en su mayoría a todos los bancos y sucursales establecidos en México.

- **Detección de incendio**

Aunque a veces no lo prevemos, esta solución salvaguarda la vida de las personas, y más si en un banco salen y entran un gran flujo de personas, porque permite que se actúe frente a cualquier indicio de fuego. Asimismo, será el elemento perfecto para mitigar los grandes daños de la infraestructura financiera, ya que por el más mínimo papel o dispositivo electrónico puede provocarse un incendio.

- **Control de acceso**

Permite el ingreso de personas autorizadas al banco por políticas de privacidad, y en vista de que es un establecimiento donde se maneja documentación importante, dinero, etc., esto puede evitar problemas.

- **Control CCTV**

Es el idóneo para la seguridad de entidades financieras, ya que viene integrado con equipos conectados que generan una secuencia de imágenes vistas por personas autorizadas. Con esta solución puede detectarse vandalismo al banco, sus cajeros automáticos, entre otras situaciones de riesgo como robo.

- **Antivandalismo**

Disminuye los riesgos frente al robo o allanamiento como un plus en su seguridad bancaria mediante alarmas y equipos especializados para la disuasión de personas no autorizadas, así no correrá el riesgo de que intenten saquear el establecimiento.

## **Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre. Por ejemplo, las personas que viven en la planicie son más vulnerables ante las inundaciones que los que viven en lugares más altos. Por tanto, partiendo de esta definición y hablando estrictamente de cajeros automáticos, la vulnerabilidad de los cajeros son los situados en la intemperie, fuera de las instalaciones bancarias.

Los cajeros automáticos más vulnerables son los situados en el exterior (en la pared) o los que están dentro de edificios. Para atacar un cajero automático (independiente) situado dentro de un edificio, prefieren los cajeros situados en locales comerciales a los que se encuentran dentro de una oficina bancaria, donde la vigilancia suele ser mejor. Los bancos operan principalmente cajeros automáticos ubicados dentro o fuera de una oficina bancaria.

Las ubicaciones remotas de los bancos, en la calle o en locales comerciales como gasolineras, supermercados, hoteles, casinos, aeropuertos, etc., se están volviendo cada vez más importantes con el cierre de las sucursales bancarias. Los proveedores independientes operan cajeros automáticos como servicio independiente. Sus cajeros suelen estar situados en comercios, lugares de hostelería y ocio, lugares de transporte (estaciones de ferrocarril, aeropuertos, etc.), edificios públicos y en la calle. Con la creciente popularidad de la banca electrónica, es probable que muchas sucursales bancarias se cierren en los próximos años, lo que provocará una disminución general del número de cajeros automáticos. Sin embargo, esto podría suponer un aumento del número de cajeros automáticos en ubicaciones remotas de bancos y de cajeros automáticos de proveedores independientes situados en lugares más vulnerables [17].



### Refuerzo CEN en cajeros automáticos

Los fabricantes de cajeros automáticos ofrecen una gama estándar de cajeros automáticos que tienen una serie de características de seguridad que están clasificadas según los grados de seguridad del Comité Europeo de Normalización (CEN) [16]. Generalmente los cajeros automáticos tienen una clasificación CEN que va desde el grado más bajo CEN1 hasta el más alto, CEN4. Características como la fuerza de la estructura y la resistencia a los ataques determinan el grado.

Los modelos estándar pueden mejorarse con medidas de protección adicionales. Por lo general, terceros instalan estas características para garantizar el cumplimiento de la legislación local y el ajuste del modelo básico a los requisitos de los clientes locales. Las características de seguridad adicionales incluyen varios sensores para activar un sistema de neutralización de gas o IBNS en caso de un ataque en sitio con explosivos. Para los cajeros automáticos portátiles e independientes es importante utilizar sistemas de anclaje que ofrezcan una protección adicional contra los ataques que consisten en arrancar/empotrar [17].

#### 2.1.2. Tipos de ataques a cajeros ATM

Existen dos tipos de ataques a cajeros: los ataques a por malware (lógicos) y los ataques a la caja negra (lógicos/físicos). Los cajeros automáticos tienen puntos débiles que los delincuentes pueden aprovechar para su propio beneficio. A veces se monitorizan deficientemente y se toman pocas o ninguna acción lógica para proteger la información que contienen.

Los ataques a los cajeros automáticos se pueden clasificar en:

1. Lógico

Los ataques lógicos se están convirtiendo en la actualidad en el método más preocupante y creciente, con el potencial de causar pérdidas de grandes cantidades. En este tipo de ataque se hace uso de dispositivos electrónicos externos o software malicioso. Las herramientas se utilizan para tomar el control lógico del dispensador automático y así conseguir retirar elevadas cantidades de dinero, lo que en el mundo del ATM se conoce como “cash-out” o “jackpotting”. Todos estos nuevos métodos argumentan la necesidad de proteger el entorno de los ATMs frente a ciberataques [4].

2. Físico

Este tipo de ataques afectan a la integridad física del cajero, llegando incluso a provocar daños importantes en las infraestructuras donde está ubicado, así como a las personas. El enfoque tradicional de protección se centra en evitar el acceso indebido a los elementos que almacenan el efectivo, pero el aumento de los ataques de tipo lógico requieren una mayor protección de acceso a la zona “no segura” del cajero. Formas principales del ataque

- Utilización de la fuerza extrema para el acceso al efectivo de la caja fuerte.
- Intento de acceso mediante el uso de herramientas estándar.
- Ataques orientados a reventar la caja fuerte mediante explosivo o gas.

- Levantamiento o arranque del cajero de su lugar de fijación.
- Apertura no autorizada de la puerta de la caja fuerte.
- Interceptación de las comunicaciones del dispensador con el controlador del cajero. Black Box.

### 2.1.3. Mecánica de materiales

La Mecánica de Materiales es un tema complejo de la ingeniería que relaciona la resistencia y el funcionamiento físico de las estructuras, sean ingenieriles o naturales, abarca conceptos fundamentales como esfuerzos y deformaciones unitarias, los conceptos en los cuales se basa y diseña la mecánica de materiales son las deformaciones y desplazamientos.

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo deformable y la intensidad de las fuerzas internas que actúan dentro del cuerpo. En el diseño de cualquier estructura o máquina, es necesario primero, usar los principios de la estática para determinar las fuerzas que actúan sobre y dentro de los diversos cuerpos. El tamaño de los cuerpos, sus deflexiones y estabilidad dependen no sólo de las cargas internas, sino también del tipo de material de que están hechos.

Además, se establece las bases para comprender la relación entre la resistencia y el funcionamiento físico de las estructuras. Esta disciplina abarca una serie de conceptos fundamentales, entre los que se incluyen:

- Esfuerzos y deformaciones unitarias.
- Deformaciones y desplazamientos.
- Energía de deformación y capacidad de carga.

Finalmente se concluye que estos conceptos son esenciales para el diseño y análisis de una amplia variedad de sistemas mecánicos y estructurales. Por lo tanto, se enfoca en estudiar las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo deformable y la intensidad de las fuerzas internas que surgen dentro del mismo como resultado de estas cargas.

### Método de elementos finitos MEF

El método de los elementos finitos es un método de resolución de problemas por aproximación, por tanto, el problema se subdivide de la siguiente manera:

Se aproxima la geometría (discretización física). El medio continuo o cuerpo se divide en un número finito de partes como se muestra en la Figura 2.2, o elementos, cuyo comportamiento se define mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos, estos son denominados nodos. Y los nodos se definen como los puntos de unión entre elementos adyacentes.

El conjunto se forma por el ensamblaje de los elementos y las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y se aproximan por el valor de la función en

los nodos (discretización matemática).

El comportamiento dentro de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las llamadas funciones de forma o de interpolación [18].

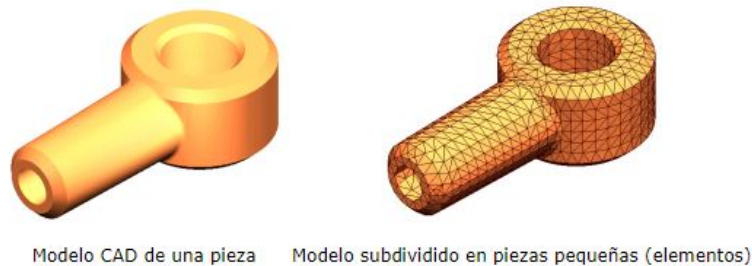


Figura 2.2: MEF Fuente SolidWorks Help

El MEF, por lo tanto, se basa en adaptar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un numero determinado y finito de puntos [19]

#### 2.1.4. Sistemas de Control

El control clásico es un enfoque en el diseño y análisis de sistemas de control que se basa en técnicas como el control proporcional-integral-derivativo (PID) y el análisis de respuesta en frecuencia. Es extensamente utilizado en aplicaciones industriales y de ingeniería debido a su simplicidad y eficiencia en el control de sistemas lineales y de tiempo invariante (LTI). Los elementos de un control son:

1. Funciones de transferencia:

Las funciones de transferencia representan la relación entre la entrada y la salida de un sistema (Figura 3.18) en el dominio de la frecuencia. Esta representación es fundamental para el análisis y diseño de sistemas de control clásico.

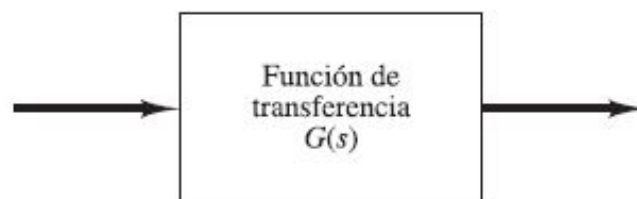


Figura 2.3: Funcion de Transferencia

2. Análisis de respuesta en frecuencia:

Los métodos de análisis de respuesta en frecuencia, como diagramas de Bode, diagramas de Nyquist y diagramas de Nichols, son utilizados para entender cómo un sistema responde a diferentes frecuencias y para diseñar controladores.

### 3. Controladores PID:

El controlador proporcional-integral-derivativo (PID) Figura 3.21 es uno de los controladores más utilizados en el control clásico. Ajusta la salida de control basándose en la diferencia entre el valor deseado (setpoint) y el valor medido (error), con componentes proporcional, integral y derivativo.

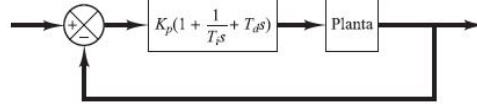


Figura 2.4: Diagrama de Control PID [22]

### 4. Estabilidad y margen de ganancia/fase:

El control clásico pone un gran énfasis en garantizar la estabilidad del sistema controlado y en mantener márgenes adecuados de ganancia y fase para garantizar un comportamiento robusto.

### 5. Técnicas de compensación:

Los métodos de compensación, como el uso de compensadores de adelanto o retraso de fase, se utilizan para modificar la respuesta de un sistema y mejorar su rendimiento.

## 2.1.5. Herramientales de Fabricación

### Soldadura

La soldadura de micro alambre es la unión de dos metales por efecto del calor localizado en el lugar de la unión, realizada por la fusión de los elementos y acompañada de un tratamiento térmico, ya que las zonas próximas a la fusión sufren un calentamiento sin salir del estado sólido, seguido por un enfriamiento, Figura 2.5.

#### ■ MAG:

Electrodo metálico con gas activo. Se suele utilizar CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> como gas protector. Este sistema produce una soldadura más caliente y por lo tanto permite soldar mayores espesores que la MIG. Tiene la desventaja de que a elevadas corrientes (A) produce salpicaduras.

#### ■ MIG:

Electrodo metálico con gas inerte. Por lo general se utiliza argón o helio como gas protector. Se utiliza para soldar cobre, aluminio, aceros inoxidable, aceros de alta aleación y otros. para trabajos automáticos y alta productividad.

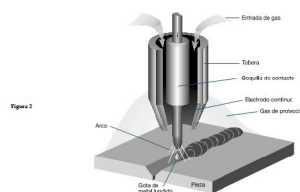


Figura 2.5: Soldadura

## Doble

Las máquinas dobladoras son diseñadas para hacer pliegues en láminas y otras formas de piezas metálicas. Estas se componen de un cuerpo solido de placa de acero y se ajustan para un diverso rango de calibres. En general las máquinas de pliegue pueden ser manuales, mecánicas, hidráulicas o automatizadas.

Las máquinas de doblez de punzón en V como la utilizada en este proyecto suelen ser hidráulicas y automatizadas ya que están diseñadas para altos esfuerzos, el funcionamiento de este tipo de máquina se basa en el esfuerzo de un punzón que desciende sobre un dado el cual lo encontramos en el mercado industrial de diferentes ángulos [20]. La figura 2.6 muestra una miraga general a las máquinas de doblez por punzón en V.

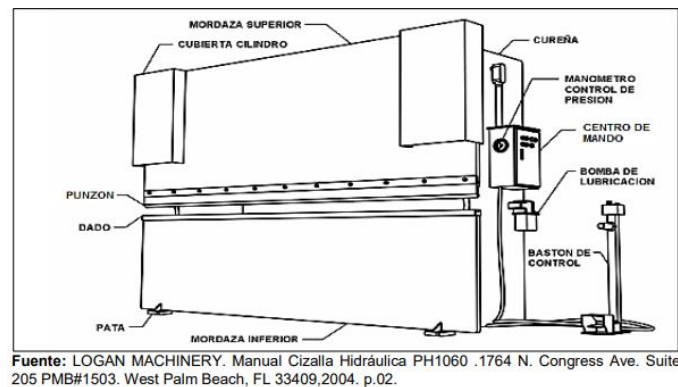


Figura 2.6: Dobladora

## Corte Láser

Durante el proceso de corte, el rayo láser concentra la luz sobre un punto de la superficie del material de trabajo elevando su temperatura hasta que se derrite o vaporiza. Una vez el rayo láser a traspasado la superficie se inicia el proceso de corte [21], redirigiendo el rayo láser en los puntos determinados según la geometría seleccionada hasta separar por completo el material Figura 2.7.

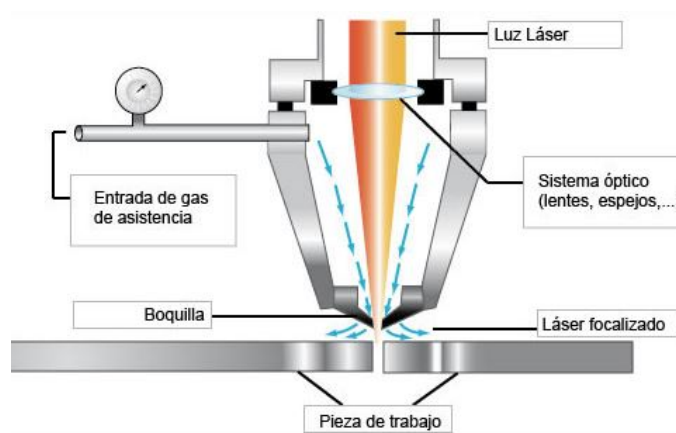


Figura 2.7: Partes del Láser

### 2.1.6. Cerradura electrónica Europea

#### Cerradura spider

Las cerraduras Spider pueden ser instaladas en una amplia gama de cajas fuertes y se pueden gestionar de manera remota a través de un software exclusivo, el Spicomplus III R8x, que permite al Centro de Gestión de Alarmas supervisar constantemente el estado de los distintos contenedores y ajustar diversos parámetros de configuración y funcionamiento de cada cerradura de manera independiente.

En cada cerradura, se pueden almacenar hasta 9 claves de usuario de 7 dígitos.



Figura 2.8: Cerradura Spider

#### Teclado spider

SpiderPRO Figura 2.9 es una cerradura electrónica de alta seguridad diseñada para la apertura controlada de cajas fuertes y otros elementos de almacenamiento. Desarrollada en conformidad con la normativa europea ENV1300 para cerraduras electrónicas de Clase B, SpiderPRO es un sistema inteligente basado en microcontrolador, completamente programable, lo que le confiere una versatilidad y seguridad excepcionales.

Esta cerradura permite únicamente a usuarios autorizados, que dispongan de las claves correspondientes, llevar a cabo operaciones de apertura y programación. Además, SpiderPRO incluye funciones de bloqueo temporal y restricciones de acceso, las cuales pueden ser programadas manualmente o mediante un canal IrDA desde un terminal externo.



Figura 2.9: Teclado Spider

### 2.1.7. Metodología de diseño

La metodología del diseño es un conjunto de principios, prácticas y procedimientos utilizados para abordar y resolver problemas de diseño. Es un proceso sistemático que ayuda a los diseñadores a planificar, desarrollar y evaluar soluciones creativas y efectivas. Dos herramientas importantes dentro de esta metodología son el PDS (Product Design Specification) y el QFD (Quality Function Deployment).

#### PDS

El PDS Figura 2.10, o Especificación del Diseño del Producto, es un documento detallado que describe todos los requisitos que un producto debe cumplir, es una guía que orienta el proceso de diseño y desarrollo de un producto. El objetivo principal del PDS es garantizar que el diseño y desarrollo de un producto satisfaga las necesidades y requerimientos del usuario. Una característica importante del PDS es que es dinámico, dado que puede ser modificado durante el proceso de diseño, el PDS incluye:

- Requerimientos de desempeño
- Requerimientos de manufactura
- Cumplimiento de estándares y normas
- Disposiciones
- Requerimientos de operación

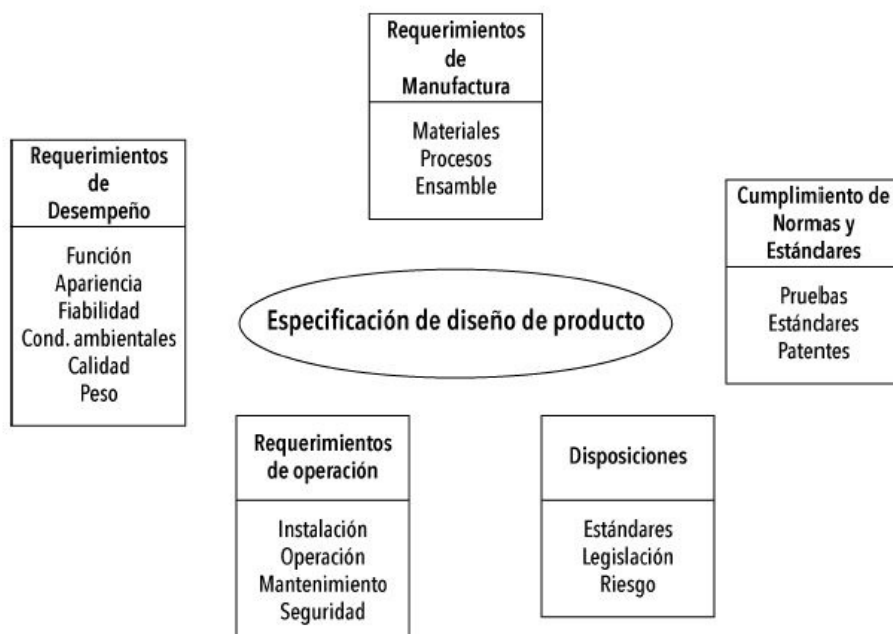


Figura 2.10: Criterios del PDS. Adaptado de [23]

## QFD

El despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas inglesas) es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias [24], es una metodología utilizada para asegurar que las necesidades y deseos del cliente sean escuchados y reflejados en cada etapa del proceso de desarrollo del producto. El QFD utiliza una herramienta conocida como la Casa de la Calidad Figura 2.11 para traducir los requisitos del cliente en especificaciones técnicas. El proceso incluye:

1. **Identificación de la Voz del Cliente:** Recopilación de las necesidades y expectativas del cliente.
2. **Traducción de Necesidades en Requisitos Técnicos:** Conversión de los deseos del cliente en especificaciones de diseño.
3. **Desarrollo de Matrices de Relaciones:** Evaluación de cómo los requisitos técnicos cumplen con las necesidades del cliente.
4. **Prioridades y Peso de Requisitos:** Asignación de prioridades a los diferentes requisitos técnicos.
5. **Evaluación de la Competencia:** Comparación del producto con los de la competencia para identificar áreas de mejora.

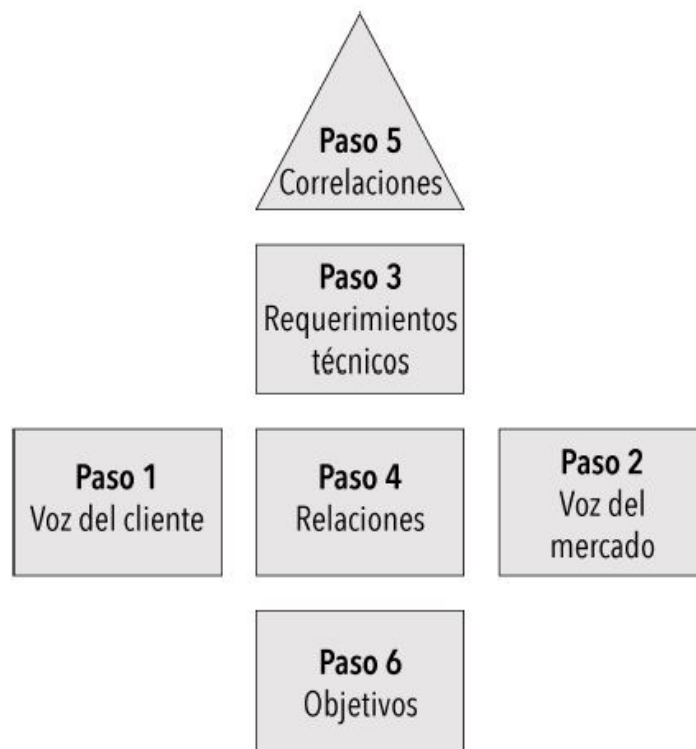


Figura 2.11: Casa de la calidad QFD. Adaptado [24]



## Capítulo 3

# Diseño del copete de seguridad

El objetivo principal de este trabajo es reforzar los puntos vulnerables que tienen los cajeros automáticos activos y un importante paso para dicho objetivo es el diseño de un prototipo. El presente capítulo plantea mostrar el proceso de diseño de un copete de seguridad dirigido a un cajero modelo wincor 280, el capítulo se centra en mostrar un diseño preliminar general que involucra los requerimientos establecidos, propuestas y diseños conceptuales a través de la herramienta QFD (Despliegue de la Función de la Calidad) y PDS (Sistema de Desarrollo de Producto).

El capítulo pretende abordar las áreas que involucran un diseño específico para el copete, entre los cuales destacan el diseño asistido por computadora, el diseño electrónico y el diseño de control por el método de Ziegler Nichols.

### 3.1. Diseño Preliminar

El diseño preliminar se refiere a la etapa inicial en que se desarrollan conceptos y especificaciones básicas del producto o sistema que se va a diseñar, es el primer paso sistemático y estructurado para transformar los requisitos iniciales en conceptos de diseño viables y evaluables.

#### 3.1.1. Casa de la calidad QFD

La siguiente imagen muestra la casa de calidad QFD adaptada al copete de seguridad en la cual se observan los 5 pasos generales o secciones correspondientes para obtener el estudio preliminar completo.

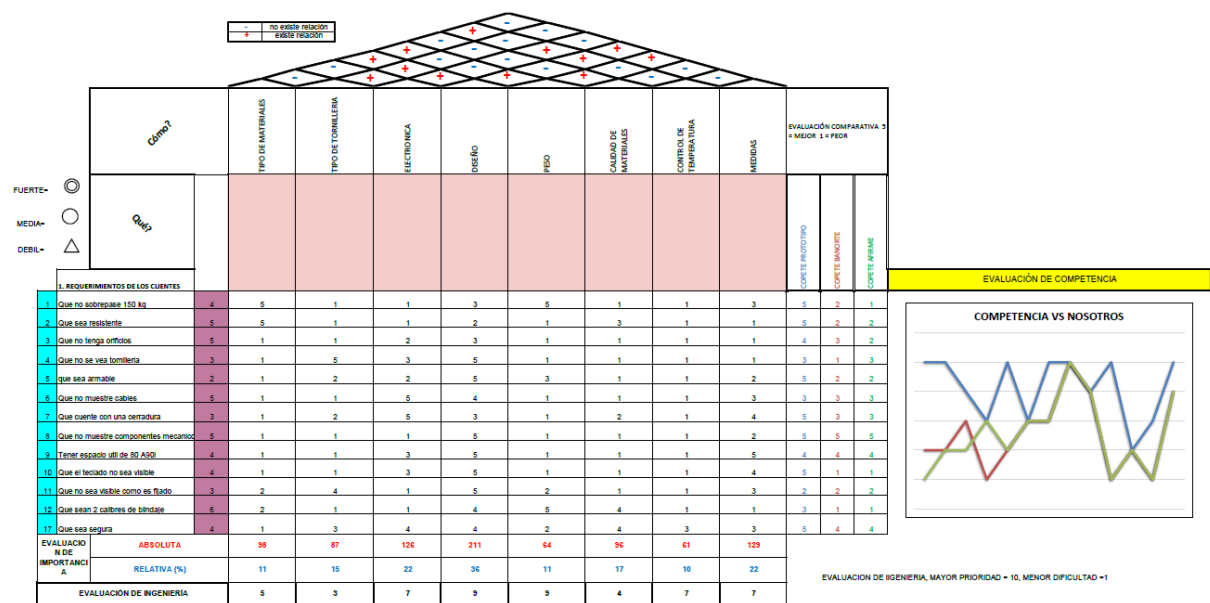


Figura 3.1: Casa de la calidad QFD. Adaptado [24]

#### ■ Paso 1: Identificación de las necesidades del cliente (Voz del cliente):

Se refiere a la recopilación y listado de las necesidades y expectativas del cliente estas necesidades se colocan en las filas de la matriz de la Casa de la Calidad, se recopila información detallada sobre lo que los clientes realmente quieren y necesitan. Esto se hace a través de encuestas, entrevistas, grupos de enfoque, entre otros métodos.

Por lo tanto, de acuerdo al copete de seguridad las necesidades del cliente son las mostradas en la siguiente tabla, mientras que en la columna siguiente se muestra el numero de personas que estuvieron de acuerdo en base al requerimiento en cuestión.

Numero	Requerimiento	Personas
1	Que no sobrepase un peso de 150 kg.	4
2	Que sea resistente ante golpes y ataques de herramientas metálicas.	5
3	Que no se muestre con orificios en los que pueda ser ingresada una USB.	5
4	Que el teclado Sipder no sea visible y solo el usuario pueda tener acceso.	3
5	Que no muestre indicios de cómo y en qué puntos está fijado el cajero	2
6	Que no se muestre ningún tornillo a la vista del usuario	5
7	Que sea armable y facilite el traslado y la instalación	3
8	Que no muestre cables de conexiones entre el cajero y el copete	5
9	Que cuente con una cerradura spider en el herraje	4
10	Que ningún componente mecánico sea visible en el copete	4
11	Que tenga un espacio útil superior a los 80L y menor a los 90L	3
12	Que sean 2 calibres de AC antes de llegar al interior del copete (Blindaje de acero)	6
13	Tener la retroalimentación de instalación para mejoras y conclusiones	No apto
14	Tener un tiempo definido de fabricación final	No apto
15	Tener un costo final del prototipo	No apto
16	Que sea resistente a golpes	No apto
17	Que sea segura	4
18	Tener una comparación física entre lo simulado y lo físico	No apto

Tabla 3.1: Tabla de Requerimientos QFD

Los requerimientos marcados como “No apto” no entran en el marco de la casa de la calidad, ya que son considerados como requerimientos fuera del diseño preliminar.

■ Paso 2: **Evaluación comparativa (Voz del Mercado) :**

Se refiere a la comparación de las necesidades del cliente con las ofertas del mercado, esto incluye la evaluación de cómo los productos competidores satisfacen estas necesidades.

Dentro de la casa de calidad se hace la evaluación comparativa con otros 2 copetes en el mercado, los cuales se observan hay fallas en cuestiones de seguridad y por las cuales el copete de seguridad busca resolver y fortalecer. La evaluación comparativa se realiza con los siguientes copetes.

- PROTOTIPO COPETE DE SEGURIDAD AZUL
- COPETE BANORTE ROJO
- COPETE AFIRME VERDE

La casa de la calidad asigna un numero de evaluación numerado como 5 igual al mejor y 1 igual al peor, observar la figura 3.1 y figura 2.11

### ■ Paso 3: Requerimientos Técnicos:

Son las características técnicas del producto que deben desarrollarse para cumplir con las necesidades del cliente. Estas características se colocan en las columnas de la matriz, observar figura 3.1 y 2.11, estas características técnicas inferen a los “COMO” y se relacionan posteriormente con los “QUE”. Las características técnicas enfocadas al copete de seguridad son:

- Tipo de Materiales
- Tipo de tornillería
- Electrónica
- Diseño
- Peso
- Calidad de Materiales
- Control de Temperatura
- Medidas

### ■ Paso 4: Relaciones:

Se evalúa y califica cómo cada requerimiento técnico satisface las necesidades del cliente. Esto se hace en la intersección con los requerimientos del paso 1 y requerimientos técnicos del paso 3. Observar la relación de los anteriores pasos en la figura 3.2.




		Como?	TIPO DE MATERIALES	TIPO DE TORNILLERÍA	ELECTRÓNICA	DISEÑO	PESO	CALIDAD DE MATERIALES	CONTROL DE TEMPERATURA	MEDIDAS
FUERTE= 		Qué?								
MEDIA= 										
DEBIL= 										
1. REQUERIMIENTOS DE LOS CLIENTES										
1	Que no sobrepase 150 kg	4	5	1	1	3	5	1	1	3
2	Que sea resistente	5	5	1	1	2	1	3	1	1
3	Que no tenga orificios	5	1	1	2	3	1	1	1	1
4	Que no se vea tornillería	3	1	5	3	5	1	1	1	1
5	que sea armable	2	1	2	2	5	3	1	1	2
6	Que no muestre cables	5	1	1	5	4	1	1	1	3
7	Que cuente con una cerradura	3	1	2	5	3	1	2	1	4
8	Que no muestre componentes mecánicos	5	1	1	1	5	1	1	1	2
9	Tener espacio útil de 80 A90l	4	1	1	3	5	1	1	1	5
10	Que el teclado no sea visible	4	1	1	3	5	1	1	1	4
11	Que no sea visible como es fijado	3	2	4	1	5	2	1	1	3
12	Que sean 2 calibres de blindaje	6	2	1	1	4	5	4	1	1
17	Que sea segura	4	1	3	4	4	2	4	3	3

Figura 3.2: Casa de la calidad QFD. Requerimientos

La relación que se hace entre los “Que” y los “Como”, se evalúa con una numeración de 1 al 5 de acuerdo a la fuerza e importancia que hay entre el requerimiento

por el cliente (Paso 1) y el requerimiento técnico (Paso 4).

Ejemplificando lo anterior, el requerimiento “Que no sobrepase 150 kg” hay una fuerte relación con valor 5 con el requerimiento técnico “Tipo de materiales” a diferencia del “Tipo de tornillería” en el cual la relación y relevancia es de valor 1. La metodología anterior desarrolla el paso 4 de la casa de la calidad.

■ Paso 5: **Correlaciones:**

Es la evaluación de cómo los diferentes requerimientos técnicos se relacionan entre sí. Esto se representa en la parte superior de la matriz, formando el “techo” de la Casa de la Calidad. El signo (-) representa que no existe relación mientras que el signo (+) representa que existe una relación.

■ Paso 6: **Objetivos ó Evaluaciones de Importancia:**

Las evaluaciones de importancia para los requerimiento del cliente son con base en los requerimientos técnicos, estos son divididas en absolutos, relativos e Ingeniería.

- **Absoluta:** Es la sumatoria de cada uno de los requerimientos del cliente por el respectivo requerimiento técnico en la columna correspondiente.

$$E_{Abs} = \sum_{i=1}^n R_i * Rt_i \quad (3.1)$$

De acuerdo a la ecuación 3.1 y considerando la columna “Tipo de Materiales” se obtiene:

$$E_{Abs} = \sum_{i=1}^{13} (4*5) + (5*6) + 2(3*1) + (2*1) + 3(5*1) + 3(4*1) + (3*2) + (6*2) = 98 \quad (3.2)$$

Donde  $R_i$  es el número de repeticiones en el requerimiento por el cliente y  $Rt_i$  es el valor del requerimiento técnico.

- **Relativa (%):** Es el cociente entre la evaluación de importancia absoluta entre la sumatoria de todas las importancias absolutas multiplicado por 100.

$$E_{Rel} = \frac{E_{Abs}}{\sum_{i=1}^n E_{Abs}} (100) \quad (3.3)$$

De acuerdo a la ecuación 3.3 y considerando la columna “Tipo de Materiales” se obtiene:

$$E_{Rel} = \frac{98}{872} (100) = 11 \% \quad (3.4)$$

- **Evaluación de ingeniería:** Las evaluaciones de ingeniería se asignan con un valor de importancia y dificultad en torno a la necesidad del cliente. Este valor es asignado con valores de 1 con menor dificultad y 10 con mayor dificultad.

### 3.1.2. Criterios de PDS

La tabla 3.2 muestra los criterios relacionados al copete de seguridad para garantizar que el diseño y desarrollo de productos satisfaga las necesidades y requerimientos del cliente.

	Aspecto	Definición
<b>Requerimientos de Desempeño</b>	Función	Complementa y refuerza las zonas vulnerables de un ATM Wincor 280.
	Apariencia	La apariencia robusta y rígida proyecta un copete seguro.
	Fiabilidad	Al cumplir con los requerimientos y pruebas proporciona una fiabilidad al cliente y al cajero.
	Peso	Se contempla un material rígido que proporcione seguridad y a la vez no genere un peso que no pueda soportar el cajero.
<b>Requerimientos de Manufactura</b>	Materiales	Se contempla un material con las características de dureza, maleabilidad y resistencia.
	Procesos	Los procesos incluyen corte, dobléz, armado, pintura montaje e instalación
	Ensamble	El ensamble del copete es manual unidos por tornillería allen no visibles al público en general.
<b>Cumplimiento de Normas y Estándares</b>	Pruebas	El modelo se somete a simulaciones de Elemento finito.
	Estándares	Las pruebas físicas no son relacionadas bajo una normativa específica, se muestra la fortaleza y cumplimiento de los requerimientos del copete.
<b>Requerimientos de Operación</b>	Instalación	Se consideran instalaciones en lugares abiertos al público y con poco espacio.
	Mantenimiento	El mantenimiento recae en personal capacitado con conocimientos en tecnología Spider, conocimiento de instalación del copete para evitar activar los mecanismos de seguridad.

Tabla 3.2: PDS

### 3.1.3. Selección de Materiales

Los materiales propuestos para el diseño constan de tres variables del acero; acero al carbón, acero inoxidable y acero galvanizado, se consideran por separado sus ventajas y desventajas en cuestión a sus propiedades físicas y mecánicas de cada uno y se hace una selección por el criterio de descarte en función a la necesidad del proyecto. El acero es una aleación metálica constituida, esencialmente, por hierro y carbono propiedades que lo dotan de características como la resistencia a la tracción, compresión y resistente a la corrosión.

Las características generales del acero son atributos similares que comparten como cualidad, pero cada tratamiento térmico al acero lo dota de una característica particular que lo hace ideal para una tarea en particular, las principales características del acero son las siguientes:

- **Plasticidad**

El acero es un material duro y resistente, pero simultáneamente es muy maleable, refiriéndose a que puede ser moldeado y formado en una amplia variedad de formas sin romperse.

- **Resistencia**

Atributo del acero que presenta una resistencia a un esfuerzo excesivo.

- **Maleabilidad**

Es la capacidad que el acero tiene para ser deformado sin romperse, lo cual es posible gracias a la presencia del carbono en su composición. La maleabilidad y la dureza son dos características que se relacionan de forma inversa, cuanto más duro es un metal, menos maleable es; y viceversa, cuanto más maleable es un metal menos duro es.

- **Dureza**

El acero es un material muy duro, lo cual significa que presenta una gran resistencia ante los golpes.

- **Tenacidad**

Mecánicamente, el acero es un material muy resistente, se caracteriza por su gran capacidad de resistir a la tensión, se define como la capacidad de resistir a una posible fractura.

- **Térmicas**

El acero es un material muy resistente a las altas temperaturas.

- **Eléctricas**

El acero tiene la capacidad de conducir fácilmente la electricidad a través de su superficie.

Selección de material		
Opciones	Ventajas	Desventajas
<b>Acero al carbón</b>	Resistencia, Durabilidad, Fatiga, Elasticidad, unión de materiales	Corrosión, Pandeo
<b>Acero inoxidable</b>	Resistencia: Corrosión, Temperaturas extremas, Mecánicas	Alto costo, Susceptible al Rayado, Pandeo, Difícil reparación
<b>Acero Galvanizado</b>	Capa de zinc, Durabilidad : Resistencia: Corrosión, Altas Temperaturas	No es compatible con todos los tipos de materiales

Tabla 3.3: Selección de materiales

Conociendo las ventajas y desventajas de cada uno de los materiales y con apoyo de la Tabla 3.3, se concluye el material más adecuado a las necesidades. El acero galvanizado es un material muy resistente a la corrosión ideal para un ambiente expuesto y húmedo, resistente a altas temperaturas sin embargo es un material que no puede convivir con todos los materiales.

El acero inoxidable es un material pulcro, con todas las características del acero al carbón, superior en la resistencia a la temperatura y la dureza, sin embargo, es un material de altos costos en reparación y mantenimiento, la necesidad de estar expuesto no lo hace un material completamente viable.

Finalmente, el acero al carbón al ser un material resistente, duro y maleable, es ideal para colocarse en lugares expuestos, el acero al carbón es el material mas utilizado en la industria por sus propiedades y costos, por otro lado, su desventaja de no ser resistente a la corrosión es solucionable con los servicios de mantenimiento periódicos que tienen los cajeros. Y aunque los materiales considerados presentan alta viabilidad para ser colocados al exterior sus mismas propiedades hacen la diferencia entre ser utilizado o descartado.



## 3.2. Diseño CAD

### 3.2.1. Herramienta chapa metálica

Chapa metálica es una herramienta del programa de diseño SolidWorks, permite dibujar cualquier cuerpo solido que sea a base de acero e incluya un doblez que le dé rigidez y forma al cuerpo. La Figura 3.3 muestra la paleta de herramientas de chapa metálica que permite diseñar una pieza, las sub herramientas básicas y más utilizadas son “Brida base-Pestaña” y “Brida de arista”.

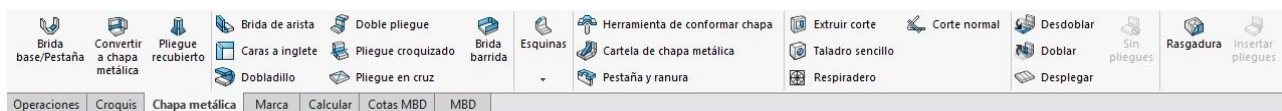


Figura 3.3: Herramientas de Chapa metálica

Utilizando chapa metálica se diseñan las piezas que conforman al copete (Figura 3.4), es conformado en tres secciones:

1. Cuerpo central:  
Sección que contiene el herraje, puerta y componentes electrónicos.
2. Cuerpo superior o copete:  
Sección que considera la parte superior como protección al cuerpo central.
3. Laterales inferiores:  
Sección que considera la parte inferior como protección al cajero.

El calibre del material se propone partiendo de 2 puntos: requerimientos, tabla 3.1 y la casa de la calidad QFD, figura 3.1. Los requerimientos a su vez consideran los puntos 1 y 2 de la casa de la calidad que hacen referencia al peso y la resistencia.

Los requerimientos considerados son fuertemente influenciados con el calibre del material por lo tanto la selección del calibre se hace mediante una simulación de elementos finitos considerando 2 calibres especificados, calibre 10 (3.42mm) y calibre 14 (1.9 mm), buscando la manera mas óptima de elegir alguno de estos o a su vez combinarlos de una manera necesaria de acuerdo a la necesidad que demande el diseño y la tarea del copete.

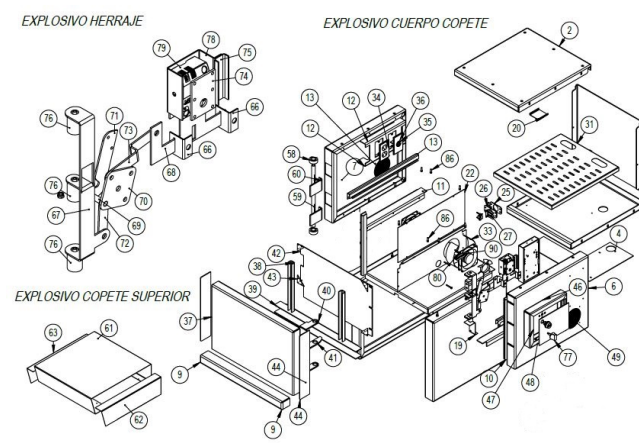


Figura 3.4: Explosivo

Los parámetros generales a considerar dentro del modulo chapa metálica (Figura 3.5), son:

- Radio de doblez:

El radio de doblez es un factor importante que tiene que estar en sincronía con la maquina dobladora y sus herramientas, utilizar una matriz diferente al especificado el radio de doblez no será igual y generara errores al doblar la pieza, los errores más comunes al ignorar este factor son: la ficha de corte de la pieza es más grande o más pequeña y al doblar la ficha no se podrá alcanzar el doblez requerido.

- Factor de desahogo:

El factor de desahogo permite que un doblez no colisione uno con el siguiente. Un ejemplo simple es doblar una caja de cartón por sus 4 lados, si no existe el factor de desahogo correcto en sus esquinas, las aristas colisionan y se deforman.

- Fibra neutra de pliegue:

La fibra neutra de pliegue nos permite adaptar la ficha de la pieza a la matriz de la maquina dobladora.

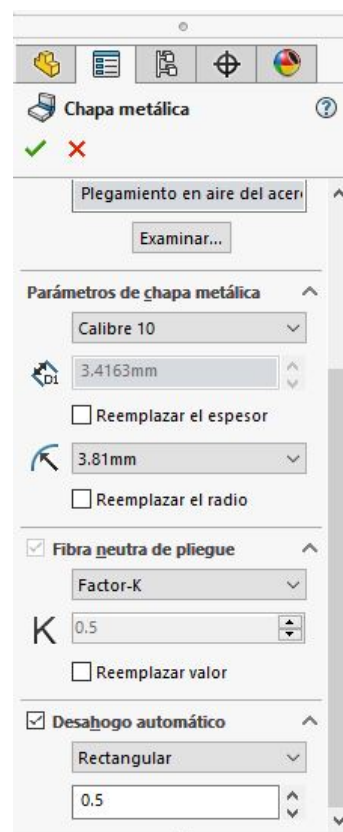


Figura 3.5: Parámetros Chapa metálica

### 3.2.2. Diseño de cuerpos

El diseño de cuerpos es en esencia la forma de subdividir un proyecto en tareas más específicas y enfocadas, se subdivide en 3 secciones a resguardar, por tanto la tarea se descompone en 3 áreas y el copete se diseña en las secciones que se muestran en la Figura 3.6, cuerpo central, cuerpo superior y laterales inferiores.

1. Cuerpo central:

El cuerpo central (Figura 3.6) se enfoca en resguardar todo el sistema electrónico que permite el funcionamiento, contiene todo el mecanismo mecánico de apertura de la puerta, es el acceso principal al usuario y el cuerpo que se ancla al cajero, se diseña con base en los requerimientos y debilidades que presentan los copetes vandalizados, simultáneamente se ensambla con el cuerpo superior y laterales inferiores sin mostrar ninguna tornillería al exterior.

2. Cuerpo superior o copete:

El cuerpo superior funge como resguardo acorazado al cuerpo central además de contar con un espacio para la salida y entrada de cables necesarios, el cuerpo superior y la puerta del copete son las únicas entradas por la cual el usuario u operador podrían tener acceso.

3. Laterales Inferiores:

Los laterales inferiores son complementos adaptados para proteger y adaptarse al cajero en los costados, el cajero resguarda todo el funcionamiento e información de la entrega de efectivo por tanto ante un intento de vandalizar el cajero y sustraer de manera ilícita la información de los usuarios es prudente proteger al ATM ante un intento de perforación en los laterales, Finalmente un intento de remover los laterales no es posible por el sistema de ensamble ante el cuerpo central, ya que no muestra acceso ni tornillería exterior.

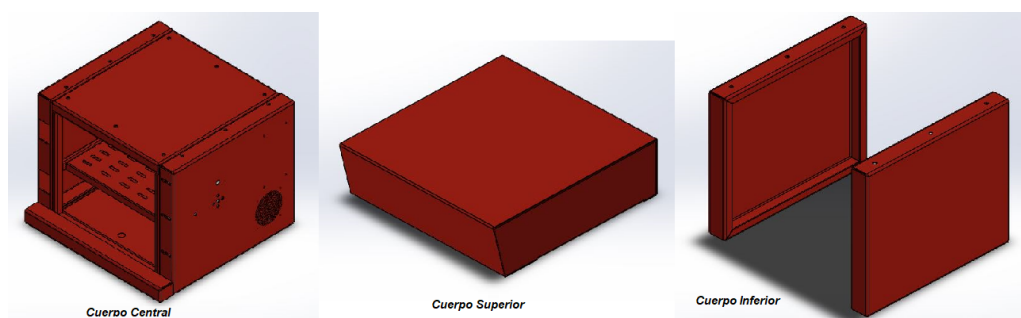


Figura 3.6: Cuerpos

### 3.2.3. Puerta

La Puerta, Figura 3.7 es el acceso principal al cajero y consta de 8 dobleces: 4 de profundidad y 4 internos, las cuñas que se observan en la Figura 3.7 se incrustan en el cuerpo central que a su vez desde el herraje entran 3 bulones de 1 pulgada en los barrenos de las cuñas para mantener la puerta cerrada. Las cuñas son de grosor de 1/4" de pulgada mientras que los bulones son de AC con un recubrimiento de cromo, una formula eficiente ante un intento de remover la puerta.

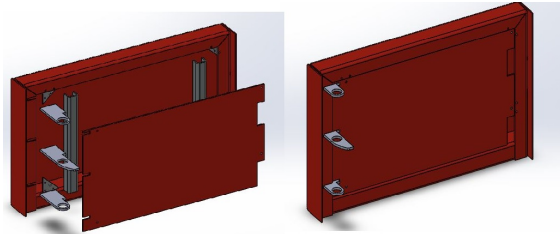


Figura 3.7: Cuerpo central-Puerta

### 3.2.4. Bisagra

En el giro de cajas fuertes la forma de colocar las bisagras es importante, el material a utilizar y el estilo de bisagras importan, existen bisagras comunes; de libro y de piano, sin embargo en proyectos como el copete se opta por un diseño personalizado, la bisagra del copete se diseña oculta en el cuerpo central por los requerimientos, con material redondo de 1 pulgada y con 2 piezas calibre 10, soldadas con cordones de soldadura.

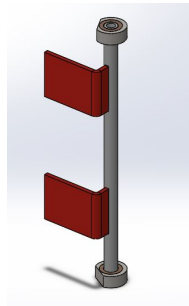


Figura 3.8: Cuerpo central-Bisagra

El modelo de ocultar la bisagra e incrustar las cuñas de la puerta al cuerpo central como se observa en la Figura 3.9 es uno de los objetivos y requerimientos del diseño, ya que dejar sin aberturas o accesos al personal no autorizado es un objetivo principal en la fabricación de cajas fuertes y el copete en cuestión.

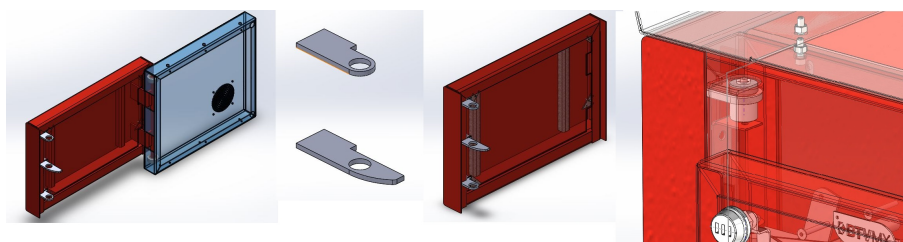


Figura 3.9: Abatimiento y cuñas

### 3.2.5. Herraje

El herraje es una parte muy propia de la caja fuerte ya que para abrir una puerta hay una gran variedad de formas para hacerlo. El herraje del copete tiene la particularidad de ser cierre mecánico-automático, dentro del mundo de cajas fuertes hay 2 tipos de puertas, las que cierran de forma automática por su configuración mecánica y las que de forma manual se obliga al usuario a girar la manija para cerrarla. El Herraje del copete mostrado en la Figura 3.10 funciona de la siguiente manera.

1. Se introduce la clave de acceso al teclado spider para abrir la cerradura moviéndose el pistillo incrustado en el herraje. Se libera el movimiento del pomo.
2. Se gira el pomo (manija) en la dirección de las agujas de reloj, el pomo mueve hacia arriba los bulones incrustados en las cuñas de la puerta. Posteriormente la puerta se libera.
3. El herraje queda estático en estado abierto por su configuración mecánica.
4. El sistema mecánico mantiene el herraje en estado abierto esperando la perturbación de las cuñas en el herraje y cambiar a estado cerrado.
5. Al cerrar la puerta instantáneamente se bloquea el herraje, al cerrar la puerta cierra todo el sistema y no es posible abrirse hasta ser introducida la clave de acceso.

El herraje automático es una ventaja de seguridad porque al no seguir los pasos correspondientes, se transmite una señal de alarma que es enlazada con los sistemas operativos correspondientes. El herraje se planteó con una serie de pasos a seguir y al saltar uno de estos provoca una señal de alarma que debe ser atendida mediante un protocolo de comunicación. La razón por la cual el herraje se plantea con una configuración mecánica automática es para evitar errores en los protocolos de apertura y cierre al cajero.

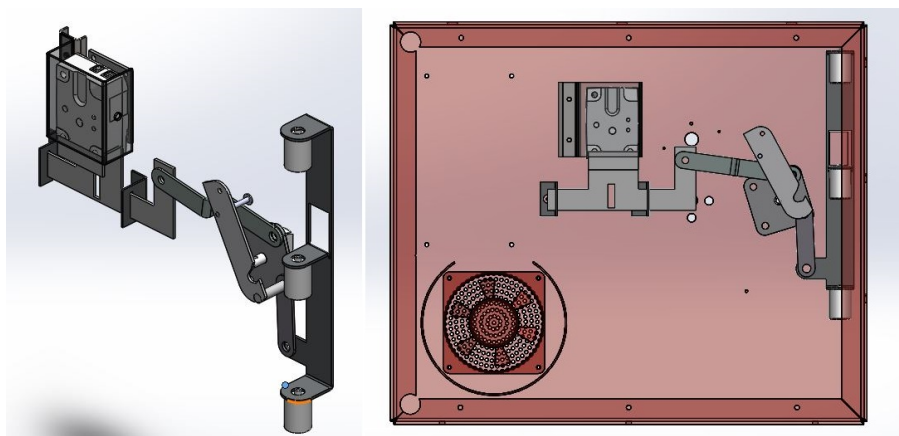


Figura 3.10: Herraje

### 3.3. Diseño electrónico

Los diseños electrónicos son la parte fundamental de un proyecto, permiten el funcionamiento y el control de componentes electrónicos. Los componentes electrónicos son controlados por medio de pulsos electromagnéticos que los hacen cambiar de estados. Los circuitos electrónicos tienen una computadora central que guarda la información y la programación correspondiente que los hace funcionar, este se llama microcontrolador. El microcontrolador es programado mediante un lenguaje de programación específico o de arquitectura libre adjunta a un programa como lo pueden ser Netbeans, Simulink, Code Blocks, SpiderCom entre otros. La unión de componentes controlados por un microcontrolador programado es la esencia de los diseños electrónicos y permite la realización de tareas específicas. El presente proyecto consta de un circuito electrónico con 3 tareas en específico:

1. Controlar el acceso.
2. Guardar la información de los usuarios de entrada y salida.
3. Función de alarma al querer ingresar a la caja sin una autorización previa.

En la Figura 3.11 se muestra un diagrama de funcionamiento de tres pasos mencionados

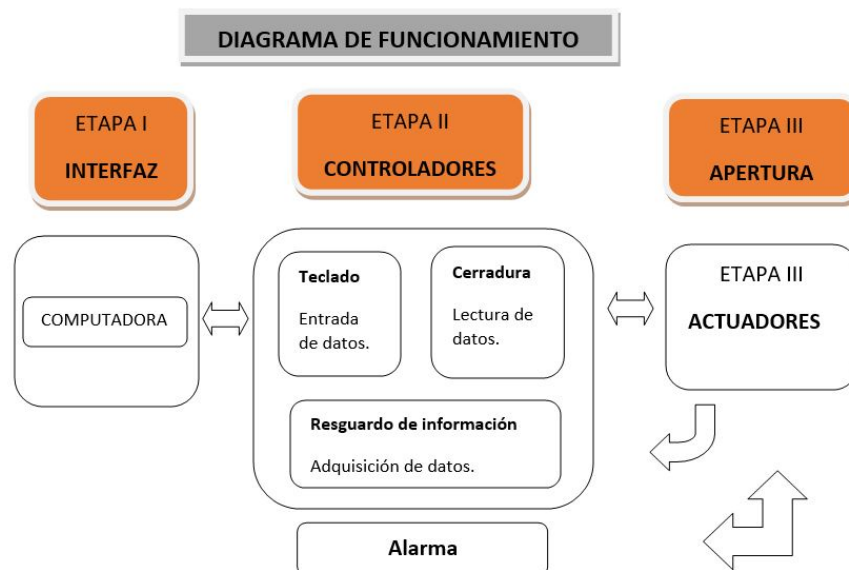


Figura 3.11: Diagrama de funcionamiento

La figura muestra el diagrama general del funcionamiento del circuito electrónico integrado con sus sistemas de control.

- **Interfaz:**

La interfaz muestra mediante la computadora los parámetros a los cuales funcionara el teclado y la cerradura. La interfaz es manipulada siempre por el especialista que usando el programa “Spider” otorga y programa los accesos necesarios para el cliente. Entre estos accesos se encuentra la hora y fecha de apertura del copete, el numero de usuarios, el tiempo de apertura y el numero de accesos permitidos antes de generar una alarma.

- **Controladores:**

Los controladores permiten el acceso y cierre del copete. Los controladores son previamente programados mediante el programa “Spider”. En esta etapa la función principal es del teclado Spider con las claves y accesos correspondientes. La cerradura además de recibir la información esta conectada con 2 componentes electrónicos que al ser alterados en su estado actual, manda una señal de alarma.

- **Apertura:**

La apertura es la ejecución correcta de los controladores. Operada bajo los parámetros correspondientes. Se abre y cierra la puerta, se tiene el acceso por tiempo determinado y los puertos electrónicos permitidos para la tarea.

### 3.3.1. Componentes Electrónicos Generales

Recordando que el proyecto es en conjunto con una empresa privada que se dedica al resguardo de valores para clientes privados y bancos nacionales. No se profundizará en el funcionamiento a grandes rasgos por razones de privacidad de información para la empresa y los clientes. El copete es un diseño para lugares abiertos al público, por lo que proporcionar la localización exacta y funcionamiento concreto del circuito electrónico pondría en riesgo la operación y seguridad.

#### Teclado Spider

Spider pro Figura 3.12 es una cerradura electrónica de alta seguridad para la apertura controlada de cajas fuertes u otros elementos de almacenamiento. Desarrollado de acuerdo con la normativa europea ENV1300 para cerraduras electrónicas de clase B, es un sistema inteligente basado en microcontrolador totalmente programable, lo que le convierte en un sistema muy versátil y seguro. Permite operaciones de apertura y programación sólo a aquellos usuarios autorizados que dispongan de las claves necesarias. Además, incorpora funciones de bloqueo temporal, restricciones de acceso, todo programable manualmente o mediante canal IrDA desde un terminal externo [25].



Figura 3.12: Teclado Spider: <https://btvmexicana.com/producto/spider-pro/>



### Cerradura Spider

Las cerraduras Spider, Figura 3.13, pueden instalarse en cualquiera de los contenedores de efectivo, son gestionables de forma remota a través de un software único Spicomplus III R8x que permite desde el Centro de Gestión de Alarmas, conocer el estado en todo momento de los diferentes contenedores y modificar diferentes parámetros de configuración y funcionamiento. En la cerradura quedan almacenadas hasta 9 claves de usuario de 7 dígitos, además de los espacios para la generación de claves de emergencia o de apertura inmediata [25].



Figura 3.13: Cerradura Spider

### Modulo UDC

La UDC Figura 3.14 es el elemento que integra todas las comunicaciones en la red de cerraduras proporcionando además la conexión con redes de comunicación LAN/WAN TCP/IP. Facilitará la interconexión entre todas las cerraduras de la oficina, y el resto de elementos;teclados, Consolas de petición de apertura.. Además permite la transmisión de alarmas hacia el software de gestión remoto del Centro de Gestión de Alarmas, y de forma local hacia paneles de alarma. La UDC está preparada para integrarse con dispositivos de terceros como paneles de alarma, autómatas, vídeo grabadores entre otros módulos de seguridad, todos mediante la comunicación TCP/IP. Los puertos de comunicaciones/IO que proporcionan son:

- Conexión a la red Wan/Lan mediante una puerta Ethernet con soporte para comunicaciones TCP/IP.
- Conexión a central de alarmas incorporando salidas de alarma y entradas.
- Conexión a internet mediante m'odem RTC ó GSM.
- Bloque remoto.



Figura 3.14: Comunicación UDC: <https://btvmexicana.com/producto/spider-pro-tcp-ip/>



La UDC es el elemento que aporta a la lógica de configuración, programaciones de horarios de apertura, festivos locales y nacionales, permisos de usuario, calendarios y otras características como la apertura múltiple, las opciones de supervisor, o el almacenamiento en memoria de las transacciones que podrán ser recuperadas por el software remotamente [25]

### Microswitches

Los microswitches o micro interruptores, Figura 3.15 son dispositivos electromecánicos que se utilizan para controlar el flujo de corriente eléctrica en un circuito, el funcionamiento de acción rápida permite la conmutación instantánea en una posición de funcionamiento fija, independientemente de la velocidad de funcionamiento y la fuerza del interruptor, debido a que los contactos cambian instantáneamente, cualquier arco entre los contactos no continuará durante un período prolongado, lo que permite la conmutación de grandes corrientes. Se utilizan para detectar la presencia o ausencia de un objeto, o para detectar la posición de un objeto.



Figura 3.15: microswitches

### Push boton

Un interruptor eléctrico es en su definición más básica un dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica. Un interruptor esta normalmente abierto (NA) cuando no se actúa sobre él esta abierto, a la posición normal también se le denomina posición de reposo, que el interruptor tendrá normalmente por la actuación de un push o resorte que lo lleva a esa posición. Cuando se actúa sobre un interruptor normalmente abierto (NA), el interruptor se cierra, permitiendo la circulación eléctrica. Algunos de sus campos de aplicaciones son en el sector Industrial, electricidad y seguridad.



Figura 3.16: Push boton

### 3.3.2. Electrónica de Control

#### Arduino

Arduino Figura 3.21 es una herramienta poderosa y accesible para la creación de proyectos electrónicos y prototipos. Su combinación de hardware fácil de usar, software intuitivo y una gran comunidad de apoyo lo hace ideal tanto para principiantes como para profesionales. La capacidad de Arduino para interactuar con el mundo físico a través de sensores y actuadores lo convierte en una plataforma versátil para una amplia gama de aplicaciones, desde proyectos educativos hasta productos comerciales.



Figura 3.17: Controlador Arduino

#### Transistor TIP31C

El transistor TIP31C Figura 3.18 es un transistor NPN de silicio de potencia media, comúnmente utilizado en aplicaciones de conmutación y amplificación. Forma parte de la serie TIP31 de transistores, que incluye diferentes variantes (TIP31A, TIP31B, TIP31C) con distintos voltajes máximos de colector-emisor.

En un circuito de conmutación, el TIP31C puede controlar la conexión y desconexión de dispositivos como motores, luces, entre otros utilizando una señal de control pequeña.



Figura 3.18: Transistor TIP31C



Los tres elementos importantes para un lazo de control son el dispositivo de medición (sensor de temperatura del termistor), un actuador (voltaje al transistor) y la capacidad de realizar un control computarizado (interfaz). En la salida máxima, el transistor disipa 3,1 W de potencia con un voltaje de 8,9 V y una corriente de 0,35 A, el calor generado por el transistor se transfiere por radiación, convección y conducción al sensor de temperatura.

El diseño del compensador PID que se realiza en el copete de seguridad puede ser utilizado en otra planta con características similares al copete, obtener una temperatura inicial y controlar la temperatura a lo necesario, por ejemplo, se puede realizar un control PID a un horno usando los componentes electrónicos mencionados con una configuración similar al copete de seguridad.

## 3.4. Diseño del Control

### 3.4.1. Control de Temperatura

Un control de temperatura a nivel industrial es un sistema o dispositivo diseñado para mantener la temperatura de un proceso o ambiente dentro de un rango deseado en aplicaciones industriales. Estos sistemas son esenciales en muchas industrias, como la manufactura, la industria alimenticia, farmacéutica, electrónica, entre otras. Entre las ramas mencionadas se puede generalizar que los controles de temperatura deben coincidir con las siguientes características:

1. Sensores de temperatura:

Los sensores como los termistores miden la temperatura actual a un proceso y envían esta información al controlador.

2. Controlador de temperatura:

Este dispositivo recibe la información del sensor y es comparada con la temperatura deseada (setpoint). Posterior a conocer ambas temperaturas se ajustan los dispositivos controlados de calefacción o enfriamiento según sea necesario para mantener la temperatura dentro del rango establecido.

3. Elementos de control:

Los elementos de control son dispositivos como calentadores, enfriadores, refrigeradores, válvulas, ventiladores y que se activan o desactivan según las instrucciones programadas del controlador para ajustar la temperatura.

4. Algoritmos de control:

Los controladores suelen utilizar algoritmos de control, como PID (Proporcional-Integral-Derivativo), para ajustar la salida de control y mantener la temperatura estable.

5. Interfaz:

Los sistemas de control de temperatura suelen contar con interfaces de usuario que permiten a los operadores monitorear y ajustar los parámetros de temperatura según sea necesario.

6. Integración con otros sistemas:

Los sistemas de control de temperatura a menudo se integran con otros sistemas

de control de procesos industriales, lo que permite una gestión más completa y eficiente de las operaciones.

### 3.4.2. Control PID

El control PID es un tipo de controlador automático que se utiliza para mantener una variable de un proceso cerca de un punto de referencia deseado, estabilizada. PID son las siglas de Proporcional, Integral y Derivativo, que son los tres componentes del controlador.

- La variable proporcional (P) se utiliza para medir el error instantáneo, actuar sobre él y generar una acción correctora.
- Variable integral (I): La variable integral I es el componente que permite al sistema ajustar los errores acumulados en el pasado y corregir pequeños errores.
- Variable derivada (D): La variable derivada se utiliza para predecir el error futuro con el fin de minimizar las oscilaciones y suavizar la respuesta al cambio.

Conociendo lo anterior podemos definir que la ley de control es expresada de la siguiente manera

$$\tau = K_p \tilde{q} + K_v \dot{\tilde{q}} + K_i \int_0^t \tilde{q}(\sigma) d\sigma \quad (3.5)$$

Donde  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_v$  son las ganancias proporcional, integral y derivativa,  $\tilde{q}$  es el error de posición y  $\dot{\tilde{q}}$  es la derivada del error de posición. En la Figura 3.21 se observa la planta de un control PID [22].

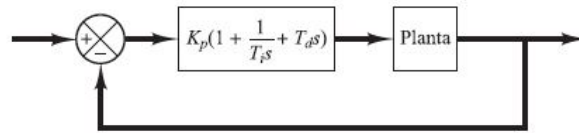


Figura 3.21: Diagrama de Control PID

### 3.4.3. Reglas de Ziegler-Nichols para controladores PID

Los controladores PID se pueden ajustar utilizando reglas prácticas que se basan en la respuesta experimental de la planta. Si se dispone de un modelo matemático preciso de la planta, es posible emplear técnicas analíticas de diseño para determinar los parámetros del controlador que satisfagan las especificaciones de la respuesta transitoria y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado.

Sin embargo, cuando la planta es compleja y obtener su modelo matemático no es factible, se utilizan métodos experimentales para sintonizar los controladores PID. Ziegler y Nichols propusieron reglas, las cuales establecen los valores iniciales de la ganancia proporcional ( $K_p$ ), el tiempo integral ( $T_i$ ) y el tiempo derivativo ( $T_d$ ) basándose en las características de la respuesta transitoria de la planta o en el valor de  $K_p$  que produce estabilidad marginal cuando solo se utiliza la acción proporcional del controlador.

Estas reglas son útiles cuando se desconoce el modelo matemático de la planta, ya que permiten a los ingenieros realizar ajustes experimentales sobre la planta para determinar los parámetros óptimos del controlador PID. Este enfoque experimental facilita la optimización del rendimiento del sistema, ajustando los parámetros del controlador en función de la respuesta del sistema en el tiempo.

#### 3.4.4. Sintonización de Ziegler Nichols en Lazo Abierto

En el presente método la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, tal como se muestra en la Figura 3.22.

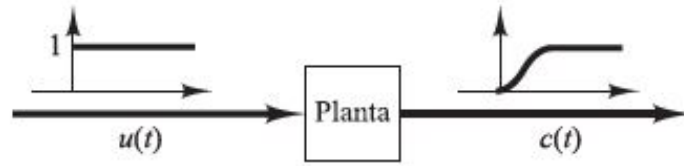


Figura 3.22: Respuesta a un escalón unitario de una planta

Si la planta no contiene integradores polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la Figura 3.23. Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $T$  [22].

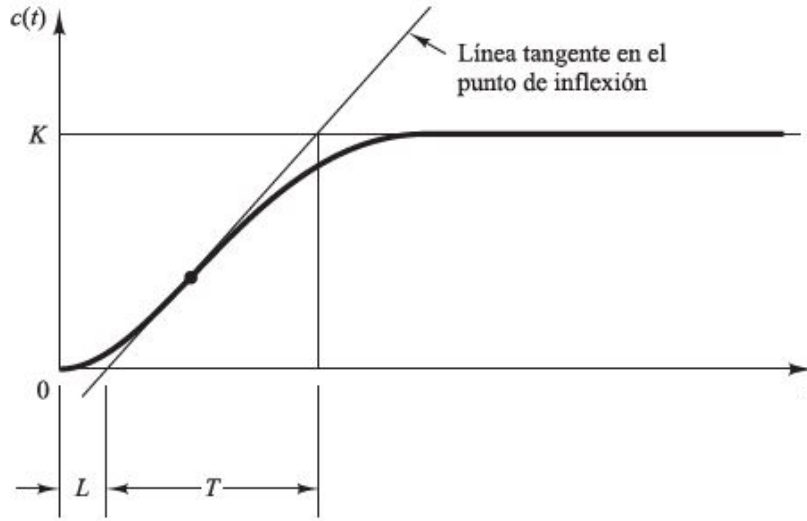


Figura 3.23: Respuesta en 'S'

En este caso, la función de transferencia  $\frac{C(s)}{U(s)}$  se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{Ls}}{Ts + 1} \quad (3.6)$$

De acuerdo a la tabla de Ziegler Nichols

Regla de sintonía de Ziegler-Nichols			
Tipo de Controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P</b>	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
<b>PI</b>	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
<b>PID</b>	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

Tabla 3.4: Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta [22]

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo con la fórmula que se muestra en la Tabla 3.4 Obsérvese que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce:

$$G_s(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) \quad (3.7)$$

$$= 1,2\frac{T}{L}(1 + \frac{1}{2Ls} + 0,5Ls) \quad (3.8)$$

$$= 0,6T \frac{(s + \frac{1}{L})^2}{s} \quad (3.9)$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en  $s = -\frac{1}{L}$

### 3.4.5. Modelo matemático y linealización de la planta de temperatura

Para este se utilizan las leyes termodinámicas para obtener el modelo matemático no lineal del sistema, posteriormente de obtener el modelo matemático se realiza su linealización del sistema usando las series de Taylor para obtener la función de transferencia de primero orden.

Conociendo el tipo de temperatura que entra y sale del sistema obtenemos la temperatura de entrada y la temperatura de salida donde:

- T. ENTRADA: La temperatura de un transistor aumenta a medida que la corriente eléctrica fluye a través del dispositivo.
- T. SALIDA: La energía que se dispersa fuera del transistor es provocada por la convección y radiación.

Partiendo de la convección y radiación en un transistor BJT podemos partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{out} \quad (3.10)$$

$$Q_{in} = \alpha Q_i \quad (3.11)$$

Donde  $\alpha$  = Constante de la variación de la temperatura que relaciona la salida del calentador en 0 a 100 % y  $Q_{in}$  = Porcentaje de salida del calentador.

Mientras que

$$Q_{out} = K_T(T - T_{\infty}) + \epsilon \sigma A(T^4 - T_{\infty}^4) \quad (3.12)$$

La ley de enfriamiento de Newton =  $K_T(T - T_{\infty})$  y hace alusión a la salida de calor por convección mientras que la ley de Stefan-Boltzman =  $\epsilon \sigma A(T^4 - T_{\infty}^4)$  y hace alusión al parámetro de salida calor por la radiación. Entonces conociendo cada uno de los parámetros sabemos que:

$K_T$  = Constante de pérdida para el ambiente

$T$  = Temperatura del transistor

$T_{\infty}$  = Temperatura del ambiente

$\epsilon$  = Emisividad

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann

$A$  = Área

Conociendo  $Q_{in}$  y  $Q_{out}$  sustituimos en 3.10 para poder armar nuestro modelo que representa el modelo termodinámico, por lo tanto se obtiene:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha Q_i - K_T(T - T_{\infty}) - \epsilon \sigma A(T^4 - T_{\infty}^4) \quad (3.13)$$

Analizando la ecuación matemática 3.13 en la convección se puede representar  $K_T$  como el producto de dos variables:

$$K_T = UA \quad (3.14)$$



Donde  $U$  es el coeficiente de transferencia de calor y  $A$  continua siendo el area, por lo tanto sustituyendo 3.14 se obtiene:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha Q_i + UA(T_\infty - T) + \epsilon \sigma A(T_\infty^4 - T^4) \quad (3.15)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha Q_i + UA(T_\infty - T) + \epsilon \sigma A(T_\infty^4 - T^4) \quad (3.16)$$

Entonces se puede calcular el valor liberado o absorbido del transistor utilizando el calor especifico ( $C_p$ ), masa ( $m$ ), la diferencia entre la temperatura y el cambio de temperatura ( $T - T_{ref}$ ) en la ecuación 3.16. Relacionando la masa, el calor especifico y la diferencia de temperatura por medio de la termodinámica obtenemos una relación con el calor  $Q$  como:

$$Q = mC_p(T - T_{ref}) \quad (3.17)$$

Finalmente sustituyendo en la ecuación diferencial 3.16 y considerando  $T_{ref} = 0$  se obtiene la ecuación final no lineal del modelo matematico.

$$mC_p \frac{dT}{dt} - mC_p = \alpha Q_i + UA(T_\infty - T) + \epsilon \sigma A(T_\infty^4 - T^4) \quad (3.18)$$

Para linealizar la ecuación 3.18 se define en función de la temperatura por la variable de entrada.

$$f(T, Q_i) = \frac{dT}{dt} = \frac{\alpha}{mC_p} Q_i + \frac{UA}{mC_p} (T_\infty - T) + \frac{\epsilon \sigma A}{mC_p} (T_\infty^4 - T^4) \quad (3.19)$$

Se iguala a cero la ecuación 3.19 en  $\frac{dT}{dt}$  para encontrar el punto de equilibrio de la ecuación y por ende sus raíces, al igual en cero la ecuación convertimos la ecuación en estado estacionario sub indice (s), y solo se consideran las raices positivas, ya que la temperatura no podria estar en  $-0^\circ$  ni en variable compleja para este ejercicio.

$$0 = \alpha Q_{is} + UA(T_{\infty s} - T_s) + \epsilon \sigma A(T_{\infty s}^4 - T_s^4) \quad (3.20)$$

$$(\epsilon \sigma A) T_s^4 + (UA) T_s - (\alpha Q_{is} + UA T_{\infty s} + \epsilon \sigma A T_{\infty s}^4) = 0 \quad (3.21)$$

Resolviendo el polinomio de grado 4 se obtienen las raíces:

- $T_s = 23C$
- $Q_{is} = 0$

Usando las series de taylor en funcion de la temperatura obtenemos:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\partial f}{\partial T} \Big|_{T_s, Q_{is}} (T - T_s) + \frac{\partial f}{\partial Q_i} \Big|_{T_s, Q_{is}} (Q_i - Q_{is}) + f(T_s, Q_{is}) \quad (3.22)$$

Por lo tanto resolviendo las derivadas parciales respecto  $T$  y  $Q_i$  obtenemos:

$$\frac{\partial f}{\partial T} = -\frac{UA}{mC_p} - \frac{4\epsilon \sigma A}{mC_p} T_s^3 \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial f}{\partial Q_i} = \frac{\sigma}{mC_p} \quad (3.24)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.22 finalmente se obtiene la ecuación lineal como:

$$\frac{dT}{dt} = \left(-\frac{UA}{mC_p} - \frac{4\epsilon\sigma A}{mC_p}T_s^3\right)\Delta T + \left(\frac{\alpha}{mC_p}\right)\Delta Q + \frac{dT}{dt}\bigg|_{T_s, Q_{is}} \quad (3.25)$$

$$\frac{d\Delta T}{dt} = \left(-\frac{UA}{mC_p} - \frac{4\epsilon\sigma A}{mC_p}T_s^3\right)\Delta T + \left(\frac{\alpha}{mC_p}\right)\Delta Q \quad (3.26)$$

Finalmente para encontrar la función de transferencia partiendo de la ecuación lineal 3.26 se aplica la transformada de Lplace como:

$$\Delta T(S)s = \left(-\frac{UA}{mC_p} - \frac{4\epsilon\sigma A}{mC_p}T_s^3\right)\Delta T(S)s + \left(\frac{\alpha}{mC_p}\right)\Delta Q(S) \quad (3.27)$$

$$\Delta T(S)s + \left(\frac{UA}{mC_p} + \frac{4\epsilon\sigma A}{mC_p}T_s^3\right)\Delta T(S) = \left(\frac{\alpha}{mC_p}\right)\Delta Q(S) \quad (3.28)$$

por lo tanto despejando a  $\frac{\Delta T(S)}{\Delta Q(S)}$  se obtiene la función de transferencia expresada como:

$$\frac{\Delta T(S)}{\Delta Q(S)} = \frac{\frac{\alpha}{mC_p}}{s + \left(\frac{UA}{mC_p} + \frac{4\epsilon\sigma A}{mC_p}T_s^3\right)} \quad (3.29)$$

$$G(S) = \frac{\frac{\alpha}{mC_p}}{s + \left(\frac{UA}{mC_p} + \frac{4\epsilon\sigma A}{mC_p}T_s^3\right)} \quad (3.30)$$

Se consideran los siguientes parámetros para la ecuación de transferencia 3.30

Variables	Valores
Temperatura Inicial ( $T_0$ )	296.15K (23°C)
Temperatura Ambiente ( $T_\infty$ )	296.15K (23°C)
Salida del Calentador ( $Q$ )	0 a 1 W
Factor del Calentador ( $\sigma$ )	0.014 W/(% Calentamiento)
Capacidad Calorífica ( $C_p$ )	500 J/Kg(k)
Área de la Superficie ( $A$ )	$1,2 * 10^{-3}m^2(12cm^2)$
Masa ( $m$ )	0.004 Kg (4g)
Coefficiente de Transferencia de Calor ( $U$ )	5 W/m <sup>2</sup> K
Emisividad ( $\epsilon$ )	0.9
Constante de Stefan Boltzmann ( $\sigma$ )	$5,67 * 10^{-8}W/m^2(K^4)$

Tabla 3.5: Tabla de variables respecto al BJT

Por lo tanto la función de transferencia se queda de la siguiente forma:

$$G(S) = \frac{1,127}{160s + 1} \quad (3.31)$$

Sin embargo para obtener la temperatura en el transistor se debe considerar el retardo del sistema, por tanto se agrega el retardo a la ecuación de transferencia:

$$G(S) = \frac{1,127}{160s + 1}e^{-Ls} \quad (3.32)$$

# Capítulo 4

## Análisis de Simulaciones

En este capítulo, se da continuidad al trabajo realizado en el capítulo anterior, con un enfoque detallado en las simulaciones de los diseños previamente presentados. El objetivo es esclarecer y reforzar puntos específicos mediante el uso de herramientas computacionales como Matlab y SolidWorks Simulation. Estas simulaciones se realizan utilizando técnicas de elementos finitos para el análisis mecánico en tensión y desplazamiento. Finalmente el método de Ziegler-Nichols para el control de temperatura y un diagrama general de las conexiones e interconexiones de la parte electrónica del copete de seguridad.

## 4.1. Simulaciones por método de elementos finitos

Método de elementos finitos (MEF) consiste en dividir un sólido en sub elementos conectados entre sí mismos en forma de nodos (Figura 4.1), de esta forma el desplazamiento de cada pieza o ensamble es en función de cuanto se desplaza internamente cada nodo uno respecto al otro. Utilizando esta herramienta de SolidWorks se proponen casos simulados que determinan el comportamiento del copete bajo casos vandálicos supuestos y determinar si el copete cederá o resistirá ante los casos propuestos.

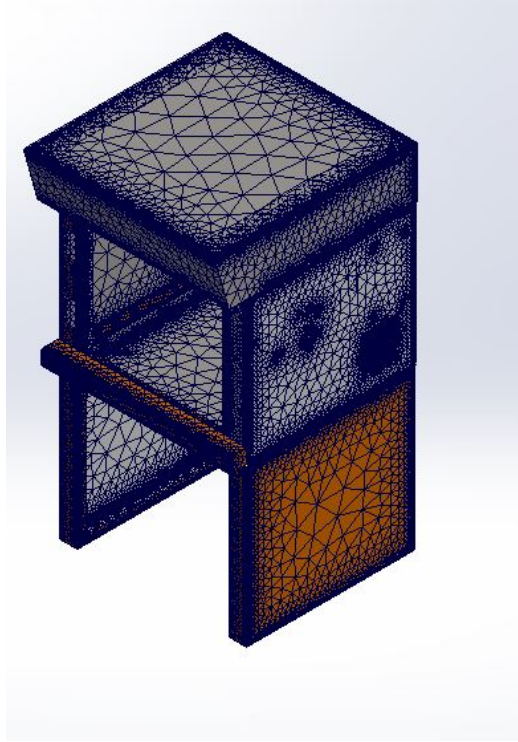


Figura 4.1: MEF

### 4.1.1. Propiedades físicas para el Acero al Carbón

#### 1. Densidad:

La densidad es la medida de la masa por unidad de volumen de un material. En el caso del acero al carbono, es la cantidad de masa que ocupa un determinado volumen del material. Se expresa en unidades de  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{g/cm}^3$ . La densidad del acero al carbono es típicamente alrededor de  $7,850 \text{ kg/m}^3$ . Es una propiedad importante porque influye en la resistencia del material, su peso y su comportamiento en aplicaciones específicas.

#### 2. Módulo de Elasticidad (o Módulo de Young):

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez de un material. Representa la relación entre el esfuerzo (fuerza aplicada por unidad de área) y la deformación (cambio en longitud) en la región elástica de un material, donde éste regresa a su forma original al eliminar la carga. Para el acero al carbono, el módulo de elasticidad es aproximadamente  $200 \text{ GPa}$  (Gigapascuales). Es fundamental en el diseño de estructuras porque indica cuánto se deformará un material bajo una carga determinada.

### 3. Límite Elástico:

El límite elástico es el valor máximo del esfuerzo que un material puede soportar sin sufrir deformación permanente. Si se aplica un esfuerzo superior al límite elástico, el material no recuperará su forma original al eliminar la carga, entrando en la fase plástica. Para el acero al carbono, el límite elástico suele estar en el rango de 250-350 MPa (Megapascuales), dependiendo de la composición exacta y del tratamiento del material. Este parámetro es crucial en aplicaciones que requieren alta resistencia sin deformación permanente.

### 4. Módulo Cortante:

El módulo cortante, también conocido como módulo de rigidez o módulo de elasticidad transversal, mide la capacidad de un material para resistir deformaciones por corte. Es la relación entre el esfuerzo cortante y la deformación angular en la región elástica. Para el acero al carbono, el módulo cortante suele ser de alrededor de 80 GPa. Es especialmente relevante en el análisis de estructuras sometidas a fuerzas tangenciales.

### 5. Coeficiente de Poisson:

El coeficiente de Poisson es una medida de la deformación lateral que experimenta un material cuando se somete a un esfuerzo longitudinal. Específicamente, es la razón entre la deformación lateral (perpendicular a la carga) y la deformación longitudinal (en la dirección de la carga). Para el acero al carbono, el coeficiente de Poisson es aproximadamente 0.3. Este valor ayuda a entender cómo un material se ensanchará o estrechará lateralmente cuando se estire o comprima longitudinalmente.

## 4.2. Parámetros

Los resultados de las simulaciones muestran una idea mas clara del comportamiento del copete ante las situaciones de vandalismo planteadas, considerando que el acero es un material compuesto principalmente por hierro (Fe) y carbono (C) y que además puede contener pequeñas cantidades de otros elementos como manganeso (Mn), silicio (Si), azufre (S) y fósforo (P), como impurezas inevitables o elementos añadidos en pequeñas cantidades, esto puede variar su composición final, por tanto, considerando las siguientes tablas se corroboran que los parámetros a utilizar en las simulaciones se asemejen a los mostrados en las siguientes tablas.

### ■ Módulo de Elasticidad

TABLA 3.1 Módulo de elasticidad para materiales seleccionados.

Metales	Módulo de elasticidad		Cerámicas y polímeros	Módulo de elasticidad	
	MPa	lb/in <sup>2</sup>		MPa	lb/in <sup>2</sup>
Aluminio y sus aleaciones	$69 \times 10^3$	$10 \times 10^6$	Alúmina	$345 \times 10^3$	$50 \times 10^6$
Hierro colado	$138 \times 10^3$	$20 \times 10^6$	Diamante <sup>a</sup>	$1035 \times 10^3$	$150 \times 10^6$
Cobre y sus aleaciones	$110 \times 10^3$	$16 \times 10^6$	Vidrio plano	$69 \times 10^3$	$10 \times 10^6$
Hierro	$209 \times 10^3$	$30 \times 10^6$	Carburo de silicio	$448 \times 10^3$	$65 \times 10^6$
Plomo	$21 \times 10^3$	$3 \times 10^6$	Carburo de tungsteno	$552 \times 10^3$	$80 \times 10^6$
Magnesio	$48 \times 10^3$	$7 \times 10^6$	Nailon	$3.0 \times 10^3$	$0.40 \times 10^6$
Níquel	$209 \times 10^3$	$30 \times 10^6$	Fenol formaldehído	$7.0 \times 10^3$	$1.00 \times 10^6$
Acero	$209 \times 10^3$	$30 \times 10^6$	Polietileno (de baja densidad)	$0.2 \times 10^3$	$0.03 \times 10^6$
Titanio	$117 \times 10^3$	$17 \times 10^6$	Polietileno (de alta densidad)	$0.7 \times 10^3$	$0.10 \times 10^6$
Tungsteno	$407 \times 10^3$	$59 \times 10^6$	Poliestireno	$3.0 \times 10^3$	$0.40 \times 10^6$

Compilado de las referencias [8], [10], [11], [14], [15] y otras fuentes.

Aunque el diamante no es una cerámica, con frecuencia se le compara con esos materiales.

Figura 4.2: Materiales: Módulo de Elasticidad [28]

## ■ Resistencia a la Tensión

TABLA 3.2 Resistencia de vencimiento y resistencia a la tensión de metales seleccionados.

Metal	Resistencia de deformación		Resistencia a la tensión		Metal	Resistencia de deformación		Resistencia a la tensión	
	MPa	lb/in <sup>2</sup>	MPa	lb/in <sup>2</sup>		MPa	lb/in <sup>2</sup>	MPa	lb/in <sup>2</sup>
Aluminio, templado	28	4000	69	10000	Níquel, templado	150	22000	450	65000
Aluminio, CW <sup>a</sup>	105	15000	125	18000	Acero, bajo C <sup>a</sup>	175	25000	300	45000
Aleaciones de aluminio <sup>a</sup>	175	25000	350	50000	Acero, alto C <sup>a</sup>	400	60000	600	90000
Hierro colado <sup>a</sup>	275	40000	275	40000	Acero, aleaciones <sup>a</sup>	500	75000	700	100000
Cobre, templado	70	10000	205	30000	Acero, inoxidable <sup>a</sup>	275	40000	650	95000
Aleaciones de cobre <sup>a</sup>	205	30000	410	60000	Titanio, puro	350	50000	515	75000
Aleaciones de magnesio <sup>a</sup>	175	25000	275	40000	Aleaciones de titanio	800	120000	900	130000

Compilada a partir de las referencias [8], [10], [11], [15] y otras fuentes.

<sup>a</sup> Los valores dados son comunes. Para las aleaciones, hay un rango amplio de los valores de resistencia, en función de su composición y tratamiento (por ejemplo, tratamiento térmico, y endurecimiento por trabajo).

Figura 4.3: Materiales: Resistencia a la Tensión[28]

## ■ Densidad

TABLA 4.1 Propiedades volumétricas en unidades tradicionales de Estados Unidos para materiales seleccionados de la ingeniería.

Material	Densidad, $\rho$ ,		Coeficiente de expansión térmica, $\alpha$		Punto de fusión, $T_m$	
	g/cm <sup>3</sup>	lb/in <sup>3</sup>	$^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-6}$	$^{\circ}\text{F}^{-1} \times 10^{-6}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$
<b>Metales</b>						
Aluminio	2.70	0.098	24	13.3	660	1220
Cobre	8.97	0.324	17	9.4	1083	1981
Fierro	7.87	0.284	12.1	6.7	1539	2802
Plomo	11.35	0.410	29	16.1	327	621
Magnesio	1.74	0.063	26	14.4	650	1202
Níquel	8.92	0.322	13.3	7.4	1455	1651
Acero	7.87	0.284	12	6.7	a	a
Estaño	7.31	0.264	23	12.7	232	449
Tungsteno	19.30	0.697	4.0	2.2	3410	6170
Zinc	7.15	0.258	40	22.2	420	787

Figura 4.4: Materiales: Densidad [28]

## ■ Coeficiente de Poisson

TABLA 1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería								
Datos provenientes de varias fuentes. * Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico								
Material	Módulo de elasticidad $E$		Módulo de rigidez $G$		Razón de Poisson $\nu$	Peso específico $\gamma$ lb/in <sup>3</sup>	Densidad de masa $\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

\* Properties of Some Metals and Alloys. International Nickel Co., N.Y., *Metals Handbook*. American Society for Metals. Materials Park, Ohio.

\* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Figura 4.5: Materiales: Coeficiente de Poisson [28]

## ■ Limite Elástico

**TABLA 9 Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbono**  
 Datos de varias fuentes.\* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa.

Número SAE/AISI	Estado	Limite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in. %	Dureza Brinell -HB
		ksi	MPa	ksi	MPa		
1010	laminado en caliente	26	179	47	324	28	95
	laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	laminado en caliente	30	207	55	379	25	111
	laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	laminado en caliente	38	259	68	469	20	137
	normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	laminado en caliente	64	441	76	524	12	149
	templado y revenido @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	templado y revenido @ 800°F	84	579	106	731	23	302
	templado y revenido @ 400°F	94	648	123	848	17	495
1035	laminado en caliente	40	276	72	496	18	143
	laminado en frío	67	462	80	552	12	163
1040	laminado en caliente	42	290	76	524	18	149
	normalizado @ 1 650°F	54	372	86	593	28	170
	laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	templado y revenido @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	templado y revenido @ 800°F	80	552	110	758	21	241
	templado y revenido @ 400°F	86	593	113	779	19	262
1045	laminado en caliente	45	310	82	565	16	163
	laminado en frío	77	531	91	627	12	179
1050	laminado en caliente	50	345	90	621	15	179
	normalizado @ 1 650°F	62	427	108	745	20	217
	laminado en frío	84	579	100	689	10	197
	templado y revenido @ 1 200°F	78	538	104	717	28	235
	templado y revenido @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
	templado y revenido @ 400°F	117	807	163	1 124	9	514
1060	laminado en caliente	54	372	98	676	12	200
	normalizado @ 1 650°F	61	421	112	772	18	229
	templado y revenido @ 1 200°F	76	524	116	800	23	229
	templado y revenido @ 1 000°F	97	669	140	965	17	277
	templado y revenido @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
1095	laminado en caliente	66	455	120	827	10	248
	normalizado @ 1 650°F	72	496	147	1 014	9	13
	templado y revenido @ 1 200°F	80	552	130	896	21	269
	templado y revenido @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	templado y revenido @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

\* SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale Pa.; Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Figura 4.6: Materiales: Limite Elastico [29]

De acuerdo a los parámetros mostrados en las tablas anteriores se considera el material “Acero aleado” como material selecto para realizar las simulaciones, este material a pesar de que no especifica la concentración del mismo en solidworks es semejante a las propiedades del acero al carbón mostrado en las tablas anteriores, además, que de acuerdo a la Figura 4.5 los parámetros ingenieriles del acero al carbón se asemejan al acero aleado, y a su vez en el software solidworks, el acero aleado es el material estándar para simular chapa metálica sin conocer el porcentaje exacto de carbono y tratamiento del material. El calibre se define desde el diseño ó en las simulaciones se configura cada uno de los calibres en las piezas correspondientes.

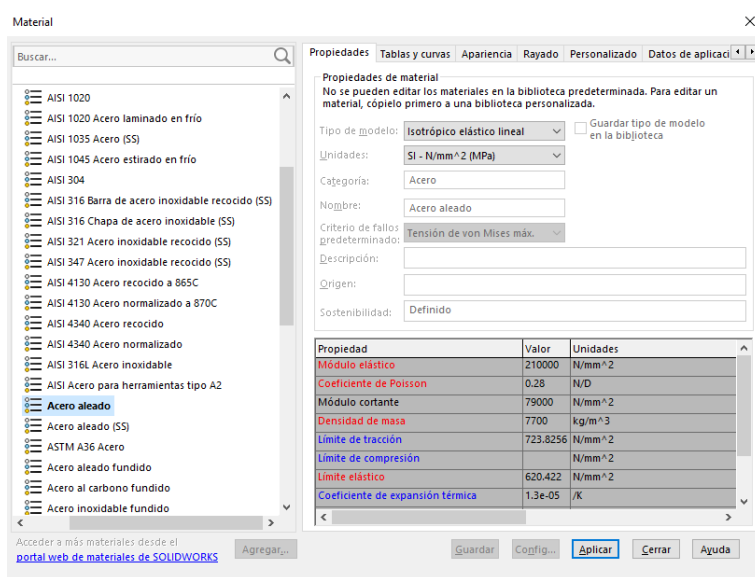


Figura 4.7: Material SolidsWorks

### 4.3. Mallado

El proceso empieza con la creación de un modelo geométrico, después el programa subdivide el modelo en pequeñas porciones de formas de elementos simples conectadas en puntos comunes llamados nodos. Un elemento de vaciado triangular lineal se define mediante tres nodos angulares, Figura 4.8, y con el cual los elementos de vaciado son elementos en 2D capaces de resistir cargas de plegado y membrana en chapa metálica dando como resultado la malla de vaciado.

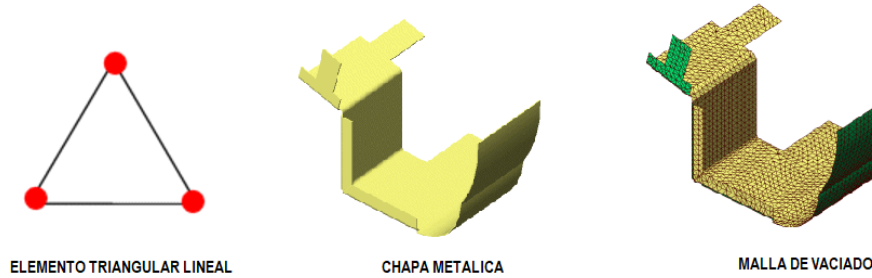


Figura 4.8: Mallado

El software estima un tamaño de elemento global para el modelo tomando en cuenta su volumen, área de superficie y otros detalles geométricos. El tamaño de la malla generada (número de nodos y elementos) depende de la geometría y las cotas del modelo, el tamaño del elemento, la tolerancia de la malla, el control de malla y las especificaciones de contacto como se muestra en la figura 4.9. En las primeras etapas del análisis de diseño los resultados aproximados pueden resultar suficientes, además, es posible especificar un tamaño de elemento mayor para una solución más rápida. Para obtener una solución más precisa, es posible que sea necesario utilizar un tamaño de elemento más pequeño.

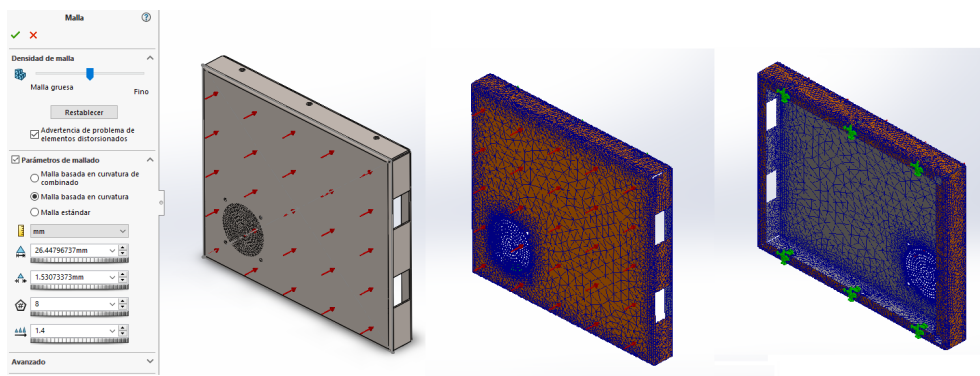


Figura 4.9: Mallado



## 4.4. Fuerza de Impacto

Considerando el marro octagonal de 8 libras (3.6 kg) con mango de madera de 36 pulgadas (91 cm), Figura 4.10, para conocer la fuerza y presión requerida para las simulaciones.



Figura 4.10: Marro 8lbs

- Longitud total del mango: 36 pulgadas (91 cm).
- Longitud de la cabeza: 154 mm.
- Dureza en las caras: 60 HRc.
- Largo de la cabeza: 154 mm (15.4 cm).
- Ancho de las caras: Alrededor de 48 mm (4.8 cm).

Por lo tanto, para calcular la fuerza de un golpe de un marro considerada en un rango entre 10 a 15 m/s, es necesario considerar que la fuerza generada por un impacto que es dependiente del cambio de momento  $\Delta_p$  y el tiempo de contacto ( $\Delta_t$ ).

$$F = \frac{\Delta_p}{\Delta_t} = \frac{m \cdot v}{t} \quad (4.1)$$

donde,

- $\Delta_p$ : Cambio en el momento lineal ( $p = m \cdot v$ )
- $\Delta_t$ : Tiempo que el marro está en contacto en la superficie (se considera un valor mínimo de contacto entre el marro y la superficie de 0.01s)

Dado que el tiempo influye de manera significativa en la fuerza final, se consideran algunos aspectos para considerar 0.01s.

Si el marro golpea una superficie dura como el acero, el contacto es rápido, con tiempos de impacto menores a un segundo, además durante un impacto las superficies se deforman momentáneamente y en materiales duros esta deformación es mínima y el tiempo es muy corto, estos aspectos se refuerzan en experimentos y estudios previos como:

- “Detección de la posición y tamaño de una grieta mediante impacto-eco y MCSD [30]”: Menciona que el tiempo de contacto de una pequeña esfera sobre una superficie suele estar en el rango de 15 a 100 ms.
- “Medición del tiempo de contacto en colisiones de partículas [31]”: El trabajo presenta un método eléctrico para medir el tiempo de contacto durante colisiones entre partículas de diferentes materiales, reportando resultados en el rango de ms.

Por lo tanto, conociendo que 0.01 tendrá un resultado de fuerza más significativo que 0.015 mencionados se opta por considerar los 0.01s.

Considerando los valores conocidos del marro se obtiene:

- Masa del marro ( $m$ ) =  $8lb \approx 3,63Kg$ .
- Velocidad de impacto ( $v$ ) :  $13,78m/s$ . equivalente a  $49,6km/h$
- Tiempo de contacto supuesto  $\Delta_t = 0,01s$ .

El momento inicial del marro es:

$$p = m \cdot v = (3,63Kg)(13,78m/s) = 50,01 \frac{Kg \cdot m}{s} \quad (4.2)$$

Posteriormente se asume que la velocidad final del marro es igual a cero después del impacto, el cambio de momento genera la siguiente ecuación.

$$\Delta_p = p - 0 = 50 \frac{Kg \cdot m}{s} \quad (4.3)$$

Sustituyendo en la ecuación 4.1 se obtiene

$$F = \frac{\Delta_p}{\Delta_t} = \frac{50Kg \cdot m/s}{0,01s} = 5000N \quad (4.4)$$

De acuerdo al resultado el golpe de un marro a una velocidad de 13.78 m/s, genera una fuerza promedio de 5000N, el siguiente valor considerado como un impacto de una máquina o herramienta industrial se considera para las simulaciones de impacto en el copete de seguridad.

## 4.5. Simulaciones

Las simulaciones mostradas en el siguiente apartado muestran el comportamiento del copete ante los casos vandálicos propuestos en la tabla 1.2, Para las simulaciones se consideran los parámetros mostrados en la sección 4.2 y para la fuerza se consideran los 5000N obtenidos del análisis 4.4.

### 4.5.1. Simulación Análisis 1

Con los parámetros correspondientes, la fuerza de 5000N y la configuración de la malla se obtiene el ensamble mostrado en la Figura 4.11 que se muestra listo para la simulación. La fuerza se direcciona en la parte interior de la pieza superior en dirección del eje Z para simular un jalón desde el exterior del copete al cajero. Las flechas en verde muestran los puntos en los cuales esta fijada la pieza al cuerpo, como el cuerpo del copete al cajero.

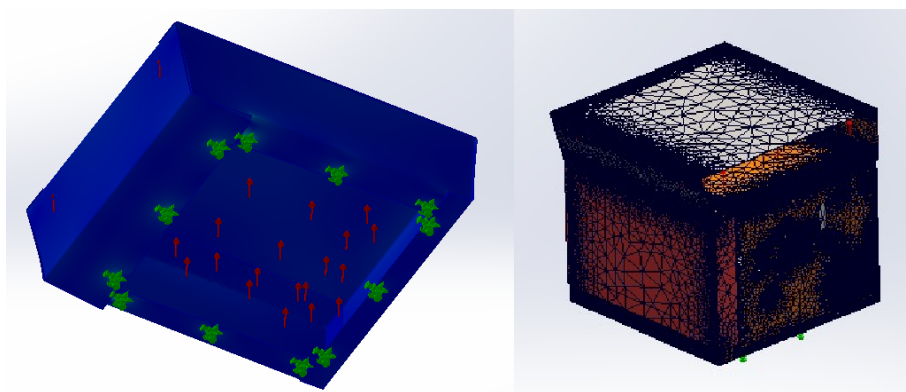


Figura 4.11: Simulación Análisis 1: Copete de Seguridad

La fuerza establecida en la simulación busca mostrar el comportamiento en diferentes zonas expuestas del copete, para obtener un marco referencial de la fuerza antes y después de los 5000N.

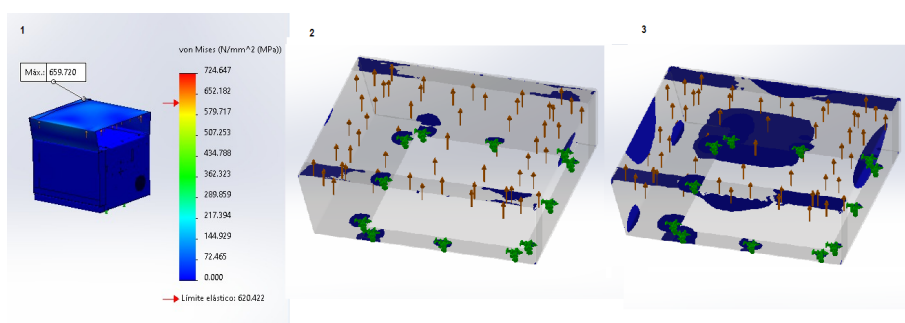


Figura 4.12: Simulación Análisis 1: Von Mises

La simulación muestra la tensión de von Mises llegando a un punto de fallo, superando el límite elástico mostrado la Figura 4.12. La figura muestra una concentración de esfuerzos en las esquinas cuyo valor es superior al límite elástico, por lo cual, presentan una cedencia en las esquinas, lo que indica que la tensión empieza en las esquinas de la pieza como se muestra en la Figura 4.12-2, las manchas azules muestran la tensión de

la pieza al hacer efecto la fuerza, posteriormente toda la tensión se centra en el centro de la pieza como se muestra en la tercera imagen, para posteriormente ceder. La pieza resiste antes de los 5000N, después de los 5000N se pronostica la pieza no regrese a su estado normal y se fracture.

#### ■ Análisis Matemático Von Mises

Para calcular la tensión máxima en la lámina debido a la carga, usamos la ecuación de flexión para placas delgadas sometidas a cargas concentradas.

$$\sigma_{max} = \frac{K \cdot P \cdot a}{t^2 \cdot b^2} \quad (4.5)$$

Donde :

$K$  : 0,378 Factor de forma rectangular

$P$  : 5000N Fuerza

$a, b$  : 626mm, 672mm Dimensiones de la superficie

$t$  : 1,9mm Espesor

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.5 obtenemos:

$$\sigma_{max} = \frac{0,378 \cdot 5000 \cdot 626}{1,9^2 \cdot 672^2} (10^3) = 725,75 MPa \quad (4.6)$$

El criterio de Von Mises dice que la falla ocurre cuando la tensión equivalente  $\sigma_{vm}$  supera el limite de fluencia  $\sigma_y$  del material, La tensión equivalente se calcula como:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (4.7)$$

Donde:

- $\sigma_x$  Tensión normal en la dirección x.
- $\sigma_y$  Tensión normal en la dirección y.
- $\sigma_{xy}$  Tensión normal en la dirección xy.

Considerando la pieza sometida a los esfuerzos bajo una fuerza concentrada en el centro y condiciones simétricas porque es igual en cada una de sus partes, tanto en doblez como en puntos de fijación , podemos entonces simplificar que:

$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_{max}$  del calculo anterior.

La tensión cortante  $\tau_{xy}$  puede ser considerada despreciable ya que la carga es normal al plano, por lo tanto.

$$\sigma_{vm} = \sigma_{max} \quad (4.8)$$

Finalmente evaluando la tensión  $\sigma_{vm} \leq \sigma_{max}$  con el limite cortante podemos corroborar que:

$$725,75 MPa \geq 620 Mpa$$

Por lo tanto, no cumple la condición de estar por debajo del limite cortante y corroboramos que se fracturara superando el límite. Por lo tanto, la primer pieza (superior) del copete cederá antes de ser desprendido del cajero.

La simulación, Figura 4.13 de acuerdo a los desplazamientos muestra uno considerable al centro de la pieza, la Figura 1 y 2 muestran una deformación de 12 mm, que retomando el análisis de von mises se entiende que ante un desplazamiento partir de 1 cm el material se deformará de tal forma que ya no podrá regresar a su estado original, por tal motivo el material se fracturará y cederá ante el esfuerzo sometido.

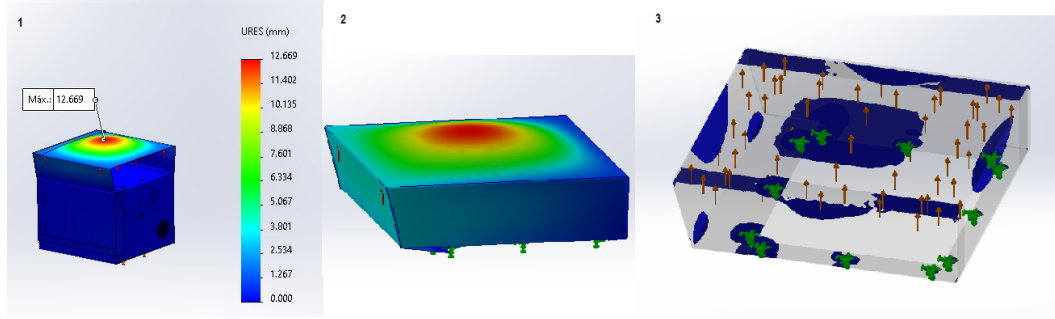


Figura 4.13: Simulación Análisis 1: Desplazamiento

#### ■ Análisis Matemático en Desplazamiento

Para calcular la deformación máxima ( $\delta_{max}$ ) en el centro de la pieza como se muestra en la simulación, se utiliza la fórmula:

$$\delta_{max} = \frac{K_d \cdot P \cdot a^2 \cdot b^2}{E \cdot t^3} \quad (4.9)$$

Donde,

$K_d$ : Factor de forma

$E$ : Módulo de elasticidad del acero  $E=210 \text{ GP}$

$K_d$  Coeficiente empírico proveniente de tablas y fórmulas obtenidas por investigadores como Timoshenko[32], dependen de las condiciones de borde, la geometría de la lámina y como se aplica la carga, este factor ajusta la fórmula para calcular deflexión máxima de placas sometidas a cargas puntuales.

Sustituyendo los valores en la fórmula 4.9 obtenemos:

$$\delta_{max} = \frac{0,02 \cdot 5000 \cdot 672^2 \cdot 626^2}{210 \times 10^9 \cdot 1,9^3} = 12,285 \text{ mm} \quad (4.10)$$

Lo que sustenta que la simulación entorno a la deformación se deformará 12mm como máximo a los 5000N, sin embargo antes de llegar a los 12mm habrá llegado al punto en el cual no regresará a su forma original, cediendo el material.

### 4.5.2. Simulación Análisis 2

Para el siguiente análisis se mantendrán las fuerzas y parametrizaciones a la anterior simulación, con la variante que el cuerpo del copete es cal. 10, un calibre mas grueso que la simulación anterior, se pretende obtener una tensión de von Mises por debajo del resultado anterior y un desplazamiento menor al resultado anterior, la Figura 4.14 muestra el mallado y configuraciones correspondientes.

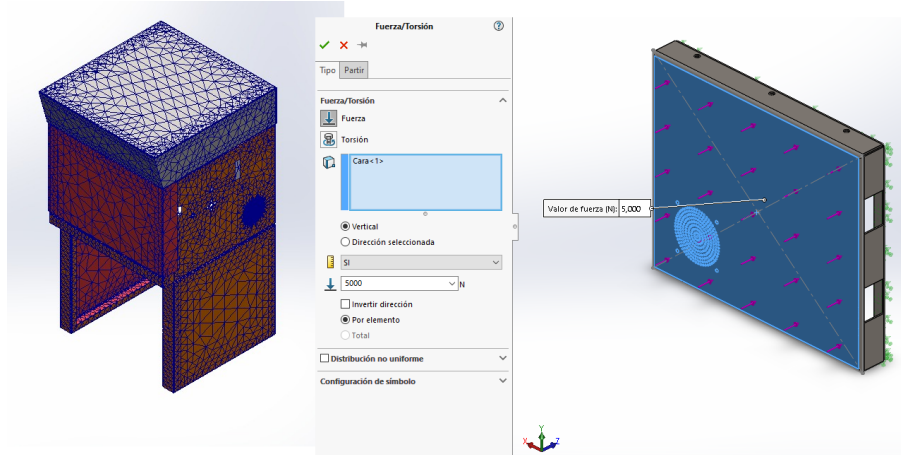


Figura 4.14: Simulación Análisis 2: Copete de Seguridad

La siguiente Figura 4.15 muestra una tensión de von Mises por debajo de la anterior, las variantes son las dimensiones en la cual se hace el estudio y el calibre del material, en este caso se utilizó un calibre mas grueso, que bajó considerablemente el estrés sometido al copete, lo cual muestra que a mayor grosor, mayor dureza y mejor respuesta ante el mismo impacto.

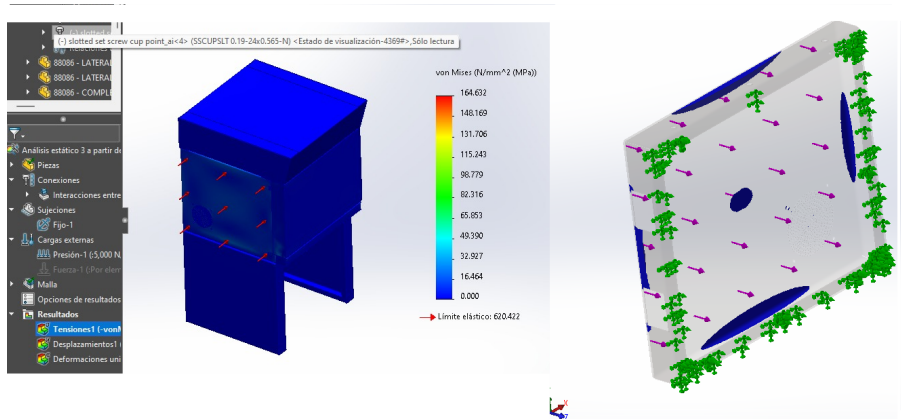


Figura 4.15: Simulación Análisis 2: Von Mises

La Figura 4.15 muestra que el resultado máximo esta por debajo del límite elástico del material, por lo tanto, las áreas laterales están mejor protegidas ante un intento vandálico que en el área superior. La tensión se reparte en el área central y los bordes de la pieza, lo que indica que todo el estrés culminará en el centro de la pieza como muestran las respectivas manchas azules en la Figura 4.15. En este caso se puede concluir que el material no cederá ante un impacto de 5000N, al contrario que con el calibre delgado en la parte superior.

### ■ Análisis Matemático Von Mises

Considerando la ecuación 4.5 y sustituyendo los parámetros correspondientes se obtiene:

$$\sigma_{max} = \frac{0,31 \cdot 5000 \cdot 562}{3,42^2 \cdot 672^2} (10^3) = 164,92 MPa \quad (4.11)$$

El resultado de la ecuación muestra un resultado igual al de la simulación lo que sustenta que el material no cederá ante la fuerza actuada. Finalmente, considerando el criterio de von Mises se obtiene:

$$164,92 MPa \leq 620 MPa$$

Lo cual concluye que la pieza de acero calibre 10 no fallará bajo la carga de 5000N ya que la tensión equivalente está por debajo del límite elástico del material.

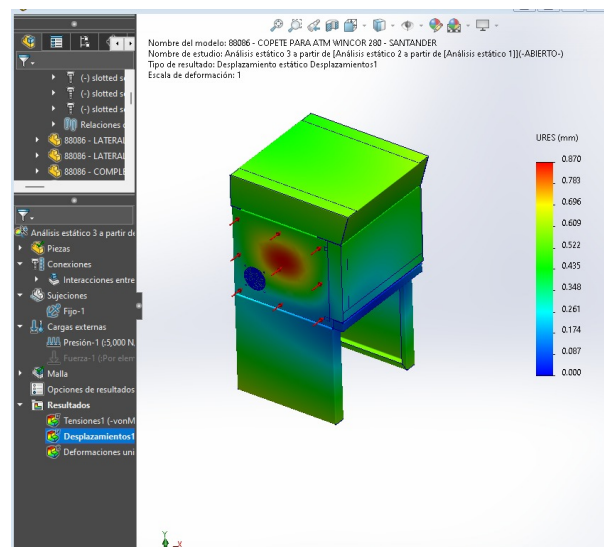


Figura 4.16: Simulación Análisis 2: Desplazamiento

La Figura 4.16 muestra el resultado del desplazamiento al ser efectuada una fuerza de 5000N, además muestra una reducción considerable en el desplazamiento a diferencia de la simulación en el análisis 1. Se observa como todo el copete a excepción del área afectada se muestra en verde, lo que permite concluir que el diseño y forma del copete absorbe todo el impacto, lo suficiente para resistir considerables golpes con la misma intensidad.

### ■ Análisis Matemático en Desplazamiento

Se considera la ecuación 4.9 para el desplazamiento máximo de la simulación:

$$\delta_{max} = \frac{0,02 \cdot 5000 \cdot 472^2 \cdot 562^2}{210 \times 10^9 \cdot 3,42^3} = 0,83 mm \quad (4.12)$$

Lo cual sustenta que el resultado de la simulación es similar a la deformación máxima calculada, lo cual concluye que un aumento de 1.5mm al grosor del material causa un cambio considerable, ya que la misma fuerza desplaza muy por debajo de los 12 mm en cuestión al análisis anterior.

### 4.5.3. Simulación Análisis 3

La Figura 4.17 supone la fuerza  $F$  que se debe aplicar entre el cuerpo central y las tapas inferiores del copete, para producir un momento ( $\tau = N \cdot m$ ) que sea capaz de levantar los 103 kg de peso del copete de seguridad en cualquier borde del copete, ya sea por los laterales, al frente o por la parte posterior.

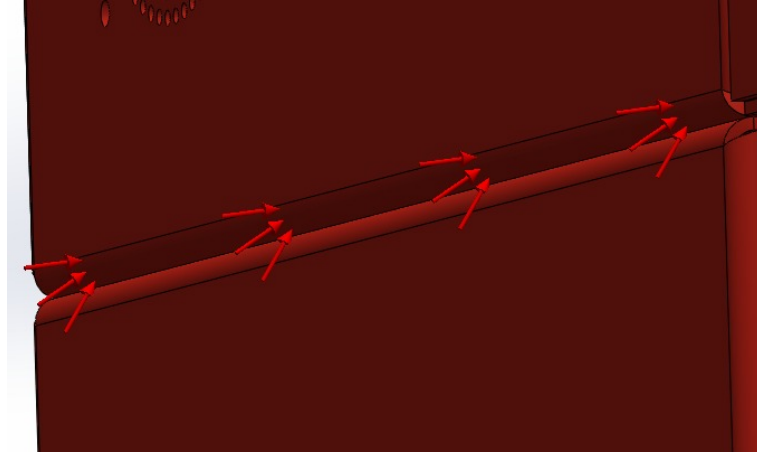


Figura 4.17: Simulación Análisis 3: Fuerzas Actuantes representativas

Partiendo del siguiente diagrama Figura 4.18 se puede observar que la palanca de 91 cm actúa sobre el borde representativo del copete, con un peso de 103 kg, se efectúa una fuerza en sentido Z negativo, generando un torque al sentido contrario a las agujas del reloj, positivo.

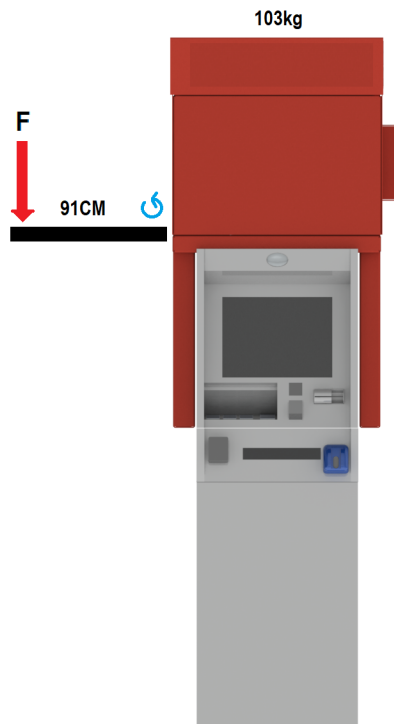


Figura 4.18: Simulación Análisis 3: Diagrama



### ■ Análisis Matemático de Torque

Por lo tanto, para calcular el momento de torque  $\tau$  necesario para levantar el copete de seguridad, se utiliza la siguiente fórmula. Ya que la fuerza es perpendicular a la palanca se considera:

$$\tau = F \cdot d \quad (4.13)$$

Donde,

F es la fuerza aplicada en Newtons , que se obtiene de  $F = mg$ .

m=103 Kg del copete.

$g=9.81 \text{ m/s}^2$ .

d= 91cm=0.91m es la distancia perpendicular al eje de rotación.

Sustituyendo de  $F = mg$  se obtiene:

$$F = 103Kg \cdot 9,81m/s^2 = 1010,43N \quad (4.14)$$

Sustituyendo el resultado en 4.13 se obtiene:

$$\tau = 1010,43N \cdot 0,91m = 919,5N \cdot m \quad (4.15)$$

El momento de torque necesario para levantar el copete de 103 kg es de  $919,5N \cdot m$ .

Considerando el torque resultante para producir el movimiento del copete son necesarios 1000N de Fuerza aproximados que una persona física necesitaría dar para mover el copete, para alcanzar el torque necesario se requeriría un equipo especial neumático o hidráulico, ya que  $919,5N \cdot m$  es equivalente a girar los pernos de vehículos de maquinaria pesada.

## 4.6. Pruebas de Impacto Físicas

La Figura 4.19 muestra las pruebas de impacto físicas durante el proceso de fabricación, las flechas distintas a las verdes (puntos fijos) se muestran como zonas o puntos de impacto.



Figura 4.19: Pruebas de Impacto

## 4.7. Simulación electrónica

La simulación electrónica nos ayuda y orienta a conocer anticipadamente como se conecta el circuito con los componentes mencionados anteriormente, muestra los aciertos, mejoras y funcionamiento de una manera simulada o especulativa al conectarlo de manera física. De acuerdo a los componentes inscritos en el capítulo se muestra la forma de conectar los componentes con su respectivo funcionamiento, observar el diagrama general en la Figura 4.20

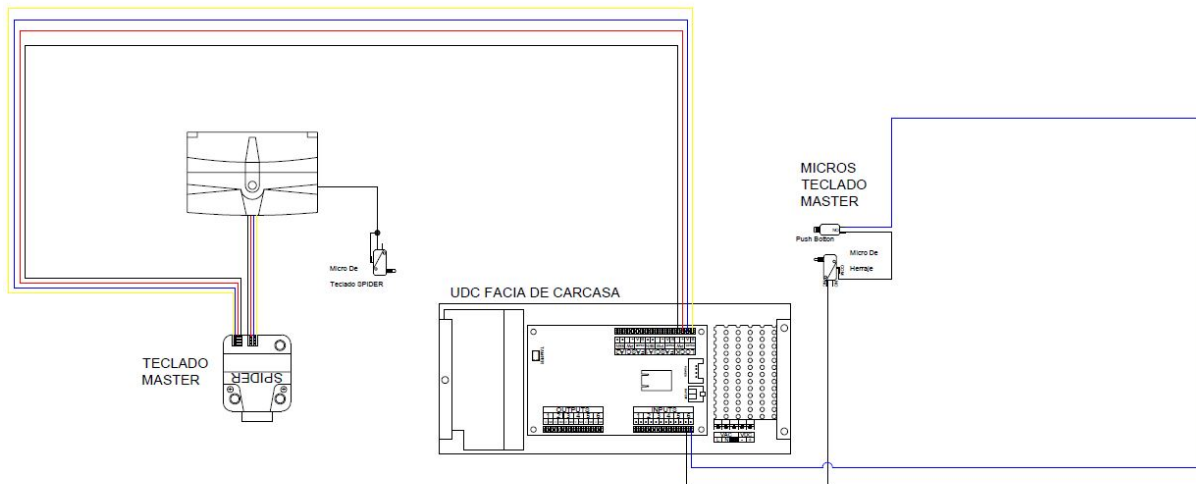


Figura 4.20: Diagrama de Conexiones

El teclado Spider previamente programado por medio de su canal IrDA funciona como interfaz con el usuario, el Display LCD del teclado permite interactuar con el usuario ingresando su clave registrada y accediendo a los permisos otorgados. El diagrama de conexión del teclado es directo a la cerradura Spider que con su microcontrolador programado se comunica con la UDC FACIA otorgando la señal de apertura o bloqueo. En sistemas de seguridad todo componente crítico debe tener su propia señal de alarma, por tanto el teclado se conecta con un push botón (Figura 4.21) que en caso de ser retirado el teclado sin los permisos necesarios manda la señal de alarma y bloqueo del cajero.

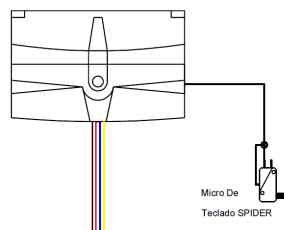


Figura 4.21: Conexión Teclado Spider

La cerradura Spider contiene una entrada de datos y una salida de datos (Figura 4.22), son conectados con su respectiva gama de colores; negro para tierra, rojo para corriente de alimentación, azul para entrada de datos y amarillo como módulo de comunicación. En la cerradura rojo y negro son conexiones básicas de tierra y alimentación,

mientras que la entrada o recepción de datos proviene directamente del Teclado Spider conectado directamente a la cerradura con el cable de datos (azul) la información viaja directamente junto con el módulo de comunicación a la UDC facia validando “LOCK”, apertura.

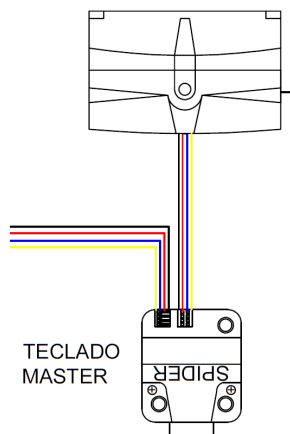


Figura 4.22: Conexión Cerradura Spider

La UDC Facia trabaja con paneles de alarma videograbadoras, autómatas, mediante conexiones TCP /IP. La UDC recibe los datos por medio del submódulo “LOCK” Y filtra la información por medio de su microcontrolador integrado para dar una lectura rápida y regresar la señal de cambio de estado (apertura de la cerradura Spider). La cerradura y el teclado se conectan con dos micros; un push botón de cambio de estados conectados al herraje y el segundo push botón trabaja como alarma de la udc facia. Observar Figura 4.23

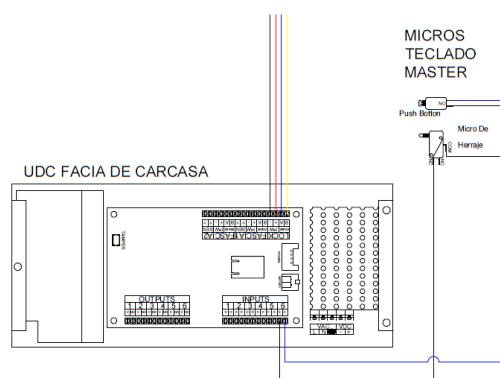


Figura 4.23: Conexión UDC

Finalmente se conecta el diagrama previamente mostrado al copete en el lugar que a cada componente le corresponde (Figura 4.24), el diagrama contempla los componentes y funciones más relevantes al copete. Observar el teclado fuera del copete y los componentes al lateral derecho junto al herraje como previamente se diseñó.



Figura 4.24: Conexión Física

## 4.8. Simulaciones de Control

En la siguiente sección se continúa con el análisis iniciado en el diseño de control presentado en el capítulo anterior, en el cual se obtuvo la función de transferencia descrita en la ecuación 3.32, basada en las propiedades físicas detalladas en la Tabla 3.53. Se explorará la simulación de un sistema de control de temperatura, empleando la metodología de Ziegler-Nichols para el ajuste de los parámetros del controlador. La simulación se llevará a cabo utilizando MATLAB y Arduino para la implementación física, estas herramientas que permiten implementar y verificar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones. Este enfoque no solo facilita la validación teórica del modelo, sino que también proporciona una base sólida para su posterior implementación en un entorno físico explorada durante el capítulo 5.

### 4.8.1. Simulación Matlab - Ziegler Nichols

MATLAB es un entorno de programación y un lenguaje de programación de alto nivel desarrollado por MathWorks. Es ampliamente utilizado en ingeniería, ciencia y economía para tareas como:

- Análisis de Datos
- Modelado y Simulación
- Algoritmos y Cálculos Numéricos
- Desarrollo de Aplicaciones
- Gráficas y Visualización

Utilizando Matlab se diseña una simulación para un control de temperatura dentro del copete de seguridad para obtener una temperatura controlada y constante dentro del cuerpo y mantener todo el sistema electrónico, del cajero como del copete en buen funcionamiento.

Primeramente, se inicializan las variables físicas del transistor BJT al lenguaje de programación como se observa en la Figura 4.25. Las variables asignadas formaran parte de las iteraciones que se realizan para poder graficar el control de temperatura.

```
T0 = 25.5 + 273.15;    % K
Ta = 25.5 + 273.15;    % K
Qi=0;                  % Porcentaje
alpha = 0.014;         % W / % heater
Cp = 500;               % J/Kg K= 12 / 100^2 Area in m^2
A = 1.2e-3;             % Area (m^2)
m = 4e-3;              % Kg
U = 5.0;                % W/m^2 K
eps = 0.9;              % Emissivity
sigma = 5.67e-8;        % Stefan-Boltzman
```

Figura 4.25: Inicio de Variables

La sintonización del método Ziegler-Nichols viene dada por la función de transferencia, que llevado al lenguaje de programación es asignado como se muestra en la Figura 4.26, donde  $K_p$ ,  $T_i$  y  $t_d$  representan al controlador PID observados en la Tabla 3.4

```
% Control PID por Ziegler y Nichols
kp=(1.2*tau)/(k*theta);
ti=2*theta;
td=0.5*theta;
incontrolabilidad = theta / tau;
```

Figura 4.26: Inicio de variables:Controlador PID

En el contexto del control moderno, un modelo no lineal se refiere a un sistema en el que la relación entre las entradas y las salidas no sigue una proporcionalidad directa o lineal. Esto significa que el comportamiento del sistema no puede ser descrito completamente mediante ecuaciones lineales.

El método de Ziegler-Nichols es una técnica empírica utilizada para ajustar los parámetros de un controlador PID en sistemas lineales o casi lineales. Este método se basa en observar la respuesta del sistema a una perturbación y ajustar los parámetros del controlador en función de esa respuesta, para el caso práctico del control de temperatura el modelo no lineal descrito en la ecuación 3.18 obtenida se representa como se muestra en la Figura 4.27.

```
Modelo NO Lineal
t=((k-1):1:k)*Ts;
[tsim, Temp] = ode15s(@(tsim,x)energy_bal(tsim,x,u(k-1-d),...
    alpha,Ta,U), t, x0);
x0 = Temp(end,:);
y(k)=x0-273.15;
```

Figura 4.27: PID no lineal

La linealización alrededor de un punto de operación es una técnica común que linealiza el sistema no lineal alrededor de un punto de operación y posteriormente aplicar Ziegler-Nichols a este modelo linealizado. Esto funciona bien si el sistema opera en un rango limitado donde la linealización es válida. La ecuación no lineal 3.18 es linealizada a la ecuación 3.26 que es descrita como se muestra en la Figura 4.28. En el caso práctico de lenguaje computacional el sistema puede ser resuelto por Matlab tanto de la manera no lineal como de la manera línea.

```
% Modelo Lineal
t = 0:Ts:(k-1)*Ts;
y=lsim(G,u(:,1:k),t,'zoh')'+25.5;
```

Figura 4.28: PID Modelo lineal

### 4.8.2. Resultados de Simulación

El resultado de las ecuaciones anteriores combinada con Matlab da como resultado la simulación que se muestra en la Figura 4.29

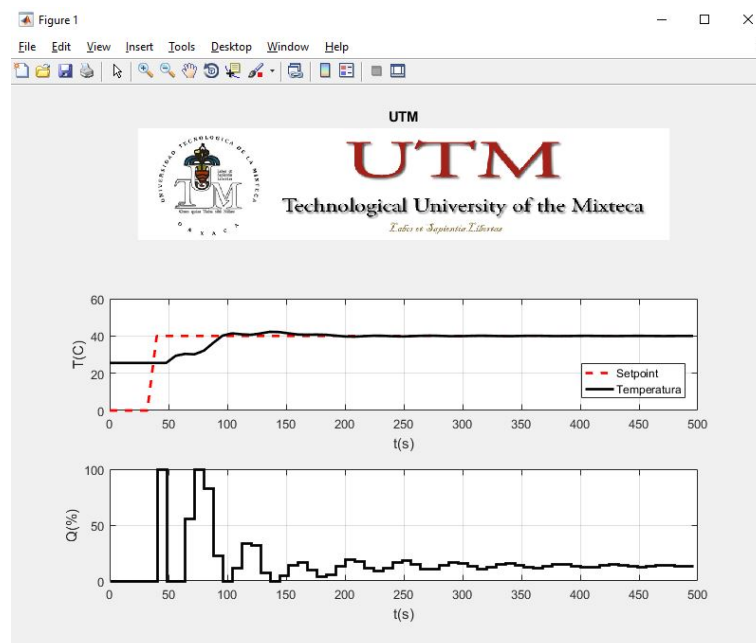


Figura 4.29: PID

El Inicio de Cambio de Setpoint (línea punteada roja) en la temperatura de referencia se establece en 40 °C a partir del segundo 40, lo que el tiempo de respuesta a la temperatura del sistema comienza a subir rápidamente después del cambio de setpoint. En el sobre impulso inicial la gráfica muestra un sobre impulso en la temperatura del sistema que supera ligeramente el setpoint antes de empezar a estabilizarse, después del sobre impulso inicial la temperatura se estabiliza cerca del setpoint. Las oscilaciones iniciales se van reduciendo con el tiempo para finalmente a partir del segundo 120 se establezca con pequeñas variaciones de estabilización alrededor del setpoint.

La señal de control  $Q\%$  muestra una serie de ajustes abruptos inicialmente, que indican una acción agresiva del controlador PID para llevar la temperatura al setpoint. La Acción de Control con el tiempo, se vuelve más suave y menos frecuente, lo que sugiere que el sistema está alcanzando un estado de equilibrio, por tanto la temperatura se empieza a estabilizar.

El controlador PID diseñado por el método de Ziegler-Nichols es efectivo para alcanzar el setpoint deseado, sin embargo, el sistema muestra un sobre impulso inicial y oscilaciones antes de estabilizarse. El sobre impulso es una característica común del método Ziegler-Nichols que tiende a sintonizar los controladores con una respuesta rápida, pero con un sobre impulso moderado. Esto es aceptable dentro de los requisitos que hay para controlar el sistema de temperatura.

Después del sobre impulso inicial, el sistema se estabiliza adecuadamente cerca del setpoint. Las pequeñas oscilaciones residuales indican que el sistema está cerca de un equilibrio pero podría beneficiarse de un ajuste fino para minimizar las variaciones.

Finalmente después del sobre impulso inicial, el sistema se estabiliza adecuadamente cerca del setpoint. Las pequeñas oscilaciones residuales indican que el sistema está cerca de un equilibrio.

### 4.8.3. Implementación Física Matlab Arduino

La implementación física Matlab Arduino es fundamental para validar el control de temperatura propuesto al copete. Primeramente, se integran las ecuaciones trabajadas en el capítulo 3 al lenguaje de arduino para poder hacer una prueba física y corroborar que el control simulado a través de Matlab tiene los mismos resultados que en magnitud física. En la figura 4.30 se declaran las variables globales que serán extraídas del entorno físico.

```
//Variables Globales
float Tl,aux;                //Temperatura del Heater 1 // ALMACENAMIENTO DE LA TEMPERATURA
float rl=0.0;                //Referencia del Heater 1 // ALMACENAMIENTO DEL LA REFERENCIA (SET PINOT)
volatile float u=0.0,u_1=0.0; //Acción de Control // LEY DE CONTROL EN LA ECUACION DE DIFERECNIAS
byte Ts = 8; //Periodo de muestreo
```

Figura 4.30: Declaracion de variables Globales

Posteriormente se declaran los parámetros del controlador PID del BJT y se sintoniza el controlador PID con los datos de la tabla 3.5 similar como se ejemplifico con el programa Matlab, en esta ocasión como se muestra en la Figura 4.31 en el entorno de arduino.

```
//Parámetros del PID
float kp,ti,td;
volatile float q0,q1,q2; //PARAMETROS DEL CONTROLADO
volatile float e=0.0,e_1=0.0,e_2=0.0; //ERROR DE LA PLANTA
float k=1.04,tau=160,theta=10+Ts/2; //Parámetros del Modelo del sistema // GANANCIA
```

Figura 4.31: Declaracion de variables del controlador



#### 4.8.4. Resultados físicos Ziegler Nichols

Para dar una resolución clara sobre la implementación entre el entorno físico y simulado, censamos primeramente el entorno físico para obtener una respuesta similar a la grafica mostrada en la Figura 4.29. Se mantienen los mismos parámetros en cuestión de set point y temperatura a controlar, 40°C, por tanto se obtiene una respuesta similar en el entorno físico censando atreves del Arduino, Figura 4.32

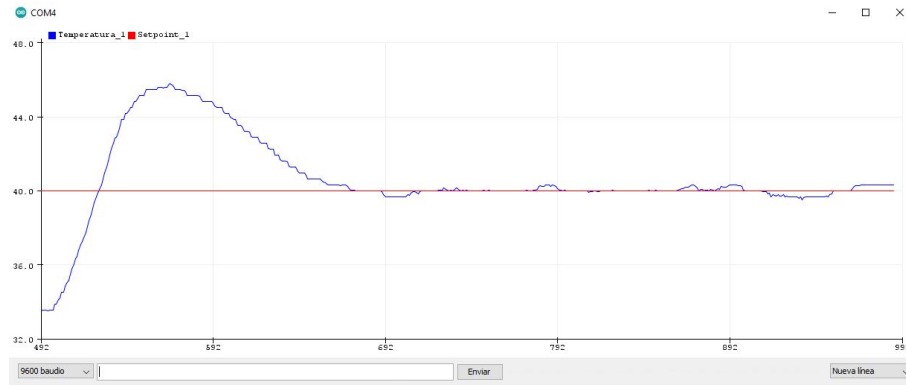


Figura 4.32: PID Ziegler Nichols Arduino

La gráfica muestra un sobre impulso por arriba de los 44°C, con tendencia a la estabilización en el setpoint, temperatura de 40°C.

La Figura 4.33 muestra la combinación entre Matlab y arduino para tener un panorama mas claro del correcto funcionamiento entre la simulación y lo implementado. Se hace una comunicación serial atravez del “Puerto: COM 6” para censar atravez de la planta de temperatura montada en el arduino para mandar la informacion censada por un canal de codificación para ser recibida por Matlab y decodificarla, Matlab recibe la informacion y por parte de su interfaz previamente programada comienza a censar y graficar el entorno físico para controlar la temperatura.



Figura 4.33: PID no lineal



La interfaz muestra un inicio de la temperatura a los 25°C que es la temperatura ambiente del lugar y se mantiene de este modo hasta censar una perturbación por parte del “Setpoint” que se observa a 40°C.

Al disparar el set point se observa el pico en la temperatura y en el control Q, similar a la simulación. Posteriormente el la planta del arduino empieza a controlar al mismo tiempo que Matlab empieza a graficar mostrando la estabilización en el rango de tiempo de 120 a 200 segundos, mismo caso en control Q, se observan los picos o amortiguamientos que entran en el parámetro de lo normal para poder estabilizar la temperatura, de esta manera se concluye que la simulación como la practica física se comportan de manera similar al entorno físico.

# Capítulo 5

## Desarrollo Y Fabricación

El presente capítulo aborda el desarrollo y fabricación del prototipo del copete de seguridad para cajeros ATM, el proyecto integra principios del diseño mecánico, electrónico, control y procesos de manufactura.

La fabricación del copete de seguridad representa un reto en términos de resistencia, dado que debe ofrecer protección frente a posibles actos vandálicos y condiciones variables. Por tanto, este sentido hace uso de materiales de alta resistencia y se aplican técnicas de fabricación propias del sector metalmecánico, como el corte, doblado y ensamblaje de piezas metálicas, garantizando un producto que cumple con las especificaciones de diseño y funcionalidad requeridas.

En las siguientes secciones, se detalla el proceso de desarrollo del prototipo, incluyendo la selección de materiales, la planificación de la manufactura, y las pruebas de validación, todo ello enmarcado dentro de las mejores prácticas de la industria de manufactura.

## 5.1. Esquema de Procesos Básicos de la Industria

La Figura 5.1 muestra el esquema de procesos básicos dentro de la industria que representa en términos generales el proceso al que se apeg el copete de seguridad.

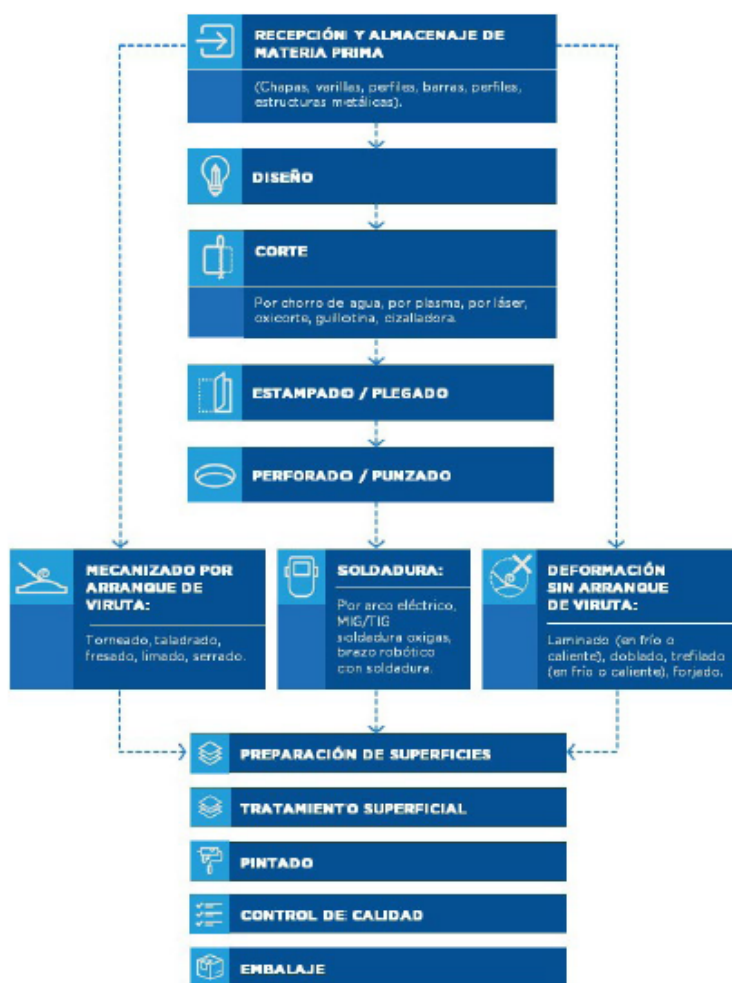


Figura 5.1: Procesos básicos metalmeccánica: Fuente: ADIMRA [26]

### 1. Recepción y almacenaje de materia prima

En esta etapa, se recibe y almacena la materia prima necesaria para la fabricación del copete de seguridad. Este material será sometido a diversos procesos para fabricación.

### 2. Diseño

La fase de diseño abarca tanto los aspectos mecánicos como electrónicos del copete de seguridad, asegurando que se cumplan los requerimientos establecidos y que cada tarea este cubierta por alguna sección en el diseño.

### 3. Corte

El proceso de corte marca el inicio de la manufactura. Mediante corte láser, se obtienen las piezas desplegadas que conformarán el copete de seguridad.

### 4. Plegado

Durante la etapa de plegado, las piezas se trabajan y modifican para contribuir a la resistencia estructural del copete de seguridad.

### 5. Soldadura

La soldadura es importante para la integración de las piezas. En esta etapa, se unen mediante la unión de los materiales, lo que aporta gran parte de la resistencia y fortaleza del copete. Una soldadura incorrecta puede comprometer la integridad y funcionalidad del producto.

### 6. Pintado

Antes de finalizar el proceso de manufactura, se realiza el pintado, donde se personalizan y detallan puntos específicos del copete, mejorando su estética y preparación para el público.

### 7. Control de Calidad

El control de calidad, que puede aplicarse a lo largo de todo el proceso, valida cada una de las etapas anteriores. Esto asegura que el producto cumple con las condiciones previamente definidas, garantizando su credibilidad y funcionalidad.

### 8. Embalaje

El embalaje protege el producto terminado, confirmando que ha pasado por todos los procesos de manufactura correctamente y está listo para ser enviado e instalado.

### 9. Instalación

La instalación es la etapa final, donde el copete se coloca en su ubicación correspondiente, listo para entrar en operación.

## 5.2. Corte Laser

Posteriormente después de finalizar el diseño CAD y ser validado el siguiente paso es cargar las respectivas piezas al programa “Lantek” (Figura 5.2), el cual es un programa que funge como comunicación y codificador entre el diseño CAD y el lenguaje NC (Control numérico) que utiliza la cortadora laser. Lantek es definido como el software de nesting CAD/CAM, desarrollado para automatizar la programación CNC de las máquinas de lámina y placa metálica[27].



Figura 5.2: Lantek : <https://www.lantek.com/es>

El lenguaje de una cortadora laser es control numérico (NC), la programación NC que genera lantek permite a la cortadora laser leer y cortar las piezas diseñadas en Solidworks, “Dxf” es la extensión que reconoce y por la cual identifica cada una de las piezas diseñadas en chapa metálica, la Figura 5.3 muestra el proceso de reconocimiento y parametrización de las piezas del proyecto.

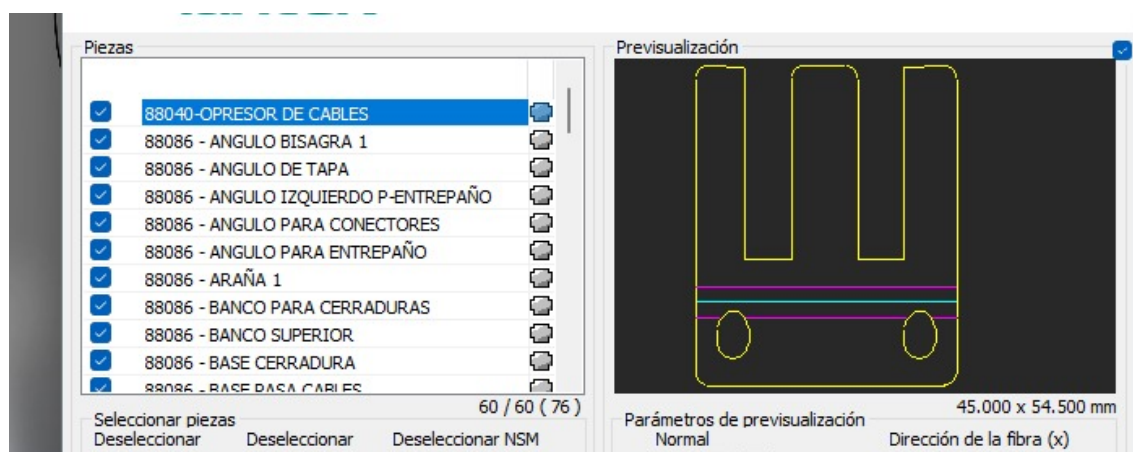


Figura 5.3: Piezas Cargadas en Lantek

Por la parte izquierda de la imagen se observan todas las piezas cargadas desde SolidWorks a Lantek con el estándar “desplegado” mientras que por la parte derecha se observa el desplegado de cada una de las piezas que conforma el copete, la línea amarilla muestra la figura en su totalidad, mientras que la línea azul esta relacionada con el dobléz que deberá tener la pieza en futuros procesos. Si durante el proceso se observa una imagen distinta a estos tres colores, es seguro que hay un error en el diseño de la pieza.

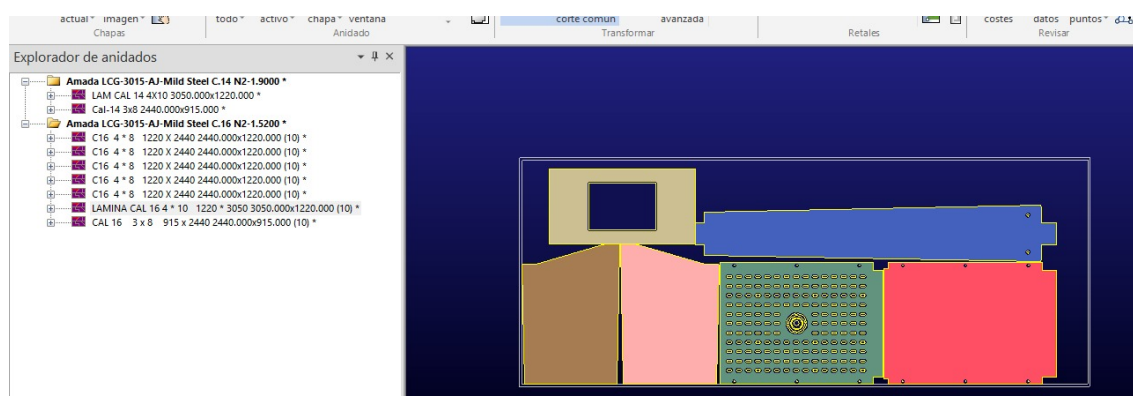


Figura 5.4: Piezas Optimizadas respecto a material

La Figura 5.4 muestra la interfaz de lantek con las piezas ajustadas al mayor aprovechamiento del material al momento de ser cortado, además la imagen muestra las piezas que serán cortadas en un espacio cerrado por el contorno de líneas blancas que representan una hoja de tamaño en 4ft x 10ft.

### 5.3. Doblez

Una vez completado el corte de las piezas, el siguiente paso implica parametrizar y preparar la máquina dobladora. Esto se realiza ajustando el dado “V” y el cuello de ganso de acuerdo con las especificaciones establecidas para cada pieza. En la Figura 5.5 se pueden observar los valores específicos de la pieza en cuestión, los cuales se introducen en la máquina antes de proceder con el doblado.



Figura 5.5: Parametrización

El proceso continúa doblando cada una de las piezas cortadas siguiendo las especificaciones detalladas en el plano de fabricación, tales como longitud, radios y ángulos, la Figura 5.6 muestra una sección de los planos de fabricación que sirven de guía al operador, esta sección muestra las vistas necesarias para obtener el resultado isométrico mostrado.

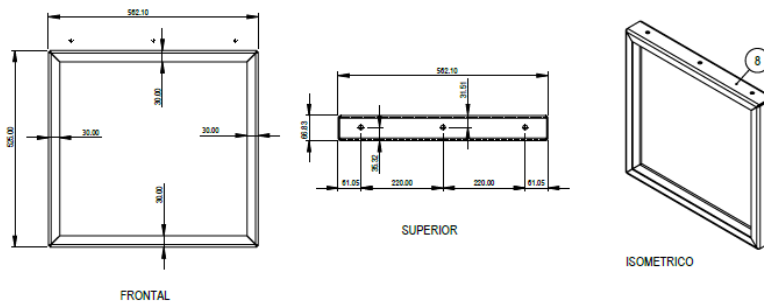


Figura 5.6: Planos de Fabricación Sección de Doble

La fórmula utilizada para validar las fichas y dobleces correctos es la siguiente:

$$Largo = Ld_1 + Ld_2 + ...Ld_n - (2 * Nd_n * Cal)$$

$$Ancho = Ld_1 + Ld_2 + ...Ld_n - (2 * Nd_n * Cal)$$

donde:  $Ld$  = longitud exterior de doblez,  $N$  = Número de dobleces,  $Cal$  = calibre.

Esta metodología garantiza que cada componente del proyecto se ajuste con precisión a las necesidades y requisitos específicos, asegurando así la calidad en la pieza final como se muestra en la Figura 5.7

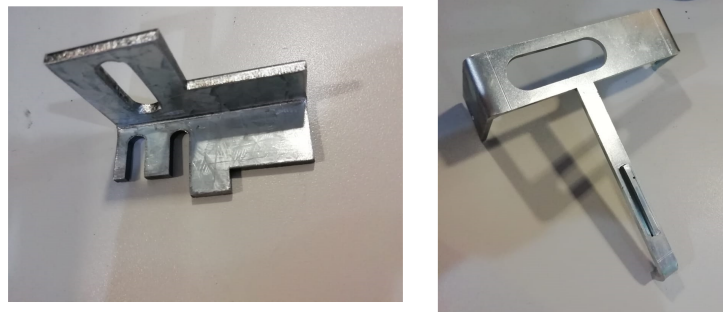


Figura 5.7: Piezas dobladas

Durante el periodo de doblez se comienza con una cuantificación del tiempo que se demoran el operador en introducir la información a la maquina dobladora, el tiempo en cambiar y ajustar la herramienta y finalmente el tiempo de doblez por pieza generando una sumatoria final que genera un tiempo especifico de producción, con la meta de que en futuros procesos ser optimizada a un tiempo mínimo.

## 5.4. Armado

El siguiente paso en el proceso de fabricación del copete de seguridad es el armado. En esta etapa, todas las piezas necesarias ya han sido cortadas, dobladas y validadas. Ahora, se procede a unir las piezas específicas mediante soldadura de microalambre para formar cada parte del copete.

Durante el proceso de soldadura, se hace especial hincapié en seguir los planos de fabricación para garantizar la precisión y la integridad del producto final como se muestra en la Figura 5.8. Se presta atención especial al control del calor durante la soldadura, para evitar deformaciones no deseadas en las piezas debido al exceso de temperatura.

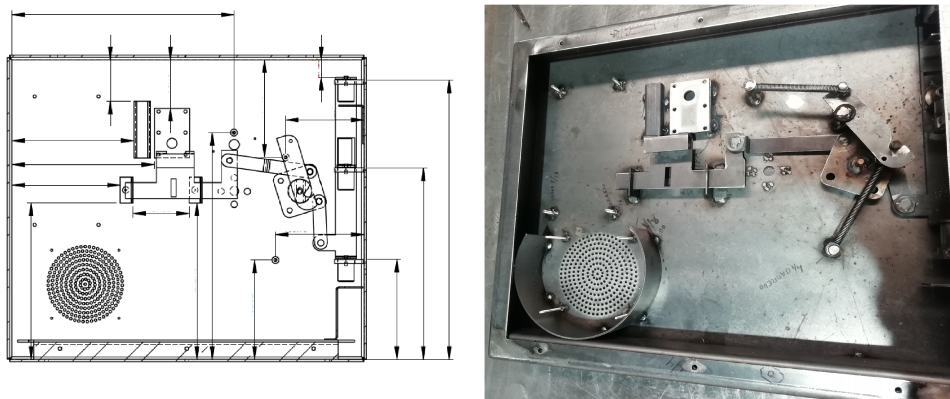


Figura 5.8: Herraje y Armado

Por esta razón solo se refuerza con puntos de soldadura de 0.5 ó .25 pulgadas entre la pieza y la superficie a soldar. El proceso armado involucra distancias entre piezas y vistas específicas como se muestra en la Figura 5.9 que permite ver las caras visibles del cuerpo junto con las indicaciones de puntos específicos a soldar para conformar el cuerpo.



Figura 5.9: Cuerpo y Armado



Retomando el capítulo 3 del proyecto, durante el armado se van satisfaciendo y diferentes requerimientos del copete de seguridad a nivel físico, la figura 5.10 muestra la puerta del copete que además de apegarse a lo mayor posible al plano correspondiente que se muestra termina por cumplir requerimientos como el 10 y a la par del 14 que están relacionados con el tiempo final de fabricación y obtener una retroalimentación para versiones mejoradas.

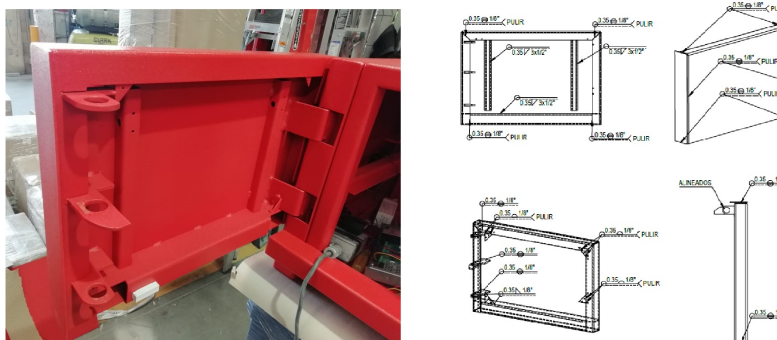


Figura 5.10: Puerta y Armado

La etapa de armado es una etapa cuantificable por lo que al llegar el material doblado del área de doblé, se comienza a contar el tiempo para obtener los cuellos de botella del producto y del método del ensamblaje, con la intención de obtener un análisis y reducir en lo posible el tiempo de fabricación, además, en esta etapa se hacen las anotaciones de mejora correspondiente que son directamente trabajadas en el proceso de diseño, para optimizar el diseño con el armado.

## 5.5. Montaje e Instalación

La etapa de montaje e instalación representa la fase final del proceso de desarrollo. En este punto, el copete de seguridad ha pasado por pruebas mecánicas y ha sido validado. Durante la etapa de montaje, se lleva a cabo la instalación de todos los componentes eléctricos y electrónicos necesarios, como se ilustra en la Figura 5.11, para su posterior prueba y validación.



Figura 5.11: Pintura

Es importante que la electrónica y el cableado queden ocultos una vez finalizado el montaje. Tanto la UDC Facia como la cerradura Spider, colocados en los laterales del copete de seguridad, deben permanecer fuera de la vista del público. Del mismo modo, se garantiza que los sensores y los botones queden ocultos de manera similar, siguiendo los estándares de discreción propios de la tecnología Spider.



La Figura 5.12 muestra el montaje parcial de los equipos electrónicos en el prototipo del copete de seguridad, la UDC Fascia que controla gran parte del sistema electrónico y de seguridad en el copete como en el cajero, la cerradura Spider que bloquea el herraje incrustando el pistillo en el tirante horizontal del herraje y finalmente el ventilador que mantiene a una temperatura óptima el sistema propuesto. Cabe destacar que en este proyecto solo se muestran 3 componentes que se mencionaron ya componentes extras no mencionados contribuyen a una posición y tarea que no es de relevancia al público en general.

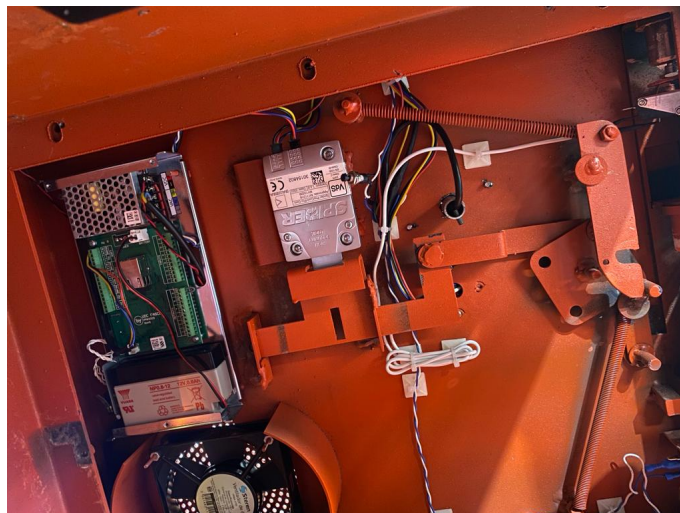


Figura 5.12: Montaje Parcial

Las conexiones del copete de seguridad permiten ser parametrizadas a las configuraciones requeridas o necesarias, se controla y almacenan las aperturas y alarmas todo por medio de la interfaz Spider Pro. Figura 5.13.

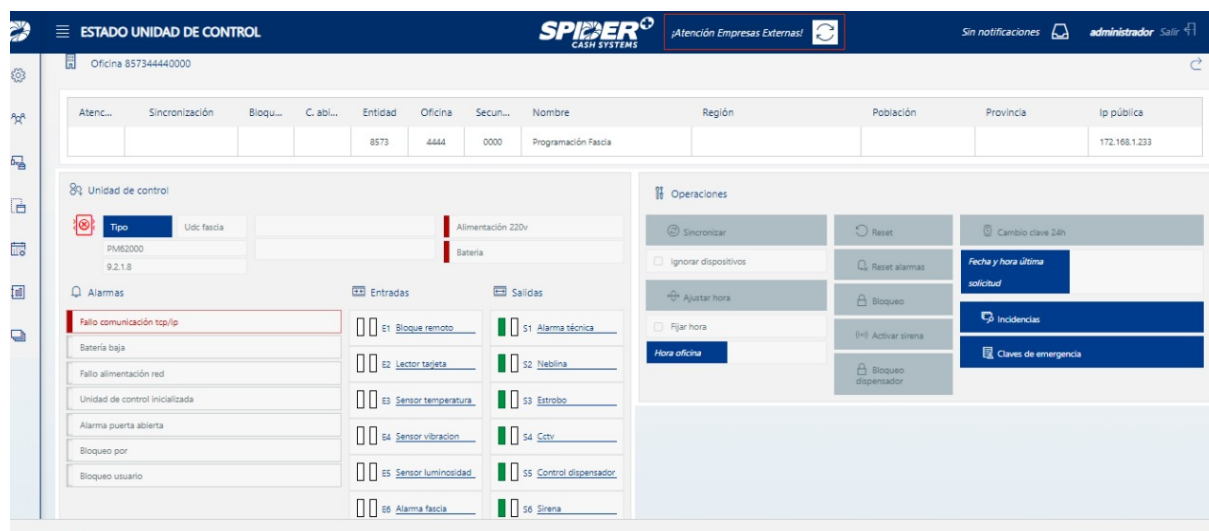


Figura 5.13: Interfaz Spider Pro

Los canales de comunicación, sucursales activas, y memorias se almacenan en el servidor mostrado .

Posteriormente, se realizan pruebas exhaustivas para verificar las alarmas, las aperturas y la funcionalidad tanto de la fascia como de la bóveda. Estas pruebas aseguran que el copete esté completamente funcional antes de ser dejado en servicio, como se observa en la Figura 5.14.



Figura 5.14: Instalación Copete de Seguridad

## Capítulo 6

# Conclusiones y Trabajos Futuros

El presente y último capítulo se centra en concluir el proyecto del copete de seguridad en cada una de sus anteriores actividades realizadas de acuerdo al problema planteado, además se describe brevemente las principales aportaciones que deja el proyecto en el campo de seguridad y los trabajos a futuro que pueden ser relevantes e importantes a continuar con una línea de mejoras en los futuros copetes de seguridad.

## 6.1. Conclusiones

En este trabajo de tesis se aborda el problema de seguridad en los cajeros automáticos, motivo por el cual se diseñó preliminarmente un copete de seguridad basado en los requerimientos y necesidades críticas del problema. Se estudió en detalle los posibles escenarios en los que el copete podría ser vulnerable y se trabajó en fortalecer estos puntos. El diseño propuesto es robusto y, a diferencia de otros copetes que solo sirven como distintivos o para resguardar componentes electrónicos y cables, el copete de seguridad desarrollado en este proyecto integra un espacio adecuado para proteger la tecnología de posibles ataques físicos y lógicos.

El proyecto se fundamenta en simulaciones de elementos finitos que muestran el comportamiento del copete ante situaciones de estrés, como tensión y desplazamiento. Estas simulaciones indican cómo el copete respondería ante un ataque vandálico, demostrando que puede resistir intentos de separación del cajero de manera efectiva. Además, el sistema mecánico del copete, descrito como “herraje” en este proyecto, está diseñado para enfrentar perturbaciones vandálicas en los laterales, transformándose en un mecanismo de seguridad que impide la apertura de la puerta, asegurando así que el copete funcione como una estructura protectora.

Adicionalmente, la electrónica del copete proporciona una capa de seguridad extra, reforzando el herraje, bloqueando su movimiento y enviando señales constantes a los sistemas de alarmas del lugar de instalación. La combinación de elementos mecánicos y electrónicos cumple con los requerimientos de seguridad establecidos en el proyecto.

La programación del teclado Spider permite controlar las aperturas del cajero, almacenando y programando aperturas según un calendario (día, mes, año). Cualquier apertura fuera de esta programación genera una señal de alarma en el lugar correspondiente. Por otro lado, el control de temperatura, aunque considerado un tema secundario en este contexto, mantiene estable la tecnología protegida dentro del copete mediante retroalimentación constante. En trabajos futuros, este sistema de temperatura podría contribuir aún más a la seguridad, detectando perturbaciones por calor, como intentos de ataque con sopletes, y activando las alarmas correspondientes.

Considerando lo anterior, se muestra que los requerimientos estipulados en el capítulo 1, vistos en la tabla 3.1 se seccionan de acuerdo a como se abordan y el capítulo en el cual se trabaja.

No.	REQUERIMIENTOS EN PRUEBAS DE IMPACTO Y SIMULACIONES
2	Que sea resistente ante golpes y ataques de herramientas metálicas.
16	Que sea resistente a golpes.
17	Que sea segura.
18	Tener una comparación física entre lo simulado y lo físico.

Tabla 6.1: Tabla de requerimientos: Sección Pruebas de impacto y simulaciones

En la Tabla 6.1 se presentan los requerimientos relacionados con las pruebas de impacto y simulaciones abordadas en el Capítulo 4. El requerimiento número 2 se evaluó mediante una prueba física que demuestra la resistencia del copete de seguridad

ante golpes y ataques con herramientas metálicas en las zonas vulnerables y de acceso, identificadas en la Tabla 1.2 “Casos posibles”. Además, los requerimientos 2 y 16 se sustentan con una simulación de elementos finitos, en la que se analizaron tres escenarios posibles de vandalismo a los que podría estar expuesto el copete.

Finalmente, el requerimiento número 17 se cumple al demostrar que el copete es seguro, ya que en ningún caso el material cedió ni sufrió fracturas graves. Sin embargo, las simulaciones evidencian la resistencia del material y los puntos que se debilitan con el avance de la fatiga. Por lo tanto, se concluye que el copete es seguro y que su resistencia puede mejorarse incorporando refuerzos interiores o exteriores, como ángulos en los bordes, para aumentar su capacidad estructural en las zonas de mayor estrés sin afectar significativamente su peso final.

No.	REQUERIMIENTOS EN DISEÑO
1	Que no sobrepase un peso de 150 kg.
3	Que no se muestre con orificios en los que pueda ser ingresada una USB.
4	Que el teclado Spider no sea visible y solo el usuario pueda tener acceso.
9	Que cuente con una cerradura Spider en el herraje.
10	Que ningún componente mecánico sea visible en el copete.
11	Que tenga un espacio útil superior a los 80L y menor a los 90L.
12	Que sean 2 calibres de AC antes de llegar al interior del copete (Blindaje de acero).

Tabla 6.2: Tabla de requerimientos: Sección Diseño

La Tabla 6.2 muestra los requerimientos de diseño abordados en el Capítulo 3. El requerimiento número 1 se cumplió al seleccionar acero al carbón calibre 10 como material, ya que ofrece la dureza suficiente para soportar pruebas de impacto y, debido a su densidad, el peso total del copete resultó en 103 kg. El requerimiento número 3 se abordó integrando todos los componentes electrónicos dentro del cuerpo, evitando la presencia de orificios que permitan la entrada de cables externos. Por su parte, el teclado Spider se resguardó mediante una puerta abatible con una chapa de combinación que, aunque expuesta en un costado del copete, solo permite el acceso a usuarios autorizados (requerimiento número 4).

Los requerimientos 9 y 10 se abordaron diseñando el herraje y los componentes mecánicos dentro de un espacio de  $7 \times 50$  cm en el interior del copete, sin interferir con los elementos electrónicos protegidos.

Finalmente, los requerimientos 11 y 12 se cumplieron a través de las dimensiones generales del diseño. El espacio útil interior, de  $0.450 \text{ m} \times 0.382 \text{ m} \times 0.493 \text{ m}$ , da como resultado un volumen de  $84.303 \text{ m}^3$ . Además, los dos calibres de acero al carbón se integraron antes de llegar al espacio útil, ubicándose dentro del área libre de  $7 \times 50$  cm, espacio en el que se alojan todos los componentes mecánicos.

No.	REQUERIMIENTOS EN ARMADO Y FABRICACIÓN
5	Que no muestre indicios de cómo y en qué puntos está fijado el cajero.
6	Que no se muestre ningún tornillo a la vista del usuario.
7	Que sea armable y facilite el traslado y la instalación.
8	Que no muestre cables de conexiones entre el cajero y el copete.
13	Tener la retroalimentación de instalación para mejoras y conclusiones.
14	Tener un tiempo definido de fabricación final.
15	Tener un costo final del prototipo.

Tabla 6.3: Tabla de requerimientos: Sección Armado y Fabricación

La Tabla 6.3 muestra los requerimientos abordados en el Capítulo 5. Los requerimientos 5, 6, 7 y 8 están estrechamente relacionados con el diseño del copete. Al haber sido seccionado, el proceso de armado evita la exposición de tornillos o cables que puedan ser vulnerados, garantizando así que el copete no pueda ser desmontado sin conocer la secuencia exacta de pasos a seguir.

El requerimiento 13 se centra en la retroalimentación del proceso de instalación para optimizar su ejecución, considerando nuevas variables identificadas en campo. Finalmente, el tiempo de fabricación, estimado en dos semanas, y el costo final del copete están sujetos a mejoras continuas con el objetivo de maximizar el rendimiento y reducir costos sin comprometer la seguridad y funcionalidad del diseño.

Concluyendo todo lo anterior, dado el creciente número de cajeros automáticos en México, la versatilidad de un producto como el copete de seguridad es necesario. Este proyecto demuestra cómo la integración de diferentes disciplinas, como el diseño mecánico, la electrónica, el control y la programación, puede crear un producto que protege tanto la información de los usuarios como los activos físicos de los cajeros. Con una evolución y reinención constantes, desde el diseño hasta los sistemas esenciales, es posible crear y mejorar continuamente el producto para consolidarlo como una solución cada vez más segura en el ámbito de los sistemas de seguridad.

## 6.2. Principales aportaciones

El presente proyecto de tesis ha contribuido significativamente a la evolución de los copetes de seguridad para cajeros automáticos (ATM), transformando el diseño convencional, que solo se enfoca en resguardar componentes electrónicos, en un prototipo de seguridad robusto y especializado. Este copete de seguridad no solo refuerza y protege el cajero, sino que también ofrece una solución similar a una carcasa o cinturón de seguridad, con un costo más accesible y un mantenimiento e instalación simplificados. Las principales aportaciones del proyecto son las siguientes:

1. **Evolución del Diseño:**

El proyecto ha demostrado que es posible desarrollar un copete de seguridad que no solo protege los componentes internos del ATM, sino que también actúa como una barrera física contra intentos de vandalismo. Este diseño mejora la seguridad del cajero de manera efectiva y económica.

2. **Avances en Simulación y Modelado:**

El uso de simulaciones de elementos finitos para evaluar el comportamiento del copete ante diferentes tipos de estrés ofrece una base sólida para el desarrollo de futuros productos de seguridad. Estas simulaciones pueden proporcionar datos valiosos para optimizar el diseño y prever posibles fallos.

3. **Evaluación de Control de Temperatura:**

La implementación del control de temperatura mediante el método de Ziegler-Nichols y su evaluación para adaptarlo a las condiciones extremas puede enriquecer la comprensión de cómo mantener la estabilidad en entornos de alta seguridad y prolongar la vida útil de los componentes electrónicos.

4. **Mejoras en el Proceso de Manufactura:**

El proyecto también ha incorporado una línea de producción eficiente que permite realizar análisis detallados de tiempos, materias primas y procesos de fabricación e instalación.

### 6.3. Trabajos Futuros

El copete de seguridad diseñado, fabricado e implementado en el cajero Wincor 280 puede servir como base para futuras mejoras en sistemas de seguridad, buscando desarrollar productos más versátiles y eficaces. Existen diversas áreas en las que se pueden realizar mejoras, como las siguientes:

**1. Mejoras en el diseño:**

- Rediseñar partes del copete para facilitar y acelerar el proceso de ensamblaje.
- Adaptar el diseño a los tamaños y medidas de los nuevos sistemas electrónicos.

**2. Optimización de tiempos de fabricación:**

- Identificar los cuellos de botella que incrementan el tiempo de producción del copete y reducirlos a través de mejoras en el diseño o en el sistema de ensamblaje.

**3. Avances en electrónica y programación:**

- Actualizar los componentes electrónicos y las programaciones a medida que surjan nuevas tecnologías.
- Integrar sistemas electrónicos con microcontroladores más complejos para reducir el espacio necesario.
- Robustecer la programación del control de temperatura y convertirla en una capa adicional de seguridad.



# Bibliografía

- [1] J. Gausemeier and S. Moehring, “VDI 2206-A new guideline for the design of mechatronic systems”, IFAC Proceedings Volumes, vol. 35, no. 2, pp. 785-790, 2002.
- [2] BTV MX Sistemas de Seguridad. (S,f.) <https://btvmexicana.com/>
- [3] E Amigón, “50 Años del cajero automático”. Edición 2017
- [4] Fujitsu Technology Solutions.“Seguridad en los cajeros automáticos” .Antecedentes y seguridad del sector pp.5 Edición 2017
- [5] DGTIC UNAM Seguridad de la información,(31 de Enero del 2018).“Ataques jackpot permiten retirar hasta 40 billetes cada 23 segundos de un ATM” . <https://www.seguridad.unam.mx/ataques-jackpot-permiten-retirar-hasta-40-billetes-cada-23-segundos-de-un-atm>
- [6] Global Aegurity Alert. (25 de Enero del 2018) “Potential Jackpotting us. Description of attack (From Mexico cases)”.
- [7] Saima Mexico. Proteccion para ATM mod. Nocash 350, 2007.
- [8] ATM Trader. “Marco interior resistente para boveda de cajero automático”. Recuperado el 25 de Febreo del 2024. <https://atmtrader.com/es/products/indoor-heavy-duty-atm-vault-surround>
- [9] ATM Trader. “Quiosco de cajero automático al aire libre”. Recuperado el 25 de Febrero del 2024. <https://atmtrader.com/es/products/outdoor-atm-kiosk-with-lighted-topper>
- [10] INEGI.“Encuesta nacional de seguridad publica urbana”. Comunicado de prensa numero 597/23. pp. 1, 19 de Octubre 2023
- [11] Secretaria de Hacienda y Crédito Publico. “Tipología Fraudes-Cajeros Automáticos.Introducción” pp. 1, 2021.
- [12] Y. Valles. “Cajeros automáticos en México: Análisis para el crecimiento de la Red”. Estudios económicos CNBV. Volumen 3, pp. 111-113 ,2015.
- [13] Tiger Spare Parts CO.,LTD. Wincor 280.
- [14] F Arias Pastor. Escuela Politécnica Nacional. “Construcción de un equipo para instruir en el uso de cajeros automáticos”, pp. 2, Abril 2002
- [15] Oswaldo Calle Alvarez. Universidad de Cuenca. “La seguridad del sistema financiero en la ciudad de cuenca, en el periodo comprendido de enero a diciembre del 2015”, Mayo 2017.

- 
- [16] Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Recuperado 26 de Febrero del 2024. <https://www.mapa.gob.es/es/default.aspx>
- [17] , R. Diaz Céspedes. “Análisis de los elementos de seguridad utilizados por una institución bancaria para prevenir fraudes electrónicos en transacciones de igual naturaleza, en relación con la auditoría forense”. 2015,
- [18] A. Sanchez “PFC: Análisis del efecto de la tensión fuera del plano en la conformabilidad de chapa metálica”. Edición 2018 pp. 31-32,
- [19] E. Frias. “Metodo de los elementos finitos (MEF ó FEM)”. Aportaciones al estudio de las maquinas electricas de flujo axial mediante la aplicación de método de elementos finitos, pp. 111, 2004.
- [20] J. David Malaver, C. Camilo Velez. “Diseño de una maquina cizalladora y dobladora de laminas metálicas para practicas de laboratorio”. Febrero del 2019.
- [21] C. Enrique, I. Camilo Samaca. “Diseño y construccion de una cortadora laser para trabajo en 2D”. 2021
- [22] K. Ogata, “Ingeniería de control moderna”. Pearson Educación, 2003.
- [23] K. Hurst, “Engineering Design Principles”. 1° ed., 1999.
- [24] E.Yacuzzi,F. Martín, “QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS”. Universidad del CEMA, 2003
- [25] Spider Com. Descripción y principales funcionalidades. GRUPO BAUSSA
- [26] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación “Guía para una producción sustentable : sector metalmecánico. ”1° ed . Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2019
- [27] Sitio Web oficial Recuperado el 18 de agosto del 2024. <https://www.lantek.com/es>
- [28] Mikell P. “Groover Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, procesos y sistemas”, 3er Edicion , 2007
- [29] Recuperado el 30 Enero del 2025. <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>
- [30] ”Detección de la posición y tamaño de una grieta mediante impacto-eco y MCSD”, R.Medina, P. García, F. Barrio, B. Biosca, J. Díaz, L. Arévalo, Julio 2022
- [31] ”Medición del tiempo de contacto cuando colisionan dos particulas”, G.G Aguirre, R. G. Pereyra 1997
- [32] ”Theory of plates and shells”, S.Timoshenko, Second Edition, 1989

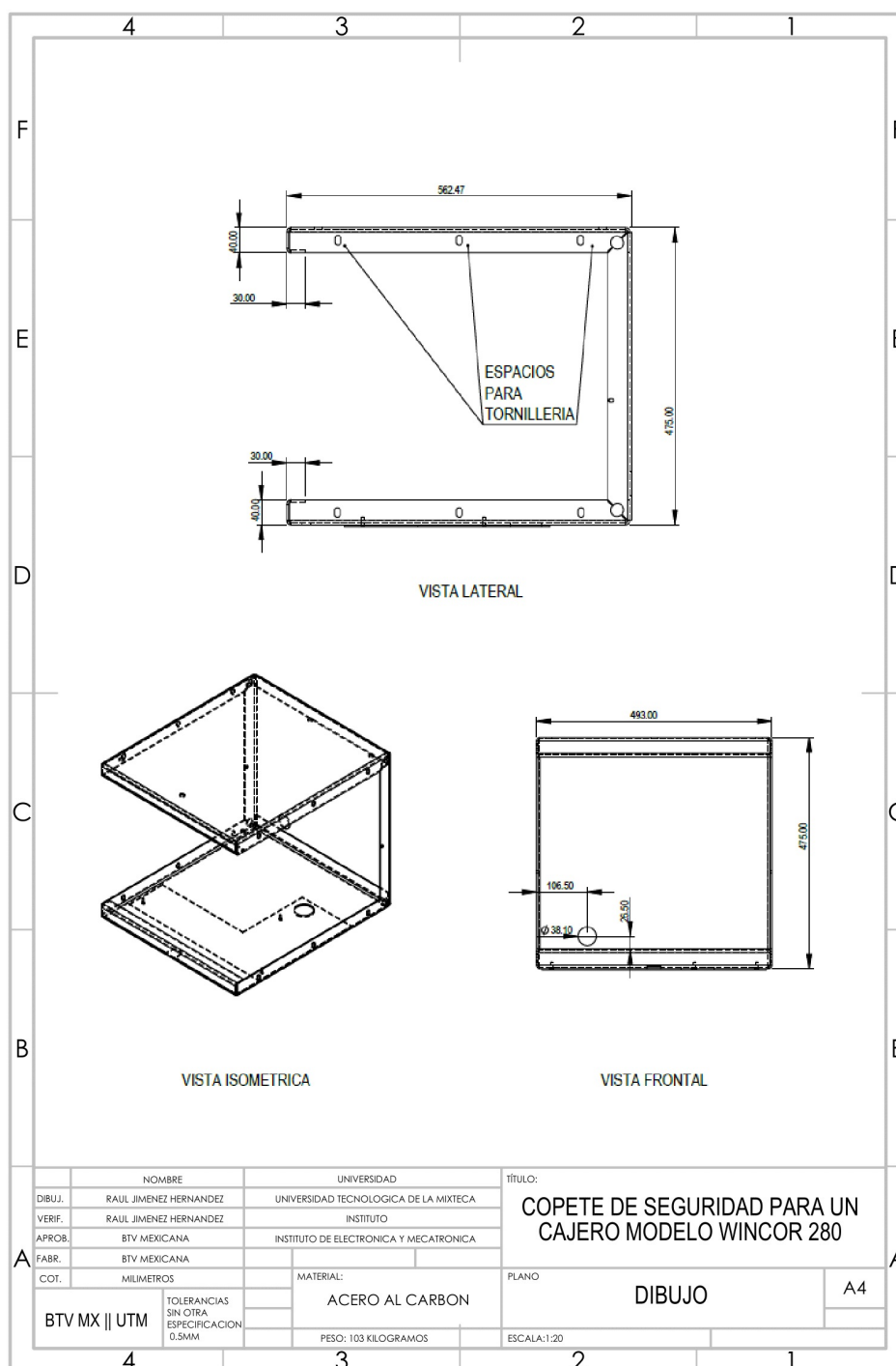
# Anexos A

## Dibujos técnicos

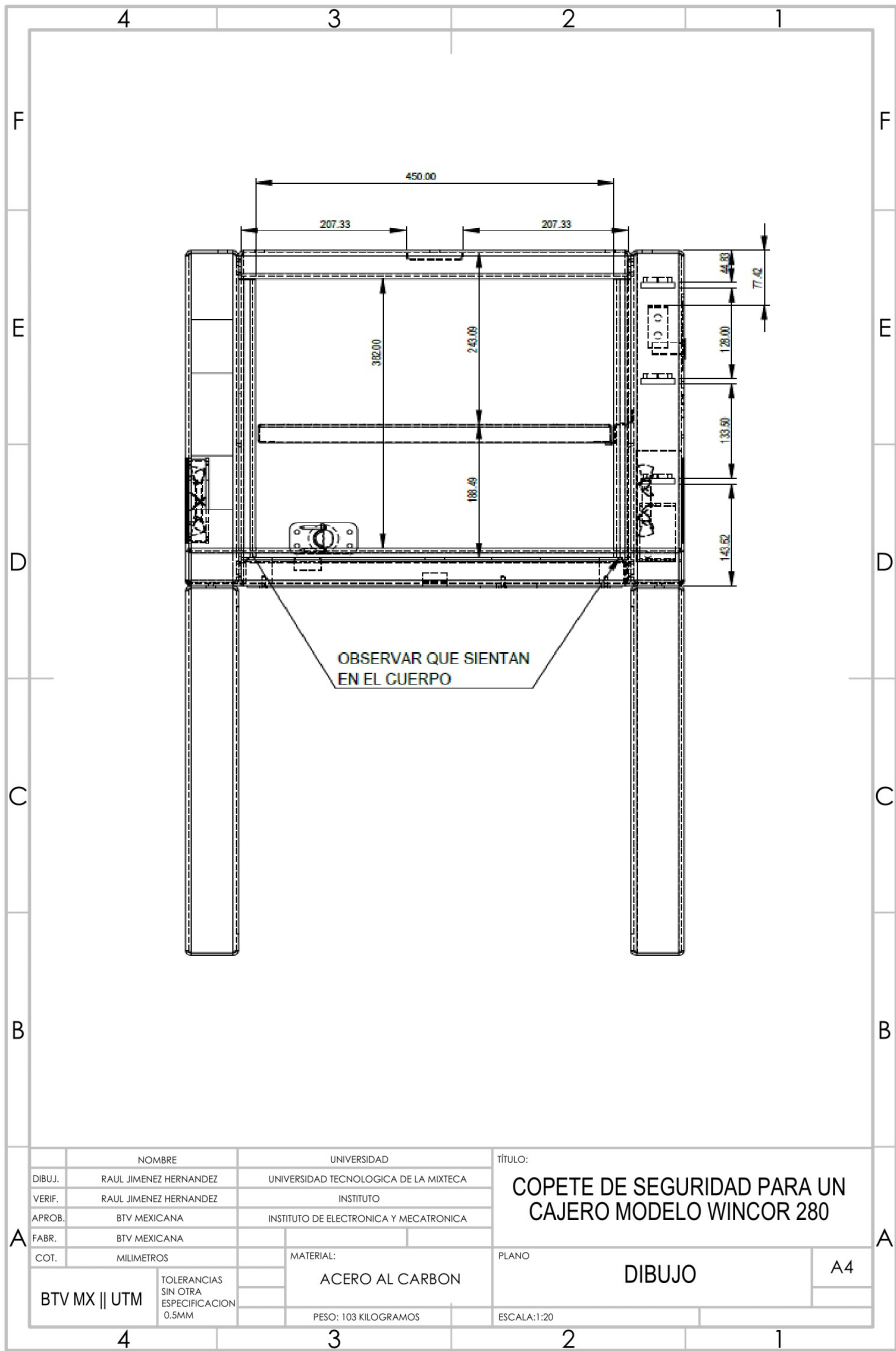
En este anexo se presentan los planos de fabricación del copete de seguridad, que muestran parcialmente en términos generales las dimensiones, la estructura y los puntos claves que sirven como unión en el prototipo.

## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES DE ENSAMBLE

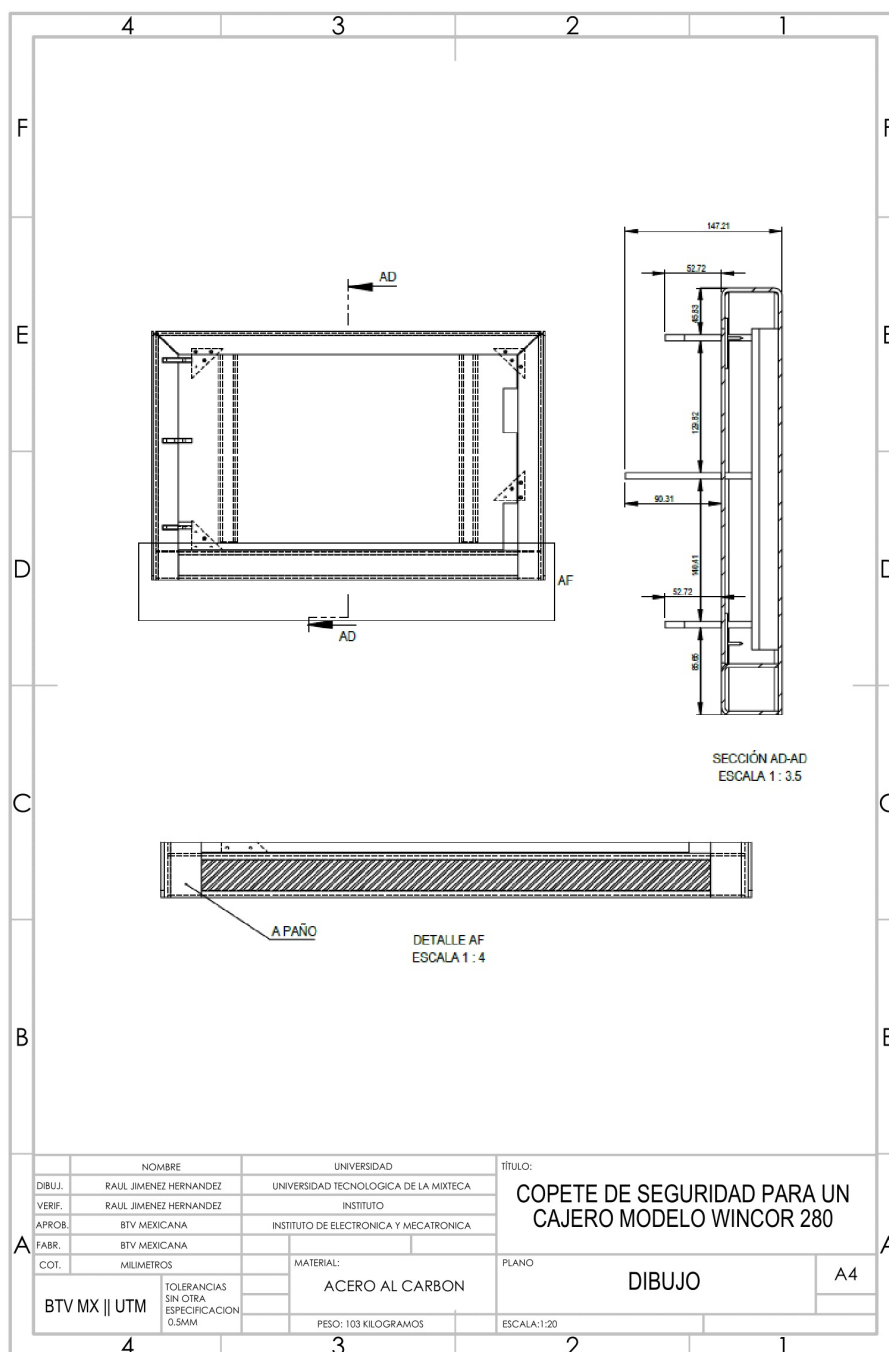


Anexo A. Dibujos técnicos  
ESPECIFICACIONES DE ENSAMBLE



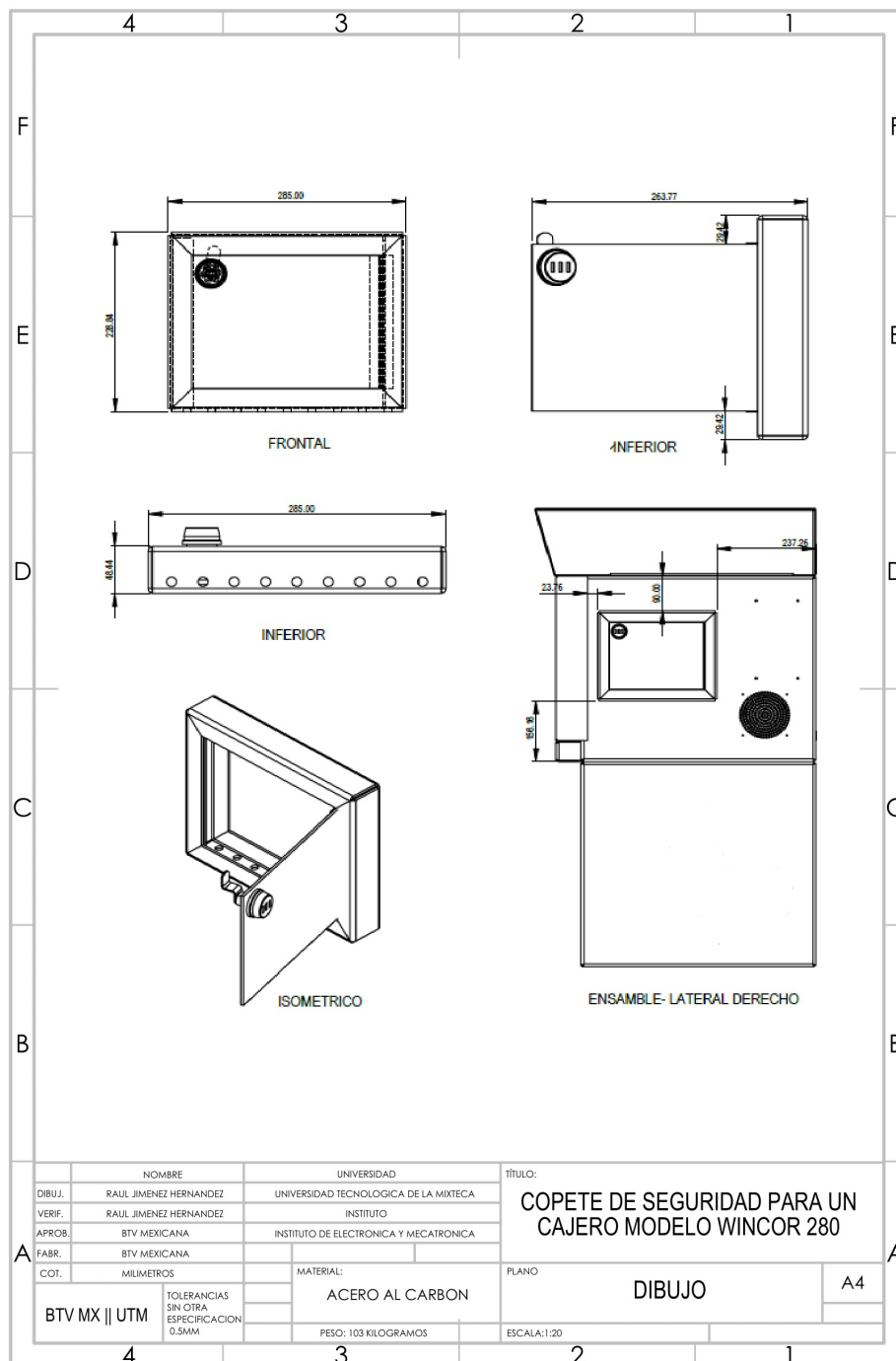
## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES DE ENSAMBLE



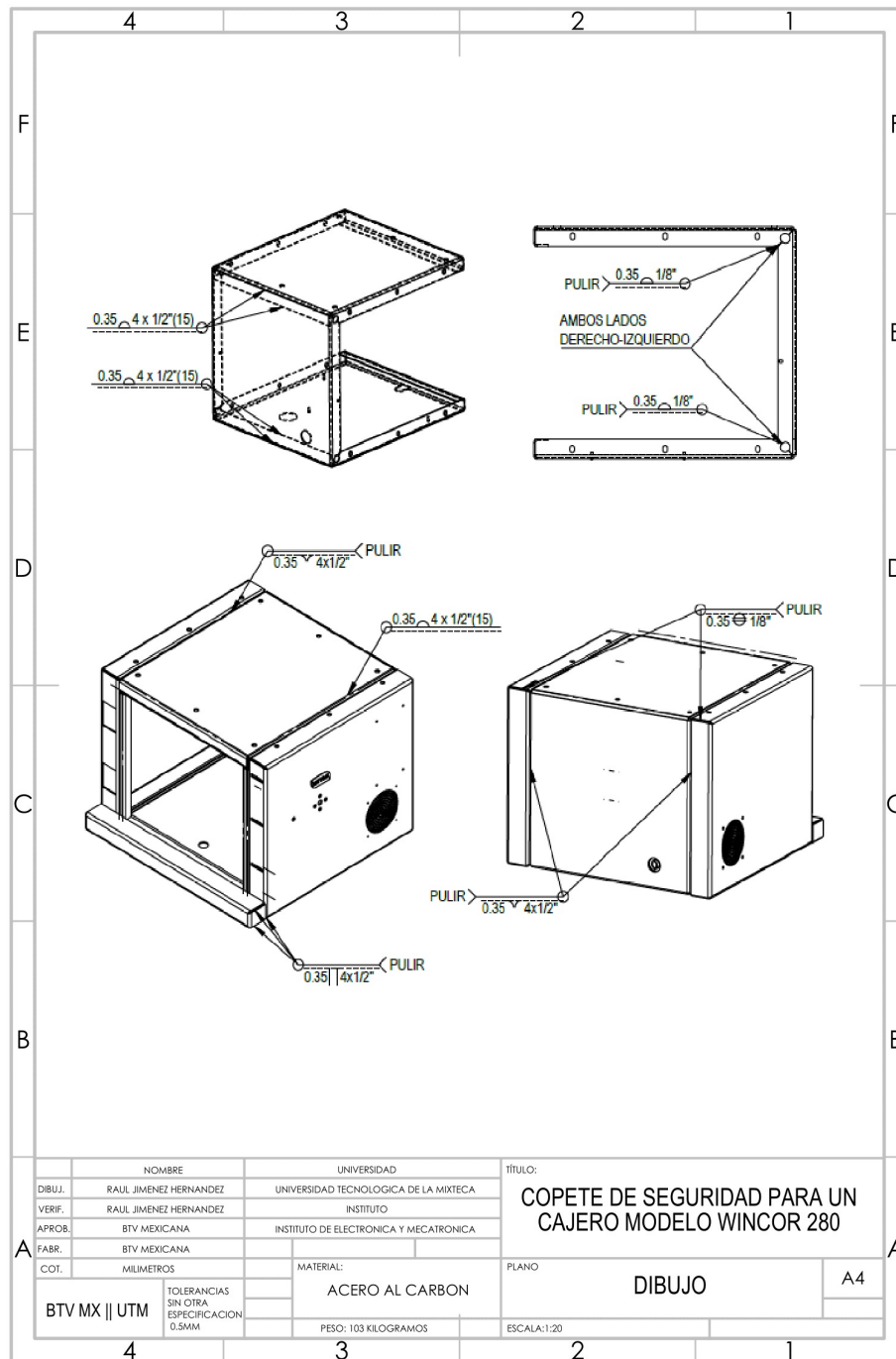
## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES DE ENSAMBLE



## Anexo A. Dibujos técnicos

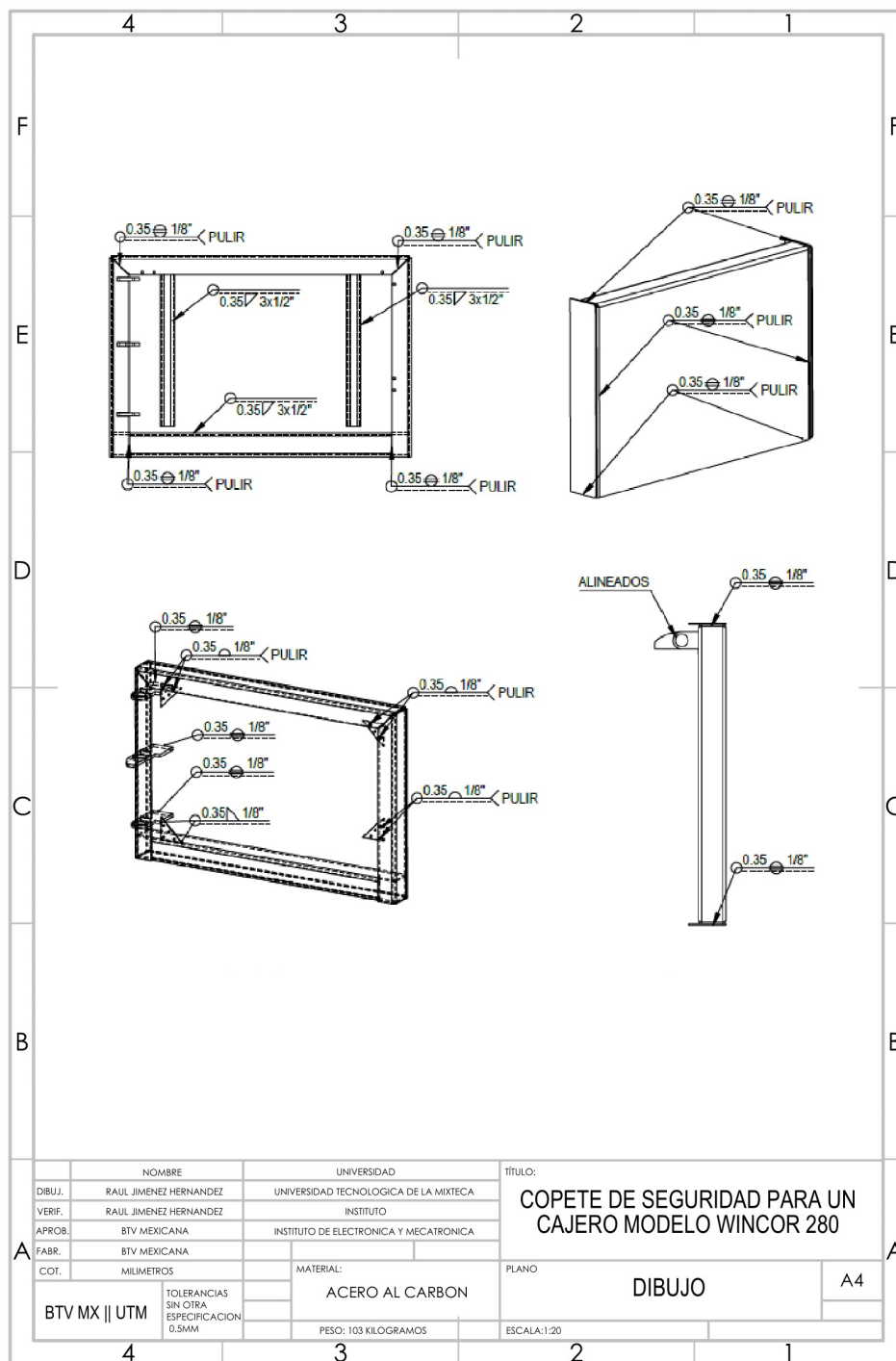
### ESPECIFICACIONES EN SOLDADURA





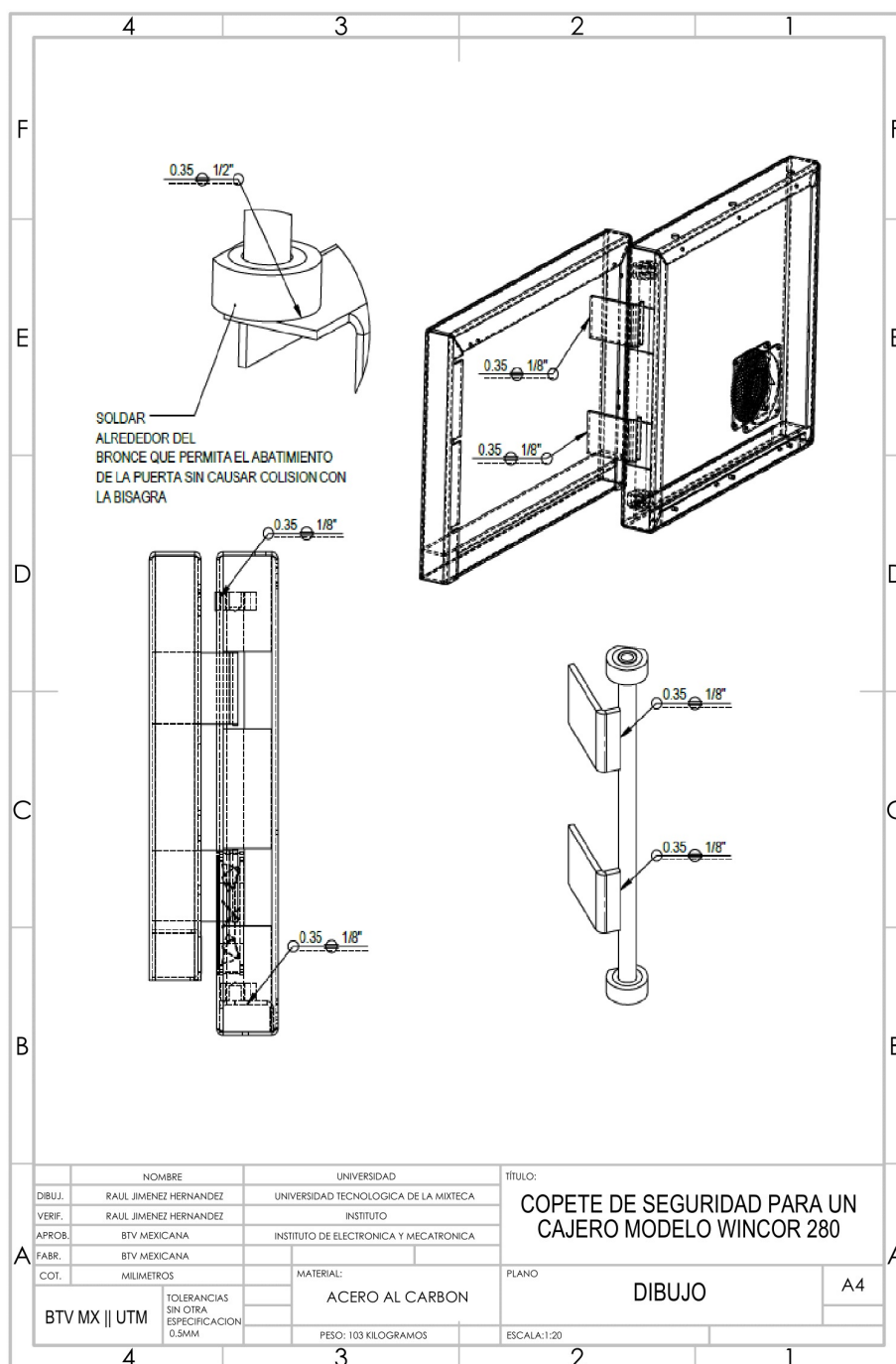
## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES EN SOLDADURA



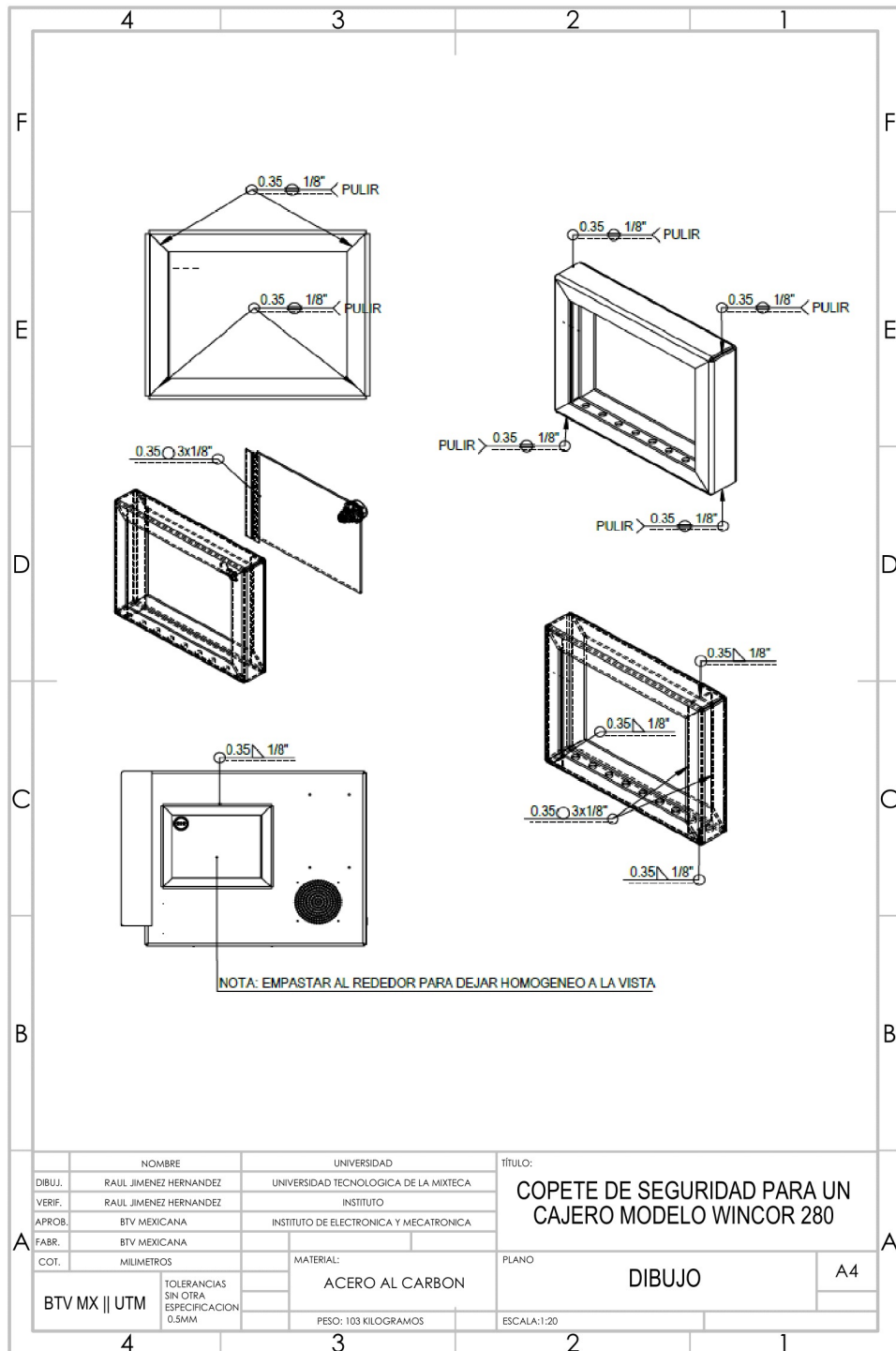
## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES EN SOLDADURA



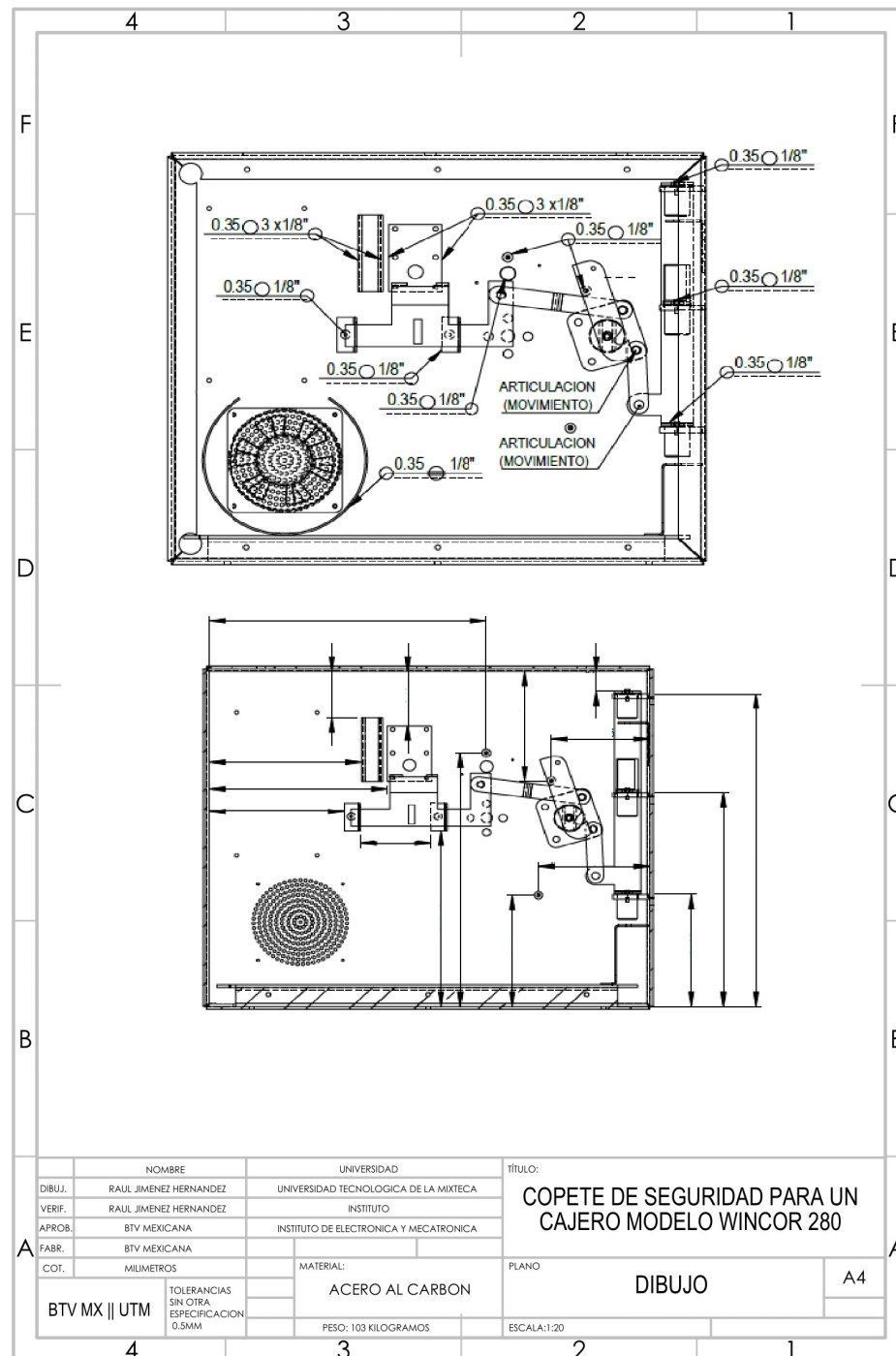
## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES EN SOLDADURA



## Anexo A. Dibujos técnicos

### ESPECIFICACIONES EN SOLDADURA



# Anexos B

## Scripts

En el siguiente anexo se muestran los Scripts utilizados para desarrollar las pruebas y simulaciones del control de temperatura al copete de seguridad. Se muestran los códigos de arduino, Matlab y la interfaz de comunicación entre cada uno de ellos.

## Anexo B. Scripts Control PID Arduino

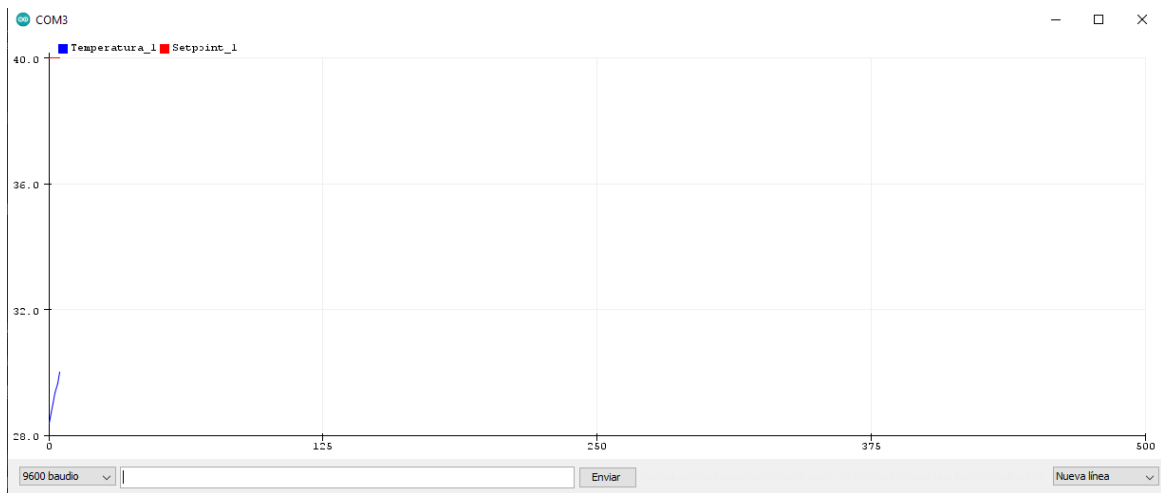


Figura 1: Interfaz Arduino Control PID

```

/*****
*****
***** CONTROL PID DE TEMPERATURA *****
*****/

#include <TimerOne.h>

// Definiciones componentes de la tarjeta
#define sensor1 A0 //TMP36
#define sensor2 A2 //TMP36
#define heater1 3 //TIP31C
#define heater2 5 //TIP31C
#define hot 9 //Led

//Variables Globales
float T1,aux; //Temperatura del Heater 1 //ALMACENAMIENTO DE LA
TEMPERATURA
float r1=0.0; //Referencia del Heater 1 //ALMACENAMIENTO DEL LA
REFERENCIA (SET POINT)
volatile float u=0.0,u_1=0.0; //Acción de Control //LEY DE CONTROL EN LA
ECUACION DE DIFERECNIAS

byte Ts = 8; //Periodo de muestreo //Parámetros del PID
float kp,ti,td;
volatile float q0,q1,q2; //PARAMETROS DEL CONTROLADO
volatile float e=0.0,e_1=0.0,e_2=0.0; //ERROR DE LA PLANTA

float k=1.04,tau=160,theta=10+Ts/2; //Parámetros del Modelo del sistema
//GANANCIA
float Tlc,eps,Wn,P1,P2,tau_d; //Parámetros del diseño por asignación de
polos //ASIGNACION Y CANCELACION DE POLOS

String dato; //CAPTURAR DATO

bool Matlab = true; // 0: Usa el Serial Plotter; (INTERFAZ ARDUINO)
1: Usa la interfaz de Matlab (INTERFAZ MATLAB)

/* Tipo de Control:
 * 1: Control por Ziegler y Nichols
 */
byte type = 1; //USO DE UNO DE LOS 3 TIPOS DE CONTROL A
UTILIZAR

```

```

/*=====*/
/*===== FUNCION DEL CONTROL PID =====*/
/*=====*/

void PID(void)
{
    e=(r1-T1);
    // Controle PID
    u = u_1 + q0*e + q1*e_1 + q2*e_2; //Ley del controlador PID discreto

    if (u >= 100.0) //Saturo la acción de control 'uT' en un tope máximo y mínimo
        u = 100.0;

    if (u <= 0.0 || r1==0)
        u = 0.0;

    //Retorno a los valores reales
    e_2=e_1;
    e_1=e;
    u_1=u;

    //La accion calculada la transformo en PWM
    analogWrite(heater1,map(u, 0,100, 0,255));
}

//Función del Periodo de Muestreo (Timer 1)
void SampleTime(void)
{
    digitalWrite(hot, !digitalRead(hot)); //Led Toggle
    PID();
}

void setup() {
    pinMode(hot,OUTPUT); // CONFIGURACION DE LOS PINES DEL ARDUINO
    CALIENTE O FRIO EL DISPOSITIVO //Led "Caliente" como salida INDICA SI ES
    digitalWrite(hot,LOW);
    analogReference (EXTERNAL); //Referencia analógica PIN AREF (3,3v)
    //Configuramos el puerto serial
    Serial.begin(9600);

    //Espera 10 segundos en Stand by cuando es energizado la primera vez
    //UTILIZAR MATLAB O ARDUINO COMO INTERFAZ,PASADOS 10 SEGUNDOS (10000) INYECTARA
    UN SET POINT AL 40%

    if(!Matlab){
        delay(10000);
        r1=40.0;
    }

    //Valor máximo del Timer es 8.3 Segundos
    Timer1.initialize(8000000); //Configura el TIMER en 8 Segundos
    Timer1.attachInterrupt(SampleTime); //Configura la interrupción del Timer 1
    //FUNCION DE INTERRUPCION

```



```
//*****  
//***** SINTONIA POR ZIEGLER y NICHOLS *****  
//*****  
  
switch (type){ //AQUI SE ESCOGE QUE TIPO DE CONTROLADOR A UTILIZAR  
  
case 1:  
  
kp=(1.2*tau)/(k*theta); //ESTOS DATOS SON LOS MOSTRADOS EN LA TABLA  
ti=2.0*theta;  
td=0.5*theta;  
break;  
  
case 2:  
break;  
}  
  
//*****  
//***** PID DIGITAL *****  
//*****  
  
// Calculo do controle PID digital  
q0=kp*(1+Ts/(2.0*ti)+td/Ts); //CALCULO DEL CONTROL PID DIGITAL DESPEJADAS  
DE LAS ECUACIONES  
q1=-kp*(1-Ts/(2.0*ti)+(2.0*td)/Ts);  
q2=(kp*td)/Ts;  
}  
  
void loop() { //LECTURA DEL SENSOR Y ENVIAR LOS DATOS DEL PUERTO SERIAL  
int i,ini=0,fin=0;  
String degC;  
  
//Filtro de promedio móvil en la lectura ADC  
//TMP36 //CONVERSION ANALOGO DIGITAL DE LA MUESTRA DE TEMPERATURA  
aux=0;  
for(i=0;i<10;i++){  
aux = aux + (float(analogRead(sensor1))*3.3/1023.0-0.5)/0.01;  
//delay(5);  
}  
T1 = aux/10.0; //LECTURA DEL SENSOR, 10 VECES Y DIVIDIRLO ENTRE 10  
  
//T1= (float(analogRead(sensor1))*5.0/1023.0-0.5)/0.01; //TMP36  
  
if(Matlab){ //Usar la interfaz de Matlab
```

```
//
    if (Serial.available()){
//leemos el dato enviado
        dato=Serial.readString();
//Busco el valor del escalon en los datos recibidos
        for(i=0;i<10;i++){
            if(dato[i]=='S'){
                ini=i+1;
                i=10;
            }
        }
        for(i=ini;i<10;i++){
            if(dato[i]=='$'){
                fin=i;
                i=10;
            }
        }
// salvo en degC el caracter con el escalon
        degC=dato.substring(ini, fin);
        r1 = degC.toInt(); // convertir caracteres string a numeros enteros
    }

//

    Serial.print("I");
    Serial.print(T1);
    Serial.print("F");
    Serial.print("I");
    Serial.print(T1);
    Serial.print("F");

    Serial.print("C");
    Serial.print(u);
    Serial.print("R");
    Serial.print("C");
    Serial.print(u);
    Serial.print("R");
}
else{ //Usar el Serial Plotter
    Serial.println("Temperatura_1,Setpoint_1"); // USAR SERIAL PLOTTER A GRAFICAR
AL NO USAR MATLAB
    Serial.print(T1);
    Serial.print(",");
    Serial.println(r1);
}

    delay(1000);
}
```

## Anexo B. Scripts

### Interfaz Matlab Arduino

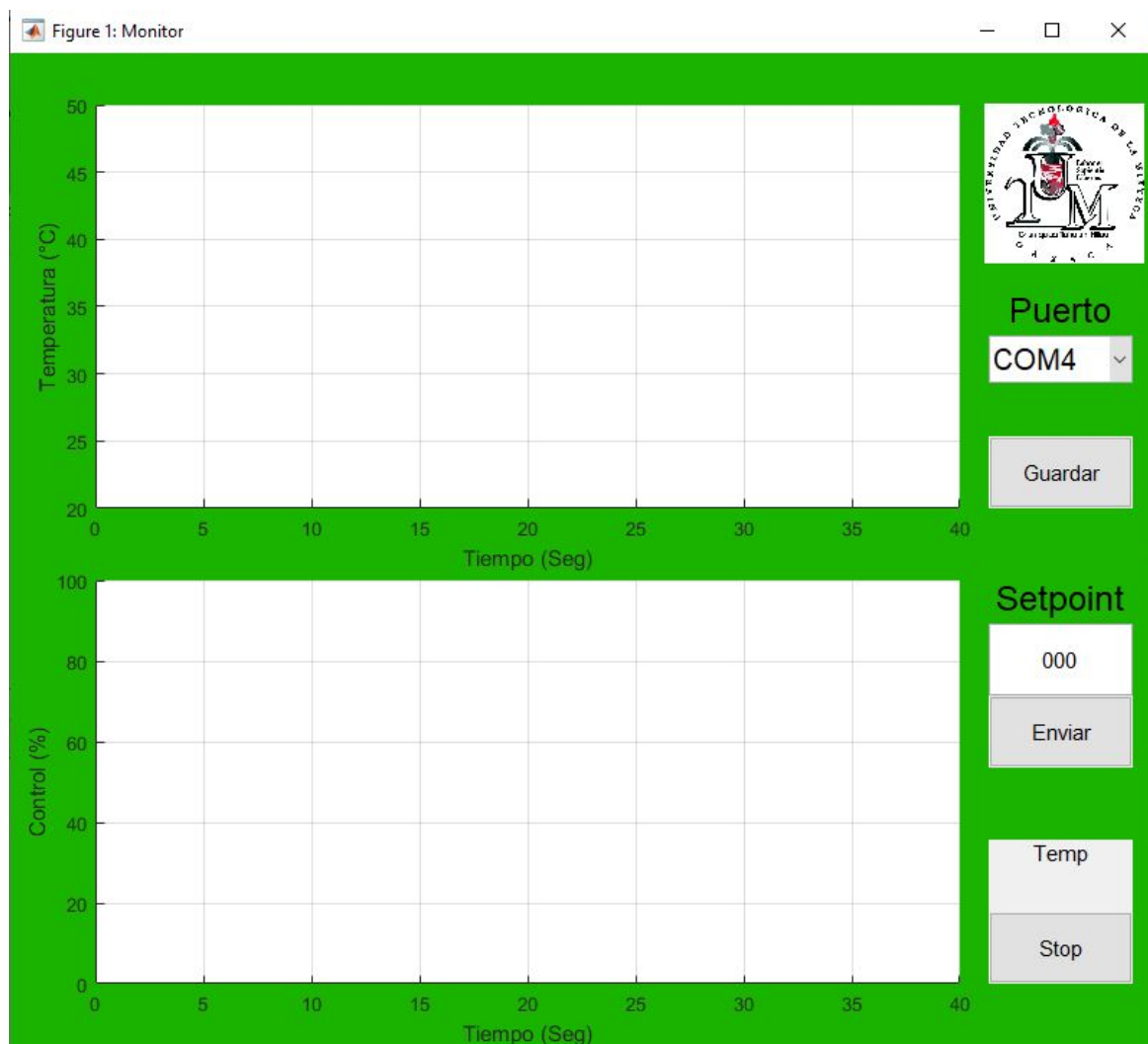


Figura 2: Interfaz Arduino matlab Control PID

```

%% Ejemplo Monitoreo de señales en tiempo Real
function varargout=PID_Arduino_CAE(varargin)
parar=false;
fclose('all');
global tiempo salida escalon control puerta;

fig(1)=figure('name','Monitor','menubar','none','position',[200 200 800
700],'color',[0.1 .7 0]);
movegui(fig(1),'center');
axe(1)=axes('parent',fig(1),'units','pixels','position',[60 380 600
280],'xlim',[0 40],'ylim',[20 50],'xgrid','on','ygrid','on');
axe(2)=axes('parent',fig(1),'units','pixels','position',[60 50 600
280],'xlim',[0 40],'ylim',[0 100],'xgrid','on','ygrid','on');
axe(5)= axes('parent',fig(1),'units','pixels','position',[677 550 111
111]);

% Leer la imagen
img = imread('LOGO UTM.png'); % Asegúrate de especificar la ruta
correcta a tu imagen
% Mostrar la imagen en el eje especificado
axes(axe(5)); % Seleccionar el eje
imshow(img); % Mostrar la imagen

set(get(axe(1),'XLabel'),'String','Tiempo (Seg)');
set(get(axe(1),'YLabel'),'String','Temperatura (°C)');

set(get(axe(2),'XLabel'),'String','Tiempo (Seg)');
set(get(axe(2),'YLabel'),'String','Control (%)');

lin(1)=line('parent',axe(1),'xdata',[],'ydata',[],'Color','r','LineWidth',
2.5);
lin(2)=line('parent',axe(1),'xdata',[],'ydata',[],'Color','k','LineWidth',
2);
lin(3)=line('parent',axe(2),'xdata',[],'ydata',[],'Color','r','LineWidth',
2.5);

Texto(1)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','Puerto','posi
tion',[680 483 100 50],'BackgroundColor',[0.1 .7 0],'fontsize',18);
Texto(2)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','Setpoint','po
sition',[680 283 100 50],'BackgroundColor',[0.1 .7 0],'fontsize',18);
Texto(3)=uicontrol('parent',fig(1),'style','text','string','
','position',[680 411 100 50],'BackgroundColor',[0.1 .7
0],'fontsize',18);

bot(1)=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','Stop','po
sition',[680 50 100 50],'callback',@stop,'fontsize',11);
bot(2)=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','Enviar','
position',[680 200 100 50],'callback',@enviar,'fontsize',11);
bot(3)=uicontrol('parent',fig(1),'style','pushbutton','string','Guardar',
'position',[680 380 100 50],'callback',@salvar,'fontsize',11);

txbx(1)=uicontrol('parent',fig(1),'style','tex','string','Temp','position
',[680 100 100 50],'fontsize',11);
txbx(2)=uicontrol('parent',fig(1),'style','edit','string','000','position
',[680 250 100 50],'fontsize',11);

```

```

% Obtener puertos seriales disponibles
info = instrhwinfo('serial');
disp('Puertos seriales disponibles:');
disp(info.AvailableSerialPorts);

ports = info.AvailableSerialPorts;
if isempty(ports)
    ports = {'NONE'};
    errordlg('No hay puertos seriales disponibles. Conecte un dispositivo
y vuelva a intentarlo.', 'Error de Puerto');
    return;
end

puerta = ports{1}; % Inicializa la variable puerta

popup = uicontrol('parent',fig(1),'Style', 'popup',...
    'String', ports,...
    'Position', [680 450 100 50],'fontsize',15,...
    'Callback', @puertas);

%% Funcion Pare
function varargout=stop(hObject,evendata)
    parar=true;
    fclose(SerialP);
    delete(SerialP);
    clear SerialP;
end

%% Funcion enviar
function varargout=enviar(hObject,evendata)
    deg1=get(txbx(2),'string');
    %Se asegura de hacer que deg1 tenga 3 caracteres
    while(length(deg1)<3)
        deg1=['0',deg1];
    end

    deg=['S', deg1,'$'];
    fwrite(SerialP,deg,'uchar');
end

%% Funcion Puerto
function varargout=puertas(hObject,evendata)
    contents = get(hObject, 'String');
    selectedPort = contents{get(hObject, 'Value')};
    if strcmp(selectedPort, 'NONE')
        errordlg('Por favor seleccione un puerto válido.', 'Error de
Puerto');
        return;
    end
    puerta = selectedPort; % Actualiza la variable puerta con el valor
seleccionado
end

%% Funcion Salvar

```

```

function varargout=salvar(hObject,evendata)
    %Renombra variables
    rs=escalon;
    us=control;
    ys=salida;
    ts=tiempo;
    save('Datos.mat','ts','rs','ys','us');
    figure;
    subplot(2,1,1);
    plot(ts,rs,ts,ys,'linewidth',3),grid;

    title('Laboratorio de Temperatura');
    xlabel('Tiempo (s)');
    ylabel('Temperatura (C)');

    subplot(2,1,2);
    plot(ts,us,'linewidth',3),grid;
    xlabel('Tiempo (s)');
    ylabel('Control (%)');
end

%% funcion Graficar
% function varargout=grafique(hObject,evendata)
tiempo=[0];
salida=[25];
escalon=[0];
control=[0];
deg1='0';

dt=1;
limx=[0 40];
limy=[20 50];
set(axe(1),'xlim',limx,'ylim',limy);

%% Configura el Puerto Serial
if strcmp(puerta, 'NONE')
    errordlg('No se puede abrir el puerto "NONE". Por favor, seleccione
un puerto válido.', 'Error de Puerto');
    return;
end

SerialP=serial(puerta);
set(SerialP,'Baudrate',9600); % se configura la velocidad a 9600 Baudios
set(SerialP,'StopBits',1); % se configura bit de parada a uno
set(SerialP,'DataBits',8); % se configura que el dato es de 8 bits, debe
estar entre 5 y 8
set(SerialP,'Parity','none'); % se configura sin paridad

try
    fopen(SerialP);
catch
    errordlg(['No se puede abrir el puerto ' puerta '.'], 'Error de
Puerto');
    return;
end

```

```

%% Grafico
k=5; nit = 10000;
while(~parar)
    % Lectura del Dato por Puerto Serial
    variable= (fread(SerialP,30,'uchar'));
    ini=find(variable==73); %Busca el I (Primer dato)
    ini=ini(1)+1;
    fin=find(variable==70); %Busca F (ultimo dato)
    fin= fin(find(fin>ini))-1;
    fin=fin(1);
    tempC=char(variable(ini:fin));
    temp=str2num(tempC);

    %Lectura de la senal de control
    ini=find(variable==67); %Busca el C (Primer dato)
    ini=ini(1)+1;
    fin=find(variable==82); %Busca R (ultimo dato)
    fin= fin(find(fin>ini))-1;
    fin=fin(1);
    Con1=char(variable(ini:fin));
    cont=str2num(Con1);

    set(txbx(1),'string',tempC);
    %Actualiza las variables del grafico

    tiempo=[tiempo tiempo(end)+dt];
    salida=[salida temp];
    control=[control cont];
    escalon=[escalon str2num(deg1)];
    set(lin(1),'xdata',tiempo,'ydata',salida);
    set(lin(2),'xdata',tiempo,'ydata',escalon);
    set(lin(3),'xdata',tiempo,'ydata',control);
    pause(dt); %% espera 1 seg para cada interacción
    if tiempo(end)>=limx % actualizo grafica cuando llega a su limite en
tiempo real
        limx=[0 limx(2)+40];
        set(axe(1),'xlim',limx);
        set(axe(2),'xlim',limx);
    end

    if salida(end)>=limy % actualizo grafica cuando llega a su limite en
tiempo real
        limy=[20 limy(2)+5];
        set(axe(1),'ylim',limy);
    end

    k=k+1;
    if(k==nit)
        parar=true;
    end
end
parar=false;
% end
end

```

## Anexo B. Scripts

### Control PID Simulación en Matlab

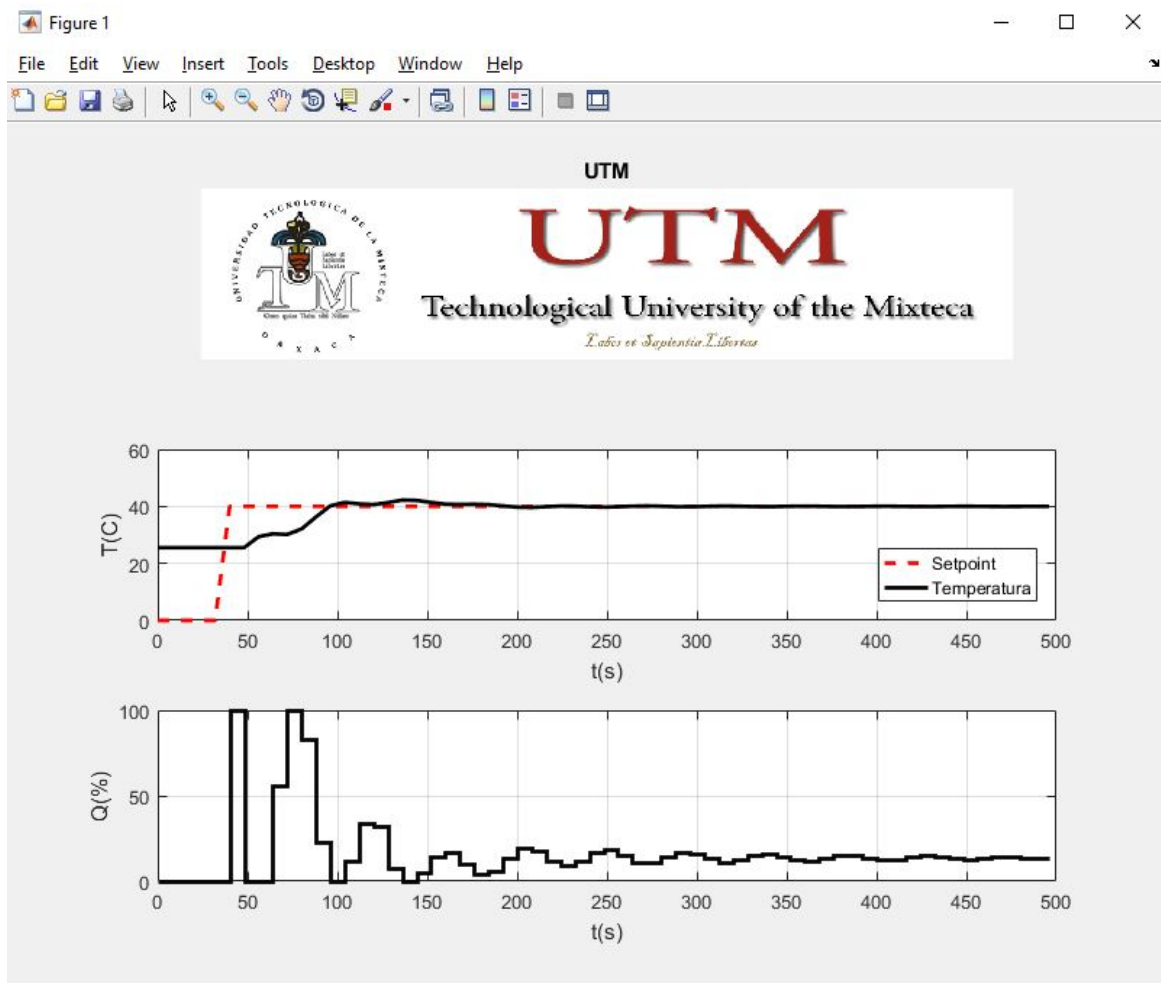


Figura 3: Simulación PID Ziegler-Nichols



```

clc
clear
close all

Ts=8; % Periodo de Muestreo
m1 = menu('Control PID Arduino', 'Ziegler y Nichols', 'Cancelamiento de
Polos', 'Asignacion de Polos');
% Modelo del Proceso
k=1.04; tau=160; theta1=10;
theta = theta1 + Ts/2;

G=tf(k,[tau 1]);
G.iodelay = theta1;

% Discretizacion de la planta
Gd = c2d(G,Ts,'zoh');

switch(m1)
case 1
    % Control PID por Ziegler y Nichols
    kp=(1.2*tau)/(k*theta);
    ti=2*theta;
    td=0.5*theta;
    incontrolabilidad = theta / tau;
case 2
    % Control PID por Cancelamiento de polos
    tau_d=45;
    kp=(tau)/(tau_d*k);
    ti=tau;
    td=0;
case 3
    % Control PID por Asignacion de Polos
    % Especificaciones de Diseño
    Mp=5; % Maximo Pico
    ep=sqrt(((log(Mp/100))^2)/(pi^2+((log(Mp/100))^2))); % Factor de
amortiguamiento
    % ep=1;
    Tlc=220;
    if ep<1
        Wn=4/(ep*Tlc);
    else if ep==1
        Wn=5.8335/Tlc;
    end
    end

    P1=2.0*ep*Wn;
    P2=Wn^2;

    kp=(P1*tau-1)/k;
    ti=(k*kp)/(P2*tau);
    td=0;
end
end

```

```

% Calculo del control PID digital
q0=kp*(1+Ts/(2*ti)+td/Ts);
q1=-kp*(1-Ts/(2*ti)+(2*td)/Ts);
q2=(kp*td)/Ts;

% Loop de Control
nit=63;
u(1:nit)=0;
r(1:nit)=0;
r(6:nit)=40;
y(1:nit)=25.5;
e=r-y;
T0 = 25.5 + 273.15; % K
Ta = 25.5 + 273.15; % K
Qi=0; % Porcentaje
alpha = 0.014; % W / % heater
Cp = 500; % J/Kg K= 12 / 100^2 Area in m^2
A = 1.2e-3; % Area (m^2)
m = 4e-3; % Kg
U = 5.0; % W/m^2 K
eps = 0.9; % Emissivity
sigma = 5.67e-8; % Stefan-Boltzman
[x0,Tc] = T_ss(eps,sigma,A,U,0,Ta,alpha);
d = round(thetal/Ts);
for k=3:nit

% % Modelo Lineal
t = 0:Ts:(k-1)*Ts;
y=lsim(G,u(:,1:k),t,'zoh')+25.5;

% Modelo NO Lineal
t=((k-1):1:k)*Ts;
[tsim, Temp] = ode15s(@(tsim,x)energy_bal(tsim,x,u(k-1-d),...
alpha,Ta,U), t, x0);
x0 = Temp(end,:);
y(k)=x0-273.15;

% Error
e(k)=r(k)-y(k);

% PID
u(k) = u(k-1) + q0*e(k) + q1*e(k-1) + q2*e(k-2);

if (u(k) >= 100.0)
u(k) = 100.0;
end
if (u(k) <= 0.0)
u(k) = 0.0;
end

end

t=0:Ts:(nit-1)*Ts;

```

```

% Mostrar la imagen antes de los gráficos
figure(1)
% Ajustar el tamaño de la figura
set(gcf, 'Position', [100, 100, 800, 600]); % [left, bottom, width,
height]

subplot(311)
img = imread('utm_large_eng.png'); % Asegúrate de que el archivo
'mi_imagen.jpg' esté en el mismo directorio que tu script
imshow(img, 'InitialMagnification', 50); % Ajusta el valor para cambiar
el tamaño (100 es el tamaño original)
title('UTM');

% Gráficos de control PID
subplot(312)
plot(t,r,'--r',t,y,'-k','linewidth',2),grid
xlabel('t(s)');
ylabel('T(C)');
legend('Setpoint','Temperatura','location','southeast')

subplot(313)
stairs(t,u,'-k','linewidth',2),grid
xlabel('t(s)');
ylabel('Q(%)');

```