UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIERRE ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA ARMARIOS”

JULIO 2014

ALUMNO: DANIEL PÉREZ GARCÍA

TUTOR: ÁLVARO NORIEGA GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIERRE ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA ARMARIOS”

JULIO 2014

Daniel Pérez García:

Álvaro Noriega González:

RESUMEN

En este proyecto se ha llevado a cabo el diseño y construcción de un cierre electrónico para armarios bajo identificación biométrica. En busca de conseguir un sistema compacto y económico se diseñó un método de control descentralizado basado en una unidad central y múltiples cierres bajo su control.

La unidad central gestiona el acceso al sistema y a los armarios mediante identificación dactilar. Una vez un usuario activa un cierre, este recibe la aprobación o la negativa de apertura mediante comunicación bluetooth. Todas las acciones realizadas por los usuarios son almacenadas en una base de datos con posible acceso remoto a través de internet.

El mecanismo final consiste en un sistema por bloqueo que incorpora dos posibles tipos de accionamiento: electrónico y manual. Este sistema permite mantener el armario totalmente bloqueado una vez los actuadores se encuentran desactivados, así como soportar posibles intrusiones al armario mediante el uso de la fuerza.

Para dotar a los armarios de independencia de la red eléctrica, los cierres son alimentados mediante baterías. El circuito consta de un sistema de apagado que eleva la vida de las baterías en más de un 90% consiguiendo realizar 2500 aperturas independientemente del tiempo transcurrido entre las mismas.

Este diseño pretende ser una solución para almacenes u oficinas que desean controlar el acceso de los empleados a sus armarios mediante control biométrico y además dotarlos de una cerradura de alta seguridad.

Finalmente, se construyó un prototipo totalmente funcional en base a los medios disponibles, con el fin de mostrar las bondades del diseño.

PALABRAS CLAVE

Cierre – armario – biométrico – huella – bluetooth – seguridad

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIERRE ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA ARMARIOS”

I. Memoria

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Orígenes de la cerradura. 1
1.2. La irrupción de la electrónica 2
1.3. Cerraduras en la actualidad 3
1.4. Cerraduras en armarios 5
1.5. Conclusiones 7
2. NORMATIVA 8
3. Objeto 9
3.1. Requisitos y especificaciones 9
4. PLANTEAMIENTO 10
4.1. Gestión del sistema 10
4.2. Fuente de alimentación 11
4.3. Dimensiones máximas 11
5. DISEÑO MECÁNICO 12
5.1. Accionamiento por llave 12
5.1.1 Conceptos 12
5.1.2 Selección de ideas 13
5.1.3 Selección de cilindro 13
5.2. Accionamiento electrónico 14
5.2.1 Ideas 14
5.2.2 Concepto II: Motor móvil. 15
5.2.3 Concepto III: Motor fijo. 16
5.2.4 Selección de ideas 16
5.2.5 Selección de actuadores 17
5.3. Diseño en detalle 18
5.3.1 Presentación del diseño 18
5.3.2 Guía horizontal 19
5.3.3 Guía vertical 19
5.3.4 Soporte 20
5.3.5 Engranajes y cremallera 20
5.3.6 Cierre 21
5.3.7 Carcasa 22

5.3.8 Sujeción 22
5.3.9 Montaje 23
5.3.10 Seguridad 24
5.3.11 Funcionamiento 25
5.4. Centralita 25
5.5. Materiales y fabricación 26
5.5.1 Materiales 26
5.5.2 Métodos de fabricación 27
5.6. Adaptación a producción en serie 28
5.6.1 Guías, soporte, tapa y gancho de cierre 28
5.6.2 Eje de soporte, eje principal y casquillo 29
5.6.3 Carcasa y centralita 29
5.6.4 Conclusiones 29
5.7. Validación 29
5.8. Documentación complementaria 30
6. Diseño electrónico 31
6.1. Comunicación entre estaciones 31
6.1.1 Opciones 32
6.1.2 Valoración 33
6.1.3 Módulos comerciales 33
6.1.4 Selección 33
6.2. Cierre electrónico 33
6.2.1 Microncontrolador 34
6.2.2 Controlador de motor CC 35
6.2.3 Sensor 35
6.2.4 Alimentación y derivados 36
6.2.5 Estudio de vida 38
6.2.6 Replanteo 39
6.2.7 Sistema de encendido/apagado 40
6.2.8 Diseño en detalle 42
6.2.9 Circuito de prueba 47
6.2.10 PCB definitivas 47
6.3. Centralita 49
6.3.1 Alternativas de controlador 49
6.3.2 Selección de controlador 51
6.3.3 Sensor de huellas 51
6.3.4 Bluetooth 52

6.3.5 Pantalla 52
6.3.6 Conexión Wifi 52
6.3.7 Conexión de componentes 53
6.4. Validación 54
6.5. Documentación complementaria 54
7. Diseño DEL CONTROL 55
7.1. Software implementado en el microcontrolador 55
7.1.1 Análisis inicial 55
7.1.2 Configuración de módulos 57
7.1.3 Análisis del programa 60
7.2. Software implementado en la Raspberry Pi 66
7.2.1 Descripción general 66
7.2.2 Análisis de requisitos 67
7.2.3 Base de datos 67
7.2.4 Planteamiento 69
7.2.5 Comunicación serial (Clase “commserial”) 70
7.2.6 Interacción con base de datos (Clase “bd”) 71
7.2.7 Rutina principal 72
7.2.8 Hilo de comunicación bluetooth 78
7.2.9 Hilo de comprobaciones de seguridad 79
7.2.10 Conexión remota 80
7.3. Seguridad contra ataques digitales 81
7.4. Validación 81
Documentación complementaria 81
8. PROTOTIPO 82
9. CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS 83
9.1. Protocolo de Pruebas 83
9.2. Interpretación de resultados 84
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 85
10.1. Conclusiones 85
10.2. Consideraciones 85
11. BIBLIOGRAFÍA 86
12. ANEXOS 90
12.1. ANEXO I. Análisis estáticos previos al diseño 90
12.1.1 Guía vertical 90
12.1.2 Guía horizontal 91
12.2. ANEXO II. Análisis dinámicos. 93

12.2.1 Elevación de la guía vertical 93
12.2.2 Movimiento de la guía horizontal 94
12.2.3 Accionamiento manual 94
12.3. ANEXO III. Cálculo del muelle 96
12.4. ANEXO IV. Ensayos MEF 99
12.4.1 Gancho de cierre 99
12.4.2 Eje principal 102
12.4.3 Tope de seguridad 104
12.5. ANEXO V. Ensayos bajo normativa. 106
12.5.1 Ensayo a sobrecarga 106
12.5.1 Ensayo de funcionamiento 108
12.5.2 Ensayo de durabilidad 109
12.6. ANEXO VI. Montaje. 110
12.7. ANEXO VII. Potencia y consumo estimados. 116
12.7.1 Consumo PIC 16F1829: 116
12.7.2 Consumo BlueSmirf Silver: 117
12.7.3 Consumo motor: 117
12.7.4 Consumo servomotor: 118
12.7.5 Consumo L293D 118
12.7.6 Consumos ramas LED 118
12.7.7 Consumo del regulador de tensión LM2940 118
12.7.8 Divisor de tensión 118
12.7.9 Tabla resumen de consumos 119
12.8. ANEXO VIII. Cálculos electrónicos 120
12.8.1 Resistencia limitadora diodo LED rojo 120
12.8.2 Resistencia limitadora diodo LED verde 120
12.8.3 Cálculo de transistor de apagado 120
12.8.4 Inclusión de optoacoplador 121
12.9. ANEXO IX. Manual Raspberry PI 122
12.9.1 Instalación de Raspbian (bajo mac) 122
12.9.2 Configuración inicial 122
12.9.3 Conexión LAN/Internet 123
12.9.4 Actualización de firmware 123
12.9.5 Actualización de SO 124
12.9.6 Conexión SSH Local 125
12.9.7 Conexión SSH vía internet 125
12.9.8 Envío de archivos vía SSH (SCP) 126

12.9.9 Instalación de USB-Wifi 126
12.9.10 Creación de conexión No-IP 127
12.9.11 IP externa asociada a NO-IP 128
12.9.12 Servidor FTP 128
12.9.13 VNC 128
12.10. ANEXO X. Resumen de clases 130
12.10.1 Clase “usuario” 130
12.10.2 Clase “commserial” 130
12.10.3 Clase “fingerprint” 131
12.10.4 Clase “menu” 132

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Esquema de cerradura egipcia. 1
Ilustración 2. Esquema de una cerradura de tambor de pines. 2
Ilustración 3. Cilindro TESA TK100. 4
Ilustración 4. Cerradura electrónica Samsung SHS-5230. 4
Ilustración 5. Cerradura Goji (izquierda) y August (derecha). 5
Ilustración 6. Tipos de cerradura manuales para armarios. 5
Ilustración 7. Sistema centralizado vs descentralizado. 10
Ilustración 8. Funcionamiento del Concepto I de apertura manual. 12
Ilustración 9. Funcionamiento del Concepto II de apertura manual. 13
Ilustración 10. Funcionamiento del Concepto I de apertura electrónica. 14
Ilustración 11.Funcionamiento del Concepto II de apertura electrónica (motor). 15
Ilustración 12.Funcionamiento del Concepto II de apertura electrónica (llave). 15
Ilustración 13. Funcionamiento del Concepto III de apertura electrónica. 16
Ilustración 14. Micro Metal Gear de Polulu. 17
Ilustración 15. Microservo Power HD DS65HB. 18
Ilustración 16. Diseño final de cierre electrónico. 18
Ilustración 17. Esquema guía horizontal. 19
Ilustración 18. Esquema guía vertical. 20
Ilustración 19. Engranajes y cremallera. 21
Ilustración 20. Sistema de cierre. 21
Ilustración 21. Carcasa. 22
Ilustración 22. Sujeción de cierre. 23
Ilustración 23. Conjunto explosionado y vista trasera de soporte. 23
Ilustración 24. Tope de seguridad. 24
Ilustración 25. Funcionamiento del accionamiento manual. 25
Ilustración 26. Funcionamiento del accionamiento electrónico. 25
Ilustración 27. Centralita. 26
Ilustración 28. Tipos de redes. 32
Ilustración 29. BlueSmirf Silver con el chip RN42. 33
Ilustración 30. Resumen pines PIC16F1829. 34
Ilustración 31. Esquema de electrónica e intensidades. 38
Ilustración 32. Gráfica de consumo. 38
Ilustración 33. Gráfica de consumo sin LM2940. 39

Ilustración 34. Consumo global. 39
Ilustración 35. Consumo con sistema de apagado en 20 usos. 40
Ilustración 36. Circuito SCR. 41
Ilustración 37. Esquema conexión LM2940. 42
Ilustración 38. Esquema conexión SCR. 42
Ilustración 39. Conexiones PIC. 43
Ilustración 40. Esquema alimentación PIC. 43
Ilustración 41. Esquema divisor de tensión. 43
Ilustración 42. Posicionamiento de finales de carrera. 44
Ilustración 43. Esquema de finales de carrera. 45
Ilustración 44. Esquema sistema de apagado. 46
Ilustración 45. Foto de placa de pruebas. 47
Ilustración 46. PCB principal. 48
Ilustración 47.PCB de conexiones. 49
Ilustración 48. Arduino mega, Raspberry Pi B y Beaglebone Black 50
Ilustración 49. Sensor de huellas GT-511C3. 51
Ilustración 50. Pantalla TFT 3.5" Adafruit. 52
Ilustración 51. Adaptador Wifi EDUP. 53
Ilustración 52 Esquema de conexiones en centralita. 53
Ilustración 53. PWM servomotor. 59
Ilustración 54. Diagrama de flujo rutina principal (PIC). 60
Ilustración 55. Diagramas de flujo rutina principal 60
Ilustración 56.Diagrama de flujo de interrupción TIMER 0 (PIC). 61
Ilustración 57. Diagrama de flujo de interrupción RDA (PIC). 61
Ilustración 58- Diagrama de flujo de la función de estado (PIC). 62
Ilustración 59. Diagrama de flujo de la función acción a realizar (PIC). 63
Ilustración 60. Diagrama de flujo de la función cerrado (PIC). 63
Ilustración 61. Diagrama de flujo de la función apertura (PIC). 64
Ilustración 62. Diagrama de flujo del subproceso de apagado (PIC). 65
Ilustración 63. Diagrama de interacción entre tablas en la base de datos. 68
Ilustración 64. Hilos del programa. 70
Ilustración 65. Fragmento de código de la clase "menu". 71
Ilustración 66. Fragmento de código de la clase "bd" 72
Ilustración 67. Clases usadas por la rutina principal. 72
Ilustración 68. Diagrama de flujo de la rutina principal. 73
Ilustración 69. Diagrama de flujo del método de identificación de huellas. 75
Ilustración 70. Diagrama de flujo del método de registro de huellas 75

Ilustración 71. Pantalla del menú. 77
Ilustración 72. Fragmento de código de la clase "menu". 77
Ilustración 73. Clases usadas por el hilo de comunicación bluetooth. 78
Ilustración 74. Clases usadas por el hilo de comprobaciones. 79
Ilustración 75. PHPMyAdmin realizando un acceso remoto a la base de datos. 80
Ilustración 76. Prototipo final. 82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha resumen SDC-25. 6
Tabla 2. Ficha resumen LOCKET-USA C-170. 6
Tabla 3. Ficha resumen SALTO XS4. 7
Tabla 4. Normativa aplicable al proyecto. 8
Tabla 5. Dimensiones máximas establecidas para el prototipo. 11
Tabla 6. Selección de conceptos para el sistema de accionamiento manual. 13
Tabla 7. Selección de conceptos para el sistema de accionamiento electrónico. 16
Tabla 8. Tabla de materiales. 27
Tabla 9. Métodos de fabricación. 28
Tabla 10. Tabla resumen de procesos de fabricación en serie. 29
Tabla 11.Validación del diseño. 30
Tabla 12. Medidas prototipo. 30
Tabla 13. Bluetooth vs Zigbee. 32
Tabla 14. Características PIC16F1829. 35
Tabla 15. Valoración de sensores de proximidad. 36
Tabla 16. Tipos de baterías y propiedades principales. 37
Tabla 17. Lógica de finales de carrera. 45
Tabla 18. Arduino Mega. 50
Tabla 19. Raspberry PI. 50
Tabla 20. BeagleBones Black. 51
Tabla 21.Validación del diseño. 54
Tabla 22. Tabla de acciones en comando de envío. 57
Tabla 23. Comandos de respuesta. 57
Tabla 24. Requisitos del control. 67
Tabla 25. Resumen archivos del código. 69
Tabla 26. Trama del sensor de huellas. 70
Tabla 27. Variables privadas de la clase "usuario". 76
Tabla 28. Tabla resumen de acciones del hilo de comprobaciones. 79
Tabla 29.Validación del diseño. 81
Tabla 30. Protocolo de pruebas 1 de 2. 83
Tabla 31. Protocolo de pruebas 2 de 2. 84

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe gran cantidad de puertas con cierres electrónicos basados en distintas tecnologías: llave magnética, patrón numérico, control biométrico de huellas o de retina, etc.

Sin embargo, existen pocas opciones cuando estos cierres se quieren implementar en un armario de almacenaje y, en base a esa necesidad, nace este proyecto.

A lo largo de este apartado se buscará el origen y evolución de la cerradura hasta llegar al cierre electrónico. Posteriormente se estudiarán las cerraduras en armarios, haciendo especial hincapié en las cerraduras electrónicas y lo que ofrece el mercado actualmente en este campo.

De este apartado nacerán las bases que marcarán los objetivos principales de este proyecto.

1.1. Orígenes de la cerradura.

En el momento en que el primer hombre uso una piedra en la entrada de su caverna para protegerse, se dio origen con ese primitivo sistema, a un proceso de perfeccionamiento que no se detuvo a lo largo de los siglos.

Con el paso del tiempo, aumentaban las pertenencias y con ello el riesgo de robo. Debido a estos, empezaron a surgir ingeniosos mecanismos que buscaban proteger los bienes y a las familias. Uno de los resultados de este proceso fue la cerradura.

La cerradura fue inventada en China hace más de 4000 años, si bien poco después era empleada en Egipto y Babilonia, y generalizada en un periodo corto de tiempo.

El primer cerrojo que se conoce es un dispositivo egipcio fabricado en madera y encontrado con su llave en las ruinas de Nínive (antigua Asiria).

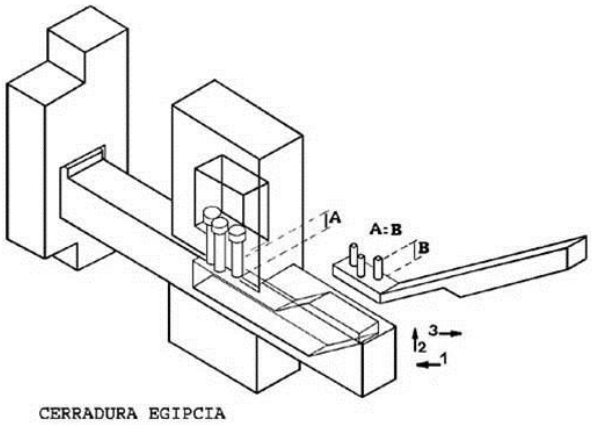


Ilustración 1. Esquema de cerradura egipcia.

Su funcionamiento consistía en inmovilizar un pasador en un bloque fijo mediante el uso de unos pistones móviles. Para abrir la cerradura la llave era introducida bajo o a través del pasador, se elevaba y gracias a su forma se conseguía que los pistones permitiesen retirar el pasador.

Las primeras cerraduras metálicas fueron concebidas por los romanos consiguiendo reducir en gran medida su tamaño y mejorar la seguridad con nuevos sistemas como la vuelta de llave.

En el medievo, con la excepción del desarrollo del cerrojo de pestillo, poco se hizo para mejorar el rendimiento y conveniencia de las cerraduras.

Fue en el inicio de la Revolución industrial en el siglo XVIII, con el desarrollo de la ingeniería de precisión y la estandarización de componentes, cuando se comenzaron a fabricar cerraduras y llaves con mayor sofisticación y complejidad.

Robert Barron en 1778 perfeccionó la cerradura de tambor creando el doble bloqueo. En esta cerradura se requería elevar las palancas a una altura determinada, siendo tan malo levantarlas demasiado como no levantarlas lo suficiente.

En 1818 Jeremias Chubb desarrolló una cerradura que sólo se podía abrir con una llave específica, incorporaba un sistema de seguridad más avanzado y en caso de haber sido forzada dejaba muestras evidentes de ello. Posteriormente, mejoró el diseño añadiendo seis en vez de cuatro palancas y ocultándolas.

Durante esta época aparecieron muchos diseños nuevos con mayor o menor éxito, pero la primera versión de las cerraduras de tambor de pines modernas llegó con Linus Yale Jr. en 1861 inspirado en la cerradura de vaso creada por su padre en 1848. Este diseño cambiaba la llave típica de la época por una llave plana con bordes dentados e introducía los pines de dimensiones variables. El mismo diseño que sigue en uso hoy en día.

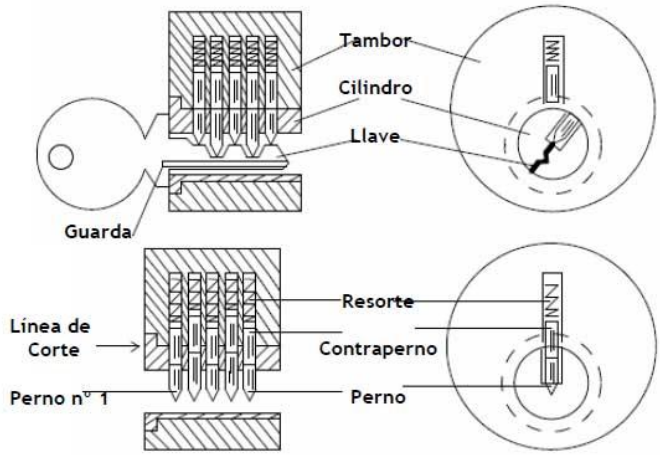


Ilustración 2. Esquema de una cerradura de tambor de pines.

El tambor de pines normalmente es usado en cerraduras cilíndricas. En este tipo de cerraduras el soporte en el que se ensambla el conjunto (llamado cañón o cuerpo) posee un agujero en el que se sitúa el tambor o rotor que transmite el giro desde la llave a la leva.

El tambor tiene una ranura recta llamada estría que por un lado permite a la llave entrar al tambor y por otro permite a la llave llegar hasta la excéntrica o leva encargada de accionar la cerradura. En el tambor hay una serie de agujeros verticales, típicamente cinco o seis. Cada agujero contiene dos pitones:

- Pitón inferior (contraperno): Esta pieza determina la combinación que tendrá un cilindro en concreto y es empujada por un pequeño muelle.
- Pitón superior principal (perno): Complementa al inferior y permite el bloqueo en determinadas combinaciones de llaves.

La mayoría de las cerraduras manuales actuales siguen siendo variantes de los diseños inventados por Bramah, Chubb y Yale.

1.2. La irrupción de la electrónica

En los años 90 comienzan a aparecer las primeras cerraduras electrónicas. Estas, en su mayoría, sustituyen el sistema de bloqueo mecánico por un sistema eléctrico generalmente basado en motores, solenoides o imanes.

Uno de los sistemas de cierre comúnmente usado en este tipo de cerraduras se basa en el uso de un electroimán. Entre sus ventajas se encuentra su fácil instalación y su alta resistencia ante un intento de fuerce. En su contra se encuentra su difícil mantenimiento, su gran peso, el tiempo de retardo en la apertura de la puerta (debido a que la creación del campo magnético no es instantánea) y en caso de producirse un fallo en la alimentación de la puerta, el cierre ha de abrirse debido a la normativa, lo que puede ser un gran problema de seguridad sino se trata de una emergencia.

Un uso menos extendido es el de los motores debido al reducido espacio del que se dispone en una puerta. Sin embargo, sí que existen sistemas de cierres que hacen uso de ellos y que incluso se combinan con sistemas mecánicos por llave, mejorando la seguridad en caso de fallo en la alimentación con respecto al uso de solenoides.

Pero sin duda, la gran ventaja del uso de un cierre electrónico nace de la gran variedad de métodos de identificación y acceso de los que se puede disponer, permitiendo en algunos casos independizar el sistema del uso llave para su apertura y llevar un registro de accesos. Entre estos sistemas de identificación destacan:

- Contraseñas y frases de acceso. Uno de los sistemas más extendidos, se basa en un teclado numérico o alfanumérico en el que se ha de introducir el código o palabra correctos para que el sistema permita el acceso.
- Identificadores de seguridad. El uso de tarjetas de identificación es el sistema más común en este tipo de sistema. Otro ejemplo es el uso de dispositivos con infrarrojos.
- Sistemas biométricos. Se basan en la autentificación bajo el reconocimiento de uno o más rasgos conductuales o rasgos físicos intrínsecos de las personas.
  Las huellas dactilares, la retina, el iris, los patrones faciales, los patrones de venas de la mano o la geometría de la palma de la mano, representan ejemplos de características físicas (estáticas), mientras que entre los ejemplos de características del comportamiento se incluye la firma, el paso y el tecleo (dinámicas).
  Dentro de las ventajas de la tecnología biométrica se encuentran: la ausencia de necesidad de llave o cualquier otro sistema para realizar una identificación y su alta seguridad, siendo uno de los sistemas de autentificación menos franqueables en la actualidad.
- Sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID): son dispositivos pequeños, que contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Existen dispositivos pasivos que no necesitan alimentación eléctrica interna, mientras que los activos sí lo requieren. Una de las ventajas del uso de radiofrecuencia (en lugar, por ejemplo, de infrarrojos) es que no se requiere visión directa entre emisor y receptor. Actualmente es un sistema en auge.
- Llaves codificadas: su función es la de identificar la llave ante el cilindro, el cual permitirá la apertura o no en razón a la codificación de la llave.
  Existen distintos tipos de cilindros tanto eléctricos, solo activan o desactivan un sistema de apertura eléctrico, como cilindros electromecánicos que complementan a los pines de los cilindros convencionales, permitiendo el giro directo del pasador mediante la llave en caso de ser la correcta.
- Acceso inalámbrico (Wifi, Bluetooth, NFC). Estas tecnologías, junto al uso generalizado de los smartphones hoy en día, están generando nuevos sistemas de apertura mediante dispositivos móviles.

1.3. Cerraduras en la actualidad

Actualmente los sistemas de cerraduras más usados están basados en el mecanismo de tambor de pines inventado por Linus Yale. A lo largo de los años se han ido inventando y perfeccionando métodos para forzar el tambor, siendo el más conocido actualmente el de “bumping”. Por esta razón, los fabricantes le han añadido al diseño original mejoras propias que han repercutido en aumentar la seguridad: sistemas anti-taladro, anti-bumping, anti-ganzúas, etc.

En cuanto a la forma del tambor o cilindro existen muchas variedades como el suizo, el CVL, el Fichet, etc. Pero el más conocido es el cilindro de euro-perfil, ya que es el estándar europeo y está avalado por todas las marcas.

La aparición de las llaves codificadas ha aumentado la seguridad contra la copia ilegítima de llaves; es por esto que los fabricantes están optando por esta asociación de sistema mecánico y de llave codificada.

Ilustración 3. Cilindro TESA TK100.

En la imagen se pude ver el cilindro de euro-perfil TK100 del fabricante TESA que combina las últimas novedades en diseño anti-bumping y anti-taladros con una llave codificada y patentada por la propia empresa.

Los sistemas de cierre electrónico están mucho menos extendidos que los manuales ya que suponen un coste y un mantenimiento más elevados. Sin embargo, en situaciones en las que se requiere un control de acceso y una seguridad elevada son la primera opción.

Entre los distintos tipos que existen, los cierres basados en teclado numérico están perdiendo cuota de mercado en pro de los cierres biométricos, que garantizan mayor seguridad y facilidad en su uso. Sin embargo siguen siendo muy usados como método secundario de autorización.

Ilustración 4. Cerradura electrónica Samsung SHS-5230.

La ilustración 4 muestra la última tecnología de Samsung en lo que refiere a cerraduras electrónicas. Este modelo además de permitir el acceso mediante huella dactilar, admite el acceso opcional por patrón numérico. Asimismo, cuenta con muchas otras opciones como control de accesos, acceso de doble seguridad (PIN + huella) y batería para casos de emergencia.

En cambio, los sistemas por identificadores de seguridad son muy usados en otros campos del mercado. El mejor ejemplo es su uso en hoteles, donde a los clientes se les asigna una tarjeta personal y temporal de identificación por banda magnética. Esto garantiza que el cierre solo permita la entrada durante la estancia del huésped en el hotel y que no se registren las huellas dactilares de los clientes, como ocurriría en el caso de usar cerraduras biométricas.

Pero actualmente los sistemas en auge son los basados en las tecnologías inalámbricas RFID, bluetooth, Wifi o NFC, ya que con estas tecnologías el Smartphone pasa a ser también la llave de la casa.

Un ejemplo es la cerradura Goji, que trabaja con tecnología Wifi; esta detecta el smartphone de los habitantes de la casa y mientras estos se aproximan desbloquea la puerta. Si es un visitante el que se acerca, la aplicación le saca una foto e informa al dueño de la casa, quien puede desbloquear la cerradura mediante una clave numérica.

Otro ejemplo de este tipo de cerradura es August, que trabaja con tecnología bluetooth por lo que no está conectada a internet pero, al igual que Goji, se abre cuando los habitantes de la casa se acercan a la puerta. En cambio, si se le quiere dar acceso a un visitante, se le ha de enviar una invitación a su smartphone que por bluetooth activa la cerradura.

Ambas funcionan a pilas y prescinden de accionamiento manual.

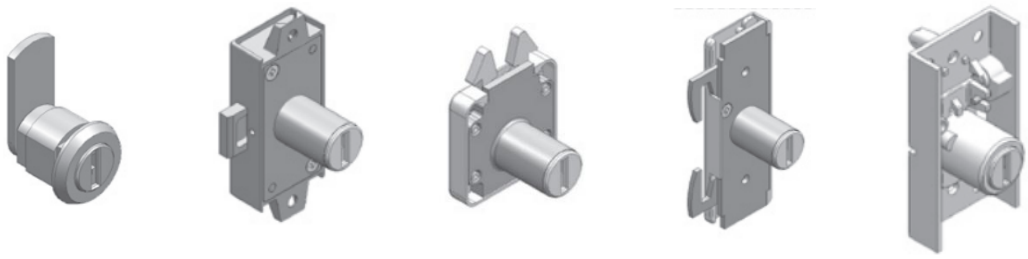
Ilustración 5. Cerradura Goji (izquierda) y August (derecha).

1.4. Cerraduras en armarios

Un armario es un mueble cerrado por medio de puertas ideado para guardar objetos, en cuya distribución interior puede haber estantes, colgadores y cajones. Las puertas pueden ser batientes, correderas o de cortina.

La seguridad en las cerraduras para armarios no es tan alta como en el caso de las cerraduras para puertas. Esto se debe a que en situaciones en las que se requiere mucha seguridad se opta por armarios y cajas acorazadas.

Existen distintitos tipos de cierres que varían en función del tipo de puerta que monte el armario. Cierres para puertas:



BATIENTES | DE CORTINA CON CIERRE VERTICAL | DE CORTINA CON CIERRE HORIZONTAL | CORREDERA

Ilustración 6. Tipos de cerradura manuales para armarios.

En la imagen anterior se puede ver un ejemplo de los distintos sistemas de cierres que existen y llevan la mayoría de armarios. Son sistemas simples, de fácil montaje y que no funcionan con tambor de pines, sino que se basan en la forma de la llave como única seguridad.

Los cierres electrónicos en armarios no hacen gala de una tecnología tan avanzada como las mostradas en el apartado anterior con los cierres en puertas. Suelen quedarse en sencillos sistemas basados en patrones o contraseñas numéricas, ya que incluir una tecnología actual supone un precio muy elevado en un mercado de precios muy ajustados.

Uno ejemplo de cierre electrónico es el SDC295 de la empresa SDC. Este trabaja con dos pilas AAA haciendo uso de un teclado numérico y un pequeño motor. Su funcionamiento es muy simple: mientras no se introduce el código numérico correcto, el dispositivo no permite su apertura; una vez es introducido el código el motor desbloquea el cierre y el usuario puede abrir la cerradura. El sistema no contiene ningún tipo de bloqueo en el cierre, por lo que podría ser forzada con gran facilidad y una vez se terminan las pilas se ha de desmontar la cerradura para sustituirlas.

Fabricante:	SDC
Modelo:	SDC-295
Ventajas:	**Inconvenientes:**
▪ Uso de pilas ▪ Apertura manual	▪ Difícil configuración ▪ Seguridad muy baja ▪ Cambio de pilas complicado
Precio:	110€
Dimensiones:	140x35x40 (mm)

Tabla 1. Ficha resumen SDC-25.

El modelo C-170 de LOCKET USA se basa también en la autentificación por teclado numérico, sin embargo prescinde del uso de apertura manual y el motor directamente controla el cierre. En caso de agotarse las pilas el cierre queda inutilizado ya que para cambiar las pilas se ha de desmontar.

Fabricante:	LOCKET-USA
Modelo:	C-170
Ventajas:	**Inconvenientes:**
▪ Uso de pilas	▪ Difícil configuración ▪ Seguridad muy baja ▪ Cambio de pilas complicado ▪ No posee apertura manual
PRECIO:	90€
Dimensiones:	130x40x50 (mm)

Tabla 2. Ficha resumen LOCKET-USA C-170.

La XS4-Locker de SALTO SYSTEMS es una cerradura especial para su adaptación a taquillas de gimnasio. Al igual que las anteriores bloquea el giro manual hasta que se realiza la autentificación, en cambio en este modelo la identificación, que en este modelo se realizaría mediante la lectura de una pulsera, tarjetas o llaveros de banda magnética, los que además usa para guardar en ellos el registro de actividad y el estado de sus pilas.

Fabricante:	SALTO SYSTEMS
Modelo:	XS4
Ventajas:	**Inconvenientes:**
▪ Uso de pilas ▪ Fácil configuración ▪ Alta seguridad	▪ No posee apertura manual
PRECIO:	180€
Dimensiones:	110x105x50 (mm)

Tabla 3. Ficha resumen SALTO XS4.

1.5. Conclusiones

La seguridad en las cerraduras ha ido en aumento en busca de aplacar los métodos que surgían para su forzado. Las cerraduras más usadas hoy en día montan cilindros de euro-perfil basados en el mismo sistema de pines que el de siglos pasados, pero con grandes mejoras como la llegada de las llaves codificadas que consiguen otorgar una muy alta seguridad a estos cilindros.

Esta seguridad en la apertura por llave no se ha llevado a los armarios, la mayoría funcionan con cerraduras simples de fácil forzado. Las razones son varias: mayores costes, mayor tamaño, etc.

Los cierres electrónicos siguen la misma línea, existen sistemas muy avanzados en puertas con accesos de tipo biométrico, bluetooth, Wifi, RFID... Pero cuando se habla de armarios, la tecnología más extendida es la del acceso por patrón numérico, siendo inexistentes los accesos por control biométrico u otras tecnologías similares.

Llevar la seguridad de los cilindros estandarizados y el control por acceso biométrico a un cierre con un tamaño y ergonomía que se adapte a múltiples sistemas de armarios supondría llevar una tecnología novedosa a este segmento del mercado.

2. NORMATIVA

En este punto se listan las normas de interés para la realización del proyecto.

UNE-EN 16014	Herrajes para muebles. Resistencia y durabilidad de las cerraduras.
UNE 85413	Herrajes para puertas. Cerraduras. Dimensiones.
UNE 85413	Herrajes para puertas. Cerraduras. Nomenclatura.
UNE-EN 1303	Herrajes para la edificación. Cilindros para cerraduras. Requisitos y métodos de ensayo.
UNE 97-320-88	Herrajes para puertas. Cerraduras de embutir. Definiciones, clasificación, designación.
UNE 97-320-89	Herrajes para puertas. Cerraduras de embutir. Definiciones, clasificación designación.
UNE 97-321-88	Herrajes para puertas. Cerraduras de embutir. Ensayos.
UNE 97-321-89	Herrajes para puertas. Cerraduras de embutir. Ensayos.
UNE 85-401-90	Herrajes para puertas. Cerraduras de sobreponer. Definiciones, designación, clasificación.
UNE 85-402-90	Herrajes para puertas. Cerraduras de sobreponer. Ensayos.

Tabla 4. Normativa aplicable al proyecto.

3. OBJETO

El objeto del presente proyecto es la realización del diseño completo de un cierre inteligente para su utilización en armarios de almacenaje. Su acceso se desea controlar mediante huella dactilar y se pretende mantener un registro del mismo fácilmente accesible al administrador del sistema.

Se buscará un sistema novedoso respecto a lo que ofrece el mercado y en el que prime la seguridad ante posibles asaltos físicos o digitales.

Todo lo expuesto en este proyecto se llevará a la práctica con la construcción de un prototipo totalmente útil. Es por ello, que el diseño final se adaptará a los materiales y métodos de fabricación de los que se dispone en la Universidad de Oviedo para la fabricación del mismo. Lo que puede ocasionar que el prototipo final no sea todo lo óptimo que podría llegar a ser disponiendo de los medios apropiados. Aun así, los cálculos y diseños se realizarán bajo el supuesto de disponer de estos medios, explicando en cada caso las modificaciones que se han realizado para la viabilidad de dicho prototipo.

3.1. Requisitos y especificaciones

En este apartado se establecen los requisitos/especificaciones obligatorios que el diseño deberá cumplir, así como requisitos opcionales cuya implementación será estudiada.

Requisitos mecánicos:

- El diseño se realizará para un armario de tipo cortina.
- Se combinará una apertura electrónica con una apertura manual por llave.
- El sistema de apertura manual implementará un cilindro estandarizado de europerfil
- El usuario no debe tener acceso a ningún mecanismo interno.
- El diseño ha de superar los ensayos establecidos por la normativa (simulados).
- Se buscará un diseño con fácil adaptación a una fabricación en serie.

Requisitos eléctrico/electrónicos:

- Diseño con consumo reducido.
- Los usuarios no tendrán acceso a los componentes electrónicos.
- La PCB será de fácil acceso en su mantenimiento.

Requisitos de control:

- Identificación mediante huella dactilar.
- Acceso remoto al cierre.
- Registro de accesos realizados en el último mes.
- Se han de tomar medidas contra ataques digitales.

Requisitos opcionales:

- Bloqueo del cierre.
- Realización de una página web que facilite el control y acceso remoto del cierre.
- Alimentación mediante baterías.
- Cierre válido para su uso en distintos tipos de armarios.

4. PLANTEAMIENTO

En este apartado se realiza un planteamiento inicial que deja establecidas nuevas e importantes especificaciones que debe cumplir el diseño en base a los requisitos previamente determinados. El objetivo principal es acotar todo lo posible el proyecto en esta fase temprana con el fin de facilitar el trabajo en las posteriores etapas de diseño.

4.1. Gestión del sistema

La primera decisión que se va a tomar es la manera en la que se gestionará el acceso mediante control biométrico. Para ello surgen dos opciones:

Sistema centralizado (SC): control biométrico y gestión de acceso implementados en el cierre. Por lo que en el caso de existir varios armarios cada uno cuenta con su propio módulo de detección biométrica y su propio sistema de control de accesos.

Sistema descentralizo (SD): existe una centralita externa al cierre dotada con el modulo biométrico y el sistema de gestión de accesos. Esta informa al cierre o cierres de cuándo está permitida su apertura.

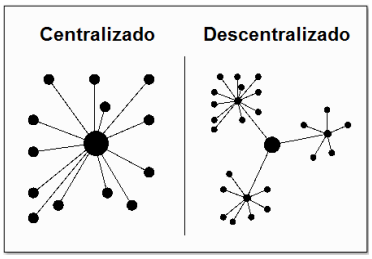


Ilustración 7. Sistema centralizado vs descentralizado.

A continuación se estudia qué sistema ofrece mejores características en distintos aspectos con el fin de valorarlos y escoger el más adecuado:

- Multi-sistema: en el caso de optar por un cierre en base a un SC cada cierre actúa con independencia de los demás y sólo abre su puerta. Por el contrario, en un SD la centralita permite la apertura de varias cerraduras de forma simultánea, agilizando las tareas al usuario al tener que identificarse solamente una vez.
- Dimensiones: Las cerraduras en un SD contarían con un tamaño mucho menor que un SC ya que se desprenden del módulo biométrico y del sistema de gestión de accesos.
- Precio: cuanto mayor sea el número de armarios instalados, más económico es el SD y viceversa, cuanto menor sea, más barato es el SC. Esto se debe a que con un SD sólo se necesita un único sensor de huella y sistema de gestión de accesos, por lo que las cerraduras se libran de componentes muy caros.
- Seguridad: el SC es más seguro debido a que sólo gestiona el acceso y la gestión de un único armario, por lo que en casos en los que varios usuarios deseen abrir los armarios el SC gestiona muy bien dichos accesos. En cambio el SD, aunque permite el acceso a varios usuarios, no puede concretar el usuario específico que está accediendo al armario.

En resumen, si se opta por un sistema descentralizado: las cerraduras trabajarían en conjunto, tendrían un tamaño menor y serían más baratas cuanto mayor fuese el número de cierres implementados. En cambio, en situaciones en las que varios usuarios hagan uso de los armarios, es un sistema menos seguro.

Se decide la implementación de un sistema descentralizado debido a que cuenta con mayores ventajas que un sistema centralizado. El problema de seguridad que surge en situaciones multi-usuario será estudiado y subsanado lo mejor posible en la etapa de control mediante métodos de temporización y de una sola apertura.

4.2. Fuente de alimentación

Otro factor importante a tener en cuenta es la fuente de alimentación. Si el cierre es instalado en un único armario, alimentarlo mediante la red eléctrica sería la mejor opción. Pero las ventajas del uso de un sistema de gestión descentralizado son mayores cuantos más cierres trabajan conjuntamente. Bajo este supuesto, llevar la alimentación mediante cable a todos los armarios supondría dificultar la ergonomía y la instalación de los cierres.

Por ello, el uso de baterías se ve como el mejor método de alimentación, siempre y cuando otorgue una autonomía mínima a los cierres, ya que con él se conseguiría:

- Una instalación más rápida. Sólo es necesario instalar el cierre electrónico, mientras que de otro modo, sería necesario llevar un cable tras o a través de la puerta para alimentarlo. Esta tarea sería más ardua cuantos más cierres se instalasen.
- Mayor seguridad. De lo dicho en el anterior punto también se deduce una mayor seguridad por tres razones:
  - No es necesaria corriente alterna.
  - Se evita el riesgo de que el cable se dañe al abrir o cerrar las puertas.
  - El usuario no tiene acceso a componentes eléctricos.
- Independencia de la red eléctrica. Gracias al uso de baterías, el cierre se puede instalar en armarios alejados de la red eléctrica o sin tener que hacer modificaciones en la misma para su implementación.

Ya que el uso de baterías no se ha establecido como un requisito obligatorio sino opcional, durante el desarrollo del proyecto se estudiará su implementación. Siempre y cuando su recarga no sea necesaria en un mínimo de 120 días con un uso medio diario de 20 cierres/aperturas, la viabilidad de las baterías se dará por positiva. Si no se cumplen las condiciones anteriormente expuestas, se optará por el uso de la red eléctrica como alimentación.

4.3. Dimensiones máximas

Como se comenta en el objeto de este proyecto, uno de los objetivos principales del mismo es la construcción de un prototipo viable al término del mismo, adaptándolo a los materiales y medios de fabricación de los que dispone la Universidad de Oviedo Aunque estos pueda suponer que las dimensiones del prototipo sean elevadas, se pretende conseguir un prototipo totalmente útil limitando su tamaño y teniendo en cuenta las dimensiones de las cerraduras estudiadas en el apartado 1.4. Las dimensiones máximas establecidas son:

ANCHURA	120 mm
ALTURA	150 mm
PROFUNDIDAD	60 mm

Tabla 5. Dimensiones máximas establecidas para el prototipo.

5. DISEÑO MECÁNICO

En este apartado se explicará todo lo relacionado con el diseño y fabricación de los componentes que forman el mecanismo del cierre electrónico.

El diseño se efectuará en base a todo lo expuesto en este documento en los apartados anteriores. Se comenzará diseñando los sistemas de accionamiento manual y electrónico, posteriormente se diseñará el sistema de cierre conjunto y finalmente los elementos restantes.

Una vez el diseño se encuentre terminado, se realizarán análisis dinámicos y de solicitación (mediante el método de elementos finitos) a los componentes adecuados con el fin de realizar una validación final del conjunto.

3

5.1. Accionamiento por llave

Uno de los requisitos y objetivos de este proyecto es llevar la seguridad de la que están dotados las cerraduras de las puertas a los cierres en armarios. Para ello, un componente clave, del que están dotadas la mayoría de las puertas y les da una mayor seguridad, es el cilindro de tambor de pines.

Como ya se ha explicado en la introducción a este proyecto, gracias a este sistema sólo la llave correcta es capaz de mover la leva. Pero la forma en la que esta leva interacciona con el mecanismo para realizar el cierre puede realizarse de muchas maneras distintas, incluso existen variaciones de cilindros que sustituyen la leva por un pequeño engranaje.

A continuación se exponen los conceptos surgidos para realizar este accionamiento, así como la selección del más idóneo y del cilindro comercial.

5.1.1 Conceptos

5.1.1.a. Concepto I: Cierre con bloqueo.

El primer diseño que se propone se basa en dos piezas superpuestas: una guía horizontal (GH), que se encuentra restringida de tal forma que solo se puede desplazar sobre el eje horizontal; y la segunda, una guía vertical (GV), que sólo se traslada en el eje vertical. La GV cuenta con un tope que impide el movimiento de la GH, de esta manera la cerradura se encuentra bloqueada por defecto.

Cuando el usuario gira la llave, la GV es elevada por la leva. Al elevarse, su tope libera la GH permitiendo su desplazamiento. Una vez la llave supera los 180º, la leva comienza a desplazar a la GH a la nueva posición mientras mantiene elevada la GV. Una vez la leva termina su desplazamiento, la GV comienza a descender ayudada por un muelle que asegura el bloqueo de la GH.

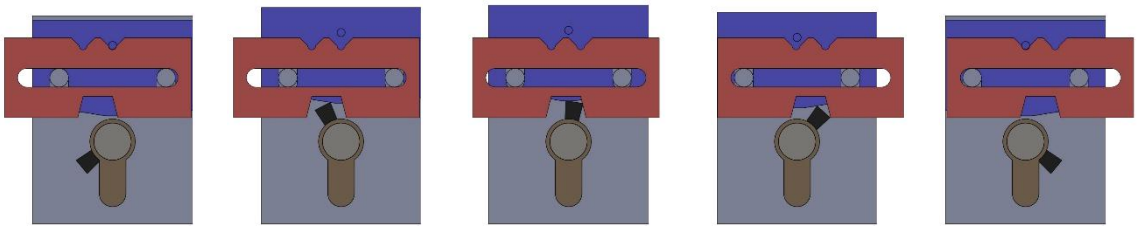


Ilustración 8. Funcionamiento del Concepto I de apertura manual.

Lo que se consigue con este diseño es transformar el movimiento rotacional de la leva en un pequeño movimiento lineal para que sea usado por el sistema de cierre.

5.1.1.b. Concepto II: Cierre con engranaje.

Este concepto, al igual que el expuesto anteriormente, se basa en dos piezas superpuestas con comportamiento análogo al del concepto I: Una guía horizontal (GH) que solo permite el desplazamiento en dicho eje y una guía vertical (GV) que limita el movimiento al eje vertical. La diferencia principal nace del cilindro, que sustituye la leva por un engranaje.

La GV cuenta con un tope que ejerce presión en todo momento contra la GH ayudándose de un muelle. Cuando el usuario gira la llave, el engranaje (no normalizado) mueve la GH mediante el engrane con la zona dentada de la misma. Durante el giro se ha de vencer la presión que ejercer la GV sobre la GH.

La utilidad del tope es la de mantener la cerradura en la posición final cuando el usuario ya no gire la llave. En este concepto se aprovechan los 360 grados de giro del tambor para el desplazamiento de la GH, pero no cuenta con bloqueo de la misma.

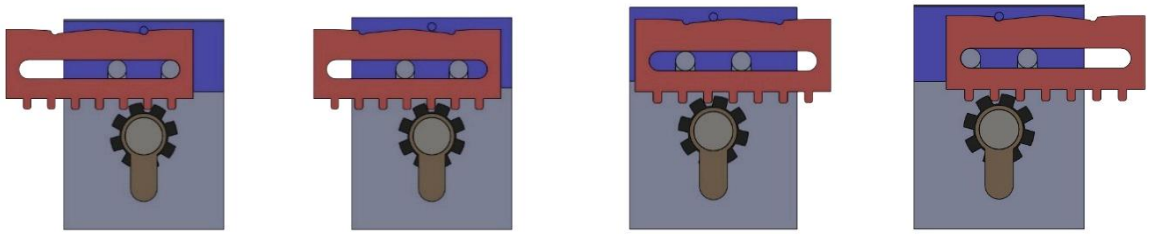


Ilustración 9. Funcionamiento del Concepto II de apertura manual.

5.1.2 Selección de ideas

Para la valoración y selección objetiva de los conceptos expuestos anteriormente se procede a realizar una calificación ponderada de aspectos que se creen importantes en el sistema de accionamiento por llave:

ASPECTO	PONDERACIÓN	CONCEPTO I		CONCEPTO II	
Recorrido de la guía horizontal	15%	3	0,45	10	1,5
Dimensiones necesarias en el eje vertical	15%	5	0,75	7	1,05
Dimensiones necesarias en el eje horizontal	15%	7	1,05	3	0,45
Seguridad	20%	8	1,6	4	0,8
Ergonomía	10%	8	0,8	6	0,6
Facilidad de diseño	10%	7	0,7	6	0,6
Facilidad de fabricación	15%	7	1,05	6	0,9
RESULTADOS	100%		**6,4**		**5,9**

Tabla 6. Selección de conceptos para el sistema de accionamiento manual.

A la vista de los resultados, el diseño se basará en el concepto I. Su mayor seguridad al poseer un sistema de bloqueo, así como su mayor facilidad en el diseño y fabricación, han sido los aspectos que han favorecido su elección.

5.1.3 Selección de cilindro

Una vez se conoce el sistema de accionamiento por llave a diseñar, se realiza la búsqueda de un cilindro comercial que se adapte a las necesidades. Las características principales que se valoran son:

- Sistema por leva.
- Tipo euro-perfil.
- Poca longitud de cañón. Se busca un cilindro mono-perfil (un único acceso de llave) y con una longitud reducida para conseguir un cierre lo menos profundo posible.

En base a estas características se selecciona el cilindro F5 de ISEO con una longitud de 40mm.

Este fabricante oferta cilindros con sistemas anti-bumping, anti-taladro y con llave codificada de mayor seguridad y las mismas medidas que el cilindro seleccionado. Pero debido a que dichas características de seguridad no influyen en el resultado del proyecto, se selecciona la opción más económica para su implementación en el prototipo.

5.2. Accionamiento electrónico

El siguiente paso es la concepción del accionamiento electrónico; los conceptos han de tener en cuenta la apertura manual y asegurar que en caso de que se produzcan los dos accionamientos simultáneamente, el cierre no sufra ningún daño.

5.2.1 Ideas

5.2.1.a. Concepto I: Motor pivotante.

El primer concepto propuesto funciona en base a un sistema de engranajes. Tanto el motor encargado de abrir el cierre como el gancho del cierre cuentan con un engranaje que los mantiene engranados por defecto. El accionamiento por llave explicado anteriormente, mueve un engranaje inferior que cuenta con un corte para permitir el giro de la cerradura cuando no se actúa sobre la llave. Un muelle mantiene la cerradura cerrada por defecto.

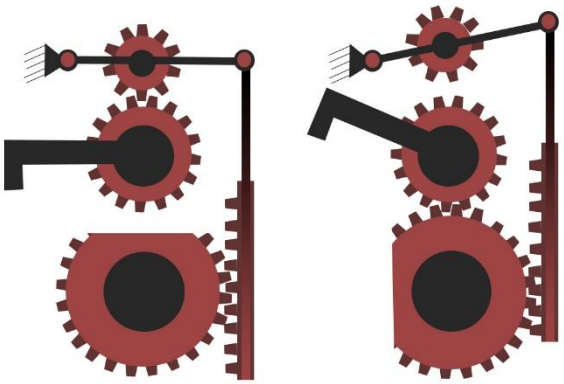


Ilustración 10. Funcionamiento del Concepto I de apertura electrónica.

Cuando el usuario gira la llave el engranaje:

- En un principio eleva el motor gracias a una cremallera.
- Una vez desengranado el motor, el engranaje de la llave sigue girando hasta que engrana con el cierre procediendo a la apertura.

A continuación se resumen las características principales del concepto:

- El sistema de accionamiento manual y electrónico son independientes, por lo que aunque el usuario interfiera accionando la llave mientras el motor mueve la cerradura, no se producen daños en el mecanismo.
- Si la cerradura es abierta por llave, debe ser cerrada por el mismo método. Si el usuario abre la cerradura y la deja abierta, no puede usarse el motor para bloquear la cerradura debido a que el motor no se encuentra engranado.

- Al estar en constante engrane y desengrane tanto el sistema manual como el electrónico pueden producirse desajustes en el cierre.
- Del sistema de cierre manual seleccionado en el apartado anterior se obtiene un recorrido muy corto en la guía horizontal encargada de mover el engranaje inferior. Por esta razón en el concepto propuesto no se conseguiría girar el engranaje el rango necesario, haciéndose necesario la inclusión de una etapa de engranajes intermedia para la ampliación de ese giro.
- Para conservar la puerta abierta mediante el uso de motor se ha de mantener el motor alimentado.
- El tamaño del mecanismo es muy elevado y no posee bloqueo.

5.2.2 Concepto II: Motor móvil.

Este concepto se basa también en un sistema por engranajes. En él, el engranaje inferior se mantiene bloqueado gracias al bloqueo del sistema por llave y de esta manera bloquea el engranaje intermedio al que se encuentra engranado. Al actuar el motor (engranaje superior) este se mueve sobre el engranaje medio abriendo la cerradura.

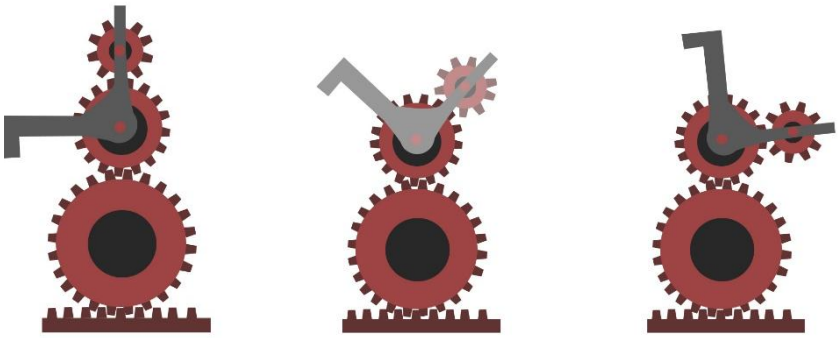


Ilustración 11.Funcionamiento del Concepto II de apertura electrónica (motor).

Cuando el usuario abre mediante la llave, la guía horizontal (cremallera) mueve el engranaje inferior haciendo girar el engranaje medio y moviendo el conjunto (gancho-motor), consiguiendo abrir la cerradura.

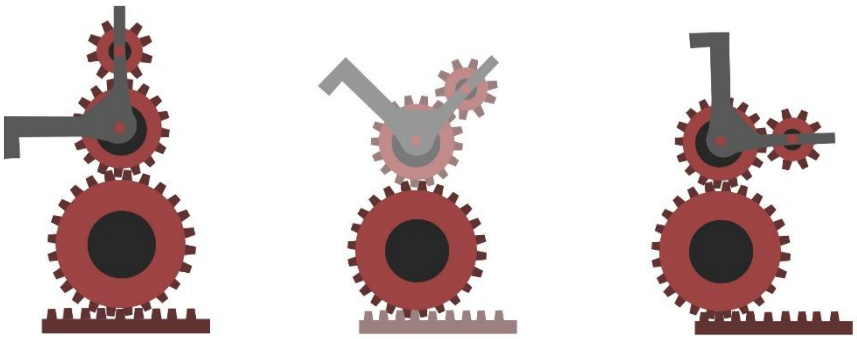


Ilustración 12.Funcionamiento del Concepto II de apertura electrónica (llave).

Características principales:

- Este mecanismo siempre se encuentra engranado.
- Si el usuario desbloquea el cierre mediante llave, este puede ser cerrado mediante motor. En ese caso la guía horizontal quedaría bloqueada en la posición de desbloqueo, impidiendo desbloquear la cerradura de nuevo mediante llave en caso de ser requerido. Lo mismo ocurre en el caso de que el usuario bloquee el cierre mediante llave y el motor lo desbloquee, quedando la guía horizontal en posición de bloqueo.
- El motor requiere de una reducción elevada, ya que se ha de garantizar que mantenga su posición fijada cuando no esté alimentado y sea movido cuando se abre por llave.

- El cierre no bloquea sino que es sustentado por la reducción del motor.
- Al igual que en el concepto anterior, se hace necesario la integración de una etapa de engranajes para ampliar el giro del engranaje inferior.

5.2.3 Concepto III: Motor fijo.

Por último se propone un concepto más sencillo, compuesto por dos engranajes: el primero unido a un motor y el segundo unido al cierre. A estos dos engranajes engrana una cremallera unida a la guía horizontal.

Cuando el usuario gira la llave, el sistema desliza la guía horizontal, y con ello la cremallera, abriendo el cierre y girando el motor (no alimentado).

Para proceder a la apertura electrónica un motor auxiliar ha de desbloquear la guía horizontal elevando la guía vertical. Una vez desbloqueada, el motor principal mueve la cremallera y esta gira el engranaje del cierre logrando abrir la cerradura. Finalmente el motor auxiliar baja la guía vertical boqueando el cierre en la nueva posición.

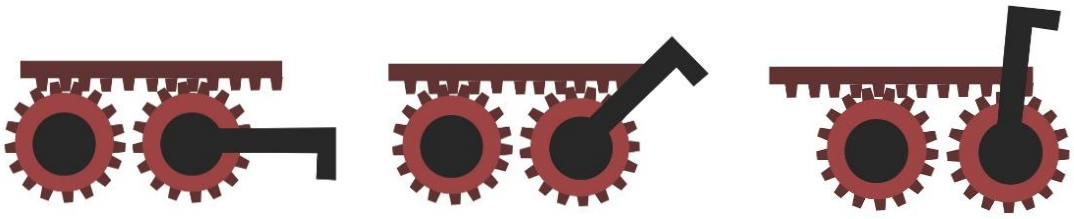


Ilustración 13. Funcionamiento del Concepto III de apertura electrónica.

Características principales:

- Este mecanismo siempre se encuentra engranado.
- El motor ha de tener un par suficiente para mover la guía horizontal y el cierre, y que este permita a la cremallera desplazarse cuando sea el accionamiento manual el que actúe.
- Si los dos accionamientos (electrónico y manual) son accionados al mismo tiempo no se obstaculizan entre ellos, sino que se ayudan.
- No se hace necesaria una etapa extra de engranajes.
- Se hace necesario un motor extra para el desbloqueo del cierre.

5.2.4 Selección de ideas

Para la valoración y selección objetiva de los conceptos expuestos anteriormente se procede a realizar una calificación ponderada de aspectos que se creen importantes en el sistema de accionamiento electrónico:

ASPECTO	PONDERACIÓN	CONCEPTO I		CONCEPTO II		CONCEPTO III	
Seguridad	25%	5	0,45	4	0,6	8	2
Relación de los accionamientos	10%	4	0,4	6	0,6	8	0,8
Dimensiones	15%	3	0,45	4	0,6	7	1,05
Posibles desajustes	10%	3	0,3	5	0,5	8	0,8
Número de motores	10%	10	1	10	1	3	0,3
Facilidad de diseño	10%	6	0,6	7	0,7	9	0,9
Facilidad de fabricación	10%	7	0,7	7	0,7	8	0,8
RESULTADOS	100%		**4,7**		**5,1**		**6,6**

Tabla 7. Selección de conceptos para el sistema de accionamiento electrónico.

En vista a los resultados se selecciona el concepto III que consigue mejores resultados en todos los aspectos menos en el número de motores necesarios para su implementación.

5.2.5 Selección de actuadores

Como último paso, en esta sección se realiza la elección de los actuadores para la realización del cierre electrónico. Se efectúa en esta fase temprana del proyecto debido a que el diseño ha de adaptarse a las dimensiones y formas de actuación de los mismos. Se contemplan como opciones el uso de:

- Motor CC: máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio gracias a la acción del campo magnético.
- Servomotor: dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición.

El concepto seleccionado implica la necesidad de utilizar dos actuadores para fines diferentes por lo que se estudian por separado:

- Actuador de cierre: encargado de realizar el giro del engranaje central y mover la guía horizontal. Para este accionamiento se elige un motor de CC por las siguientes razones:
  - Cuando el actuador no está siendo accionado este ha de ejercer la menor resistencia posible para facilitar la apertura manual. Los servomotores no suelen facilitar esta acción ya que suelen contar con una etapa de reducción muy amplia.
  - En caso de usarse un servomotor puede dar lugar a posibles desajustes perjudiciales para el correcto funcionamiento e incluso daños en los engranajes internos debido al movimiento del eje cuando el actuador esta desactivado. Estos desajustes y daños se evitan con el uso de un motor y finales de carrera.
  - Los motores de CC son más pequeños.
- Actuador de desbloqueo: encargado de realizar la elevación de la guía vertical para el desbloqueo del cierre. Para este accionamiento se elige un servomotor ya que:
  - No es necesaria mucha precisión para esta acción.
  - Se prescinde de finales de carrera.
  - Se puede mantener en una posición prestablecida y fija.

A continuación se muestran el motor y servomotor seleccionados para el proyecto:

- DC Micro Metal de Polulu: un motor de dimensiones reducidas y un reductor que disminuye las rpm y aumenta el par en el eje de salida.

Ilustración 14. Micro Metal Gear de Polulu.

Se ha seleccionado este motor por su pequeño tamaño y porque existen distintos modelos del mismo que, conservando las mismas dimensiones, ofrecen diferentes tipos de reducción. Se adaptará el diseño a este modelo y cuando se realicen los estudios pertinentes sobre las solicitaciones a las que se verá expuesto, se procederá a seleccionar el coeficiente de reducción deseado.

- Power HD DS65HB: se trata de un micro servo que encuentra un buen compromiso entre potencia y tamaño y es ideal para pequeños mecanismos. Internamente tiene electrónica digital para mejorar la precisión.

Ilustración 15. Microservo Power HD DS65HB.

La elección de este servo se debe a su pequeño tamaño, su precio comedido y un par que se cree más que suficiente de 1,5 Kg/cm. En caso de que el estudio de solicitaciones revele que el par no es suficiente, se buscará una alternativa a este servo.

5.3. Diseño en detalle

En este apartado se procede a explicar el diseño final que se ha realizado en base a los requisitos y conceptos especificados anteriormente.

Este diseño aúna los conceptos de apertura manual y electrónica tratando de reducir todo lo posible el tamaño del cierre. Previamente se realizó un estudio estático como una primera comprobación de la validez de los actuadores seleccionados (véase ANEXO I: Análisis estáticos previos al diseño)

En un primer apartado se presenta el diseño final y se explican sus características generales, a continuación se explican en detalle los componentes y sistemas secundarios más importantes.

5.3.1 Presentación del diseño

El diseño final consta de unas medidas exteriores de 110x85x57mm y un peso (con componentes finales) de 595 gramos.

De cara al usuario, se ha buscado un diseño sencillo y ergonómico. Colocando el cilindro en la zona inferior izquierda y a su derecha el pulsador e indicadores luminosos que informan sobre el estado del cierre. La apertura manual se realiza en menos de 1 segundo y la electrónica se demora entre 3 y 7 segundos dependiendo del tiempo de conexión del bluetooth.

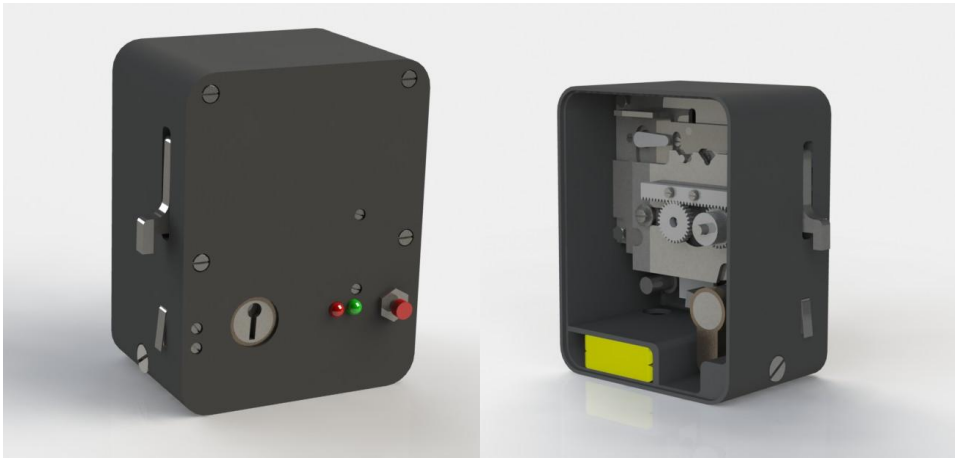


Ilustración 16. Diseño final de cierre electrónico.

5.3.2 Guía horizontal

Junto a la guía vertical, la guía horizontal es una de las piezas más importantes de la cerradura ya que su movimiento bloquea y desbloquea el cierre. La pieza final nace de una chapa de 2mm de espesor y unas dimensiones de 65x48 mm. En ella se realiza una ranura de 7 mm de diámetro y 53 mm de largo. Esta ranura será la encargada de sujetar la pieza y restringir su deslizamiento al eje horizontal.

En la parte inferior derecha se encuentra la zona de empuje de la leva. La leva en su giro es capaz de desplazar la pieza aproximadamente 11 milímetros, misma distancia que separa las dos posiciones de bloqueo en la zona de trabado situada en la parte superior de la pieza. Esta zona superior consta de rampas que facilitan al tope alcanzar la posición de bloqueo.

Para que el engranaje central no choque con la pieza, se amplía el tamaño de la ranura en la zona central. De la misma manera se realizan modificaciones, como la inclusión de espacio para los tornillos y el servo consiguiendo evitar la colisión de la pieza con otros componentes.

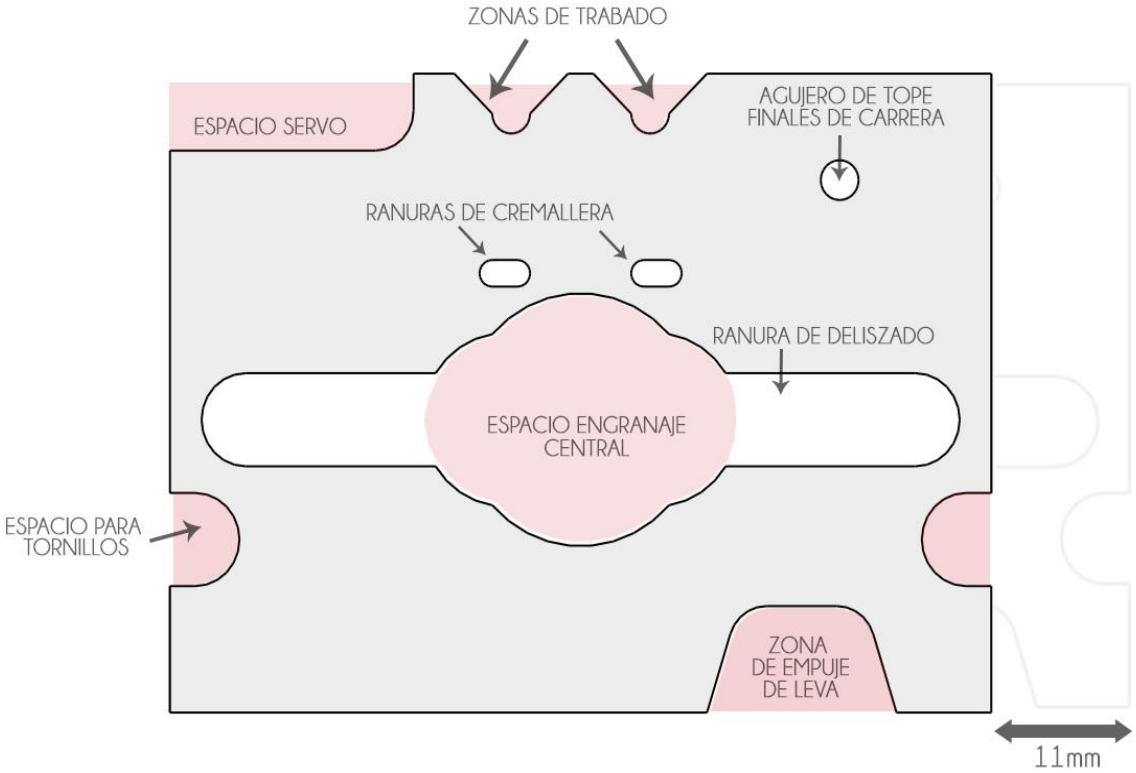


Ilustración 17. Esquema guía horizontal.

Por último, esta cuenta con un agujero donde será insertada una barra de acero de 10 mm de largo que atravesará la guía vertical y el soporte accionando el final de carrera correspondiente cuando la pieza llegue al final de su recorrido.

5.3.3 Guía vertical

La guía vertical se diseña a partir de una chapa de 2 mm de 70x79mm. Su forma externa se adecua al diseño para no colisionar contra ningún otro componente del mismo.

Consta de dos ranuras las cuales dan soporte y restringen el movimiento de la pieza al eje vertical. El orificio central deja espacio al engranaje, a los tornillos de fijación de la cremallera y a los finales de carrera.

La pieza en la zona inferior dispone de una doble rampa donde actúa la leva reduciendo el radio de giro que ha de realizar el usuario para destrabar el cierre. Para cumplir esta misma acción de manera electrónica, en la parte superior izquierda existe un pliegue a 90º que es usado por el servo por elevar la pieza. La distancia que se precisa elevar para desbloquear el cierre es de unos 5 mm, pero por seguridad tanto como el accionamiento electrónico como el manual elevan la pieza unos 8mm, además las ranuras de deslizado permiten 10 mm de recorrido por si se producen desajustes.

Como en la guía horizontal, la guía vertical también cuenta con agujeros en los que se insertarán tres pequeñas secciones de barra de 3mm de diámetro con diferentes medidas y funciones:

- Tope de bloqueo: Su función es trabar la guía horizontal manteniendo el cierre bloqueado.
- Sujeción de muelle: A esta irá sujeto un muelle que forzará a la guía vertical a bloquearse. (Ver ANEXO III. Cálculo del muelle).
- Seguro: barra suplementaria que da más seguridad al cierre.

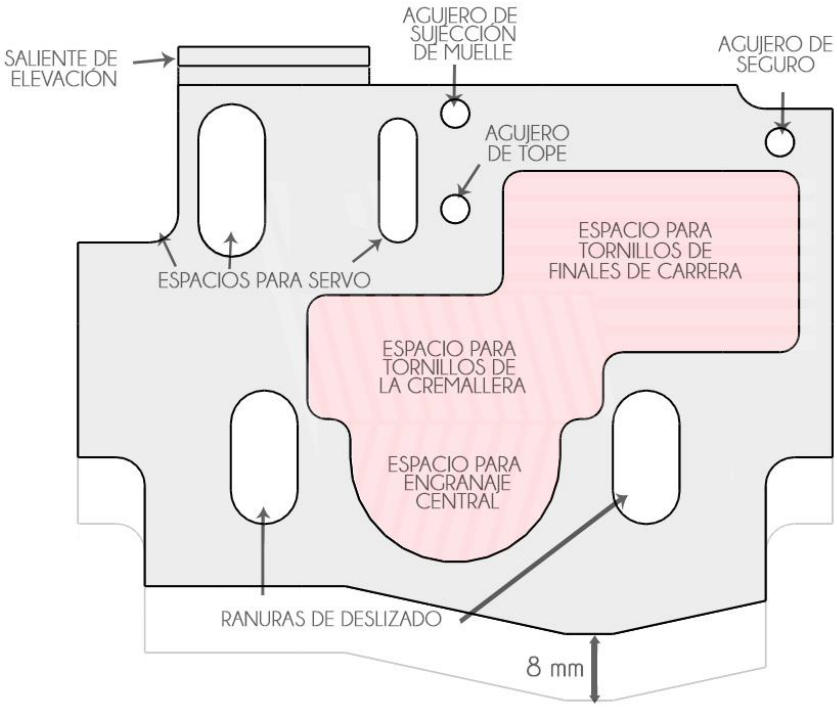


Ilustración 18. Esquema guía vertical.

5.3.4 Soporte

Esta pieza da sustento al sistema de cierre y dispone el mecanismo justo encima de la leva del cilindro. Sus formas, ranuras y orificios nacen para dar cabida y sujeción a todos los componentes y tornillos necesarios.

5.3.5 Engranajes y cremallera

El diseño busca aprovechar en la medida de lo posible el giro de la leva para lograr el máximo recorrido en el movimiento de la guía horizontal, resultando finalmente este de unos 11mm.

Ese recorrido ha de conseguir girar el gancho de cierre entre los 75º y los 90º para ocultarlo en el interior de la carcasa y para ello se sirve de un engranaje movido por una cremallera situada en la guía. Por ello se hace necesario calcular el rango de diámetro nominal aceptable para el engranaje:

$$\Pi \cdot d = 11 \cdot (360/90) \qquad d = 14 \text{ mm}$$

$$\Pi \cdot d = 11 \cdot (360/75) \qquad d = 16{,}8 \text{ mm}$$

El diámetro nominal del engranaje se ha de encontrar entre los 14 y los 16,8 mm para cumplir con las condiciones establecidas. Ya que el mecanismo no va a ser sometido a grandes solicitaciones se decide usar un engranaje de módulo 0,5mm debido a que produce menos holguras entre dientes. Por lo que son válidos engranajes de entre 28 y 33 dientes.

Para el diseño final se ha decidido implementar dos engranajes de 30 dientes y módulo 0,5.

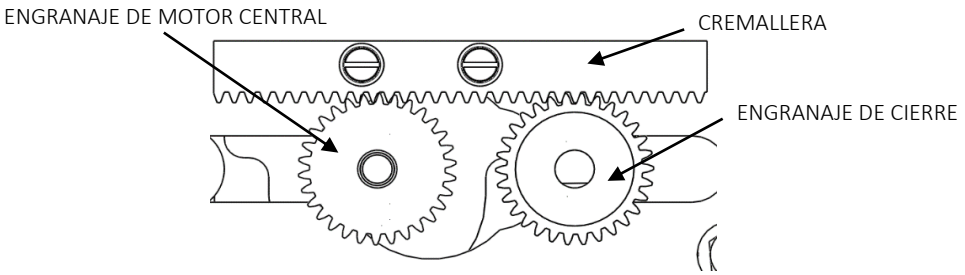


Ilustración 19. Engranajes y cremallera.

5.3.6 Cierre

Buscando reducir todo lo posible el tamaño del mecanismo se aprovecha uno de los apoyos necesarios para la sujeción de las guías para dar cabida al eje del sistema de cierre.

El cierre consta de 4 piezas:

- Engranaje: transmite el movimiento de la cremallera de la guía horizontal al eje del cierre.
- Eje: Con una longitud de 47 milímetros, su función es la de trasmitir el giro desde el engranaje hasta el gancho de cierre al que, además, da apoyo. Debido a lo reducido del tamaño se prescinde del uso de rodamientos, por lo que se buscarán tolerancias y materiales adecuados que faciliten todo lo posible el giro.
- Casquillo: Que el cierre se implemente en una de las sujeciones de las guías da lugar a que esté expuesto al movimiento de las mismas. Esto podría causar que las guías frenasen o trabasen el eje. La función del casquillo es la de absorber esas incidencias y evitar que lleguen al eje que gira libremente en su interior.
- Gancho de cierre. Su función es la de cerrar el armario una vez se bloquea la cerradura. Su movimiento se lo transmite el eje al que va unido mediante un pasador.

En la siguiente ilustración se esquematiza la posición de los componentes:

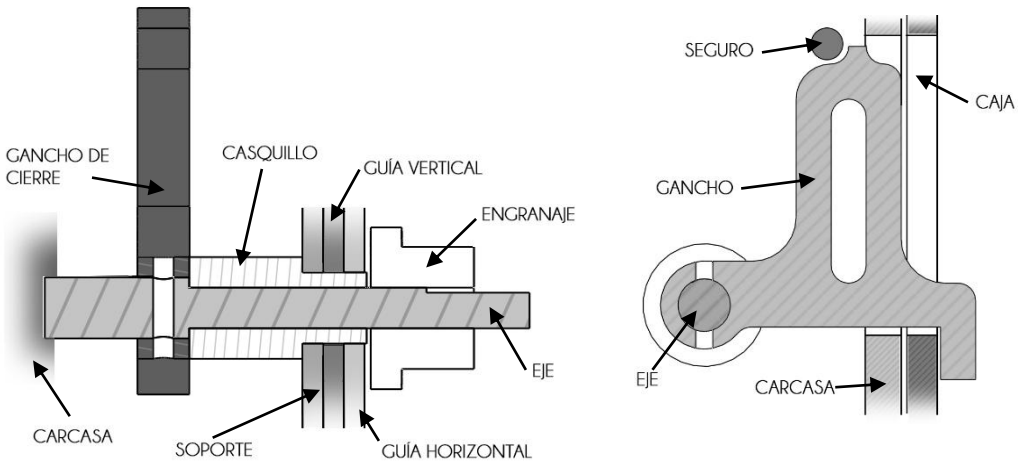


Ilustración 20. Sistema de cierre.

5.3.7 Carcasa

La carcasa no sólo oculta el mecanismo y da el aspecto exterior a la cerradura, sino que es parte importante del cierre al dar apoyo a todos los componentes.

En su parte central cuenta con un apoyo para el eje del cierre que queda sujeto una vez se coloca el soporte sobre su correspondiente apoyo exterior. Justo debajo existe otro apoyo para el cilindro, que es introducido a presión y sujeto mediante un tornillo pasante. El espesor de este apoyo se ha aumentado para darle estabilidad al cilindro.

La carcasa también cuenta con los orificios y sustentos necesarios para todos los componentes electrónicos que los requieren.

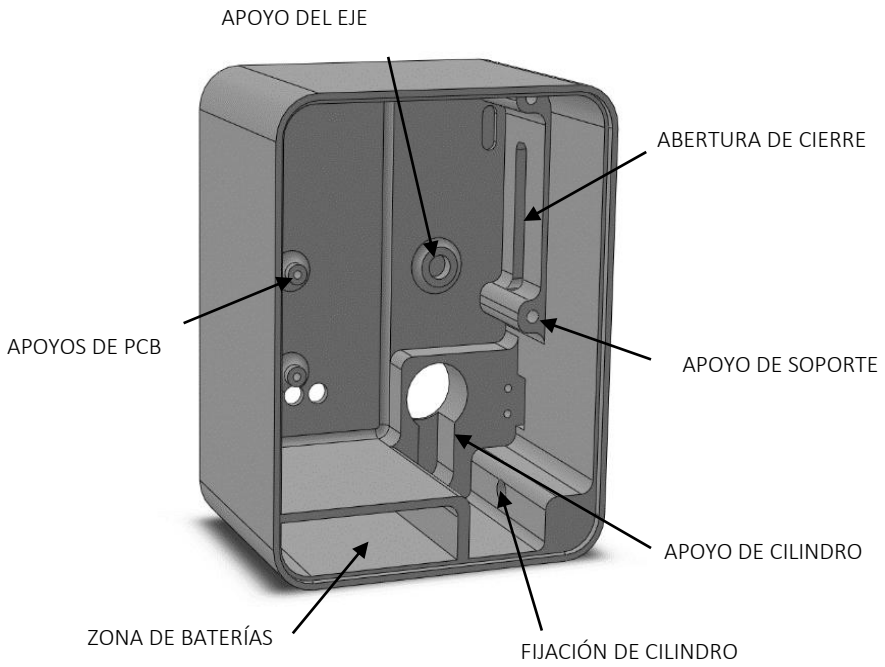


Ilustración 21. Carcasa.

Como se explica más adelante, este componente será fabricado mediante fabricación aditiva en ABS, lo que implica varios cambios en el diseño inicial planteado:

- El ABS no posee las características necesarias para realizar un roscado funcional. Por esa razón todas las sujeciones que en principio iban a ser mediante agujero roscado se han sustituido por sujeciones mediante un tornillo pasante.
- Como la resistencia del ABS es menor que la de cualquier metal, se han reforzado zonas que podrían no soportar las solicitaciones mínimas a las que el cierre va a estar expuesto.

5.3.8 Sujeción

Como uno de los objetivos marcados en el proyecto es la construcción de un cierre totalmente útil, se genera la necesidad de idear un sistema de sujeción para armarios.

El sistema diseñado consiste en dos perfiles angulares que se remachan al cierre. Con esta solución el usuario puede adaptar el cierre a cualquier ancho de puerta realizando los agujeros a la distancia correcta y remachando los perfiles, los que son sujetados a la puerta igualmente mediante remaches.

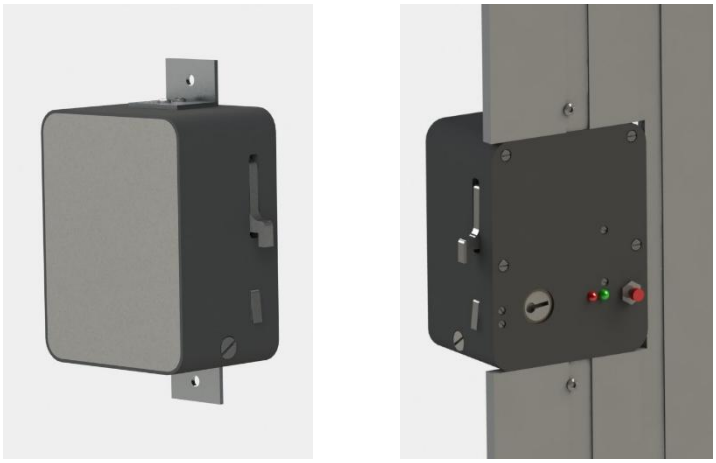


Ilustración 22. Sujeción de cierre.

Pese a que se muestra esta solución como método de adaptación a cualquier armario, no se cree una solución idónea, ya que su seguridad no es coherente a la del cierre. Para mejorar su seguridad una posible solución sería la de soldar las sujeciones a la puerta, evitando así dar acceso a las mismas desde el exterior.

Pese a esta posible solución, se entiende que entre las mejores bazas de este diseño no se encuentra su adaptación a armarios en uso, sino su posible implementación en futuros armarios ideados pensando en el cierre y acordes a la seguridad del mismo.

5.3.9 Montaje

En este apartado se describe brevemente el montaje de todos los componentes que forman el cierre electrónico para dar una idea general de su posicionamiento. (Más información en ANEXO VI: Montaje)

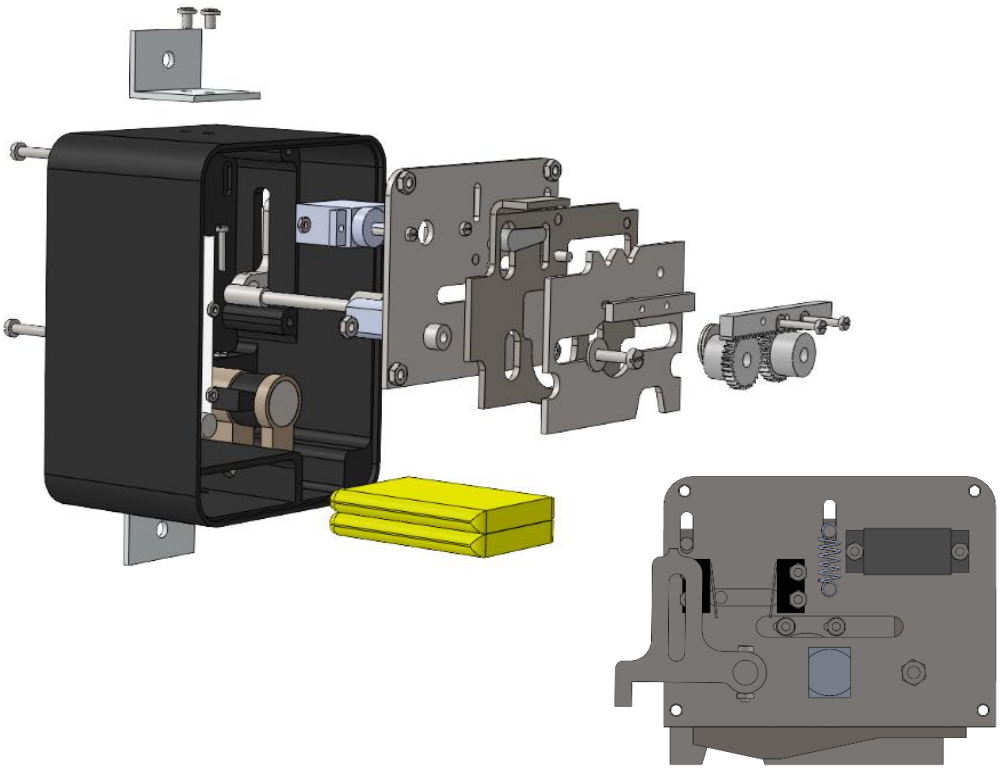


Ilustración 23. Conjunto explosionado y vista trasera de soporte.

Pasos:

1. Fijación de la de PCB de conexiones a la carcasa mediante tornillos.
2. Fijación del pulsador.
3. Instalación del cilindro y fijación mediante perno trasversal.
4. El motor, el servomotor y los finales de carrera son atornillados al soporte.
5. La cremallera se fija a la guía horizontal mediante dos tornillos.
6. Se superponen la guía horizontal a la vertical, y esta al soporte.
7. Se posiciona el eje de soporte izquierdo y se aprieta con tornillo y arandelas.
8. Instalación del muelle de ayuda al retorno de la guía vertical.
9. Instalación del engranaje del motor central.
10. Introducción del gancho a través de la abertura y fijación del mismo al eje principal mediante el pasador.
11. Instalación del soporte sobre la carcasa, aprisionando el eje principal.
12. Colocación y ajuste del engranaje del eje principal.
13. Instalación de los últimos componentes electrónicos (finales de carrera, baterías, PCB).
14. Fijación de la tapa trasera.

5.3.10 Seguridad

Este diseño implementa varias soluciones que dificultan el forzado del mecanismo y mejoran la seguridad del mismo:

- Cierre de abertura: si el gancho fuese simple, una vez cerrado dejaría una abertura por la que un especialista podría acceder al interior del mecanismo y forzarlo. Para evitar esta situación, al gancho se le ha añadido una pared que una vez cerrado cierra por completo la abertura de la carcasa (como se puede observar en la ilustración 21).
- Seguro (tope de seguridad): aunque el cierre cuenta con el bloqueo que forma la guía vertical y horizontal. Si se intenta forzar el gancho de cierre desde el exterior este actúa como una palanca sobre el eje generando mucha fuerza y posibles daños en el mecanismo.
  Para evitar esta situación se diseña un seguro situado en la guía vertical que desciende cuando el cierre está bloqueado a escasa distancia del gancho. De esta manera, si se intenta forzar la cerradura, golpeando el gancho o mediante palanca, este seguro absorbe el golpe antes de llegar a producir daños en el resto del mecanismo.

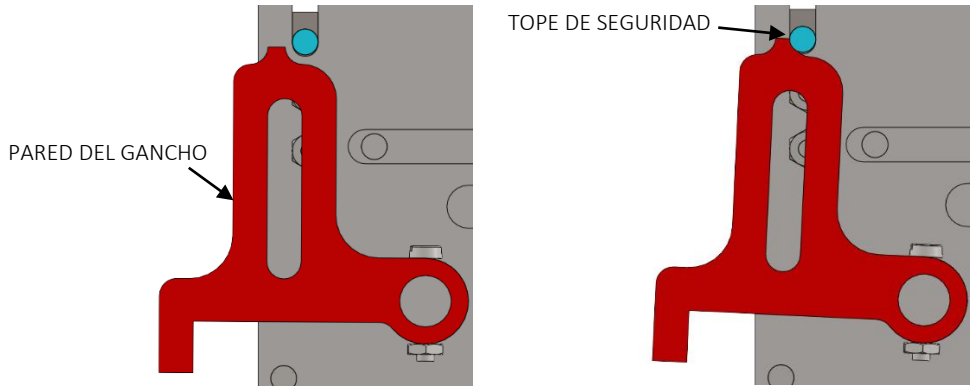


Ilustración 24. Tope de seguridad.

- Mecanismos ocultos: si pese al cierre de la abertura se lograse acceder al interior de la cerradura por otros medios, existe otro mecanismo de seguridad producido por el propio diseño del cierre. Los mecanismos que accionan el cierre se encuentran de espaldas a la abertura y a la parte delantera del cierre, por lo que si se produce una intrusión frontal todavía se ha de superar la barrera generada por el soporte.

5.3.11 Funcionamiento

En este punto se explica el funcionamiento de los dos accionamientos del diseño final.

- Accionamiento manual (apertura): Cuando el usuario gira la llave más de 160º eleva la guía vertical desbloqueando la guía horizontal. A los 180º la leva comienza a desplazar a la guía horizontal hasta la nueva posición. Esto hace que la cremallera gire el engranaje elevando el gancho del cierre. Una vez el giro supera los 200º la guía horizontal no se desplaza más, comenzando a descender la guía vertical para el bloqueo del cierre. El accionamiento de cerrado funciona de forma análoga al de apertura, cambiando la dirección del giro de la llave.

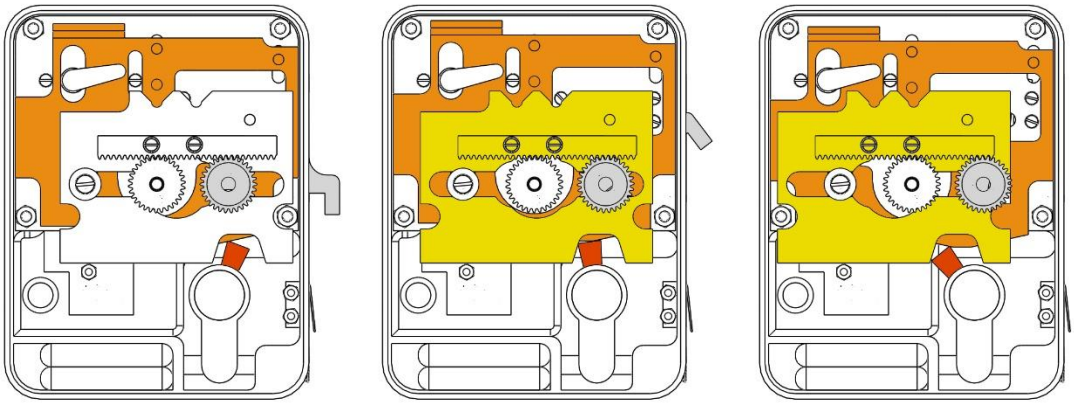


Ilustración 25. Funcionamiento del accionamiento manual.

Como medida de seguridad, si el mecanismo está abierto no se permite el giro de apertura, al igual que si está cerrado no se permite el giro de cerrado, ya que la leva choca contra la guía horizontal

- Accionamiento electrónico (cerrado): El primer paso lo realiza el servo girando la leva 70º, esta incide sobre el saliente de elevación de la guía vertical y la eleva consiguiendo desbloquear el cierre. Acto seguido, el motor central gira llevando la guía horizontal a la nueva posición y ocultando el cierre. Por último el servo vuelve a la posición inicial bajando la guía vertical y bloqueando el mecanismo de nuevo.

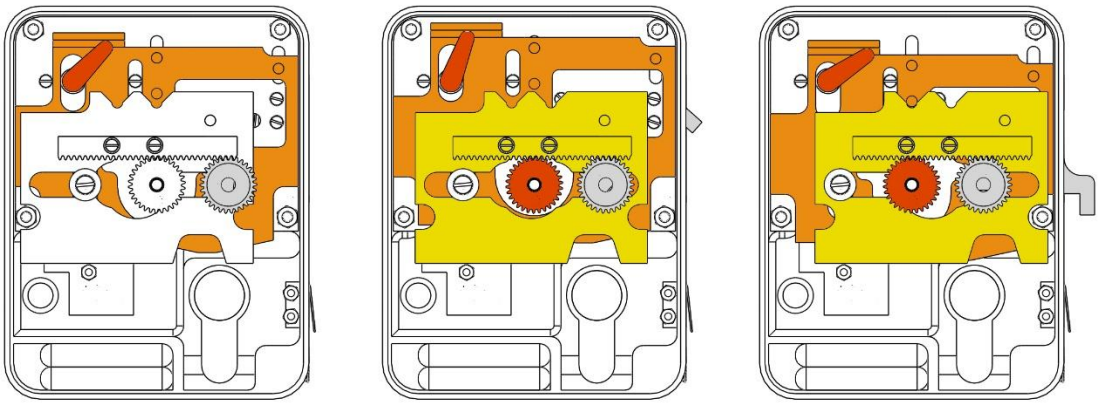


Ilustración 26. Funcionamiento del accionamiento electrónico.

5.4. Centralita

La centralita no posee ningún tipo de mecanismo, por lo que sólo se ha de desarrollar una carcasa que aloje todos sus componentes y la proteja de posibles intrusiones.

El diseño final de la carcasa consta de la siguiente forma:

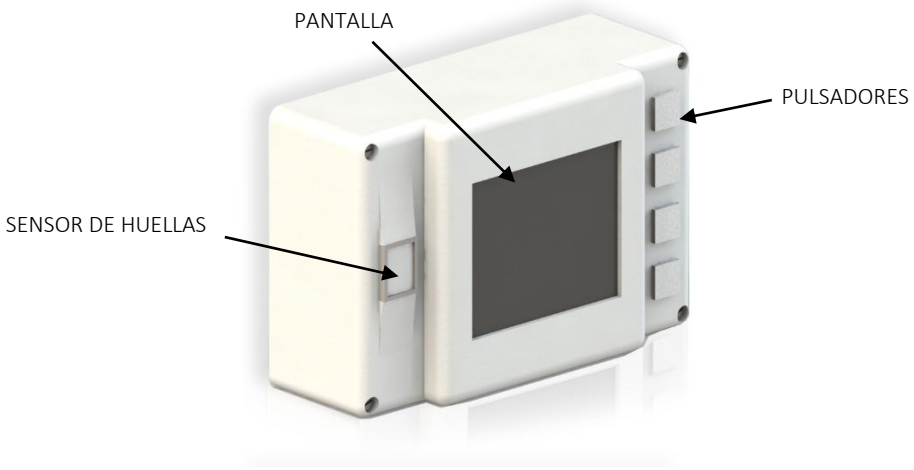


Ilustración 27. Centralita.

En la parte central se ha posicionado la pantalla "TFT" sobresaliendo del conjunto 1 centímetro. En la parte derecha los cuatro pulsadores se alinean en vertical buscando conseguir un uso lo más ergonómico posible. En lado opuesto se posicionó el sensor de huellas.

En su interior se aloja la Raspberry Pi, el módulo bluetooth y todos los adaptadores necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

En cuanto al material, se ideó para ser realizado en aluminio con el fin de buscar una carcasa que soportase posibles alteraciones físicas. Sin embargo, por reducir costos y por su fácil adaptación al prototipo final, se realizó mediante impresión 3D en plástico ABS.

5.5. Materiales y fabricación

En este apartado se deciden el material y métodos de fabricación más apropiado para los componentes según su finalidad.

5.5.1 Materiales

- Guías: Las función de las guías es la de permitir el bloqueo, el desbloqueo, la apertura y el cierre de la cerradura. Para ello estas han de deslizar y soportar esfuerzos medios.
  Sabiendo esto, el material ideal es un uno con bajo coeficiente de rozamiento que facilite el deslizamiento, con una resistencia buena y un peso reducido. El material que cumple mejor con las características expuestas y que usan la mayoría de cerraduras en sus componentes deslizantes es el latón. Sin embargo, para adaptarse a los materiales disponibles para la fabricación del proyecto las guías se realizarán en acero.
- Soporte: su función es la de dar sustento a todos los componentes internos del cierre por lo que en algunos casos puede verse sometido a solicitaciones altas. Además, la guía vertical ha de deslizar sobre este, por lo que ha de ser un material que en contacto con el latón genere un bajo coeficiente de rozamiento. El acero se muestra como un material apropiado ya que posee gran resistencia y su contacto con el latón genera un coeficiente de rozamiento estático de 0.51 (acero-acero 0,74)*.
- Ejes, casquillo y gancho: su función conjunta es la de realizar el cierre. Además en caso producirse un forzado todos estos componentes serán expuestos a grandes solicitaciones, por lo que prima la resistencia en el material a seleccionar. Se selecciona acero por su alta resistencia y buscando homogenizar materiales.
- Carcasa: este componente no sólo da sustento a todo el mecanismo, también resguarda los componentes internos de posibles intrusiones, por lo que su resistencia ha de ser muy

elevada ante posibles golpes y ha de tener una elevada dureza contra taladrados. Se selecciona un acero de aleación nitrurada, ya que este tratamiento consigue elevar la dureza y la resistencia a la fatiga del acero.

- Centralita: ya que es un dispositivo importante del sistema y que el acceso a sus componentes podría facilitar la apertura de los armarios, su resistencia ha de ser elevada. Por ello, se desea darle la misma seguridad que a la carcasa del cierre realizándolo en el mismo material.

COMPONENTE	MATERIAL	MATERIAL EN PROTOTIPO
Guía vertical	Latón	Acero
Guía horizontal	Latón	Acero
Soporte	Acero (AISI 1020)	Acero
Eje soporte	Acero (AISI 1020)	Acero
Eje principal	Acero (AISI 1020)	Acero
Casquillo	Acero (AISI 1020)	Acero
Gancho de cierre	Acero (AISI 1020)	Acero
Tapa	Acero (AISI 1020)	Acero
Carcasa	Acero (AISI 1245-nitrurado)	ABS
Centralita	Acero (AISI 1245-nitrurado)	ABS

Tabla 8. Tabla de materiales.

En la tabla 8 se resumen los materiales de cada componente. Como se puede comprobar los materiales para la construcción del prototipo varían con respeto a los inicialmente ideados. Esto se debe, como ya se ha mencionado, a que el prototipo se adapta a los materiales y medios de los que se dispone.

*Coeficientes de fricción obtenidos del libro "*Física para ciencias e ingeniería*" de Serway.

5.5.2 Métodos de fabricación

Una vez seleccionado el material se eligen los métodos de fabricación más apropiados para cada componente del prototipo.

- Guías, soporte, gancho y tapa: Estos componentes se basan en chapas de 2mm (menos el gancho en 5 mm) y cuentan con formas y cortes que han de ser muy precisos para el correcto funcionamiento del mecanismo. Dos métodos de fabricación que se adaptan para la fabricación de estos componentes son:
  - Fresado: Aunque es un método más laborioso y costoso, ya que requiere mayor mano de obra, los resultados son muy precisos.
  - Corte por láser: proceso de fabricación rápido y más barato si se dispone del material necesario, sin embargo el acabado y la precisión de las piezas es peor que en el fresado.

  Lo ideal sería fabricarlas mediante fresado pero se selecciona el corte por láser ya que se dispone del equipo necesario y supone un ahorro en mano de obra.
- Eje de soporte, eje principal y casquillo: estas piezas serán mecanizadas mediante torneado y fresado ya que deben tener un acabado y tolerancias que permitan el deslizamiento entre ellas.
- Carcasa: la forma inicial de este componente se había diseñado para su fabricación mediante fresado pero debido al alto coste de este proceso se decidió la construcción de este componente mediante fabricación aditiva en ABS. Esto supuso cambios en el diseño con respecto al inicial para adaptarlo a la menor resistencia del ABS.

- Centralita: por las mismas razones que la carcasa, la centralita se realiza mediante impresión 3D en ABS.

A continuación se resumen los métodos de fabricación inicialmente ideados y los que se han realizado en el prototipo final:

COMPONENTE	MÉTODO DE FABRICACIÓN IDEADO	MÉTODO DE FABRICACIÓN PROTOTIPO
Guía vertical	Fresado	Corte por laser
Guía horizontal	Fresado	Corte por laser
Soporte	Fresado	Corte por laser
Eje soporte	Mecanizado	Mecanizado
Eje principal	Mecanizado	Mecanizado
Casquillo	Mecanizado	Mecanizado
Gancho de cierre	Fresado	Corte por laser
Tapa	Fresado	Corte por laser
Carcasa	Fresado	Fabricación aditiva
Centralita	Fresado	Fabricación aditiva

Tabla 9. Métodos de fabricación.

5.6. Adaptación a producción en serie

A continuación se estudia la viabilidad de una producción en serie del prototipo ideado y los cambios necesarios que se han de realizar en el diseño para llevarla a cabo. El objetivo de este apartado es valorar si el requisito propuesto de diseñar un mecanismo con fácil adaptación a una producción en serie se ha logrado conseguir.

5.6.1 Guías, soporte, tapa y gancho de cierre

En las piezas basadas en chapa (guía vertical, guía horizontal, soporte, tapa y gancho de cierre) se estudian dos posibles métodos de fabricación para su adaptación en serie:

- Corte por láser: ya usado en la construcción del prototipo, las máquinas para cortar con láser pueden producir bordes precisos y limpios y, como suelen estar cerradas, son mucho más seguras que los procedimientos convencionales para cortar metal. Además, no hay contacto entre las superficies cuando se emplea un láser para cortar metal, por lo que no hay necesidad de reemplazar las hojas o realizar un mantenimiento del equipo debido al desgaste causado por el contacto. También se minimiza la limpieza, ya que el metal se quema, se derrite o se vaporiza.
- Estampación: El estampado de metal es un proceso completamente distinto que también se emplea en la fabricación de láminas de metal. A diferencia del láser, el estampado implica un contacto directo de una máquina de estampado sobre la superficie de metal. El estampado consta de una variedad de procesos, incluyendo hacer agujeros en el metal, crear acabados en relieve y doblar y darle forma de reborde al metal. Este proceso también puede usarse para dibujar patrones y diseños en una superficie de metal. El estampado de metal suele formar parte de los procesos de producción en masa para mantener los costes bajos.

En base a lo anterior, se ve como mejor opción la estampación en metal, ya que a la hora de realizar una producción en serie los costes son menores y los componentes no han de sufrir modificaciones.

5.6.2 Eje de soporte, eje principal y casquillo

Los componentes que se han de mecanizar seguirán teniendo que seguir fabricándose bajo procesos similares que automaticen su producción. Estos pueden llegar a sufrir cambios en su diseño para facilitar esta tarea.

5.6.3 Carcasa y centralita

Por último, las carcasas diseñadas en este proyecto han sido ideadas para su realización mediante fabricación aditiva. Esto significa que para su fabricación en serie, mediante cualquier otro método, han de ser modificadas ya que el material y el método de fabricación cambian.

Se creen posibles dos métodos para su fabricación en masa:

Fresado CNC: con este proceso se conseguirán piezas con acabados muy buenos pero el tiempo de producción de cada pieza será elevado y con ello el coste de producción.

Fundición: este método permite fabricar piezas de manera simultánea, en cambio los acabados no son muy buenos y es necesario mejorarlos con procesos secundarios. Los costes de producción suelen ser bajos.

La fundición se toma como una opción viable pese a que se han de realizar algunos cambios en el diseño.

5.6.4 Conclusiones

En resumen, los cambios necesarios en el diseño para su producción en serie no son muy elevados ni complicados, por lo que el requisito impuesto de fácil adaptación a una fabricación en serie se da por logrado.

COMPONENTE	MÉTODO DE FABRICACIÓN PROTOTIPO	MÉTODO DE FABRICACIÓN SERIE
Guía vertical	Corte por laser	Estampación
Guía horizontal	Corte por laser	Estampación
Soporte	Corte por laser	Estampación
Eje soporte	Mecanizado	Mecanizado
Eje principal	Mecanizado	Mecanizado
Casquillo	Mecanizado	Mecanizado
Gancho de cierre	Corte por laser	Estampación
Tapa	Corte por laser	Estampación
Carcasa	Fabricación aditiva	Fundición
Centralita	Fabricación aditiva	Fundición

Tabla 10. Tabla resumen de procesos de fabricación en serie.

5.7. Validación

En este último apartado relacionado con la mecánica del proyecto se realiza una validación del diseño en base a los requisitos mecánicos establecidos para el cierre electrónico.

La siguiente tabla muestra un resumen de los requisitos obligatorios y opcionales cumplidos en el diseño final:

El diseño se realizará para un armario de tipo cortina.	✓
Se combinará una apertura electrónica con una apertura manual por llave.	✓
El sistema de apertura manual implementará un cilindro estandarizado de europerfil.	✓
El usuario no debe tener acceso a ningún mecanismo interno.	✓
Se buscará un diseño con fácil adaptación a una fabricación en serie.	✓
El diseño ha de superar los ensayos establecidos por la normativa (simulados). (Ver ANEXO V: Ensayos bajo normativa).	✓
Bloqueo del cierre (opcional).	✓
Cierre válido para su uso en distintos tipos de armarios (opcional).	✗

Tabla 11.Validación del diseño.

Como se comprueba en la tabla el diseño cumple todos los requisitos establecidos como obligatorios además del requisito opcional de disponer de un bloqueo en el cierre. No se ha conseguido un cierre valido para todos los tipos de armario.

En cuanto al cumplimiento de las medidas establecidas como máximas:

DIMENSIONES	ANCHO	ALTO	PROFUNDIDAD
MÁXIMAS	120 mm	150 mm	60 mm
PROTOTIPO	85 mm	110 mm	57 mm

Tabla 12. Medidas prototipo.

En base a estos resultados el diseño mecánico realizado se da por validado.

5.8. Documentación complementaria

Se dispone de más información referente a este apartado en:

- ANEXO I: Análisis estáticos previos al diseño.
- ANEXO II: Análisis dinámicos.
- ANEXO III: Cálculo del muelle.
- ANEXO IV: Ensayos MEF.
- ANEXO V: Ensayos bajo normativa.
- ANEXO VI: Montaje.
- DOCUMENTO III. Planos mecánicos.
- DOCUMENTO V: Modelado 3D (SW2013).

6. DISEÑO ELECTRÓNICO

Como se ha explicado, el proyecto se basará en un sistema de control descentralizado haciéndose necesarias dos tipos de estaciones de control:

- Estación local: situada de forma independiente en cada uno de los cierres electrónicos a instalar. Su función es la de analizar el estado del cierre, las acciones del usuario y los permisos dados por la estación central para posteriormente actuar en consecuencia.
- Estación central o centralita: su finalidad es la de permitir o denegar la apertura de los cierres bajo su control. Para ello se servirá de un sistema de identificación mediante huella dactilar y una base de datos para el registro de toda actividad.

En este apartado se analizará todo lo relacionado con el diseño y selección de los componentes electrónicos del proyecto. Se comenzará considerando los distintos tipos de comunicación posible entre las estaciones para, posteriormente, analizar la electrónica de estas de forma individual.

El sistema de control será descrito con mayor detalle en el siguiente capítulo.

6.1. Comunicación entre estaciones

En el planteamiento realizado al principio de este documento se propone el uso de baterías para mejorar la ergonomía y la facilidad de instalación de los cierres ya que se elimina la dependencia de cables. Si la comunicación entre las distintas estaciones se realizase mediante conexiones físicas se crearía una dependencia similar a la que se buscaba eliminar al proponer el uso de baterías. Por esta razón, se decide que la comunicación se ha de realizar mediante una red inalámbrica.

En una red inalámbrica los datos se transmiten por el aire, sin necesidad de cable, mediante el uso de ondas electromagnéticas.

Entre sus ventajas se encuentran:

- Movilidad. Un ordenador o cualquier otro dispositivo pueden situarse en cualquier punto dentro del área de cobertura de la red sin tener que depender de cables.
- Ahorro de costes. Diseñar o instalar una red cableada puede llegar a alcanzar un alto coste. En entornos domésticos y en determinados entornos empresariales donde no se dispone de una red cableada Ethernet o similar, la instalación de una red inalámbrica permite ahorrar costes.
- Escalabilidad. Las redes inalámbricas cuentan con mucha facilidad a la hora de expandir la red después de su instalación inicial. Con las redes cableadas esto mismo requiere instalar un nuevo cableado.

Inconvenientes

- Menor ancho de banda. Actualmente las redes inalámbricas no están a la altura de las redes cableadas en velocidad de transmisión. Aunque las últimas tecnologías alcanzan velocidades similares.
- Seguridad. El no depender de un medio físico para realizar la comunicación supone un problema de seguridad, ya que solo es necesario encontrarse dentro del área de cobertura de la red para poder intentar acceder a ella.
  Las redes inalámbricas actuales incorporan medidas de seguridad que buscan dificultar el acceso a la red y a los datos como: cifrados de datos, ACL, CNAC, etc.
- Interferencias. Cuantos mayores sean las interferencias producidas por otros equipos, menor suele ser el rendimiento de la red. Aun así, la mayoría de las redes inalámbricas funcionan perfectamente, y sin mayores problemas en este sentido, cuando trabajan en entornos normales.

Existen cuatro grandes categorías cuando se habla de tecnologías inalámbricas:

- Redes inalámbricas de área personal (WPAN): Bluetooth, ZigBee, infrarrojos, NFC, RFID.
- Redes inalámbricas de área local (WLAN): Wi-Fi, HiperLAN, WirelessLAN.
- Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN): Wimax.
- Redes de área extensa /WWAN): GSM, GPRS, UMTS.

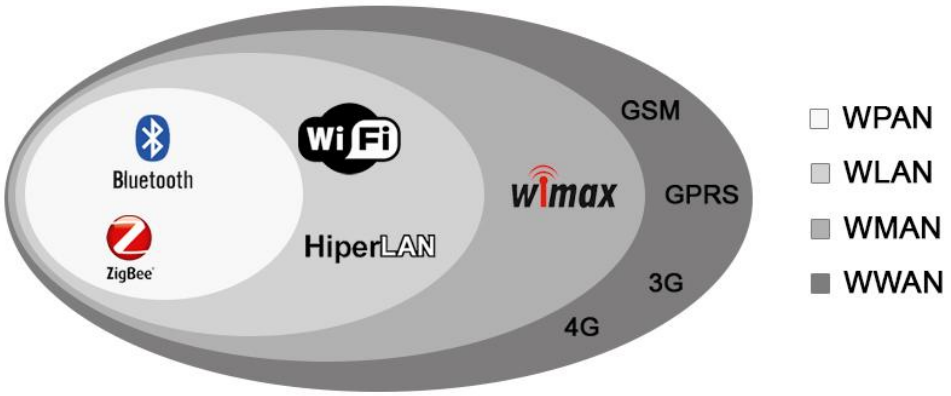


Ilustración 28. Tipos de redes.

6.1.1 Opciones

De todas las redes mencionadas en el punto anterior, se seleccionan las dos que más se adecuan al proyecto para realizar un análisis en más profundidad. La comunicación vía Wi-Fi no es estudiada, ya que la dependencia de un router y el alto consumo de los módulos comerciales se consideran grandes hándicaps. Las redes a estudiar son:

- Bluetooth: es una especificación abierta de comunicación inalámbrica de corto alcance, diseñada para transmisión de voz y datos. Su objetivo es reemplazar cables en la interconexión de dispositivos electrónicos destacándose en este ámbito por su robustez, su bajo consumo de energía y su bajo costo.
- Zigbee (o HomeRF): nombre dado a una especificación de un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica, para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos.

A continuación se muestra una tabla resumen que enfrenta las características de ambas redes:

	Bluetooth	Zigbee
Alcance (metros)	10-100	10-75
Precio del chip (euros)	4	3
Velocidad de datos	1 Mbps	250 kbps
Seguridad	Muy buena	Buena
Comunicación	Síncrona	Asíncrona
Vida de la batería	Buena	Excelente
Numero de nodos	7	65536
Canales	23 o 79	1,10 o 16
Frecuencias	2,4 GHz	9, 8, 2,4 GHz

Tabla 13. Bluetooth vs Zigbee.

6.1.2 Valoración

La tecnología Zigbee se decanta como la mejor opción para la comunicación entre estaciones debido a su baja potencia y su rápida conexión. Sin embargo, la tecnología bluetooth, aun comportándose peor en dichos aspectos, sigue siendo una tecnología válida para su implementación. Esta última presenta ventajas como: su uso generalizado en dispositivos móviles y una mejor encriptación de datos.

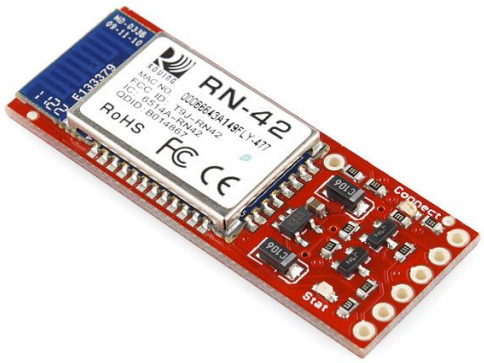
Debido a lo expuesto, se buscarán módulos comerciales de ambas tecnologías y se seleccionará la opción más económica con el fin de reducir costes en el prototipo final.

6.1.3 Módulos comerciales

- XBEE 2MW. Se trata de un módulo de comunicación mediante ZigBee con un precio alrededor de los 24€
  Este módulo cuenta con una interfaz de comunicación RS-232, pines de entrada y salida digitales, entradas analógicas y un pin PWM. Puede ser operado con comandos AT o con un API de más alto nivel. A pesar de incluir un microcontrolador, este ya tiene un firmware programado.
  Básicamente el firmware del dispositivo permite, sin necesidad de un microcontrolador externo, la lectura y escritura remota de pines de entrada y salida y la transmisión de datos.
- RN-42. Es un módulo bluetooth de clase 2 certificado con antena PCB integrada de montaje superficial de la empresa Roving Networks. Su precio no alcanza los 15 euros.
  El módulo soporta los modos de transmisión SPP y HSI. Posee dos interfaces de comunicación UART y USB, 8 pines de entrada y salida digitales y uno de entrada analógica que pueden ser gestionados remotamente a través de comandos ASCII definidos por el fabricante.

6.1.4 Selección

Finalmente se selecciona el módulo Bluetooth BlueSmirf Silver de Sparkfun que incorpora el chip RN42 buscando reducir costes en la fabricación del prototipo. Sin embargo, para una producción final del cierre se estudiaría la adaptación del diseño al módulo Xbee por sus mejores características.



Características principales:

- Alcance: 18 metros (Versión gold: 60m)
- Opera en ambientes infestados de redes
- Conexión encriptada.
- Voltaje de operación variable: 3,3 - 6V
- Comunicación serial: 2400 – 115200 bps

Ilustración 29. BlueSmirf Silver con el chip RN42.

6.2. Cierre electrónico

La gestión y el control del cierre electrónico se realizarán mediante una placa de circuito impreso controlada mediante un micro-controlador central. El uso de una placa arduino fue descartado debido al gran tamaño de los modelos existentes y sus elevados precios.

La electrónica del cierre dispondrá de todos los componentes y sistemas que permitan:

- Controlar dos diodos LED que informen al usuario del estado del cierre.
- Activar el sistema mediante un pulsador.
- Controlar un motor de corriente continua.
- Controlar un servomotor mediante PWM.
- Alimentar el sistema mediante baterías.
- Conocer el estado del cierre mediante el uso de finales de carrera.
- Conocer el estado de la puerta mediante un sensor.

6.2.1 Microncontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Además, se trata de un sistema cerrado que incluye todos los componentes de un computador (ROM, RAM, I/O…).

Se opta por el uso de un microcontrolador PIC del fabricante Microchip por las razones que se exponen a continuación:

- Son microcontroladores muy populares por lo que existe gran cantidad de documentación sobre su funcionamiento y programación.
- Microchip ofrece gran diversidad de modelos con diferentes capacidades de memoria, numero de I/O, tipos de encapsulado, etc.
- Microchip dispone de un programa de muestras gratuitas para estudiantes universitarios.
- El IDE para la compilación del código es gratuito.
- Se dispone de un programador PicKit3.

Para la selección del modelo se tiene en cuenta:

- El tiempo de procesamiento de los datos. El tiempo no es un punto crítico creyéndose que con un oscilador de 4MHz o superior es suficiente. La precisión de los datos a manejar no es muy elevada por lo que un microcontrolador de 8 bits es suficiente.
- Se hacen necesarios los siguientes puertos I/O:
  - 7 puertos I/O digitales (diodos LED, control de motor, pulsador, finales de carrera).
  - 2 puertos para comunicación UART (TX/RX).
  - 1 salida PWM (Control de servomotor).
  - 2 puertos de entrada analógica (Nivel de batería, sensor).
- Consumo: ha de disponer de modo "sleep" para reducir el consumo cuando el cierre este inactivo.
- Memoria:
  - RAM: 512 KB de memoria volátil se consideran suficientes.
  - EEPROM: Se valorará positivamente que el PIC disponga de memoria permanente, aunque no es un factor determinante ya que en caso de ser necesaria puede utilizarse un módulo externo.
- Encapsulado tipo DIP, para su fácil adaptación a la PCB a diseñar.

Finalmente se seleccionó el PIC16F1829 que cumple con todo lo expuesto anteriormente.

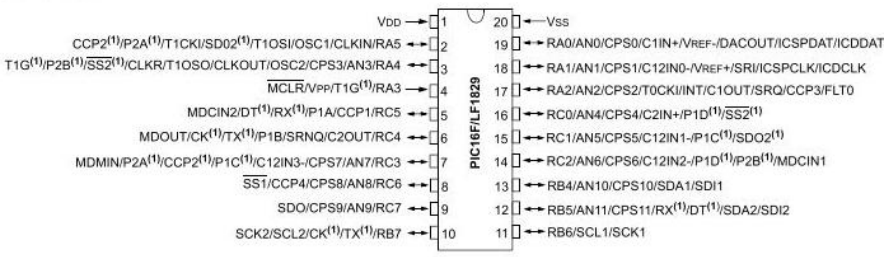


Ilustración 30. Resumen pines PIC16F1829.

Tabla resumen de características:

Parámetro	Valor
ROM	14 KB
RAM	1 KB
EEPROM	256 B
Comunicación digital	1-UART, 1-A/E/USART, 1-SPI, 1-I2C2-MSSP(SPI/I2C)
CCP	2 CCP, 2 ECCP
Timers	4 x 8-bit, 1 x 16-bit
ADC	12 ch, 10-bit
Número de pines	20
Tipo de encapsulado	PDIP

Tabla 14. Características PIC16F1829.

6.2.2 Controlador de motor CC

En un motor de corriente continua, el sentido de giro viene determinado por el sentido de la corriente que lo alimenta. Además, se conoce que el consumo del motor seleccionado se mueve entre 40 y 300 mA dependiendo de su carga.

De estas propiedades se deduce que el control directo mediante PIC no es posible debido a que los pines, en configuración de salida, suministran una intensidad máxima de 25 mA. Asimismo, se requiere el giro del motor en ambas direcciones, por lo que recurrir a un único transistor tampoco es factible.

La solución es el uso de un puente H, que no es más que un circuito electrónico basado en transistores y diodos que permite el cambio del sentido de giro en un motor.

Sin embargo, el diseño de esta configuración de transistores y diodos en una PCB causaría un tamaño final en esta muy elevado. Por ello, se busca una solución comercial que resulta en el integrado L293D

El integrado L293D incluye circuitos para el manejo de dos motores mediante corrientes de hasta 600 mA y con tensiones que van desde los 4.5V hasta los 36V. El integrado permite controlar dos motores de manera bidireccional, con frenado rápido y con posibilidad de implementar control de velocidad. Su control se realiza mediante el envío de dos señales lógicas.

6.2.3 Sensor

La función del sensor es la de informar al sistema del estado de la puerta con el fin de evitar el bloqueo del cierre cuando se encuentre abierta. Por lo que ha de ser un sensor de proximidad, siendo las opciones a barajar:

- Sensor inductivo: hace uso de las propiedades magnéticas de diversos materiales para alterar la inductancia de bobinas normalmente fijas permitiendo detectar la presencia de objetos metálicos. Son sensores muy robustos.
- Sensor capacitivo: diseñado para trabajar generando un campo electroestático y detectar cambios en dicho campo a causa de un objeto que se aproxima a la superficie de detección. Gracias a su capacidad de reaccionar con una amplia gama de materiales, el sensor de proximidad capacitivo es más universal que el inductivo pero en su contra está su alta sensibilidad a perturbaciones, por ejemplo a la humedad.
- Sensor reflexivo: se compone únicamente de un emisor y un receptor montados bajo una misma carcasa, por lo que es de montaje sencillo y rápido, su funcionamiento se basa en la detección del reflejo de una señal infrarroja emitida.
- Sensor ultrasónico: este sensor emite impulsos ultrasónicos, los cuales se reflejan el objeto y posteriormente el sensor recibe el eco producido convirtiéndolo en señales eléctricas. El tipo de material es indiferente mientras sea deflector de sonido.
- Microrruptor: son dispositivos de reducidas dimensiones que funcionan por contacto físico.

- Sensor de efecto Hall: consta de un elemento conductor o semiconductor y un imán. Cuando un objeto ferromagnético se aproxima al sensor, el campo que provoca el imán en el elemento se debilita. Así se puede determinar la proximidad de un objeto, siempre que sea ferromagnético.

A continuación se realiza una pequeña selección en base a cuatro factores que se creen importantes:

- Adecuación al diseño. Este punto valora si las características genéricas de cada tipo de sensor (distancia de activación, método de funcionamiento, etc.) se adecúan a los requisitos del cierre.
- Tamaño. Se busca un diseño compacto por lo que un sensor voluminoso dificultaría su inclusión en el cierre.
- Activaciones falsas (AF): todos los sensores pueden generar falsas alarmas debido a que el usuario del armario se interponga en su campo de acción voluntaria o involuntariamente. Se valorarán positivamente los tipos de sensores que las dificulten.
- Precio.

SENSOR	Adecuación	Tamaño	AF	Precio	MEDIA
Inductivo	8	5	8	6	6,75
Capacitivo	6	6	6	4	5,5
Reflexivo	6	8	6	7	6,75
Ultrasónico	4	7	6	9	6,5
Microrruptor	9	6	7	9	7,75
Efecto Hall	8	9	9	9	8,75

Tabla 15. Valoración de sensores de proximidad.

Se selecciona un sensor de efecto hall ya que prácticamente todo son ventajas en su uso: son sensores baratos, pequeños y el funcionamiento por electromagnetismo reduce las activaciones involuntarias por contacto del usuario. Para su funcionamiento se ha de añadir un imán a la zona de anclaje del gancho para que el cierre detecte su proximidad.

Se escoge el Sensor de efecto Hall Allegro A1321. Este consta de tres patas: una de alimentación bajo un voltaje de 4,5 a 5,5V, una para tierra y la última es una salida de tensión lineal al campo magnético que incide sobre el sensor. Esta última se puede conectar directamente a una entrada analógica del PIC.

Cuando no se detecta ningún campo magnético la salida ofrece unos 2,5 V. Este voltaje aumenta hasta 5V o disminuye hasta 0 dependiendo de si sobre él incide el polo norte o el sur.

6.2.4 Alimentación y derivados

Como ya se ha expuesto, se busca dotar al cierre de cierta autonomía, por lo que inicialmente se propone el uso de baterías para su alimentación.

6.2.4.a. Batería

En la tabla 16 se muestran los distintos tipos de batería y sus propiedades principales. Las características del cierre hacen necesario que la batería que se seleccione sea de un tamaño reducido, de una vida elevada, descarga en vacío pequeña y un precio moderado. Estas propiedades son ostentadas por las baterías de polímero de litio (Li-Po).

Las baterías Li-Po son una línea de evolución de las antiguas Li-Ion, en las que se sustituye el electrolito líquido orgánico por un compuesto sólido, abaratando costes de producción. En estas, cada celda genera un voltaje de 3,7 V.

Característica	Pb	Ni – Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-Po
Voltaje de célula	2 V	1,2 V	1,2 V	3,7 V	3,7 V
Ah	7 – 960 Ah	0,5 – 1 Ah	0,5 – 10 Ah	0,25 – 3 Ah	0,25 – 3 Ah
Memoria	Medio	Muy Alto	Bajo	Inexistente	Inexistente
Potencia/kilo	30 Wh/kg	50 Wh/kg	70 Wh/kg	110-160 Wh/kg	100-130 Wh/kg
Sobrecargara	No soportada	Soportada	No recomendable	Soportada	Soportada
Descarga	No soportada	Necesaria	Recomendable	Fallo a 2,5V	Fallo a 2,5V
Nº de recargas	1000 aprox	500 aprox	1000 aprox	4000 aprox	5000 aprox
Descarga mensual	5%	30%	20%	6%	3%
Tiempo de carga	8 – 16 h	10 – 14 h	2 – 4 h	2 – 4 h	1 – 1,5 h

Tabla 16. Tipos de baterías y propiedades principales.

Entre sus ventajas se encuentran su buen rendimiento, tamaños y pesos reducidos y la inexistencia de efecto memoria. En su contra están la necesidad de un cargador especial y su extremada delicadeza.

6.2.4.b. Regulador de tensión

Conocido el tipo de batería a usar, se procede a seleccionar el número de celdas que darán el voltaje final suministrado por el mismo.

La gran venta en el uso de una única celda se encuentra en el ahorro de espacio. Sin embargo presenta sendos inconvenientes:

- El voltaje no es constante sino que varía desde los 4,3V (batería totalmente cargada) a los 3,1 V (batería descargada).
- Existen componentes como el driver L293D y el motor de corriente continua cuyos voltajes de funcionamiento se encuentran por encima de los 4V. Por lo que no se garantizaría el correcto funcionamiento de los mismos.

En base a estos inconvenientes se decide usar una batería LiPo de dos celdas, suministrándose una tensión que varía entre los 8,4Vy 6,2V. Estos voltajes se encuentran lejos de los rangos permisibles por la mayoría de los componentes. Para solucionarlo se hace necesario bajar la tensión a 5V mediante un regulador de tensión, logrando un correcto funcionamiento de todos los dispositivos.

La función de un regulador de tensión no es otra que la de proporcionar una tensión estable y específica para alimentar el circuito, para lo cual se sirve de una fuente alimentación de mayor voltaje.

El regulador de tensión a 5V más conocido es el 7805 que soporta hasta 1A de intensidad y regula tensiones de 7 a 35V. Debido a que el voltaje de las baterías del cierre descenderá de los 7V, este regulador no garantiza el correcto funcionamiento del circuito.

La solución se encuentra en el regulador de tensión LM2940 que logra también una salida de 5V y hasta 1A de intensidad. Este circuito regulador se diferencia de los normales en que la tensión de entrada necesaria para dar 5V es de tan solo 5,5V. Lo que significa que es adecuado para su uso con baterías LiPo de 2 celdas.

6.2.5 Estudio de vida

El uso de baterías será viable siempre y cuando estas permitan 20 aperturas/cierres durante al menos 100 días.

En base a un primer diseño, se realiza un estudio de consumo con el objetivo de comprobar si este cumple con el requisito previamente establecido. (Véase ANEXO VII – Estimación de potencia y consumo).

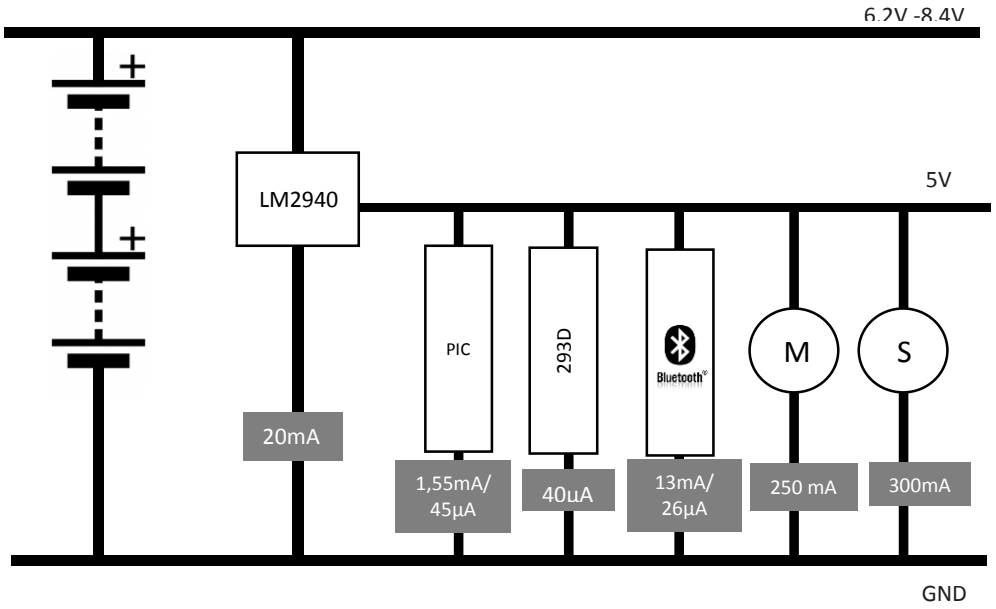


Ilustración 31. Esquema de electrónica e intensidades.

Los cálculos se realizan buscando conocer el gasto energético diario del cierre. Para ello se trabaja bajo la suposición de que el cierre se encuentra inactivo con todos los componentes que lo permitan en modo sleep, realizándose 20 activaciones de 12 segundos cada una y volviendo a pasar a inactivo una vez finalicen. Resumiendo, el cierre al día se encontrará 240 segundos activo. En la siguiente gráfica se muestran los resultados de los cálculos:

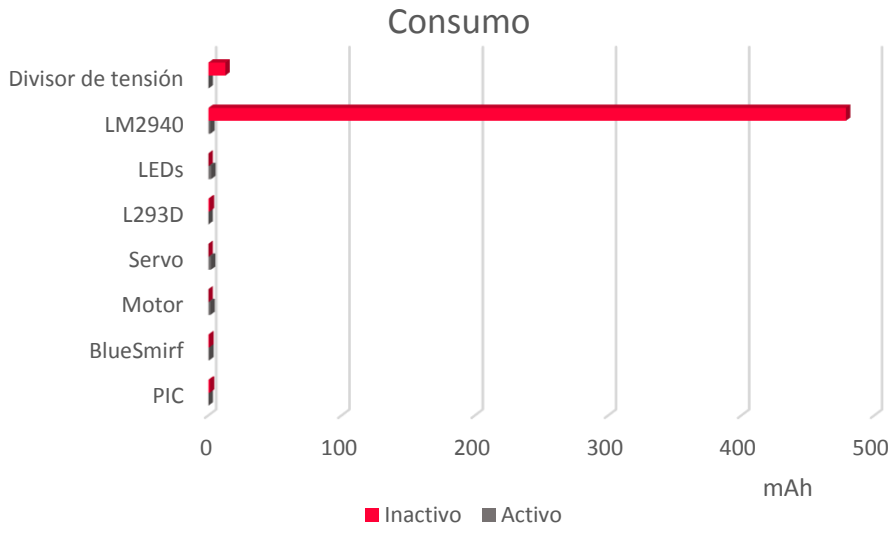


Ilustración 32. Gráfica de consumo.

Como se puede comprobar, el consumo del LM2940 destaca sobre todos los demás componentes incluso no dejando apreciar los resultados de estos. Su consumo supone el 99% de la energía consumida a lo largo del día. En la siguiente gráfica se muestran los resultados sin el regulador de tensión:

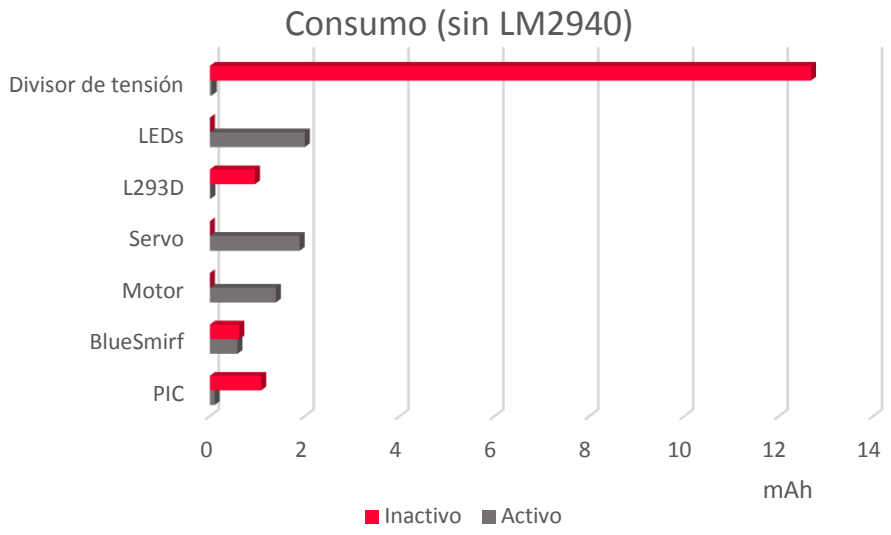


Ilustración 33. Gráfica de consumo sin LM2940.

Todos los módulos menos el divisor de tensión se encuentra por debajo de 2mAh. Este supera los 12 mAh, un consumo demasiado elevado para su función pasiva, por lo que se propone realizar un rediseño del mismo con el fin de reducir su consumo.

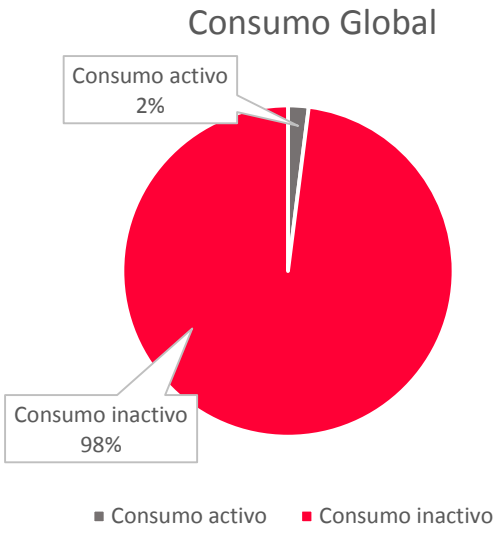


Ilustración 34. Consumo global.

El consumo final del diseño es de 501,35 mAh lo que supone una vida de 1 día y 23 horas, muy lejos del objetivo marcado en los requisitos del proyecto. De ese consumo, el 98% se realiza cuando el cierre no está realizando ninguna acción debido al excesivo gasto energético del regulador de tensión LM2940.

6.2.6 Replanteo

En vista de los resultados del apartado anterior, se hace necesario replantear el funcionamiento y los componentes actuales del cierre en busca de aumentar la vida de las baterías.

Hasta ahora se pretendía mantener siempre alimentada la electrónica del cierre, buscando el ahorro de energía en el uso de los sistemas "sleep" de algunos componentes. Los resultados arrojados por el estudio hacen patente que este sistema no consigue mantener una vida útil que cumpla con los requisitos.

El mayor problema del diseño se encuentra en el regulador de tensión debido a que mantiene un consumo continuo de 15 a 20 mA, esté o no el cierre en uso. Como consecuencia, su consumo final diario de 480 mAh.

Existen reguladores de tensión que mejoran la eficiencia del LM2940 con un consumo incluso un 50% menor. Sin embargo, esta mejora no es suficiente para cumplir con los requisitos del proyecto.

En busca de solucionar este problema surge la idea de mantener el cierre apagado en todo momento, excepto cuando el usuario desea usarlo. Esto supondría:

- Un gran ahorro de batería, ya que aun realizando 20 aperturas diarias (estimando un tiempo medio de 12 segundos de encendido) supondría un ahorro en batería con respecto al caso anterior de un 98%.

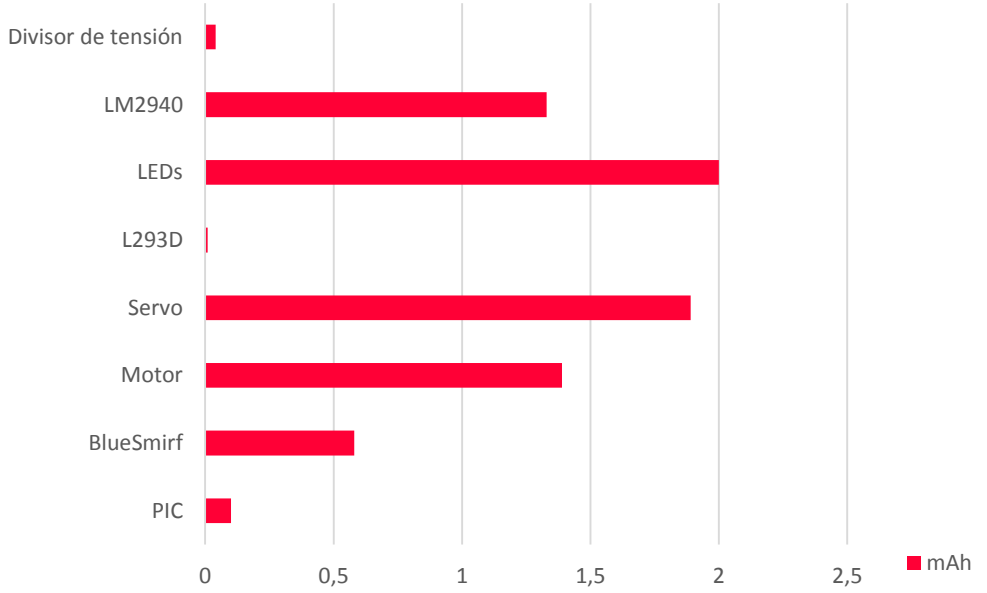


Ilustración 35. Consumo con sistema de apagado en 20 usos.

Manteniendo el mismo diseño el consumo se reduciría a los 0,37 mAh en cada activación. Lo que implicaría que con una batería de 1000 mAh y realizando 20 usos diarios esta duraría más de 136 días, cumpliendo el requisito establecido en el planteamiento del proyecto.

- Un pequeño retraso en la apertura. Como el cierre se mantiene apagado durante su inactividad, una vez se enciende ha de realizar de nuevo la conexión bluetooth con la centralita. Esto supone una apertura más lenta, ya que en esta acción se pierde mínimo 2 segundos.
- El sistema ha de iniciarse también cuando el usuario hace uso del sistema manual por llave, por lo que se hace necesario un método de activación secundario.

Aunque esta propuesta haga necesario incluir un nuevo método de activación y retrase la apertura en 2 segundos, se asumen estas desventajas en vista de conseguir una mejora en la vida de las baterías.

6.2.7 Sistema de encendido/apagado

El nuevo planteamiento exige añadir nuevos componentes que consigan encender el sistema cuando el usuario lo desee y permitan al PIC apagarlo una vez se hayan realizado las acciones pertinentes.

6.2.7.a. Encendido (SCR)

El rectificador controlado de silicio (SCR) es un tipo de tiristor formado por cuatro capas de material semiconductor con estructura PNPN o bien NPNP.

Trabajando en corriente continua el SCR se comporta como un circuito abierto hasta que activa con una pequeña corriente su compuerta (o gatillo), consiguiendo que este comience a conducir y se comporte como un diodo en polarización directa. Si esta compuerta no se activa el tiristor no conduce.

Una vez es activado, se mantiene la conductividad entre su ánodo y su cátodo y la puerta deja de tener control sobre el tiristor. Sólo puede ser desactivado si la corriente directa entre ánodo y cátodo cae por debajo de la corriente de mantenimiento.

Este componente cambia el comportamiento del cierre. Cuando el usuario presione el pulsador se activará el cierre y la acción a realizar será decidida por el PIC en base al estado de la puerta y del sistema de bloqueo.

6.2.7.b. Apagado

El sistema se ha de apagar de algún modo, y el encargado de dar la orden será el PIC una vez se hayan realizado todas las acciones. Para realizar el apagado de un SCR en corriente continua existen varias opciones:

- Abrir el circuito principal consiguiendo intensidad nula.
- Polarizar inversamente el circuito ánodo-cátodo (el cátodo tendrá un nivel de tensión mayor que el del ánodo)
- Cortocircuitar ánodo y cátodo.

La opción que se contempla es la de cortocircuitar el cátodo y el ánodo mediante un transistor comandado por el PIC.

Una vez se realizan las acciones pertinentes en el cierre, el PIC envía una señal a la base del transistor consiguiendo cortocircuitar ánodo y cátodo. Esta acción deriva parte de la corriente por el transistor, consiguiendo que la existente entre ánodo y cátodo caiga por debajo de la corriente de mantenimiento y cesando el funcionamiento del SCR. Por último, el PIC deja de enviar la señal al transistor produciéndose el apagado.

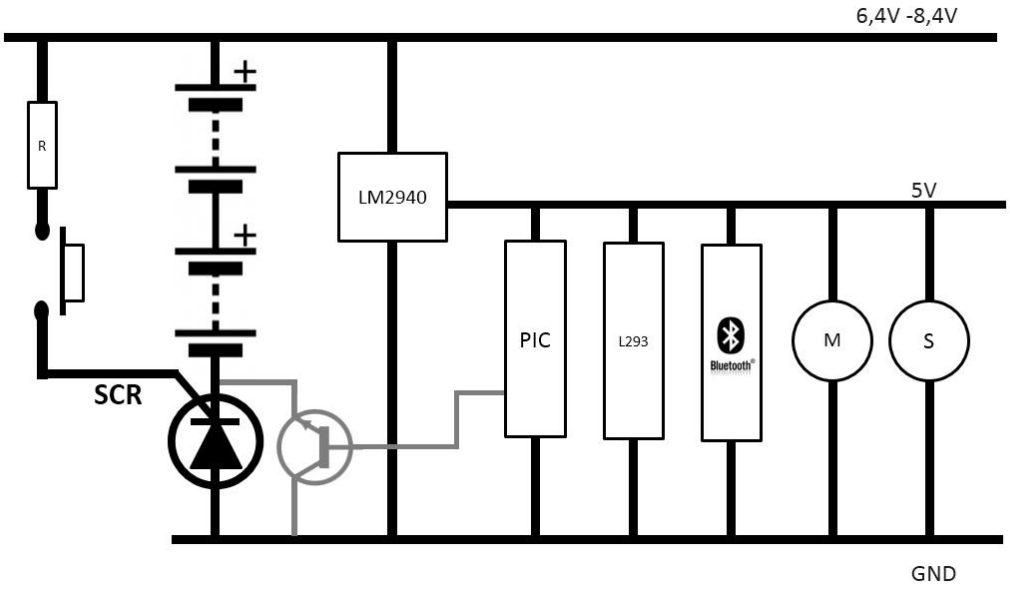


Ilustración 36. Circuito SCR.

6.2.8 Diseño en detalle

En este apartado se procede a describir en detalle la electrónica de la estación local. En el "DOCUMENTO IV: Planos y esquemas electrónicos" se muestra el diagrama esquemático completo del circuito implementado, al igual que los diagramas para elaborar el circuito impreso.

Debido a las reducidas dimensiones del cierre, se decide dividir la electrónica en dos pequeños circuitos impresos:

- PCB conexiones: situada en el fondo de la carcasa, cuya función es la de realizar todas conexiones con los demás componentes electrónicos del cierre y conectarlos con la PCB principal.
- PCB principal: En ella se encuentran los componentes de control y adaptación de señales. Se sitúa en la tapa del cierre, consiguiendo fácil acceso para su mantenimiento.

6.2.8.a. Regulador de tensión LM2940

El regulador de tensión LM2940 consta de tres terminales: el primero recibe la entrada de la tensión a regular, el segundo se conecta a masa y el último da la salida de tensión regulada a 5V. Para conseguir la estabilidad requerida en la salida se instalan dos condensadores electrolíticos como muestra el siguiente esquema:

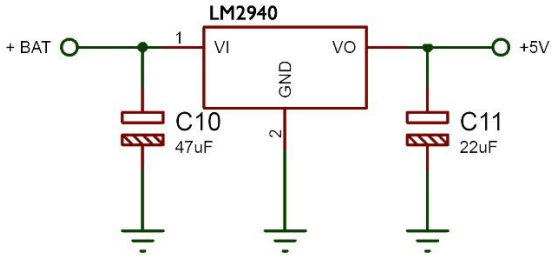


Ilustración 37. Esquema conexión LM2940.

6.2.8.b. SCR

Este componente es el encargado de realizar el encendido del circuito, para ello su cátodo se conecta al polo negativo de la batería y a su ánodo se conectan las masas de todos los componentes del circuito. De esta manera se consigue que el SCR cierre el circuito una vez reciba un pulso en su compuerta, siendo este regulado por una resistencia de 4,7 kΩ. El modelo seleccionado ha sido el TIC106.

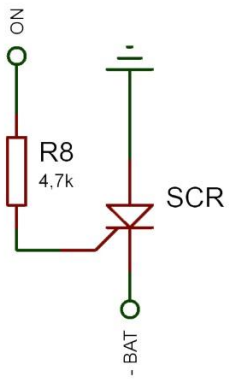


Ilustración 38. Esquema conexión SCR.

6.2.8.c. PIC

Situado en la PCB principal, su función es la de conocer el estado del cierre y de la puerta mediante los sensores, comunicarse vía serial con el modulo bluetooth para conocer los permisos del cierre e informar del estado del mismo y finalmente, realizar la acción pertinente.

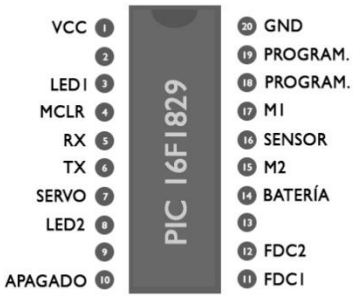


Ilustración 39. Conexiones PIC.

En la ilustración 37 se muestra el uso dado para cada pin del microprocesador. En el diseño final de la PCB se decide prescindir del módulo de programación del PIC (pin 18 y 19), por lo que esta acción se ha de realizar externamente.

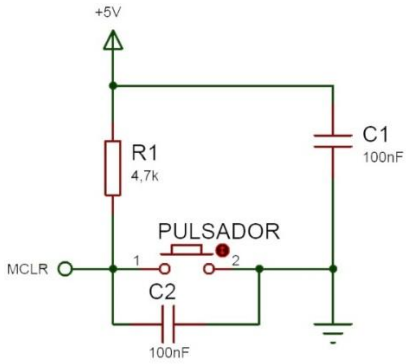


Ilustración 40. Esquema alimentación PIC.

Para el correcto funcionamiento del PIC se instala un condensador de desacoplo entre GND y VCC y una resistencia de 4,7kΩ que mantiene a nivel alto a MCLR. Por último se le dota de un pulsador de reset y un condensador que evite posibles rebotes.

6.2.8.a. Divisor de tensión

Al hacer uso de baterías se hace necesario informar al administrador de su estado para que proceda a su sustitución o recarga cuando sea conveniente.

Para ello se ha de medir el voltaje que suministran las baterías mediante una entrada analógica del PIC. El modulo A/D del microcontrolador seleccionado trabaja de 0 a 5V, por lo que no se puede realizar la medida directamente de las baterías. Efectuar la medida una vez el regulador normalice la tensión a 5V tampoco es viable, ya que esta nunca varía y no aporta información real sobre su nivel de energía.

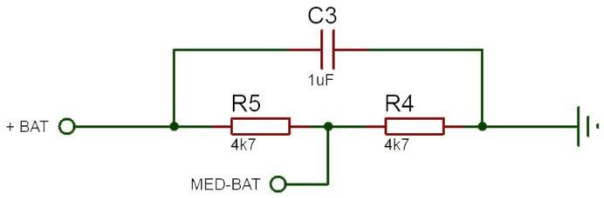


Ilustración 41. Esquema divisor de tensión.

Para conseguir realizar la acción buscada, se diseña un divisor de tensión mediante dos resistencias de 4,7 kΩ. Entre ellas se efectúa la medida por parte del PIC, siendo esta siempre proporcional al nivel de la batería según la ecuación:

$$MEDBAT = \frac{Nivel\ de\ batería - Caida\ tensión\ SCR}{2}$$

Como se ha mencionado, la masa de todos los elementos es conectada al ánodo del SCR que, una vez se activa, cierra el circuito con el polo negativo de la batería. Además, el SCR en funcionamiento actúa como un diodo provocando una caída de tensión (0,8 V según medidas realizadas).

Esta caída ha de tenerse en cuenta a la hora de realizar los cálculos, quedando la ecuación:

$$Nivel\ de\ batería = 2 \cdot MEDBAT + 0{,}8$$

6.2.8.b. Métodos de encendido

El encendido se realiza por medio de un pulso en el gatillo del SCR que cierra el circuito. Dicho pulso será generado por el usuario una vez presione un botón.

Pero además, se hace necesario un sistema que consiga generar un pulso si el usuario opta por usar la llave; el objetivo es el de informar a la centralita de que se ha accedido manualmente al armario.

Por lo que son necesarios dos métodos de encendido:

- Mediante botón.
- Mediante llave.

El encendido mediante botón simplemente se basa en un pulsador que una vez se presiona envía 8V al gatillo.

El funcionamiento mediante llave actúa de manera más compleja, este se aprovecha de los finales de carrera que informan al PIC de que la guía horizontal ha llegada al final de su recorrido (1 y 2 en ilustración 42).

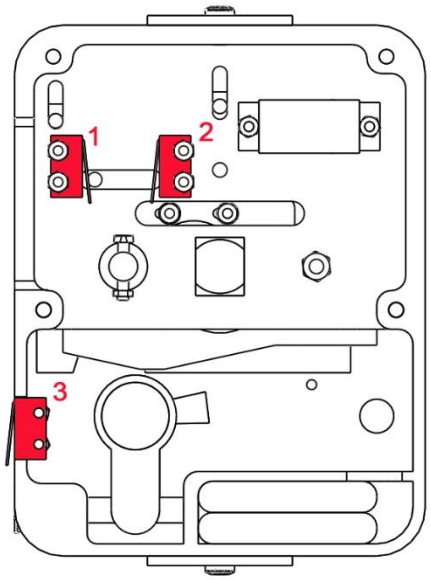


Ilustración 42. Posicionamiento de finales de carrera.

Cuando el cierre se encuentra bloqueado el final de carrera 1 (FDC1) se mantiene presionado, mientras que cuando el cierre está desbloqueado es el final de carrera 2 (FDC2) el que se conserva pulsado.

Ambos cuentan con terminales para trabajar como normalmente abiertos, normalmente cerrados o en ambos estados.

Una primera idea fue la de utilizar el terminal normalmente cerrado del FDC 1 para proporcionar la señal de encendido al SCR. Con esto, cuando el usuario desbloquease el cierre se dejaría de presionar el FDC1 y el circuito sería alimentado. El problema surgiría al realizar el apagado, ya que el gatillo del SCR se encontraría alimentado de continuo (al no estar el FDC1 pulsado) y mantendría el SCR en conducción.

Para solucionar este problema se decide insertar un nuevo final de carrera en el lateral del cierre. De esta manera cuando la puerta se encuentre cerrada este se mantendrá presionado abriendo el circuito, y una vez abierta se liberará. El esquema que se siguió para su conexión se muestra a continuación:

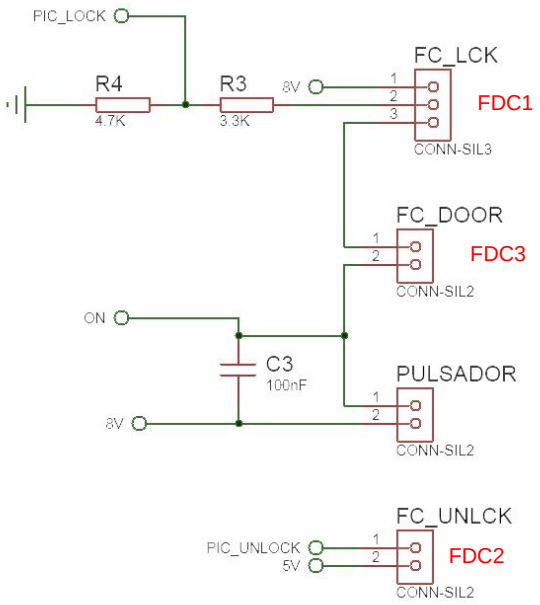


Ilustración 43. Esquema de finales de carrera.

Con este final de carrera extra se puede aplicar la siguiente lógica para el encendido:

	FDC1 (Cierre bloqueado)		FDC2 (Cierre desbloqueado)		FDC3 (Puerta)	
1	P	Envía señal a PIC	NP	--	P	Cierra e circuito
2	P	Envía señal a PIC	NP	--	NP	--
3	NP	Envía 8V a FDC3	P	Envía señal a PIC	P	Cierra el circuito
4	NP	Envía 8V a FDC3	P	Envía señal a PIC	NP	--

P = PRESIONADO NP = NO PRESIONADO

Tabla 17. Lógica de finales de carrera.

1. **Cierre bloqueado - puerta cerrada.** El FDC1 informa al PIC de que el cierre se encuentra bloqueado. Aunque el FDC3 se encuentra presionado, el gatillo del SCR no es alimentado, ya que el FDC1 mantiene el circuito abierto, por lo que el PIC puede realizar el apagado.
2. **Cierre bloqueado - puerta abierta.** EL FDC1 informa al PIC de que el cierre se encuentra bloqueado. El gatillo no se encuentra alimentado, por lo que el PIC puede apagar el circuito. En caso de que el cierre se encuentre apagado y se entre en esta situación el circuito no sería alimentado.

3. **Cierre desbloqueado – puerta cerrada.** El FDC1 y el FDC3 cierran el circuito alimentando el gatillo del SCR y encendiendo el circuito. El FDC2 informa al PIC de la cerradura se encuentra desbloqueada. En esta situación no se puede apagar el cierre ya que el gatillo se encuentra constantemente alimentado (En caso de que el usuario no abriese la puerta en un tiempo determinado el PIC bloquearía el cierre llevándolo a la situación 1).
4. **Cierre desbloqueado - puerta cerrada.** EL FDC2 informa al PIC de que la cerradura se encuentra desbloqueada. En esta situación también es posible apagar el PIC.

Con este método se dan situaciones de cierta incertidumbre que son solucionadas por el programa de control del PIC, como en el caso de la situación 3, que serán explicadas en detalle en el apartado de control.

Como se aprecia en la ilustración 42 la tensión de la señal que es enviada al PIC por el FDC1 se realiza mediante un divisor de tensión que lleva los 8V a rangos aceptables por el PIC.

El FDC3 indica el estado de la puerta indirectamente, por lo que podría adaptarse para que informase al PIC. Sin embargo se decide no prescindir del sensor de efecto hall ya que se sigue creyendo un mejor sistema para conocer el estado de la puerta y el final de carrera puede dar lugar a posibles errores.

6.2.8.c. Apagado

El apagado lo llevará acabo el PIC una vez este haya terminado de realizar la acción adecuada.

En el apartado 6.2.7.b de este mismo documento se propuso el uso de un transistor para cortocircuitar al ánodo y el cátodo del SCR procediendo a su apagado. Sin embargo, el circuito montado en la placa de pruebas (mostrado en el siguiente apartado) se encontró un problema con este concepto.

En pruebas realizadas con el transistor aislado, cuando se energizaba la base y posteriormente se des-energizaba, se conseguía apagar el circuito correctamente.

Una vez se unió el transistor del PIC, este no conseguía realizar el apagado debido a que el transistor no dejaba de conducir. Este inconveniente se achacó a un problema de asilamiento en las señales, por lo que la solución fue añadir un optoacoplador.

El optoacoplador seleccionado fue diseñado para el manejo de corrientes muy pequeñas por lo que la corriente de 30 mA que pasa entre colector y emisor en el momento del apagado es demasiado elevada para su uso en el apagado. Por ello, se aprovechó para alimentar la base de un transistor con características más adecuadas para el apagado.

Se seleccionan el optoacoplador 4N35 y el transistor el 2N222.

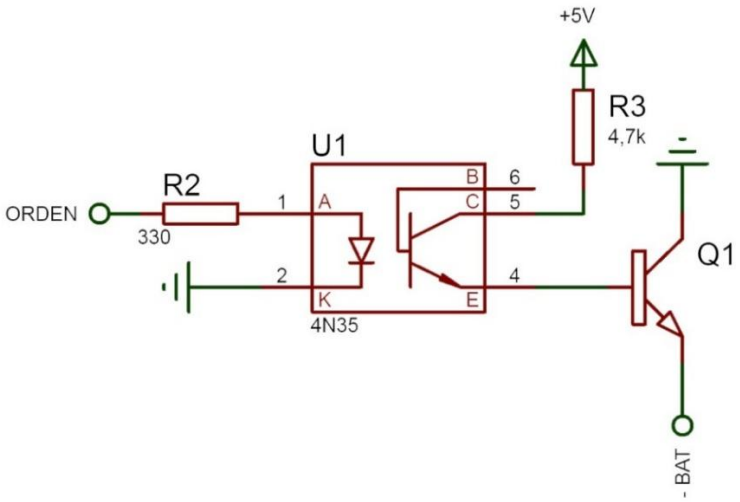


Ilustración 44. Esquema sistema de apagado.

6.2.9 Circuito de prueba

Previamente a la fabricación definitiva de los circuitos impresos se realiza el montaje del circuito en una placa de pruebas con el objetivo de descubrir posibles fallos.

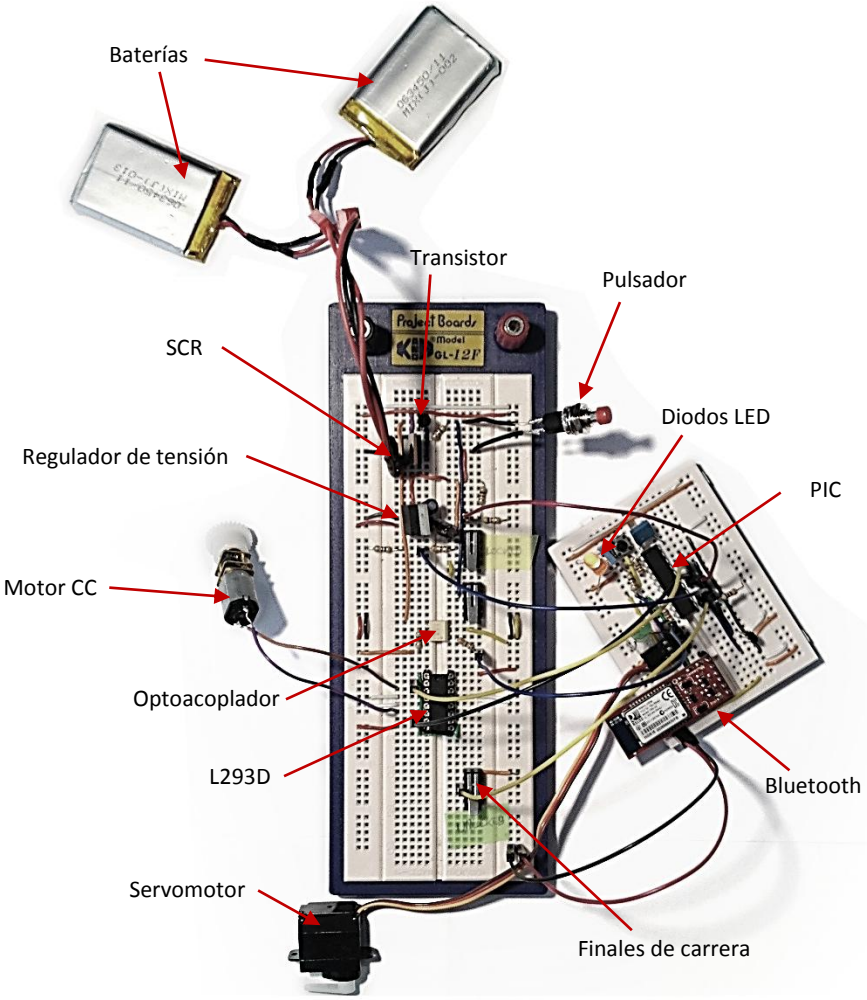


Ilustración 45. Foto de placa de pruebas.

Como ya se ha comentado y explicado en el apartado anterior, solamente se detectó un fallo en la prueba del circuito referente al apagado.

6.2.10 PCB definitivas

En último lugar se realiza el diseño final del circuito que, como ya se ha dicho, será dividido en dos placas de circuito impreso: PCB principal y PCB de conexiones.

Para el diseño de ambas se utilizó el Programa Proteus 8 de LabCenter Electronics.

Ambos aprovechan ambas caras de la PCB situando en una de ellas un plano de masa. Para el diseño de las pistas se establecieron las siguientes reglas de diseño:

- Ancho de pista VCC y GND: 50 th (1,27 mm)
- Vías de VCC Y GND 50 th(1,27 mm)
- Ancho de pista señal: 40 th(1,02 mm)
- Vías de señales 40 th (1,02 mm)
- Separación entre pistas: 15 th (0,38 mm)
- Separación del plano de masa 20 th (0,5 mm)

6.2.10.a. PCB principal

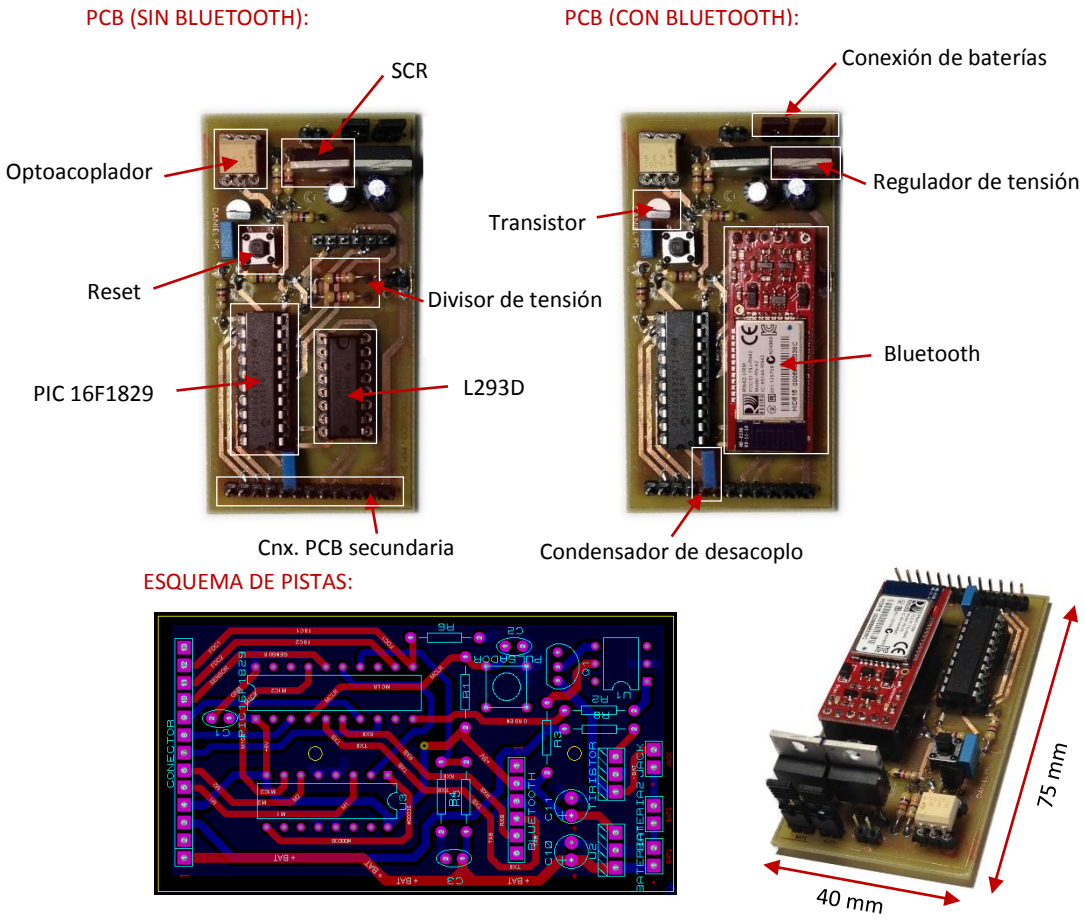


Ilustración 46. PCB principal.

La distribución de todos los componentes ha sido seleccionada con el objetivo de que estos no interfiriesen con el mecanismo del cierre.

Por esta razón tanto el SCR (TIC106) como el regulador de tensión (LM2940) son colocados en la parte inferior del cierre, ya que su encapsulado de tipo TO-220 posee unas medidas muy elevadas y esa zona del cierre es la que conserva más espacio libre.

La alimentación también se lleva a cabo en la zona inferior del cierre por su cercanía al regulador de tensión y a las baterías.

La colocación dada al PIC y al integrado L293D se dio con el objetivo de buscar un reparto homogéneo de las pistas del PIC. Lo más cerca posible de la entrada de alimentación del PIC se situó un condensador de desacoplo. De esta forma se disminuye el efecto de las emisiones electromagnéticas, además de evitar caídas de tensión en otros sistemas de la placa debido a las conmutaciones de los diferentes integrados.

La conexión del bluetooth se realiza en la parte inferior de la placa para conseguir que este, una vez instalado, no sobresalga de las medidas de la PCB. Al ser posicionado sobre el resto de componentes se tuvo especial cuidado en que ninguno tuviese dimensiones demasiado elevadas.

En la parte superior de la placa se encuentra la tira de conexiones que conecta con la PCB secundaria. Se optó por este sistema debido a que otro tipo de conector, como puede ser el IDC, poseía dimensiones demasiado elevadas interfiriendo con el mecanismo.

Los demás componentes (reset, optoacoplador, transistor…) fueron dispuestos en la esquina derecha inferior.

6.2.10.b. PCB de conexiones

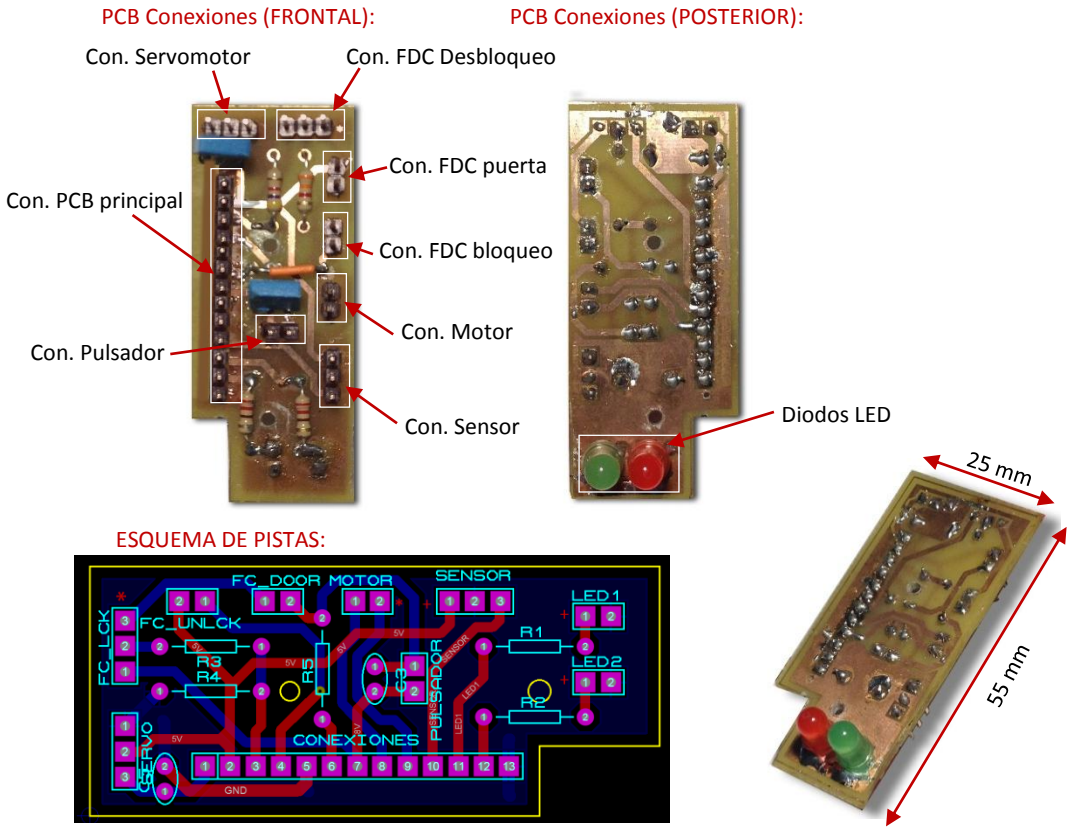


Ilustración 47.PCB de conexiones.

Su función es la de hacer de puente entre los actuadores y sensores y la PCB principal.

Se situará en el fondo del cierre, mediante dos tornillos, consiguiendo que los diodos LED sobresalgan al exterior de la carcasa. El corte en la esquina fue dado para otorgarle espacio al pulsador.

Todos los conexionados con los demás componentes se llevan a cabo alrededor de los bordes de la PCB, excepto el del pulsador que, debido a su proximidad, se decidió relegar al centro.

6.3. Centralita

La función de la centralita es la de gestionar y registrar los accesos de los usuarios a los cierres mediante control biométrico. Para realizar su función debe:

- Controlar un módulo biométrico.
- Controlar un módulo bluetooth.
- Poseer una base de datos.
- Contar con una pantalla que informe en todo momento al usuario.
- Permitir interactuar con ella, por lo que se han de instalar botones o teclado.
- Tener acceso remoto, por lo que ha de poseer acceso a internet.

6.3.1 Alternativas de controlador

Para realizar el control de todo lo expuesto anteriormente se barajan 3 opciones: Arduino Mega, Raspberry Pi B y BeagleBone Black.

Ilustración 48. Arduino mega, Raspberry Pi B y Beaglebone Black

A continuación se realizan tres tablas comparativas que muestran las ventajas y desventajas de cada uno de los modelos en razón a sus características técnicas.

- Arduino Mega

El Arduino Mega es una placa microcontrolador basada en ATmeg1280. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida PWM), 16 entradas digitales, 4 UARTS (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de reset.

Su precio es de 59€.

Ventajas	Desventajas
- Buen rendimiento. - Existe una amplia comunidad de programadores y bastantes librerías para el diseño de distintos proyectos. - Cuenta con bastantes periféricos ADC, SPI, I2C, PWM, UART. - Soporta distintos tipos de voltaje para la alimentación (pilas, eliminador, USB). - Muchos accesosrios, barato y fácil de conseguir	- Memoria limitada. - No cuenta con salida de video ni audio - No se puede a conectar a internet sin un módulo extra. - No se puede expandir la memoria - No soporta sistema operativo.

Tabla 18. Arduino Mega.

- Raspberry Pi Modelo B

Raspberry Pi es un ordenador embebido de bajo costo, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi.

El diseño incluye un chip Broadcom BCM2835 con una CPU ARM1176JZF-S a 700 MHz, GPU VideoCore IV, y 512 MiB de memoria RAM. No incluye un disco duro ni unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente.

Su precio es de 39€.

Ventajas	Desventajas
- Procesador muy potente. - Ideal para realizar conexiones a una red. - Existe una gran comunidad que aporta librerías y códigos. - Adecuada para comunicaciones I2C, SPI o UART - Buen precio y fácil de adquirir.	- No posee entras analógicas ni PWM. - Los puertos I/O trabajan a 3,3V.

Tabla 19. Raspberry PI.

- BeagleBone Black

El BeagleBone Black de Texas Instruments incluye una CPU ARM Cortex-A8 a 1 GHz, acelerador gráfico 3D, un par de PRU SS RISC de 32 bits, 512 MB de RAM y 2 GB de almacenamiento interno, además de una ranura microSD. En lo que a puertos se refiere, incluye una conexión USB, otra Ethernet, salida micro-HDMI y dos conectores de 46 pines.

Su precio es de 45€.

Ventajas	Desventajas
- Procesador muy potente. - Ideal para realizar conexiones a una red. - Existe una gran comunidad que aporta librerías y códigos. - Adecuada para comunicaciones I2C, SPI o UART - Precio moderado.	- No posee una comunidad muy elevada. - No es fácil de conseguir.

Tabla 20. BeagleBones Black.

6.3.2 Selección de controlador

El Arduino Mega, al trabajar mediante microprocesador, implica la compra de más módulos para su funcionamiento en red. El alto precio tanto del arduino como de su módulo de expansión justifica su descarte.

Se selecciona finalmente la Raspberry Pi modelo B pese a que la Beaglebone Black presenta mejores características técnicas en cuanto a procesador, RAM y almacenamiento. Sin embargo estas características no son factores críticos para el buen desarrollo del proyecto. La decisión tomada se argumenta en la salida de video RCA que permite el uso de una pequeña pantalla de precio reducido, la facilidad para usar sus GPIO y la documentación que existe sobre ella.

6.3.3 Sensor de huellas

El sensor seleccionado ha sido el GT – 511C de SparkFun. Este sensor de huellas dactilares se comunica a través de protocolo serial TTL y cuenta con una CPU de 32 bits, la cual se encarga del procesamiento de los datos pudiendo almacenar hasta 200 huellas dactilares.

Ilustración 49. Sensor de huellas GT-511C3.

El módulo se encarga de la lectura y la identificación de las huellas dactilares mediante su sensor óptico. Su manejo se realiza mediante el envío y recepción de comandos vía serial.

6.3.4 Bluetooth

La centralita ha de contar con conexión bluetooth para realizar el enlace con cada uno de los cierres. Debido al bajo precio y fácil manejo del bluetooth RN42 seleccionado para los cierres, se decide la implementación del mismo modulo para la centralita con el objetivo de homogenizar componentes.

6.3.5 Pantalla

Para realizar la visualización de los datos e informar al usuario se decide hacer uso de una pequeña pantalla.

Aprovechando el conector RCA con el que cuenta la Raspberry Pi, se realiza la compra de la pantalla TFT de 3,5" de Adafruit. Esta pequeña pantalla de 3.5 pulgadas de diagonal tiene un driver NTSC y PAL para poder conectar una señal de vídeo.

Características:

- Alimentación: de 6 a 12VDC
- Consumo: 150mA a 12V (350mA a 6V)
- Dimensiones de la placa de control: 70x52x11.15 mm
- Área visible: 70.08mm horizontal x 52.56mm vertical
- Resolución: 320x240 / 24 bits
- Dimensiones totales: 76.9x63.9x3.3 mm

Ilustración 50. Pantalla TFT 3.5" Adafruit.

6.3.6 Conexión Wifi

Al requerirse conexión a internet para realizar accesos remotos, se ha de instalar un módulo Wi-Fi. Afortunadamente en el mercado existen adaptadores de precio muy bajo para la raspberry pi.

Se selecciona el adaptador EDUP Ultra-Mini Nano USB 2.0 que permite conexiones a redes Wi-fi de tipo 802.11n a una velocidad de 150Mbps. Es de muy fácil instalación y su precio es de unos 6 €.

Ilustración 51. Adaptador Wifi EDUP.

6.3.7 Conexión de componentes

En este apartado se explica cómo son conectados los periféricos en la raspberry pi a través de sus puertos GPIO y sus dos USB. Los dispositivos a conectar son:

- Cuatro pulsadores: su función es la de ofrecer al usuario una manera de interactuar con la consola.
  Su conexión se realizará a través de los puertos GPIO. Los cuatro pulsadores serán alimentados por 3,3 V y llevados a tierra a través de una resistencia de 10k. La conexión con los puertos se lleva a cabo antes de las resistencias, de esta manera se aseguran 0V si estos no están en los puertos cuando el pulsador correspondiente no está presionado.
- Tanto el sensor de huellas como el módulo bluetooth hacen uso de comunicación serial.
  Su conexión se decide realizarla a través de puertos USB mediante el uso de un adaptador con chip FTDI de Sparkfun.
  Debido a que el consumo de corriente de estos componentes es mayor a los 100 mA que ofrece la Raspberry Pi se hace uso de un HUB USB alimentado que otorga dicha corriente extra a los componentes.
- EDUP Wifi. Su conexión se realizará también mediante conexión USB.
- La pantalla contará con alimentación propia y será conectada a la salida RCA de la Raspberry Pi.

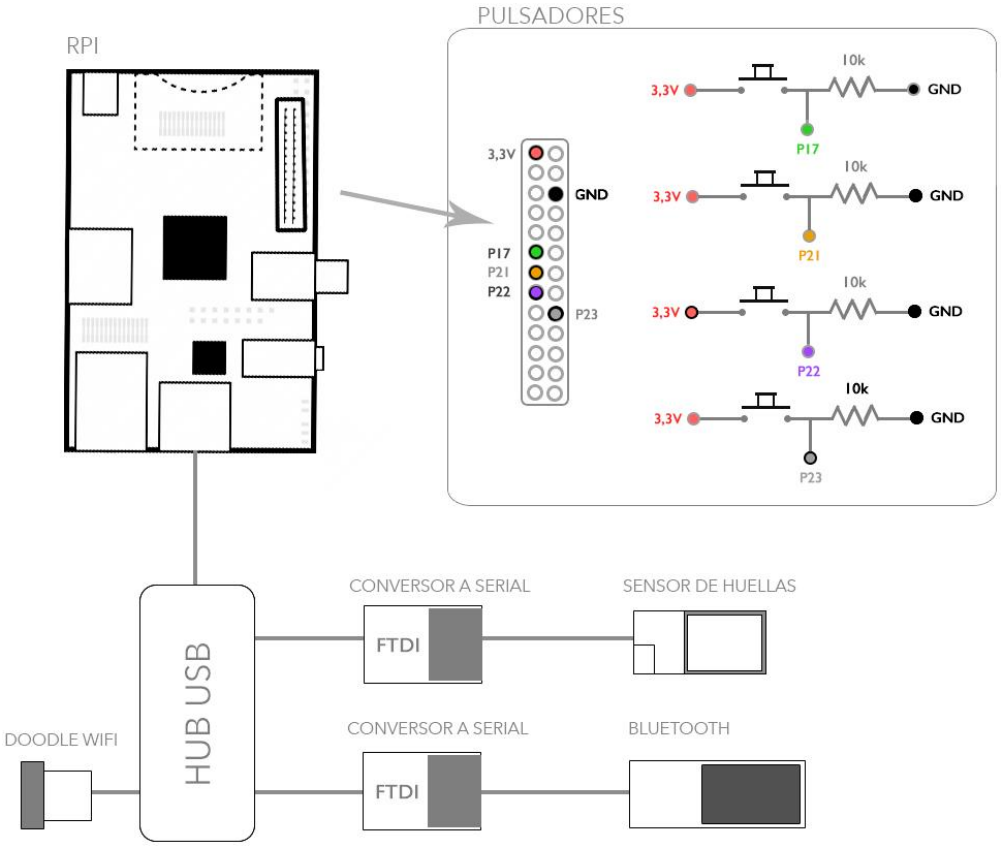


Ilustración 52 Esquema de conexiones en centralita.

6.4. Validación

En este último apartado relacionado con el diseño electrónico del proyecto se realiza una validación en base a los requisitos electrónicos establecidos para el cierre electrónico.

El sistema de apagado ha conseguido situar el consumo del cierre dentro de los márgenes establecidos en el proyecto.

Además, las PCB se han ubicado en el interior del cierre ocultándolas a los usuarios y permitiendo un fácil acceso para su mantenimiento.

Finalmente, se ha podido alimentar el cierre mediante baterías manteniéndolo dentro de los márgenes marcados en el planteamiento del proyecto.

La siguiente tabla muestra un resumen de los requisitos obligatorios y opcionales cumplidos en el diseño final:

Diseño con consumo reducido	✓
Los usuarios no tendrán acceso a los componentes electrónicos	✓
Las PCB será de fácil acceso para su mantenimiento	✓
Alimentación mediante baterías (opcional)	✓

Tabla 21.Validación del diseño.

6.5. Documentación complementaria

Se dispone de más información referente a este apartado en:

- ANEXO VII: Potencia y consumo estimados.
- ANEXO VIII. Cálculo de componentes electrónicos.
- DOCUMENTO IV: Planos y esquemas electrónicos.

7. DISEÑO DEL CONTROL

El sistema de control es enfocado desde dos puntos de vista diferentes. Por un lado, el control de la Raspberry Pi se realiza bajo la plataforma de desarrollo Qt Creator y mediante el uso del lenguaje C++ con una clara orientación a objetos. Por otro, el software implementado en el microcontrolador únicamente tiene funciones y algoritmos de procesamiento básico, sin embargo, permite acceder a los múltiples recursos utilizados, así como establecer una comunicación satisfactoria con la Raspberry Pi.

En este apartado se explicará el comportamiento buscado tanto del cierre, como de la centralita, ante las distintas situaciones posibles. Posteriormente se analizarán en detalle los programas realizados en base a dichos objetivos.

7.1. Software implementado en el microcontrolador

Las funciones principales del microcontrolador son generar las señales de control para los actuadores, adquirir la información aportada por los sensores, comunicarse con el modulo bluetooth y realizar una acción en base a toda la información disponible.

EL programa se realiza bajo la plataforma de desarrollo MPLAB y el compilador CCS Compiler.

7.1.1 Análisis inicial

7.1.1.a. Interacción con el usuario

El usuario sólo dispone de tres métodos de interacción con el cierre:

- Pulsador: su única función es la de energizar el sistema.
- Llave: con ella se puede abrir el cierre sin necesidad de autentificación biométrica.
- Final de carrera en puerta: al igual que el pulsador su función es la de encender el cierre una vez se cierre la puerta.

Como se comprueba, la interacción del usuario con el cierre es muy limitada e insuficiente como para que el cierre realice la acción adecuada. Esa información es obtenida e interpretada de dos finales de carrera que informan del estado del cierre (Véase apartado 6.2.8.b - Métodos de encendido) y un sensor de efecto Hall que informa del estado de la puerta.

A continuación se estudia el comportamiento requerido en cada una de las situaciones posibles:

1. Puerta abierta – cierre desbloqueado:

Los datos adquiridos por el PIC serán:

- Final de carrera de desbloqueo: 1
- Final de carrera de bloqueo : 0
- Lectura A/D obtenida del sensor de efecto Hall: < *MAGNETISM_VALUE

En esta situación el cierre no deberá realizar ninguna acción debido a que la puerta se encuentra demasiado lejos como para bloquear el cierre.

*MAGNETISM VALUE: valor mínimo de lectura para considerar que la puerta está cerrada (establecido mediante ensayo)

2. Puerta abierta – cierre bloqueado

Los datos adquiridos por el PIC serán:

- Final de carrera de desbloqueo: 0
- Final de carrera de bloqueo : 1
- Lectura A/D obtenida del sensor de efecto Hall: < MAGNETISM_VALUE

Esta situación solo se puede dar si un usuario mediante llave bloquea la cerradura con la puerta abierta. Ante esta acción, el cierre no se enciende por lo que es necesario pulsar el botón de encendido. Una vez pulsado, el microcontrolador desbloquea el cierre para facilitar el cerrado de la puerta.

3. Puerta cerrada – cierre desbloqueado

Los datos adquiridos por el PIC serán:

- Final de carrera de desbloqueo: 1
- Final de carrera de bloqueo : 0
- Lectura A/D obtenida del sensor de efecto Hall: > MAGNETISM_VALUE

Cuando el cierre, recién encendido, se encuentra en esta situación pueden darse dos casos:

- El usuario ha acercado la puerta y desea que el cierre se bloquee,
- El usuario ha abierto mediante llave.

Para solucionar esta incertidumbre se realiza una comparación del estado actual del cierre con el estado que tenía cuando se apagó por última vez. Comparado esta información, se sabe que si el estado anterior del cierre era bloqueado y la puerta se encontraba cerrada, la única manera de llegar al estado actual es mediante una apertura por llave.

Si se ha realizado una apertura por llave se realiza una pausa de 15 segundos, que se rompe en caso de que el usuario abra la puerta, en caso contrario el sistema vuelve a bloquear el cierre por seguridad.

Si no se trata de una apertura por llave, el cierre bloqueará la puerta instantáneamente ya que se deduce la intención del usuario.

4. Puerta cerrada – cierre bloqueado

Los datos adquiridos por el PIC serán:

- Final de carrera de desbloqueo: 0
- Final de carrera de bloqueo : 1
- Lectura A/D obtenida del sensor de efecto Hall: > MAGNETISM_VALUE

Ante esta situación el cierre ha de realizar una comunicación forzada con la centralita ya que se ha de informar al microcontrolador si el usuario activo en el sistema tiene permiso de acceso al armario en cuestión. En base a la respuesta, el cierre será abierto o apagado instantáneamente.

El sistema gobernado por el microcontrolador esperará la conexión con la centralita durante 10 segundos, pasado ese tiempo la comunicación se dará como fallida y se procederá al apagado.

7.1.1.b. Fallos mecánicos

El programa ha de tener en cuenta los posibles fallos mecánicos del sistema. De esta manera si un final de carrera no es detectado se deduce un fallo mecánico o un fallo en el mismo final de carrera.

En esta situación se comunicará a la centralita el fallo surgido y se procederá a realizar una secuencia en los actuadores buscando interpretar el fallo. En caso de no poder enmendar el fallo se intentará el bloqueo del cierre en busca de la mayor seguridad posible.

7.1.1.c. Comunicación

Para la comunicación se hará uso de la interrupción RDA con la que cuenta el PIC. Una vez el módulo bluetooth realiza la conexión con la centralita, envía una cadena prestablecida al microcontrolador que será usada como indicación del inicio de la comunicación.

Automáticamente el PIC enviará la siguiente cadena que indique a la Raspberry Pi su conexión:

Los primero 5 caracteres (“CE#ID”) representan el inicio de la trama, a los que se les une el número de identificación del cierre. Un “:” separa el id de la acción realizada, las posibles variables de este parámetro son:

COMANDO	ACCIÓN REALIZADA
0	Conexión realizada
1	Apertura
2	Cierre
3	Apertura mediante llave
4	Puerta no abierta
5	Puerta no abierta (apertura por llave)
6	Ninguna acción realizada
113	Fallo finales de carrera
111	Fallo final de carrera desbloqueo
112	Fallo final de carrera bloqueo
110	Fallo desconocido

Tabla 22. Tabla de acciones en comando de envío.

Finalmente se informa del nivel de la batería y se envía el carácter “F” para informar del final de la trama.

A esta cadena la centralita responderá con una similar:

Al igual que la trama enviada, la trama recibida cuenta con un inicio de trama “RPI#ID” seguido por la identificación del cierre a la que es enviada, a modo de comprobación. Por último, se envía el permiso del cierre y una indicación del final de trama:

COMANDO	ACCIÓN REALIZADA
13	Apertura permitida
14	Apertura denegada

Tabla 23. Comandos de respuesta.

El permiso de apertura es enviado independientemente de la acción que el cierre desee realizar.

Una vez es realizada la acción pertinente por parte del cierre, se reenvía la misma cadena mostrada a comienzos de esta página pero informando de la acción oportuna realizada.

7.1.2 Configuración de módulos

A continuación se explica la configuración realizada en los módulos del PIC. El programa completo se puede ver en el DOCUMENTO VI.a – Código del programa del microcontrolador.

7.1.2.a. Oscilador:

Se hace uso del oscilador interno configurándolo a una velocidad de 8 MHz.

7.1.2.b. Módulo A/D:

Se utilizan dos pines configurados como entradas analógicas:

- AN4 (P16): su función en la de medir el nivel de batería mediante la tensión obtenida de un divisor de tensión.
- AN6 (P14): lee la señal enviada por el sensor de efecto hall.

El módulo A/D del PIC se configura para la adquisición de 10 bits, dando una resolución de 4.89mV/bit. Los parámetros se configuraron de la forma siguiente:

- T_{AD}=4us, es decir T_{AD}=32 T_{OSC}, ya que el cristal es de 8MHz.
- Canales habilitados como analógicos: AN4, AN6
- Referencia positiva: V_{DD} (5V)
- Referencia negativa: V_{SS} (GND)

7.1.2.c. Comunicación Serial:

La trama de datos que será enviada desde la estación central sigue el siguiente esquema, en el caso de mayor longitud:

"RPI#ID01:00F"

Esta trama de datos consta de 12 caracteres, es decir, se recibirán 12 bytes. Teniendo en cuenta que se utiliza un bit de inicio por byte y considerando un bit de parada, sin bit de paridad, el rendimiento de la comunicación serial por byte es el siguiente:

$$\eta = \frac{bits\ de\ datos}{bits\ total} * 100 = \frac{8}{10} * 100 = 80\%$$

$$\text{Tiempo recepcion} = \#\text{bytes} * \eta * \frac{1}{\text{Velocidad(bps)}}$$

El tiempo de recepción no es un punto crítico ya que no se reciben ni envían tramas de datos de forma consecutiva, por lo que se escoge una velocidad de 9600 bps logrando un tiempo de recepción de 10 ms. En resumen, los parámetros usados para el módulo de comunicación serie son los siguientes:

- Velocidad: 9600 bps
- Número de bits: 8 bits por dato
- Bits de Parada: 1
- Paridad: Ninguna

Se utiliza el recurso de interrupción para almacenar los caracteres recibidos y procesarlos una vez finalizada la trama.

En cuanto al envío, se realiza mediante una trama basada en el siguiente esquema:

"CE#ID01:00:99F"

Esta trama de datos tiene 14 caracteres, lo que significa un tiempo de envió de 11,6 ms.

A los tiempos de envío y recepción hay que sumarles el tiempo de transmisión entre módulos bluetooth, dicha trasferencia se realiza a 115200 bps.

7.1.2.d. CCP1, Timer0 y Timer 1 (Control de servomotor)

El PIC ha de controlar el servomotor con el objetivo de elevar y descender la guía vertical. El modelo seleccionado es un servomotor de modelismo que tiene un rango de movimiento aproximado de 180 grados. Cuenta con una placa de control integrada que recibe referencias de posición en forma de ondas periódicas a una frecuencia de 50Hz con ancho de pulso variable. La duración del ancho de pulso varía en función del fabricante de los motores, sin embargo, para el actuador que se utiliza en este proyecto, el rango está definido de la forma mostrada en siguiente ilustración:

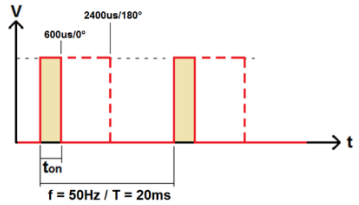


Ilustración 53. PWM servomotor.

Debe tenerse en cuenta que si bien este es el valor estándar, cada servomotor tiene sus propios rangos para el tiempo en alto de la señal, los cuales están alrededor del valor estándar.

Para generar la señal de control existen varias opciones, como por ejemplo la de generar una señal PWM y controlar la variación del ancho de pulso. Este modo de trabajo presenta ciertas limitaciones, como por ejemplo el hecho de que para generar una señal a una frecuencia de 50Hz, el cristal necesario sería de 2MHz o menor, con lo cual se consigue la onda PWM pero se ralentiza la operación completa del microcontrolador. Además al realizar una onda PWM a 50Hz, cuyo periodo es de 2ms, la relación de trabajo del PWM varía en un rango muy pequeño y la resolución para el control de posición no es buena. A continuación se presentan el análisis realizado.

$$\mathrm{T} = 20\mathrm{ms}, \qquad \mathrm{f} = 50\mathrm{Hz}, \qquad \text{Registro PWM: } 10\mathrm{bits}\ (0 - 1023)$$

$$\text{Resolución} = \frac{\text{tiempo/bit}}{\text{tiempo/grado}} = \frac{\frac{\mathrm{T}}{\mathrm{PWM_{max}}}}{\frac{\mathrm{t_{180deg}} - \mathrm{t_{0deg}}}{\mathrm{Rango_{angulo}}}} = \frac{\frac{20000\mathrm{us}}{1024}}{\frac{2600 - 600}{180}} = 1.76\mathrm{grados/bit}$$

$$\%\mathrm{PWM_{0deg}} = \frac{600\mathrm{us}}{20000\mathrm{us}} * 100 = 3\% \rightarrow \delta_{\mathrm{PWM}} = 1024 * 0.03 \approx 31$$

$$\%\mathrm{PWM_{180deg}} = \frac{2600\mathrm{us}}{20000\mathrm{us}} * 100 = 13\% \rightarrow \delta_{\mathrm{PWM}} = 1024 * 0.13 \approx 133$$

Se decide pues el uso de un módulo CCP en modo comparación. Con este cambio se consigue con una resolución aproximadamente de 0.05°, usando un oscilador de 8MHz. Sin embargo, el motor utilizado no es capaz de proveer tal resolución, por lo que en la aplicación la resolución alcanzada está alrededor de 0.5° (5us).

Por esta razón el TIMER0 se configura para que cree una interrupción por desbordamiento cada 20 ms siguiendo la fórmula:

$$Tiempo\ interrupción = 4 \cdot \frac{1}{Frec.Osc.} \cdot (256 - TMR0) \cdot Prescaler$$

Se configura el TIMER0 con un prescaler de 256, haciendo necesario realizar una carga de:

$$20\ ms = 4 \cdot \frac{1}{8\ Mhz} \cdot (256 - Carga\ TMR0) \cdot 256$$

$$Carga\ TMR0 = 99{,}75\ \cong 100$$

Obteniéndose una interrupción por desbordamiento cada 19.96ms (≈20ms) para establecer el periodo de la señal.

Y el TIMER1 se ha de configurar para proveer de un tiempo referencial al módulo CCP. Para ello se configura con prescaler 2. Obteniendo un tiempo máximo de

$$4 \cdot \frac{1}{8\,Mhz} \cdot 2 \cdot 65536 = 65{,}536\,ms$$

Por último el módulo CCP es configurado en modo comparador con interrupción una vez la carga en del CCP1 coincida con el valor del TIMER1.

7.1.3 Análisis del programa

Para explicar en más detalle el programa se tomará como referencia inicial el siguiente diagrama de flujo:

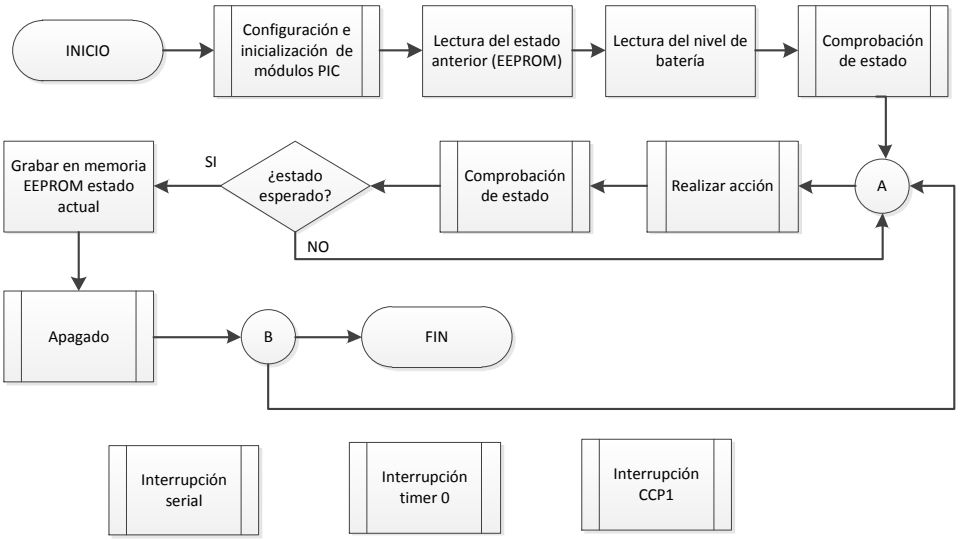


Ilustración 54. Diagrama de flujo rutina principal (PIC).

El programa comienza configurando todos los registros del microcontrolador para el correcto funcionamiento del sistema. En estos se incluye la configuración del módulos CCP utilizado para controlar el servomotor, comunicación serial, puertos, parámetros e interrupciones, como se muestra en el apartado anterior.

Una vez configurado se realizan dos lecturas: una desde el módulo A/D en el que se memoriza el nivel en voltios de la batería y otra desde la memoria EEPROM donde se retiene el estado anterior del cierre.

El siguiente proceso es el de comprobación de estado del cierre, en él se comprueba el estado de la puerta y del cierre en el momento del encendido. Una vez conocido se entra en la rutina principal donde se realiza la acción en base al estado actual del cierre y el anterior.

Una vez realizada, y si no existen problemas, se vuelve a comprobar el estado del cierre: si el estado del cierre coincide con el esperado se continúa la rutina en caso contrario se reinicia desde el punto A.

Las últimas acciones a realizar consisten en la escritura de la EEPROM donde se memoriza el estado final del cierre y el apagado. En caso de que el apagado no se lleve a cabo por alguna razón, la rutina vuelve a comenzar en el punto A.

Durante la ejecución del programa existen 3 posibles interrupciones:

- Interrupción por TIMER 0: Encargada del control del servo, revisar estados e indicaciones de estado.
- Interrupción CCP1: Encargada del control del servo.
- Interrupción RDA: Encargada de recoger, almacenar e interpretar la trama recibida.

7.1.3.a. Interrupción TIMER0

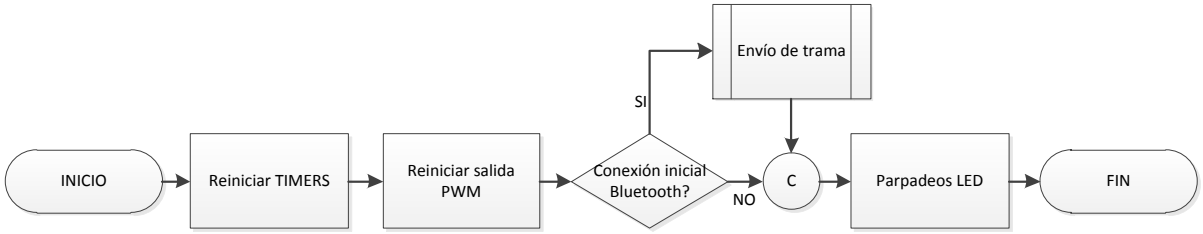


Ilustración 56.Diagrama de flujo de interrupción TIMER 0 (PIC).

Su primera acción consiste en reiniciar el valor de los TIMERS para la generación del PWM del servo.

De forma secundaria también se encarga de enviar la trama inicial a la centralita una vez la conexión con la centralita se ha realizado.

Su última función es la de realizar el parpadeo de los diodos LED. Esta acción se realiza en función de dos variables: una variable memoria que es incrementada en cada interrupción y otra variable meta que marca el tiempo máximo de parpadeo. De esta manera si se quiere que el LED cambie de estado cada 0,5 segundos y sabiendo que la interrupción es generada cada 20 ms, se configura la variable meta con un valor de 50 y una vez que la variable memoria alcance dicho valor cambia de estado el LED y resetea las variables.

7.1.3.b. Interrupción RDA

Su función es la de recoger el carácter recibido y almacenarlo en el buffer. Si la trama se ha recibido por completo esta se interpreta y se almacenan los datos recibidos.

Existen dos posibles tramas:

- Trama de conexión: enviada por el módulo Blues SmirF una vez se realiza la conexión con la Raspberry Pi, marca el inicio de la comunicación. Esta envía una palabra clave predefinida seguida por la dirección MAC del dispositivo al que se ha conectado.

  Esta trama se da por recibida una vez el subproceso "Interpretar trama" recibe dos comas. En ese momento se cambia el valor de una variable global que informa al programa de que la conexión se ha realizado.
- Trama de recepción: ya comentada anteriormente informa del ID a modo de comprobación y del permiso de apertura del cierre.

  Una vez la conexión se ha realizado, el subproceso solo analiza la trama si se recibe el carácter "*". En caso contrario los caracteres se siguen almacenando en el buffer, si este se llena se vacía automáticamente.

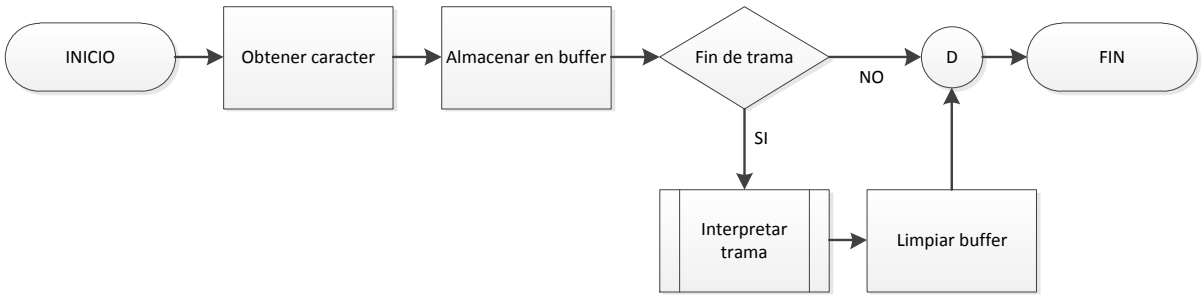


Ilustración 57. Diagrama de flujo de interrupción RDA (PIC).

7.1.3.c. Comprobación de estado

La comprobación del estado del cierre se realiza mediante una función que sigue el siguiente diagrama de flujo:

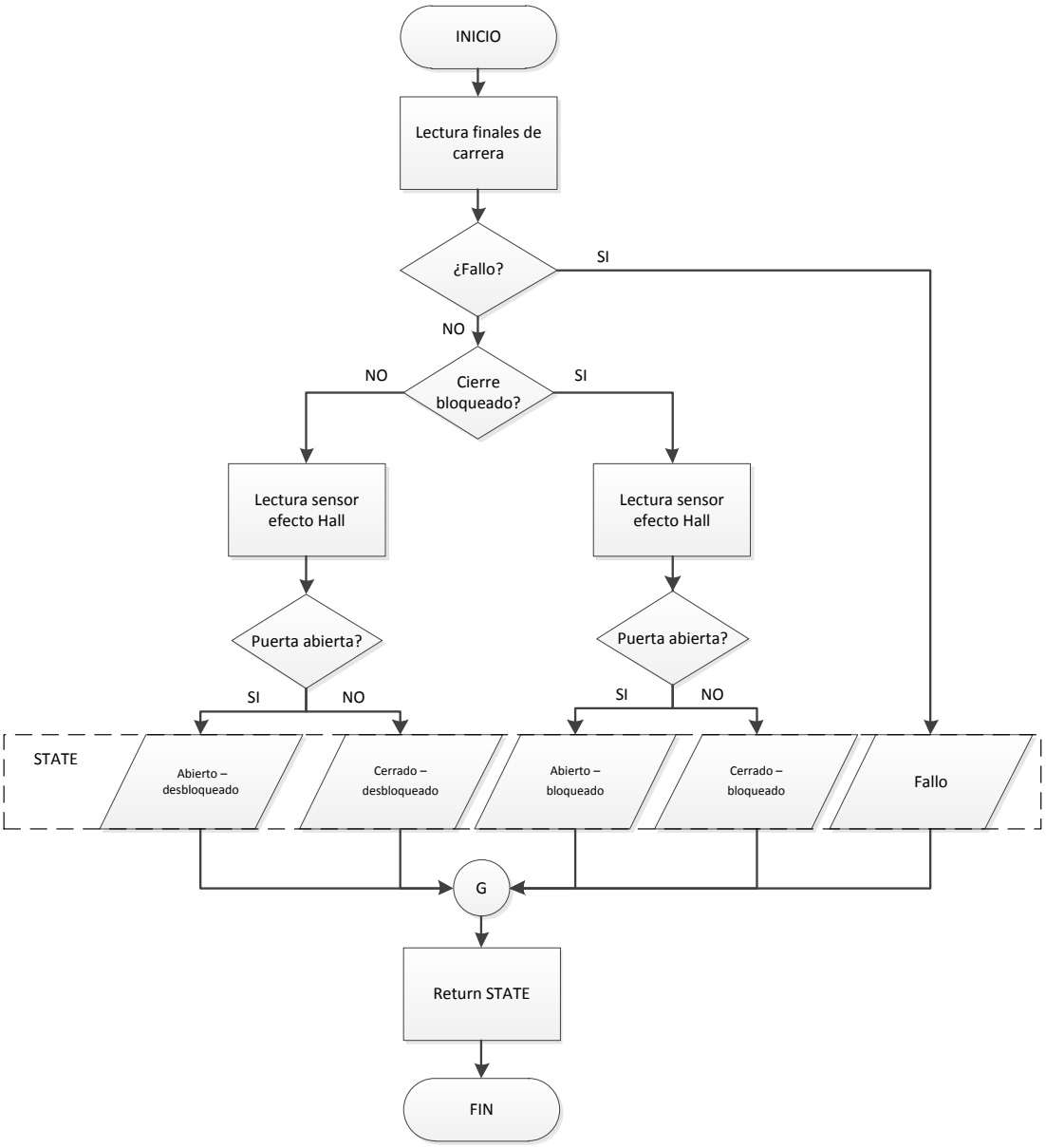


Ilustración 58- Diagrama de flujo de la función de estado (PIC).

El primer paso es comprobar el estado de los finales de carrera, en caso de que ninguno este pulsado la variable STATE se cambia a fallo, en caso contrario se sigue con la rutina comprobando el estado de la puerta. El valor de la variable STATE es dado en función de las diferentes lecturas realizadas. Finalmente se retorna el valor a la función de llamada.

7.1.3.d. Realizar acción

Una vez establecido el estado actual del cierre se entra en la rutina principal y se realiza la acción en función del mismo. Esta acción se realiza mediante una función que sigue el siguiente diagrama de flujo:

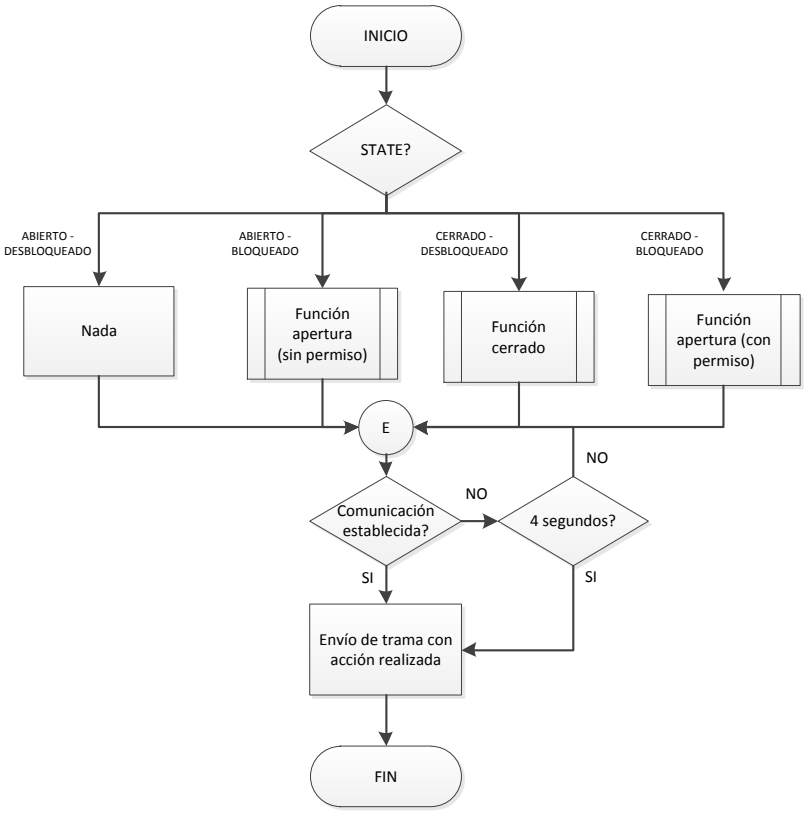


Ilustración 59. Diagrama de flujo de la función acción a realizar (PIC).

La función estudia el valor de la variable STATE que informa del estado del cierre y en función de esta pasa a ejecutar la acción requerida, según lo explicado en el apartado 7.1.1.a de este documento. Para la ejecución de las acciones se hace uso de dos subprocesos: función apertura y función cerrado. Una vez estos finalizan, se comprueba si la conexión se ha establecido, si es así se envía la trama de información. En caso contrario se realiza una espera durante 4 segundos en busca de la conexión.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la función cerrado, llamada únicamente cuando el cierre se encuentra desbloqueado y la puerta cerrada:

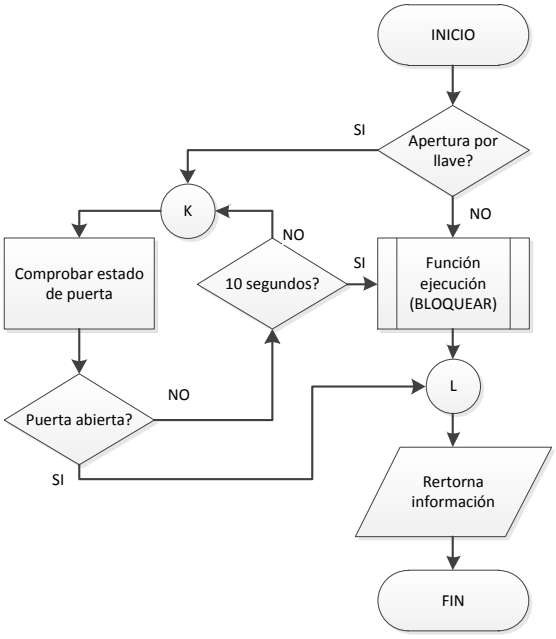


Ilustración 60. Diagrama de flujo de la función cerrado (PIC).

Este subproceso comienza estudiando si se desea el bloqueo del cierre o si se ha realizado una apertura manual. Para lograrlo se utiliza la lectura del estado anterior del cierre realizada al comienzo de la rutina, si este se encontraba bloqueado y la puerta cerrado significa que la puerta ha sido abierta por llave, en caso contrario se desea cerrar.

Si se desea el bloqueo del cierre se ejecuta el subproceso "función ejecución" en modo bloquear y llega a la referencia L.

En caso contrario se realiza una pausa de 10 segundos a la espera de que el usuario realice la apertura de la puerta. Si esta se realiza, el programa sale a la referencia L, si no se llama a la "función ejecución" en modo bloquear para bloquear el cierre.

A partir de la referencia L la rutina retorna la información de la acción y termina el subproceso.

La función apertura es llamada por dos procesos distintos, uno en el que simplemente se desea el desbloqueo del cierre ya que la puerta está cerrada y otro en el que es necesaria autorización para la apertura desde la Raspberry Pi.

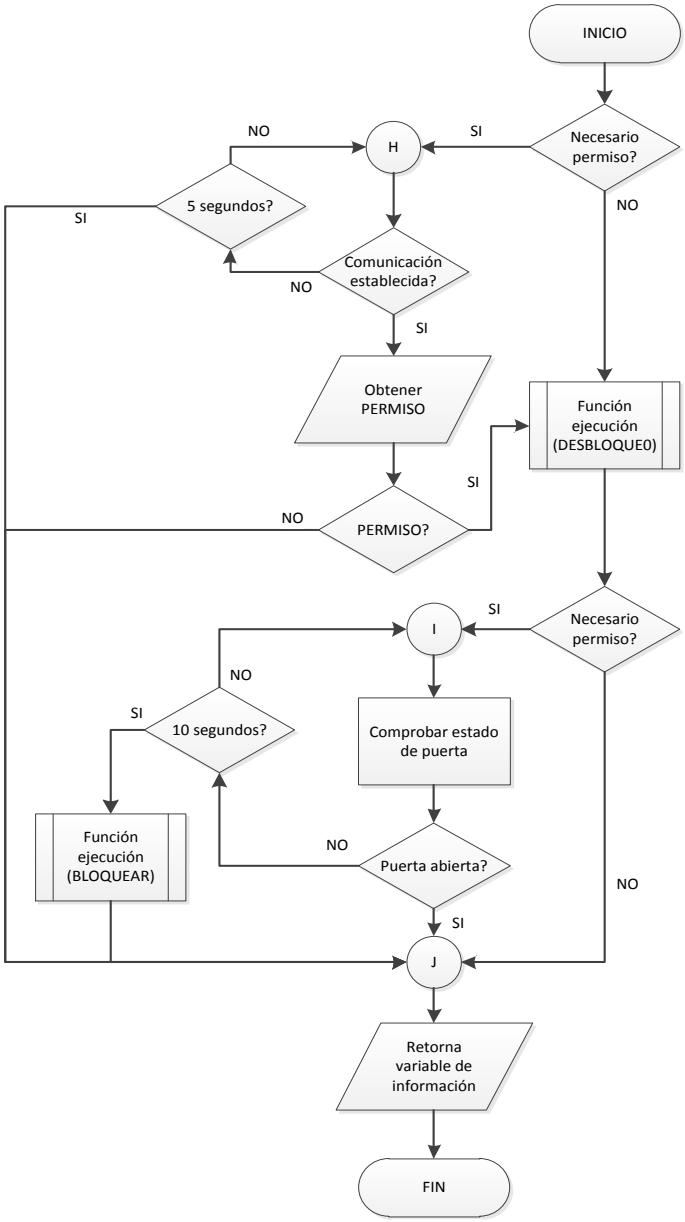


Ilustración 61. Diagrama de flujo de la función apertura (PIC).

Como es llamada por dos procesos con necesidades diferentes, a este subproceso se le pasa una variable que identifica el objetivo deseado.

La función comienza mirando el objetivo a razón de la variable pasada, si no es necesario permiso la rutina realiza la apertura directa llegando al punto de referencia J.

En cambio, si lo que se desea en realizar una apertura automática, el primer paso consiste en comprobar si el sistema dispone de comunicación con la centralita. En caso negativo se ejecuta una espera por la conexión de 5 segundos, si esta no se realiza la rutina salta al punto J.

Si la conexión está establecida, el sistema espera por la lectura del permiso, en caso de ser positivo se ejecuta el subproceso "función ejecución" en modo desbloqueo. En caso negativo la rutina salta al punto de referencia J.

Una vez el cierre se ha abierto, se realiza una espera por la apertura de la puerta de 10 segundos, si esta se abre la rutina salta al punto de referencia y si tras dicho tiempo la puerta sigue cerrada se ejecuta el subproceso "función ejecución" en modo desbloqueo.

A partir del punto de referencia final simplemente se retorna la información de la acción realizada.

7.1.3.e. Apagado

La secuencia de apagado comienza con una indicación visual mediante parpadeos durante 2 segundos. Se prosigue con el cierre de la conexión bluetooth y finalmente se realiza el apagado.

Para el apagado se activa el pin que activa el transistor que cortocircuita el SCR durante 50 ms, después se pone a 0 procediendo al apagado.

Ilustración 62. Diagrama de flujo del subproceso de apagado (PIC).

7.2. Software implementado en la Raspberry Pi

Este apartado se inicia con una breve descripción del sistema de control buscado. Después, se establecen los requisitos que marcarán las pautas a seguir en la realización del programa para, finalmente, analizar en detalle el funcionamiento del código (Véase DOCUMENTO VI.b - Código del programa de la Raspberry Pi).

7.2.1 Descripción general

7.2.1.a. Perspectiva

El programa a realizar constituirá la primera versión del control del sistema de cierres presentado en este proyecto. Su objetivo se enmarca en conseguir un prototipo totalmente funcional y establecer una referencia para una posible versión con implementación comercial.

7.2.1.b. Funcionalidad

La función principal del sistema es la de controlar el acceso de los usuarios a los cierres por medio de control biométrico y comunicación bluetooth.

Para ello, se servirá de una base de datos donde se registrarán las autorizaciones de cada usuario así como los accesos realizados a los armarios. Además, constará con un menú controlado por el usuario por medio de pulsadores.

7.2.1.c. Características de los usuarios

Existirán tres tipos de usuarios:

- Súper-usuario: con acceso total a todos los cierres y registros del sistema.
- Usuario: con acceso solo a armarios predefinidos y a sus propios registros.
- Administrador: con acceso total y por llave.

7.2.1.d. Restricciones

El desarrollo total del control se realizará en su totalidad bajo el uso de herramientas de software libre.

El sistema operativo seleccionado ha sido Linux Debían por su alta integración con el hardware de la Raspberry Pi. En cuanto a la herramienta de desarrollo, se selecciona Qt Creator.

Para facilitar el trabajo y reducir tiempos de compilación se trabajará bajo Ubuntu, en un ordenador externo a la Raspberry Pi. La ejecución y pruebas del programa durante su desarrollo se harán mediante compilación cruzada.

Por último, el lenguaje seleccionado ha sido C++. En un principio se planteó el uso del lenguaje C, esta idea fue desechada por el poco dinamismo que este lenguaje ofrecía al realizar algunas tareas (sobrecarga de funciones, valores por defecto, declaraciones de variables…).

Además, el uso de este lenguaje permite la programación orientada a objetos, lo cual facilita el desarrollo del código por medio de clases.

7.2.1.e. Evolución previsible

Debido a que el desarrollo de este proyecto se enmarca en varias ramas y a que el tiempo de desarrollo es limitado, el software final no contará con elementos importantes en una versión definitiva:

- El menú se lanzará por medio de la terminal de Linux centrándose en su faceta funcional. En una versión definitiva se realizaría un menú visualmente atractivo.
- El software se centrará en las funcionalidades principales expuestas anteriormente, adaptando los requisitos opcionales en función del tiempo disponible.

7.2.2 Análisis de requisitos

Se procede a listar los requisitos deseados en esta etapa conceptual del proyecto con el fin de establecer un marco de trabajo y facilitar el desarrollo del mismo:

Requisito	Tipo
El programa ha de contar con un menú intuitivo de cara al usuario.	OBLIGATORIO
El control por parte del usuario se realizará por medio de pulsadores.	OBLIGATORIO
El sensor de huellas, así como la comunicación bluetooth, serán controlados por medio de puertos serial.	OBLIGATORIO
Se mostrará por pantalla todas las acciones a realizar por el usuario para la correcta identificación biométrica.	OBLIGATORIO
Los datos personales de los usuarios, de los armarios, los registros realizados así como las opciones serán almacenados en una base de datos.	OBLIGATORIO
Dicha base de datos facilitará el acceso remoto.	OBLIGATORIO
Existirán tres tipos de usuario: administrador, súper-usuario y usuario.	OBLIGATORIO
Cualquier tipo de usuario, una vez identificado, podrá consultar sus últimos accesos y conocer los armarios a los que tiene acceso.	OPCIONAL
Los súper-usuarios tendrán acceso a la información de registros del resto de usuarios.	OPCIONAL
Los súper-usuarios podrán cambiar la configuración del sistema a través del menú.	OPCIONAL
El sistema permitirá el acceso a uno o a varios usuarios según se especifique en las opciones.	OPCIONAL
Una vez el usuario se identifique mediante el módulo biométrico dispondrá de un tiempo limitado para realizar la apertura de cualquier armario con autorización.	OBLIGATORIO
Dicho tiempo podrá ser configurado por los súper-usuarios a través del menú.	OPCIONAL
Si en 30 segundos no se ha ejercido ninguna actividad en la centralita, el sistema volverá a pedir identificación biométrica por motivos de seguridad.	OBLIGATORIO

Tabla 24. Requisitos del control.

7.2.3 Base de datos

Para llevar un registro de todos los accesos se hace necesario almacenar los datos de alguna manera. Una opción sería almacenar la información en archivos con criterios propios, pero la falta de estandarización dificultaría su implementación y elevaría el tiempo de desarrollo. Es por ello, que se hará uso de una base de datos bajo licencia OPENGL: MySQL. A continuación se mencionan las ventajas y desventajas del uso de este tipo de base de datos.

Ventajas:

- Velocidad al realizar las operaciones, lo que le hace uno de los gestores con mejor rendimiento.
- Bajo costo en requerimientos para la elaboración de bases de datos, ya que debido a su bajo consumo puede ser ejecutado en una máquina con escasos recursos sin ningún problema.
- Facilidad de configuración e instalación.
- Soporta gran variedad de Sistemas Operativos
- Baja probabilidad de corromper datos, incluso si los errores no se producen en el propio gestor, sino en el sistema en el que está.

- Su conectividad, velocidad, y seguridad hacen de MySQL Server altamente apropiado para acceder a bases de datos en Internet

Desventajas:

- Un gran porcentaje de las utilidades de MySQL no están documentadas.
- No es intuitivo, como otros programas (ACCESS).

Las bases de datos bajo MySQL son muy usadas para el desarrollo web y mediante PHP es muy fácil desarrollar programas que les den uso. Sin embargo, cuando se han de enlazar con programas de escritorio realizados bajo lenguajes como C++ su utilización no es intuitiva, teniendo que hacer uso de un enlazador.

Pese a este inconveniente y las desventajas mencionadas anteriormente, se selecciona este sistema por su fácil implementación web en vistas a dotar al sistema de acceso remoto.

Para el proyecto se hace necesaria una base de datos que almacene:

- Los datos personales de los usuarios registrados.
- Los cierres del sistema.
- Permisos de acceso de los usuarios
- Registros de acceso
- Las opciones de configuración.

A continuación se muestra un esquema de la base de datos desarrollada para el proyecto:

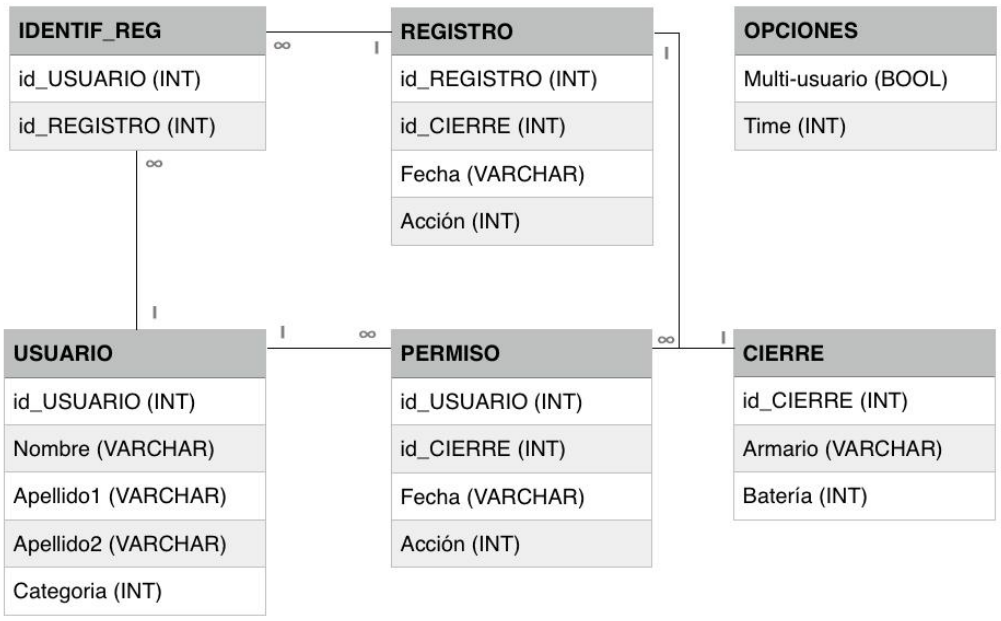


Ilustración 63. Diagrama de interacción entre tablas en la base de datos.

Esta consta de cinco tablas:

- Usuario: esta tabla almacena los datos personales del usuario. El id coincide con la identificación de registro de la huella del sensor biométrico. La categoría identifica el tipo de usuario (usuario/súper-usuario).
- Cierre: Guarda el id, el nombre del armario y el nivel de batería del mismo.
- Registro: Guarda los registros de todos los accesos. A cada registro se le da un id identificativo, se almacena la fecha y hora, el id del armario asociado a la acción y la acción realizada.
- Permiso: Esta tabla media entre la tabla USUARIO y la tabla CIERRE., tiene como función almacenar el permiso de cada usuario con cada armario mediante el campo autorización.

- Identif_reg: Su función es la identificar el usuario o usuarios que ha realizado cada registro.
- Opciones: almacena el tiempo máximo para que el usuario realice la apertura de un armario y si el sistema se encuentra o no en modo multiusuario.

El script realizado se puede ver en el DOCUMENTO VI.c – Código del script MySQL.

7.2.4 Planteamiento

La comunicación con los módulos bluetooth y biométrico es realizada mediante comunicación serial a través de los USB de la Raspberry Pi, por lo que se ha de crear un protocolo de conexión a dichos puertos que atienda a las necesidades de cada módulo. Se creará una clase llamada "commserial" que permita personalizar la conexión a los distintos módulos bajo la creación de objetos personalizados.

El módulo de identificación biométrico requiere de un protocolo serial para el correcto funcionamiento del mismo. La conexión con el sensor de huellas, así como los distintos métodos de protocolo se ejecutarán mediante la clase "fingerprint".

Para la visualización de los datos, así como la interacción del usuario con la centralita, se creará un menú basado en pantallas. Para ello, se instará a la clase "menu" encargada de imprimir por pantalla el menú, la información requerida y realizar la lectura de los pulsadores a través de la subclase "pulsadores".

La información de accesos será almacenada en una base de datos bajo MySQL, hecho que hace necesario el uso de protocolos para la interacción e intercambio de información con el programa que se realizarán mediante métodos de la clase "bd".

El programa ha de ejecutar varias rutinas a la vez, haciéndose necesario el uso de hilos secundarios. Se realizarán en el archivo "hilos".

Para reducir el número de conexiones a la base de datos se creará una clase denominada "usuario". En esta, se almacenarán todos los datos del usuario mientras este se encuentre activo: nombre, apellidos, categoría, armarios permitidos, etc.

Finalmente se creará el archivo "funciones" que contendrá funciones genéricas para todo el código, el archivo de cabecera "defines.h" que mostrará todos los macros de personalización del programa y el archivo "main.cpp" que contendrá la rutina principal de ejecución.

Códigos fuente	Archivos de cabecera
main.cpp	defines.h
comserial.cpp	comserial.h
fingerprint.cpp	fingerprint.h
menu.cpp	menu.h
bd.cpp	bd.h
pulsadores.cpp	pulsadores.h
hilos.cpp	hilos.h
usuario.cpp	usuario.h
funciones.cpp	funciones.h

Tabla 25. Resumen archivos del código.

Una vez definida la estructura de clases y funciones, se pasa a definir las diferentes rutinas necesarias. El programa se ejecutará en tres hilos con la misma prioridad:

- Rutina principal: comienza creando los hilos secundarios para posteriormente crear un objeto de la clase "menú" y lanzar la pantalla inicial. Esta clase es la encargada de realizar la mayoría de las acciones a través de llamadas entre métodos.

Entre sus funciones se encuentra: realizar la toma de huella y leer los registros de la base de datos, todo en función de las acciones que el usuario activo realice a través de los pulsadores.

- Hilo de comunicación Bluetooth: su función es la de leer constantemente el puerto serie. Cuando este recibe información se analiza la trama y se responde en consecuencia, además de guardar el registro de la actividad realizada.
- Hilo de comprobación de actividad: su objetivo es la medir el tiempo que el usuario está activo, bloqueando la centralita y el uso de los armarios en caso de ser necesario.

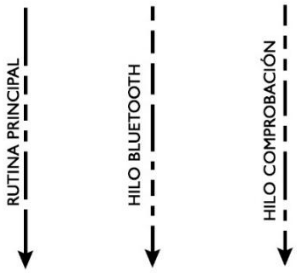


Ilustración 64. Hilos del programa.

7.2.5 Comunicación serial (Clase "commserial")

Tanto el módulo biométrico como el módulo bluetooth hacen uso de comunicación serial a través de puertos USB.

Pese a realizar el mismo tipo de conexión, el protocolo de recepción de mensajes será distinto para cada módulo. Es por ello que se crea la clase "commserial" que permite la creación de un objeto que facilita la configuración de cada conexión.

Gracias a esta clase se puede crear un objeto en el que en su construcción se personalice el nombre del puerto, la velocidad en baudios y el protocolo de recepción.

Se manejan dos protocolos de recepción:

- Modo canónico: el mensaje de recepción es almacenado en el buffer serial hasta que se recibe un retorno de carro (\n).
- Modo no canónico: en este modo se fija el número mínimo de caracteres a recibir y la espera máxima entre carácter.

El protocolo canónico se usará para la comunicación bluetooth ya que se asegura la recepción completa de la trama. La trama a recibir ha sido explicada en el apartado 7.1.2.c de este mismo documento.

El módulo biométrico envía tramas prestablecidas que no cuentan con un retorno de carro al final, por lo que se establece un protocolo no canónico fijando el número mínimo de caracteres en 15 y un tiempo máximo de espera de 0,1 segundos. La trama a recibir sigue el siguiente esquema:

BYTE	Información	Tipo	Descripción
0	0x55	Byte	Código inicial 1
1	0xAA	Byte	Código inicial 2
2-3	Id	WORD	Identificación del dispositivo
4-7	Parámetro	DWORD	Parámetro de información
8-9	Comando	WORD	Comando realizado
10-11	Checksum	WORD	Suma de comprobación

Tabla 26. Trama del sensor de huellas.

7.2.6 Interacción con base de datos (Clase "bd")

La base de datos seleccionada se basa en lenguaje MySQL. Es por ello que, para poder leer y grabar información a través de una aplicación externa escrita en otros lenguajes, es necesarios el uso de un enlazador.

El API de MySQL para C se distribuye con el propio MySQL. Está incluido en la biblioteca "mysqlclient" que permite a los programas en C acceder a una base de datos.

El API de C desarrolla tipos especiales para manejar los diferentes datos que se pueden obtener. Los tipos más importantes son:

- "MYSQL": Esta estructura encarna el manejador de la conexión a la base de datos.
- "MYSQL_RES": Esta estructura representa el resultado de una petición y regresa renglones.
- "MYSQL_ROW": obtiene un solo renglón como resultado de una petición.

Dentro de todas las funciones que forman parte del API, las funciones más comúnmente utilizadas son las siguientes

- "mysql_init()": Inicializa la estructura de tipo MYSQL.
- "mysql_real_connect()": Se utiliza para conectarse al servidor de bases de datos.
- "mysql_select_db()": Selecciona una base de datos.
- "mysql_real_query()": Ejecuta una petición determinada.
- "mysql_store_result()": Obtiene el resultado de una petición.
- "mysql_fetch_row()": Obtiene el renglón de un resultado.
- "mysql_fetch_field()": Regresa un arreglo con los campos resultantes de una petición.
- "mysql_num_fields()": Obtiene el número de columnas de un resultado.
- "mysql_close()": Cierra la conexión con el servidor.
- "mysql_error()": Regresa el mensaje de error de la última función de MySQL ejecutada.
- "mysql_free_result()": Libera la memoria utilizada por un result set.

Para la compilación del API de MySQL en UNIX, se deben incluir las siguientes bibliotecas: "socket"," nsl"," m"," z", "mysqlclient" y el archivo de cabecera: "mysql/mysql.h"

Con el objetivo de conseguir una programación más rápida y ergonómica, todos los procedimientos a seguir para realizar la conexión y consultas serán ejecutados mediante la creación de un objeto de la clase "bd" y el uso de sus métodos.

```
string menu::acc_armario(int x) {
        string s;
        MYSQL_ROW row;
        bd armario;
        armario.conexionBD();
        armario.cargamysql("SELECT * FROM CIERRE");
        armario.resultado = mysql_store_result(armario.mysqldb);
        USHORT numfilas = mysql_num_rows(armario.resultado);
        for (USHORT j = 0 ; j < numfilas ; j ++)
                {
                row = mysql_fetch_row(armario.resultado);
                if (stringtoint(row[0]) == x)
                        {
                                s =  row[1];
                                return s;
                        }
                }
        return s;
}
```

Ilustración 65. Fragmento de código de la clase "menu".

El fragmento de código mostrado en la página anterior devuelve el nombre del armario con id equivalente al valor de la variable "x" aportado al método.

Inicialmente, se define una variable del tipo "MYSQL" que sirve como manejador de la base de datos y seguidamente se crea un objeto de la clase "bd" llamada "armario". El constructor de este, se encarga de inicializar todas las variables privadas con la información de la conexión:

```
bd::bd()
{
   mysqldb = mysql_init(0);
   resultado = 0;
   servidor = "127.0.0.1";
   usuario = "root";
   contrasenya = "proyectocierre";
   nombrebd = "Cierre";
   puerto = 3306;
}
// La información de conexión mostrada no coincide con la real finalmente implementada
```

Ilustración 66. Fragmento de código de la clase "bd".

Una vez se crea el objeto, se realiza la conexión a la base de datos a través del método armario.conexionBD() encargado de realizar todos los pasos necesarios para el enlace. Verificada la conexión, el siguiente paso es efectuar la consulta mediante nomenclatura MySQL: "SELECT * FROM CIERRE".

Esta orden selecciona todas las columnas de la tabla llamada cierre. El resultado se carga en una variable privada del tipo "MYSQL_RES" llamada "armario.resultado" a través de la función "mysql_store_result()".

Una vez cargados los datos en la variable resultado, se consulta el número de filas del que dispone la base de datos para luego entrar en un bucle "for" que busca la fila cuya columna 0 (row[0]) coincida con la variable "x" (suministrada al método en su llamada). Una vez encontrada, devuelve en un string el nombre del armario almacenado en la columna 2 (row[1]) .

El ejemplo mostrado supone la consulta más sencilla realizada en todo el código. En otros casos, es necesario realizar consultas múltiples o editar mediante operadores la consulta realizada para insertar información. Aún así, resulta un ejemplo que ilustra muy bien la metodología a seguir en la mayoría de consultas.

7.2.7 Rutina principal

La rutina principal hace uso de las siguientes clases durante su ejecución:

Ilustración 67. Clases usadas por la rutina principal.

Lo expuesto en este apartado se apoya en la información mostrada en el "ANEXO X – Descripción de clases".

La rutina comienza con la configuración de los hilos de las dos subrutinas, así como de los mutex.

Una vez se realizada dicha configuración, se crea un objeto "menucierre" de la clase "menu" y se realiza la llamada al método "screen_inicial()" que inicia el programa.

A partir de la llamada a dicho método, la rutina y la información mostrada por pantalla varía en función de las instancias realizadas entre los distintos métodos de la clase "menu". La invocación a los mismos se realiza en función de las acciones ejecutadas por el usuario a través de los pulsadores.

En la ilustración 68 se observa un diagrama de flujo basado en colores que muestra el recorrido de la rutina en función de las acciones del usuario. La información mostrada por pantalla se muestra en cuadriláteros de color gris con las posibles elecciones del usuario en distintos colores. Las flechas muestran el recorrido de la rutina siguiendo el mismo criterio de colores. Los cuadriláteros de color blanco muestran acciones clave que se cree importante mencionar.

Una vez comienza la rutina se muestra la pantalla inicial (1). El usuario a través de los pulsadores se mueve entre las dos opciones mostradas.

Si se selecciona la opción "INICIAR SESIÓN" se inicia el proceso de identificación biométrica [A]. En caso de que el proceso de error o que la identificación sea negativa se vuelve a la pantalla inicial (1). Si la identificación es positiva se crear un nuevo objeto de la clase usuario [B], al cual se asocia el id de la huella dado por el módulo biométrico. Además, se guarda la información de la base de datos relacionada con dicho usuario en las variables privadas del objeto, con el fin de tener acceso rápido a los datos. Por último se lanza la pantalla de bienvenida (2).

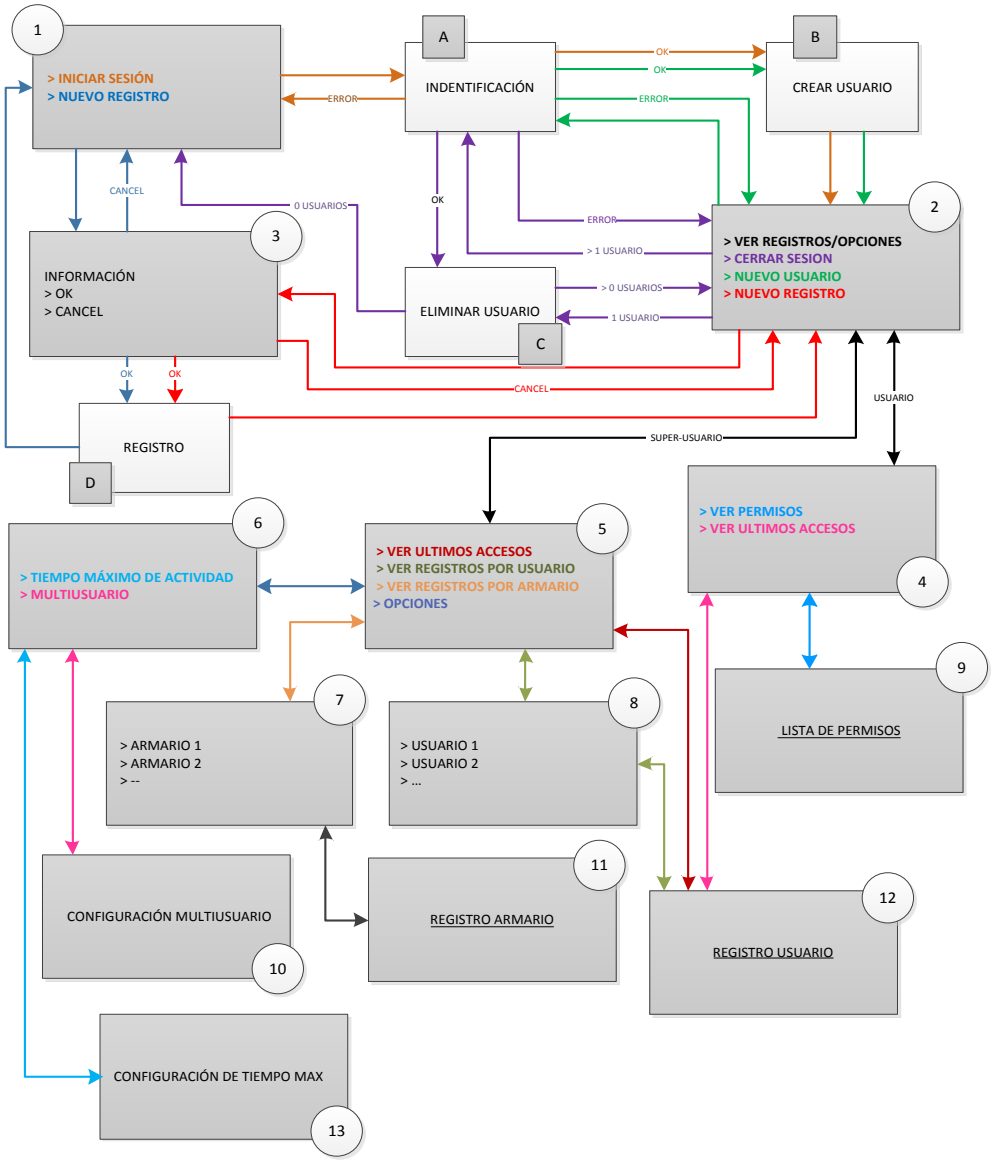


Ilustración 68. Diagrama de flujo de la rutina principal.

La pantalla de bienvenida (2) es común para todos los usuarios, independientemente de su categoría, informa en su parte inferior del número de usuarios activos en todo momento y presenta cuatro opciones seleccionables por el usuario:

- Ver registros/opciones: Lanza la pantalla de opciones y registros del usuario activo, pudiendo ser estas del tipo súper-usuario (5) o usuario (4).
- Cerrar sesión: En caso de existir más de un usuario activo realiza una identificación biométrica [A], si la identificación es correcta elimina al usuario en cuestión [C] y retorna a la pantalla de bienvenida (2).
  Si sólo existe un usuario activo, cierra la sesión de dicho usuario automáticamente sin realizar la identificación biométrica y muestra la pantalla inicial (1).
- Nuevo usuario: Realiza la identificación biométrica [A] y en caso de ser esta positiva, retorna a la pantalla de bienvenida (2) creando antes un usuario nuevo [B] y definiéndolo como usuario activo.
- Nuevo registro: Realiza el registro de una nueva huella dactilar [D], mostrando antes una pantalla que informa del procedimiento (3). También es posible acceder a esta pantalla desde el menú inicial.

La pantalla de usuario (4) sólo cuenta con dos opciones:

- Ver permisos: realiza una conexión con la base de datos y muestra los armarios del sistema y la autorización (permitida/restringida)(9) del usuario activo a los mismos.
- Ver últimos accesos: imprime una tabla resumen de los últimos accesos realizados por el usuario (12) que muestra el armario, la fecha y la acción realizada (apertura, cierre…).

Pantalla súper-usuario (5), esta permite no sólo conocer los registros propios del usuario sino la de los demás usuarios y cambiar las opciones de configuración del cierre. Entre sus opciones están:

- Ver últimos accesos propios: muestra una tabla resumen del usuario activo (12)
- Ver últimos accesos por usuario: al tener derechos de súper-usuario este puede ver los registros de los demás usuarios. Esta opción lanza una pantalla intermedia (8) donde se selecciona el usuario del que se desea ver los registros a través de la pantalla de registros de usuario (12).
- Ver últimos accesos por armario: esta opción muestra un resumen de accesos realizados a un armario seleccionado a través de una pantalla intermedia (7). La pantalla de "Registro de armario" (11) Muestra el usuario, la hora y la acción realizada por dicho usuario.
  Cabe destacar, que en caso de que el modo multiusuario se encuentre activo un registro puede verse duplicado para varios usuarios.
  Como añadido se muestra el nivel de batería que el cierre poseía la última vez que se realizó una conexión.
- Opciones: Lanza la pantalla de opciones (6), en esta se pueden modificar dos opciones:
  - El tiempo máximo de apertura (13): define el tiempo del que dispone casa usuario para realizar la apertura de algún cierre (por defecto 5 minutos).
  - Desactivar/activar el modo multiusuario (10): con este desactivado sólo puede realizar aperturas un usuario y los demás han de esperar a que este cierre su sesión o finalice el tiempo máximo de apertura.
    El modo multiusuario permite que varios usuarios usen el sistema de forma conjunta. Las acciones realizadas en este modo son registradas a nombre de todos los usuarios activos.

7.2.7.a. Identificación y registro biométrico (Clase "fingerprint")

El control del sensor de huellas se realiza mediante comunicación serial y el envío y recepción de comandos predefinidos. Para su control se creó una clase denominada "fingerprint" en la que se

implementan métodos que facilitan la interacción con el sensor. Estos métodos interactúan entre ellos con el objetivo de realizar principalmente dos acciones:

- Identificación:

Cuando el programa requiere que se realice una identificación (ver ilustración 68) se crea un objeto de la clase "fingerprint" llamada "sh" que instantáneamente inicia la comunicación con el puerto serial. Posteriormente se llama al método "sh.identification()" que inicia la comunicación con el sensor de huellas mediante el sub-método "open()".

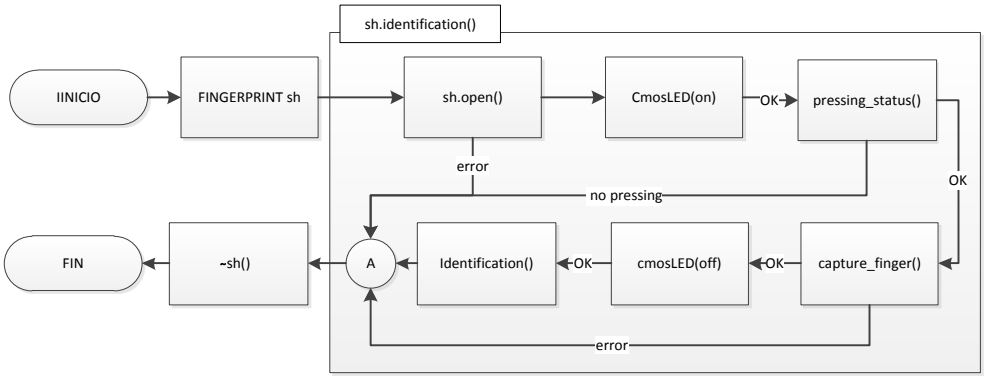


Ilustración 69. Diagrama de flujo del método de identificación de huellas.

Una vez la comunicación está establecida se realiza una pausa de 2 segundos y se enciende la luz del sensor de huellas para informar al usuario de que puede posicionar el dedo. En ese momento, se activa el método que verifica si se ha presionado el sensor de huellas ("pressing_status()"), si en 5 segundos la acción no se realiza se anula la identificación.

Una vez el usuario posiciona el dedo se realiza la captura de la huella ("capture_finger()") y se apaga el LED para informal el usuario de que puede retirar el dedo.

Con la captura realizada se lanza la rutina de identificación que devuelve el valor de registro coincidente con la huella capturada o un error de identificación.

Después de cada método se realiza una comprobación para conocer lo antes posible si ha surgido un error. Finalmente se destruye el objeto cerrándose la comunicación serial automáticamente.

- Registro de huella

Al igual que en la identificación el primer paso es crear el objeto "sh" de la clase "fingerprint" e iniciar la comunicación con el sensor de huellas.

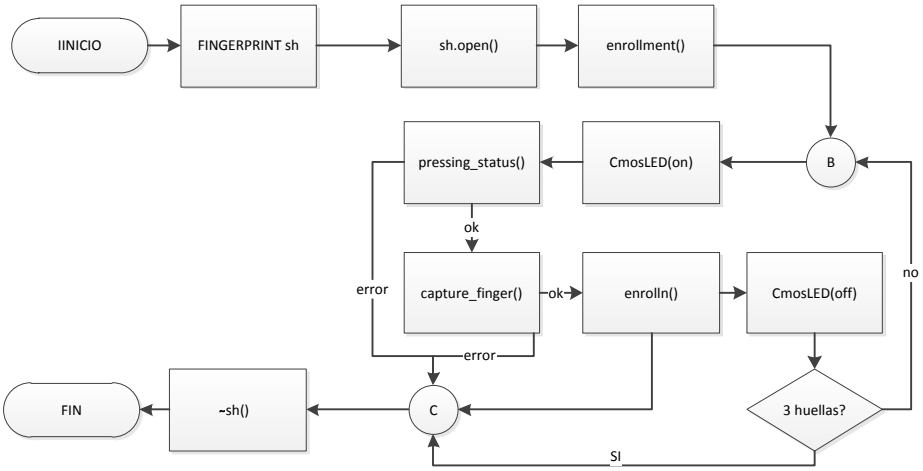


Ilustración 70. Diagrama de flujo del método de registro de huellas.

Se llama al método "enrollment()" al cual se transmite el registro en el que se quiere memorizar la huella. Se realiza una pausa de 2 segundos y se procede a encender el LED, se verifica si se ha presionado el sensor de huellas, se captura la huella y se envía al sensor de huellas el comando "enrolln" que guarda la huella en la base de datos. Una vez se toma la primera huella el programa retorna al punto B, donde repite el proceso otras dos veces para completar las tres tomas de huella exigidas. Se finaliza cerrando la comunicación y eliminado el objeto.

Una vez finalizado el registro, el módulo biométrico asigna a la huella del usuario un número de identificación que comunica al programa principal. En ese momento, la rutina crea un nuevo usuario en la base de datos al que le asocia un código de identificación aleatorio y el número de identificación de la huella, manteniendo todos los demás campos vacíos.

Dicho código de identificación es suministrado al usuario para que se lo entregue al administrador del sistema y actualice la base de datos con sus datos personales.

Pese a encontrarse en la base de datos del sistema, la nueva huella registrada no tendrá autorización para ningún cierre hasta que el administrador realice el registro del usuario.

7.2.7.b. Creación y eliminación de usuarios (Clase "usuario")

La clase "usuario" registra toda la información referente a los usuarios activos en el sistema, con esto se pretende mantener abierta una vía rápida a los datos sin necesidad de realizar conexiones esporádicas para consultas.

Una vez se realiza la identificación biométrica por parte de un usuario, con el fin de iniciar sesión, la rutina se conecta a la base de datos. En dicha consulta, realizada en base al número de identificación aportado por el sensor de huellas, se recoge toda la información referente al usuario.

En este punto se crea un nuevo objeto de la clase "usuario" almacenando dicha información en sus variables privadas.

Nombre	Tipo	Descripción
id_user	Short	Id de usuario/huella
name_user	String	Nombre del usuario
surname1	String	Primer apellido
surname2	String	Segundo apellido
license	Short	Tipo de usuario
allowed_closets[]	Bool	Array de armarios permitidos
time	Int	Última vez activo
nombrecompleto()	string	Método que devuelve el nombre y los apellidos en un único "string"

Tabla 27. Variables privadas de la clase "usuario".

Además de la información sacada de la base de datos, se añaden datos extra como la hora a la que el usuario dejó de usar la centralita. Esta variable será especialmente útil por motivos de seguridad (Ver apartado 7.2.9).

Cando se cierra la sesión de un usuario, se elimina el objeto referente al mismo y con ello toda la información almacenada en las variables privadas.

Si el sistema mantiene a varios usuarios con sesión abierta, el menú solo muestra las opciones y registros de uno de ellos. El criterio que sigue el programa es cronológico, una vez un usuario realiza un inicio de sesión se pasa a mostrar su información.

Si un usuario cierra sesión y existe más usuarios activos, el programa convierte en usuario activo al usuario que haya tenido una actividad más reciente. Sin embargo, pese a buscar otro usuario y convertirlo en activo, el software requerirá de nuevo identificación biométrica con el fin de asegurar que ninguna persona ajena al sistema interfiera en el mismo.

7.2.7.c. Plantilla del menú (Clase "menu")

La mayoría de los métodos "screen_" de la clase "menu" siguen el siguiente esquema de selección:

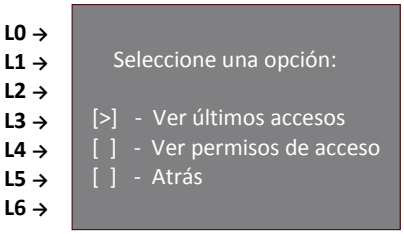


Ilustración 71. Pantalla del menú.

El carácter ">" indica la selección actual, una vez se pulsa la tecla OK se realiza la llamada al método de destino. Con las teclas "UP" y "DOWN" se mueve el indicador arriba o abajo. El indicador trabaja en circuito cerrado, es decir, si el indicador se encuentra en la OPCIÓN 1 y se pulsa la tecla UP el indicador se mueve a la OPCIÓN 3.

Para la creación de las distintas pantallas del menú se sigue una misma plantilla. El código expuesto a continuación muestra la plantilla adaptada a la pantalla mostrada en la ilustración anterior:

```
void menu::screen_user()
{
	init_var();
	text[1] = "    Seleccione una opción:";
	text[3]= "Ver últimos accesos";
	select[3] = true;
	text[4] = "Ver permisos de acceso";
	select[4] = true;
	text[5] = "Atrás";
	select[5] = true;
	short i = launch_menu();
	switch (i)
		{
		case 1:
			screen_reg_user(0);
			break;
		case 2:
			screen_license();
			break;
		default:
			screen_welcome();
			break;
		}
}
```

Ilustración 72. Fragmento de código de la clase "menu".

La variable "text[]" es un "array" de tipo "string" cuyo tamaño se encuentra definido por una constante personalizable (en el código final su valor es de 16). Cada celda de dicho "array" representa una línea del menú.

La variable "select[]" es un "array" de tipo booleano, su función es la de indicar qué líneas del menú podrán ser seleccionables.

El primer paso consiste en inicializar los valores de ambas variables a través del método "init_var()". La cadena string es inicializa con el carácter espacio y en el caso del array de booleanos con valores falsos.

La construcción del menú se realiza a través de ambas variables, en la tabla "text[]" se establece el texto de cada línea, mientras que en el array "select[]" se especifica sólo las líneas que serán seleccionables dándoles un valor de 1.

Finalmente, se llama al método "launch_menu()" que devuelve un valor entero indicando la selección realizada por el usuario. Esta selección es tratada por una sentencia "switch" que llama al método adecuado, volviéndose a generar otra pantalla de menú.

El funcionamiento del método "launch_menu()" no va a ser explicado en este documento ya que su ejecución es muy compleja. Sin embargo, si se mencionarán las acciones que este realiza:

- Añade los caracteres de selección a las líneas correctas ("[ ]") en función del valor de la variable "select[]" y coloca el indicador ">" en la posición inicial.
- Imprime por pantalla el menú.
- Lee constantemente el estado de los pulsadores y actúa en consecuencia, moviendo el indicador en caso de que el usuario pulse las teclas "UP" o "DOWN" y devolviendo la orden deseada en caso de que pulse "OK" o "CANCEL".

En el código mostrado en el ejemplo se han omitido sentencias secundarias con el fin de facilitar el entendimiento.

7.2.8 Hilo de comunicación bluetooth

El hilo de comunicación hace uso de las siguientes clases durante su ejecución:

Ilustración 73. Clases usadas por el hilo de comunicación bluetooth.

La comunicación bluetooth realiza una rutina muy sencilla. El hilo comienza creando un objeto de la clase "commserial" donde se configura e inicia la comunicación con el módulo.

El siguiente paso consiste en la llamada al método "answer()", el cual pausa el hilo hasta la llegada de la trama de comunicación (Véase apartado 7.1.1.c) . En el momento en que es recibida, comienza una rutina en la que se interpretan los datos.

El primer paso consiste en crear un objeto de la clase "bd" y realizar la conexión con la base de datos.

La primera acción que se realiza es la actualización del nivel de batería en la tabla correspondiente al cierre.

Después, según la información suministrada, se realiza una de las siguientes acciones:

1. Si se recibe el comando "0" (Conexión), la rutina realiza una comprobación de permisos entre todos los usuarios activos para el id de cierre suministrado. Si existe algún usuario activo con autorización, se envía una trama que autoriza la apertura; en caso contrario, se envía una que niegue el acceso al usuario.
2. Si el código recibido es distinto de "0" (Conexión) o de "6" (Ninguna acción realizada), la rutina escribe en la tabla "REGISTROS" una nueva entrada donde informa del armario, de la acción realizada y de la fecha.
   Para enlazar este registro a uno o varios usuarios, se realiza la escritura pertinente de la tabla "IDENTIF_REG" donde se asocian los id del usuario o usuarios que han realizado la acción al número de identificación del nuevo registro.

7.2.9 Hilo de comprobaciones de seguridad

Ilustración 74. Clases usadas por el hilo de comprobaciones.

Este hilo solo hace uso de la clase usuario. Su función es la comprobar los tiempos de actividad de todos los usuarios activos en el sistema. Y para eso se sirve de la variable "time" de cada uno de los objetos de la clase "usuario".

Se ha de saber que siempre que el usuario en uso presiona una tecla de la centralita, su variable "time" se actualiza con la fecha y hora actuales.

La rutina de este hilo realiza dos comprobaciones:

- Comprobación de inactividad: su objetivo es el de bloquear la centralita cuando ningún usuario está interactuando con ella. La razón es asegurar que ninguna otra persona pueda acceder a la información del usuario o al sistema.
- Comprobación de tiempo límite para apertura: su función es la de no permitir el acceso al usuario o usuarios cuando dicho tiempo haya sido sobrepasado.

La comprobación se realiza en ambos casos en base a la diferencia entre la fecha y hora actuales y la última vez que el usuario tuvo actividad en la centralita.

La siguiente tabla resume el comportamiento del programa ante la interacción con varios usuarios:

Hora y fecha	Usuario	Acción	Tiempo inactivo	¿Usuario en uso?	¿Requiere identificación?	Tiempo de apertura
01/07/2014 – 17:55:15	User 1	Inicia sesión	0:00	SI	NO	5:00
			...			
01/07/2014 – 17:55:17	User 1	--	0:02	SI	NO	4:58
			...			
01/07/2014 – 17:55:23	User 1	Pulsa tecla	0:00	SI	NO	5:00
			...			
01/07/2014 – 17:55:38	User 1	--	0:15	SI	NO	4:45
			...			
01/07/2014 – 17:55:54	User 1	--	0:31	SI	SI	4:29
			...			
01/07/2014 – 17:56:48	User 1	--	0:54	NO	SI	4:06
	User 2	Inicia sesión	0:00	SI	NO	5:00
			...			
01/07/2014 – 17:56:55	User 1	--	1:01	NO	SI	3:59
	User 2	--	0:07	SI	NO	4:53
			...			
01/07/2014 – 17:56:57	User 1	---	1:03	NO	SI	3:57
	User 2	Pulsa tecla	0:00	SI	NO	5:00
			...			
01/07/2014 – 17:58:27	User 1	--	2:33	NO	SI	2:27
	User 2	--	1:30	SI	SI	3:30
			...			
01/07/2014 – 18:00:22	User 1	--	4:59	NO	SI	0:01
	User 2	--	3:26	SI	SI	1:34
01/07/2014 – 18:00:23	User 1	Eliminado				
	User 2	--	3:27	SI	SI	1:33

Tabla 28. Tabla resumen de acciones del hilo de comprobaciones.

Si la diferencia de tiempos en el usuario en uso sobrepasa los 30 segundos, el hilo activa una variable que informa a la rutina principal que ha de realizar identificación biométrica. Con esto, se asegura que la persona que acceda a la centralita siempre disponga de permiso.

La comprobación del tiempo límite no se realiza solo del usuario en uso en ese momento, sino de todos los usuarios que cuentan con una sesión iniciada en el sistema. Una vez uno de ellos sobrepasa el tiempo límite de apertura, por defecto 5min, el hilo elimina el objeto del usuario borrándolo del sistema e impidiendo que este pueda acceder a ningún otro armario.

7.2.10 Conexión remota

El uso de una base de datos en MySQL presenta grandes ventajas como la velocidad en las operaciones, su facilidad de instalación, la baja probabilidad de corromper datos, etc. Pero en este proyecto destaca como ventaja la gran integración que tiene bajo el leguaje web PHP.

Entre los requisitos opcionales de este documento se encontraba la creación de una página web que diese soporte externo al sistema. Sin embargo, debido al poco tiempo restante en esta etapa final del proyecto, se decide postergar la idea a futuras mejoras del proyecto.

Afortunadamente, existen recursos web, que permiten manejar bases de datos de manera remota, como es el caso de "PHPMyAdmin".

"PHPMyAdmin" es un software de código abierto, diseñado para manejar la administración y gestión de bases de datos MySQL a través de una interfaz gráfica de usuario. Escrito en PHP, "phpMyAdmin" se ha convertido en una de las más populares herramientas web de gestión de MySQL.

Además, soporta todas las operaciones de uso común tales como: navegación, creación, y modificación de las bases de datos MySQL, las tablas, campos e índices. Además, le permite administrar usuarios MySQL, privilegios de usuario y realizar conexiones a bases de datos remotas.

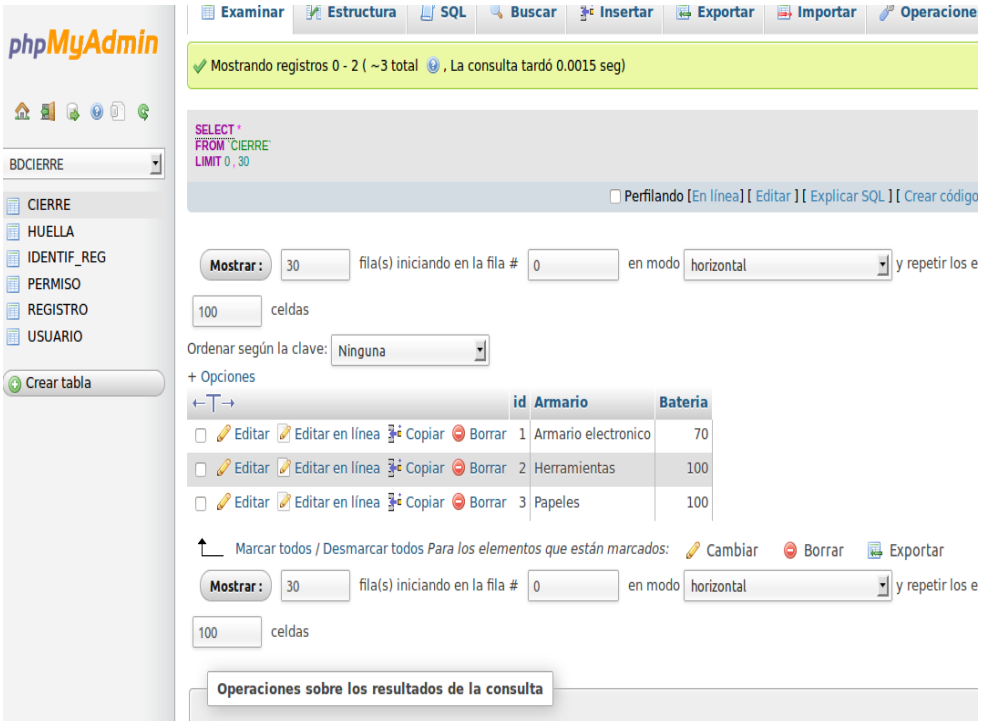


Ilustración 75. PHPMyAdmin realizando un acceso remoto a la base de datos.

Para su correcto funcionamiento, se ha de ajustar la configuración de la base de datos de la red Wifi a la que se encuentre conectada la centralita y abrir los puertos del servidor en el router.

7.3. Seguridad contra ataques digitales

Para dificultar los ataques digitales se han tomados las siguientes medidas:

- La comunicación bluetooth se realiza mediante una encriptación de 128 bits.
- El módulo bluetooth y la raspberry pi se comunican solamente bajo tramas prestablecidas.
- Se limita el número de entradas al programa.
- Se ha tenido especial cuidado con la gestión de la memoria, evitando posibles desbordamientos del buffer ya que estos son la mayor fuente de "exploits" en los ataques digitales.

Estas medidas se han llevado a cabo con el fin de conseguir un mínimo de seguridad en el sistema de control que cumpla con los requisitos establecidos. En una continuación a este proyecto, en caso de darse, se deberá de poner especial interés en mejorar este apartado.

7.4. Validación

Al igual que en los apartados relacionados con la mecánica y la electrónica del cierre, en este último apartado, relacionado con el control, se realiza una validación del diseño en base a los requisitos establecidos al principio de este documento.

La siguiente tabla muestra un resumen de los requisitos obligatorios y opcionales cumplidos en el diseño final:

Identificación mediante huella dactilar.	✓
Acceso remoto al cierre.	✓
Registro de accesos realizados en el último mes.	✓
Se han de tomar medidas contra ataques digitales.	✓
Realización de una página web que facilite el control y acceso remoto. (Opcional)	✗

Tabla 29.Validación del diseño.

La tabla muestra que el diseño cumple todos los requisitos establecidos como obligatorios excepto el de la realización de una página web que, como se ha explicado, no se ha podido llevar a cabo por falta de tiempo.

Documentación complementaria

Se dispone de más información referente a este apartado en:

- ANEXO IX: Configuración inicial de la Raspberry Pi.
- ANEXO X: Resumen de clases.
- DOCUMENTO VI.a - Código del programa del microcontrolador.
- DOCUMENTO VI.b - Código del programa de la Raspberry Pi.
- DOCUMENTO VI.c - Código del script de MySQL.

8. PROTOTIPO

En este apartado simplemente se muestra el prototipo final realizado, ya que todo lo relacionado a su diseño y control ha sido explicado a lo largo de este documento.

Para ejemplificar el funcionamiento del cierre, se fabricó un soporte sobre un tablero que simula la puerta y la caja de bloqueo del armario. Además, se incluyó en el mismo tablero la centralita con todos sus componentes relegando la regleta de alimentacion a la parte trasera.

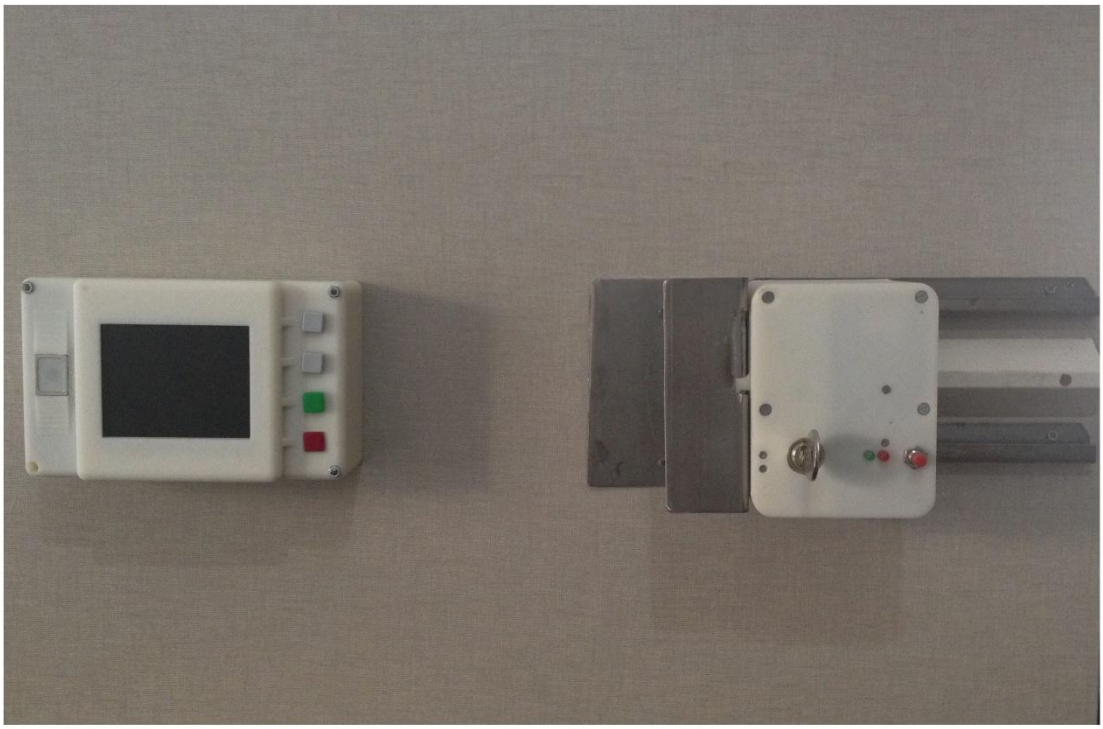


Ilustración 76. Prototipo final.

9. CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta el protocolo de pruebas realizado para verificar el funcionamiento del cierre, los resultados y una breve interpretación de los mismos. Las pruebas realizadas evalúan el funcionamiento del hardware y software implementado de forma individual y de forma integrada. Los resultados se presentan en forma de tabla indicando el resultado obtenido y un breve comentario de la naturaleza de la prueba.

9.1. Protocolo de Pruebas

En la siguiente tabla se enumeran las diferentes pruebas realizadas y sus resultados.

Prueba realizada	Resultado	Comentarios
Verificación de placa de control principal	OK	No fue necesaria ninguna modificación en la placa implementada, y se realizó únicamente una versión de la misma.
Verificación de placa de conexiones.	OK	Al igual que en la placa principal no fue necesario realizar ninguna modificación.
Montaje	OK	El montaje del cierre se realizó satisfactoriamente, sin embargo, fue necesario lijar las piezas prototipadas para un ajuste adecuado, sobre todo en los agujeros.
Generación de señal de Control	OK	Las ondas generadas no tienen desfase y el ancho de pulso tiene un error máximo de 1us en su duración
Montaje de servomotor	OK	Al montar el servomotor es necesario ubicar su eje en posición angular conocida antes del montaje. Se debe considerar su rango de movimiento para prevenir colisiones involuntarias durante el movimiento.
Comunicación Serial	OK	La comunicación a 9600bps es satisfactoria y no genera complicaciones para las demás rutinas del software de control del microcontrolador y la Raspberry PI.
Escritura/Lectura EEPROM	OK	El acceso a la memoria EEPROM para lectura o escritura se realiza de forma satisfactoria.
Conexión bluetooth	OK	La conexión entre los módulos se realiza en menos de 2 segundos en la mayoría de los casos. Llegando en el peor de los casos estudiados a 5 segundos.
Distancia de comunicación	OK	Las pruebas se han llegado a realizar a una distancia de 10 metros consiguiendo tiempos de conexión menores a 3 segundos.
Pruebas de uso por llave	OK	Se realizaron 50 aperturas y 50 desbloqueos consecutivos del cierre funcionando perfectamente.

Tabla 30. Protocolo de pruebas 1 de 2.

Prueba realizada	Resultado	Comentarios
Pruebas de uso por sistema electrónico.	OK	Durante el desarrollo y configuración del sistema se realizaron más de 500 aperturas y cierres. Sólo mostrando problemas al inicio del proyecto por mala configuración del sistema.
Duración de la batería	OK	Durante el desarrollo del proyecto sólo se recargaron las baterías 2 veces y en ninguna el nivel bajaba del 40%. (Incluso teniendo desactivado el apagado durante el desarrollo de los ajustes)
Prueba integrada de funciones de microcontrolador	OK	Todos los módulos trabajan de forma adecuada y sincronizada. El software no pierde el control del cierre en ningún momento.
Pruebas de uso del sensor de huellas	OK	En un principio el sensor de huellas no funcionaba correctamente. EL problema se solucionó con la integración de un HUB USB. Finalmente en pruebas realizadas el sensor de huellas en 100 usos realizó una identificación satisfactoria en 98 ocasiones.
Prueba de conexión con la base de datos.	OK	Se programó un programa de prueba que ejecutaba conexiones y consultas simultáneas buscando conocer el comportamiento de la base de datos. Las pruebas no mostraron ningún tipo de problemas.
Conexión remota	OK	Se realizaron pruebas de acceso a la base de datos mediante una red externa pudiendo acceder en todos los casos sin problema una vez abiertos los puertos del router del sistema.
Prueba de programa de control	OK	En el programa implementado en las Raspberry Pi se depuró el código buscando la optimización del mismo.

Tabla 31. Protocolo de pruebas 2 de 2.

9.2. Interpretación de resultados

En base a las pruebas realizadas, los resultados obtenidos sugieren lo siguiente:

- Si bien el montaje fue realizado adecuadamente, el uso de piezas prototipadas supone una consideración especial debido a la tolerancia obtenida mediante este método de fabricación.
- En las pruebas realizadas en el estudio de la conexión bluetooth se observó que el tiempo de conexión aumenta en función de la distancia y de la existencia de paredes entre centralita y cierre, pese a ello en el rango de 10 metros la conexión siempre se realizaba.
- La duración de la batería se encuentra dentro de los rangos estudiados en el apartado 6.2.6. Con carga completa se realizaron 100 aperturas y 100 cierres, distanciados en el tiempo. El resultado fue una variación en el voltaje de las baterías de 8,12V a 7,77V lo que supone una descarga del 4,3% pudiendo realizarse otras 2000 aperturas/cierres teóricas.
- El programa de control precisó de una optimización en busca de sellar todos los bugs encontrados, el resultado final puede presentar algunos pequeños bugs que deberían ser cerrados en versiones posteriores.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras realizar el proyecto, se obtienen las siguientes conclusiones y se mencionan posibles consideraciones a tener en cuenta en una posible continuación a este trabajo.

10.1. Conclusiones

- La adopción de un sistema descentralizado hace que su uso sea idóneo para aulas, oficinas o almacenes, lugares donde se disponga de gran número de armarios. En estos casos, se consigue reducir el precio de instalación considerablemente con respecto a un sistema descentralizado gracias al ahorro en componentes. Además, como añadido, se consigue reducir el tamaño del cierre cuantiosamente.
- El sistema electrónico diseñado cumple con los requerimientos propuestos y permite realizar un control adecuado sobre el cierre.
- El uso de baterías, pese a plantear ciertos problemas en diseños iniciales, supuso dotar a los armarios de una autonomía muy elevada y de independencia de la red eléctrica.
- La comunicación bluetooth realiza una conexión lo suficientemente rápida en un alcance de hasta 10 metros.
- El software de control, realizado bajo C++, administra adecuadamente todos los recursos de la aplicación (base de datos, comunicación serial…) y realiza un control más que satisfactorio.
- El acceso remoto se realiza finalmente mediante un recurso web como es "PHPmyAdmin". Sin embargo, el sistema se ha desarrollado pensando en conseguir una fácil interacción con cualquier aplicación web y lograr acceder a los registros del cierre de manera segura.

10.2. Consideraciones

- Realizar un menú con una estética mejorada. El menú presentado se centraba en la funcionalidad, en versiones futuras se debería prestar atención a su apariencia.
- Crear una página web de control de registros. Como se ha explicado en este proyecto se usa una herramientas web, sin embargo el desarrollo de una página web compatible no supone ninguna dificultad técnica.
- Desarrollar una App que sirva como método secundario de identificación. El uso de tecnología bluetooth abre la puerta a posibles identificaciones mediante dispositivos móviles en base al sistema presentado en este proyecto.

11. BIBLIOGRAFÍA

[1] - Historia de llaves y cerraduras. Máximo Fernández Sendín.

http://fernandezsendin.blogspot.com.es/2011/06/historia-de-las-llaves-y-cerraduras.html/

Acceso el 27/01/2014.

[2] - Chubb's Detector Lock. Historyoflocks.

http://www.historyoflocks.com/chu003.html

Acceso el 27/01/2014.

[3] - Lock – Wikipedia (en)

http://en.wikipedia.org/wiki/Lock_(device)/.

Acceso el 27/01/2014.

[4] - National insecurity

http://cabinetmagazine.org/issues/22/kastner.phpAcceso el 27/01/2014.

Acceso el 27/01/2014.

[5] - Historia de la cerradura – Cerrajería súper llave.

http://www.cerrajeria-super-llave-adeje.es/la-historia-de-la-cerradura/ .

Acceso el 27/01/2014.

[6] - Historia de la cerraduras - eHow

http://www.ehowenespanol.com/historia-cerraduras-hechos_149822/.

Acceso el 27/01/2014.

[7] - Electronic-lock. Wikipedia.

http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_lock#Authentication_methods

Acceso el 27/01/2014/

[8] - Biometría. Wikipedia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Biometría

Acceso el 27/01/2014.

[9] - Armario. Wikipedia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Armario

Acceso el 27/01/2014.

[10] - Cerradura de tambor de pines. Wikipedia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Cerradura_de_tambor_de_pines

Acceso el 27/01/2014.

[11] - "Física para ciencias e ingeniería" de Serway.

[12] – Análisis de tecnologías inalámbricas. UAEM redalyc.

http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85212371012

Acceso el 10/02/2014.

[13] – Estudio corporativo entre plataformas Bluetooth y Zigbee para transmisión de voz domótica.

Israel De La Parra González, Gerardo Leyva Hernández, Luis Enrique Arámbula Miranda. Dpto. de Sistemas Electrónicos, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

http://posec.cucei.udg.mx/Tesis/EstudioBluetoothyZigBee.pdf

Acceso el 10/02/2014.

[14] – Zigbee. EcuRed.

http://www.ecured.cu/index.php/ZigBee

Acceso el 10/02/2014.

[15] – Baterias recargables. Tipos y carcteristicas.

http://blog.briconatur.com/baterias-recargables-tipos-y-caracteristicas/

Acceso el 10/02/2014.

[16] – Rectificador controlado de silicio. Wikiepdia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Rectificador_controlado_de_silicio

Acceso el 10/02/2014.

[17] – Circuitos de conmutación. SCR o TIC-106.

http://www.mailxmail.com/curso-electronica-basica/circuitos-conmutacion-scr-tic-106-rele

Acceso el 10/02/2014.

[18] – Comparatica de microcontroladores actuales. UPV.

http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lsed/2002-03/Micros/downloads/trabajo.pdf

Acceso el 10/02/2014.

[19] – Using the BlueSMiRF. Sparkfun.

https://learn.sparkfun.com/tutorials/using-the-bluesmirf/introduction Acceso el 10/02/2014.

[20] – Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library. Github.

https://github.com/adafruit/Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library

Acceso el 10/02/2014.

[21] – Arduino UNO vs Beaglebone vs Raspberry Pi. Mackenzie.

http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi/

Acceso el 10/02/2014.

[22] – De computadoras y cosas pequeñas: Arduino, Raspberry, BeagleBone. Cerebors artificiales.

http://cerebrosartificiales.blogspot.com/2013/08/de-computadoras-y-cosas-pequenas.html

Acceso el 10/02/2014.

[23] – Trabajando con módulos Bluetooth RN41 y RN42 en Android. Micro electronics.

http://www.microelectronicos.net/?p=1075

Acceso el 10/02/2014.

[24] – Configuración inicial Raspberry Pi. ELECTRONILAB.

http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-2-de-raspberry-pi-configuracion-inicial/

Acceso el 10/02/2014.

[25] – Conexiones ssh a prueba de bombas. No soy vago soy eficiente.

http://nosoyvagosoyeficiente.wordpress.com/2013/06/04/conexiones-ssh-prueba-bomba/ Acceso el 10/02/2014.

[26] –Configuración Wifi USB en Raspberry Pi.

http://cuadernodelviaje.blogspot.com.es/2013/01/configurar-wifi-usb-en-raspberry-pi.html

Acceso el 10/02/2014.

[27] – Tutorial Raspberry Pi – escritorio remoto VNC + NO-IP. Geeky Theory.

http://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-7-escritorio-remoto-vnc-no-ip/

Acceso el 10/02/2014.

[28] – Más de 400 comandos para GNU/Linux que deberías conocer. Blog desde Linux.

http://blog.desdelinux.net/mas-de-400-comandos-para-gnulinux-que-deberias-conocer/

Acceso el 10/02/2014.

[29] – Using the UART. Raspberry-projects.

http://www.raspberry-projects.com/pi/programming-in-c/uart-serial-port/using-the-uart

Acceso el 10/02/2014.

[30] – Raspberry Pi GPIO. ModmyPi..

https://www.modmypi.com/blog/raspberry-pi-gpio-en-franais

Acceso el 10/02/2014.

[31] – Acceder vía VNC a Raspberry PI. Electrolitoblog.

http://electrolitoblog.wordpress.com/2013/02/01/acceder-via-vnc-a-raspberry-pi/

Acceso el 10/02/2014.

[32] – Creating a "Blinking LED" project for Raspberry PI. SYSPROGS.

http://visualgdb.com/tutorials/raspberry/LED/

Acceso el 10/02/2014.

[33] - PHP 6 (GUIA PRACTICA) por Francias Charte.

[34] – Aprenda C++.

[35] – Curso de C++. C++ con clase.

http://c.conclase.net/

Acceso el 10/02/2014.

[36] – Tutorial enlazador API C MYSQL. C++ Con clase.

http://www.conclase.net/c/mysql/index.php?cap=000#inicio

Acceso el 10/02/2014.

[37] – Remote Debugging of Raspberry Pi Applications From Eclipse. Hertaville.

http://hertaville.com/2013/01/11/remote-debugging/

Acceso el 10/02/2014.

[38] – Introduction to accessing the Raspberry Pi's GPIO in C++ (sysfs). Hertaville.

http://hertaville.com/2012/11/18/introduction-to-accessing-the-raspberry-pis-gpio-in-c/

Acceso el 10/02/2014.

[39] – Control del programa mediante hardware usando los GPIO de la Raspberry Pi- Rpi-Face.

http://rpiface.wordpress.com/2013/05/03/control-del-programa-mediante-hardware-usando-los-gpio-d-ela-raspberry-pi/ Acceso el 10/02/2014.

[40] – Curso Bases de Datos MSQL .Código facilito.

http://codigofacilito.com/cursos/bases_datos

Acceso el 10/02/2014.

[41] – Acceder a MYSQL usando C. Blog de Linux.

http://blog.desdelinux.net/acceder-a-mysql-usando-c/

Acceso el 10/02/2014.

[42] – API C para MySQL. Andres Tortolero.

http://www.ie.uia.mx/acad/atortole/bd/c-Mysql.html

Acceso el 10/02/2014.

[43] – Comenzando con MySQL Connector/C++

http://www.eduardocasas.com/es/blog/27-02-2013/comenzando-con-mysql-connectorc-

Acceso el 10/02/2014.

12. ANEXOS

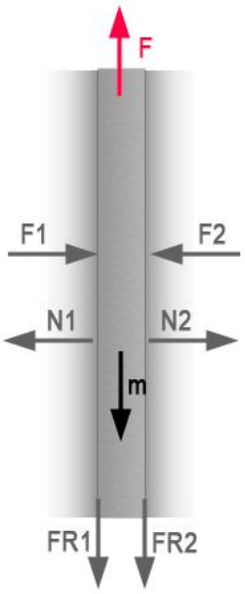
12.1. ANEXO I. Análisis estáticos previos al diseño

En este anexo se analizan componentes y piezas cruciales para el diseño en una fase temprana del mismo. El objetivo es analizar el comportamiento de los mismos antes de profundizar en su diseño en detalle.

12.1.1 Guía vertical

La guía vertical se situará entre la guía horizontal y el soporte. Estos contactos generan fuerzas de rozamiento que se han de vencer para permitir el movimiento. En este apartado se estudia la fuerza necesaria para que se produzca su movimiento y la aptitud del servomotor seleccionado para tal desempeño.

Las guías se sujetan mediante tornillos que ejercen cierta presión contra las chapas aumentando por tanto la fuerza de rozamiento entre las mismas. Estas fuerzas provocadas por la precargar de los tornillos en esta etapa del diseño no es posible calcularlas con exactitud por lo que se sobreestiman en 2N, valores que el diseño final nunca alcanzará, ya que se quiere que las guías deslicen adecuadamente



En primer lugar se realiza el equilibrio de fuerzas:

$$\sum F_y = F - m * g - Fr_1 - Fr_2 = 0;$$

$$\sum F_x = F_1 + N_2 - F_2 - N_1 = 0;$$

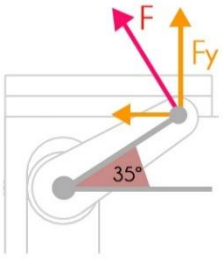
La Fuerza que se busca (F) necesaria para elevar la guía vertical es igual a la suma del peso de guía (estimada en 50 gramos) y las fuerzas de rozamiento.
Estas últimas se calculan mediante las los normales N1 y N2 respectivamente, por el coeficiente de rozamiento estático, que en nuestro caso al tratarse de acero sobre acero es de 0,74.*

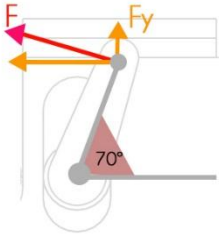
$$F = m * g + N_1 * \mu_s + N_2 * \mu_k = 0$$

$$F = 0{,}05Kg * 9.8\ {}^{m}/_{s^2} + 1N * 0{,}74 + 1N * 0.74$$

$$F = 1{,}97N$$

Una vez se tiene la fuerza necesaria para vencer el rozamiento estático se calcula, el par necesario que debe producir el servo para ejercer dicha fuerza. Para ello, se propone un rango de trabajo que va desde los 35º a los 70º con el objetivo de elevar la guía más de 5mm y desbloquear el cierre.





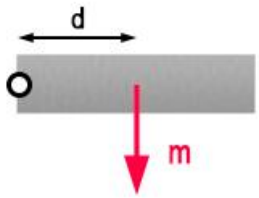
La fuerza F_y se iguala a la fuerza necesaria para elevar la guía y se despeja hasta conseguir el momento torsor en el motor. La longitud de la leva es de unos 15 mm.

	$\alpha = 35º$	$\alpha = 70º$
$F = \frac{F_y}{\cos(\alpha)}$	$\frac{1{,}97}{\cos(35)} = 2{,}40N$	$\frac{1{,}97}{\cos(70)} = 5{,}75N$
$T = \mathrm{F} * \mathrm{d}$	$2{,}40\mathrm{N} * 1{,}5\ \mathrm{cm} * \frac{1Kg}{9{,}8N} = 0{,}37Kg.cm$	$5{,}75\mathrm{N} * 1{,}5\ \mathrm{cm} * \frac{1Kg}{9{,}8N} = 0{,}88Kg.cm$

Como se puede comprobar las solicitaciones de par se mueven entre 0,37 kg y 0,88 kg lejos de los límites de funcionamiento del servo (recordar que el servo posee un par de 1,5 Kg.cm). Estos resultados se dan por satisfactorios y se decide continuar con el diseño propuesto.

12.1.2 Guía horizontal

El movimiento de la guía horizontal no solo ha de vencer las fuerzas de rozamiento sino que también ha de abrir el cierre mediante el sistema de piñón-cremallera. Por lo que en principio se estima un gancho de 20 gramos y 3 cm longitud con su centro de gravedad situado en el centro geométrico de la pieza:



Con esta estimación se calcula el momento torsor al que estará sometido el eje que transmite el par al engranaje.

$$Mt = F * d$$

$$Mt = (0{,}02Kg * 9{,}8\,{}^{m}/_{s^2}) * 1{,}5cm$$

$$Mt = 0{,}294N.cm$$

Se estima un diámetro nominal muy pequeño, de 10 mm ya que los engranajes no han sido seleccionados aun. Se elige un valor reducido debido a que cuanto menos radio existe entra la fuerza a aplicar y el eje del motor, más esfuerzo ha de ejercer este, por lo que en todo caso el resultado saldría más desfavorable que el real.

$$Mt = Ft.Dn$$

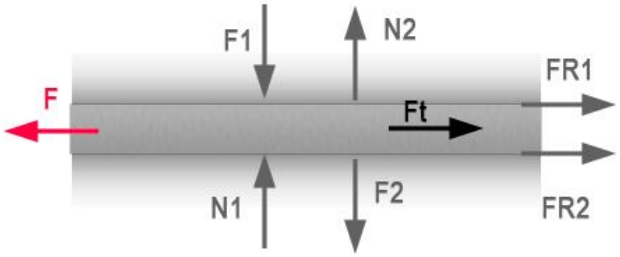
$$Ft = 0{,}294N.cm/0{,}75cm$$

$$Ft = 0{,}392N$$

La fuerza que se ha de ejercer sobre la cremallera es de unos 0,392 N. A esta fuerza se le ha de sumar la fuerza de rozamiento. Para ello se trabaja con las mismas hipótesis de presión que en la guía vertical. El primer paso es aplicar equilibrio de fuerzas:

$$\sum F_y = F_1 + N_2 - F_2 - N_1 = 0;$$

$$\sum F_x = F - Ft - Fr_1 - Fr_2 = 0;$$



En este caso el peso de la pieza se toma como despreciable, ya que el desplazamiento se produce en el eje vertical. Las fuerzas que ejercen las chapas siguen tomándose como 2N en total. Para el análisis se toma el caso más desfavorable: la elevación del cierre. El coeficiente de fricción estático acero-acero se toma como de 0,74.*

$$F = Ft + Fr_1 + Fr_2$$

$$F = 0{,}392 + 1 * 0{,}74 + 1 * 0{,}74$$

$$F = 1{,}872N$$

Esta última fuerza es la que debe de ejercer el engranaje del motor sobre la cremallera para mover el conjunto de la guía horizontal y abrir la cerradura. Sabiendo que el engranaje del motor es igual al del cierre se calcula el momento angular mínimo que necesita ejercer el motor para su validez.

$$Mt = F * d$$

$$Mt = 1{,}872N * 1{,}5cm * \frac{1Kg}{9{,}8N}$$

$$Mt = 0{,}29\ Kg.cm$$

En el apartado destinado a la selección de motores no se seleccionó un motor específico ya que el fabricante ofrecía con el mismo diseño distintas etapas de reducción. En vistas a los resultados de este anexo se selecciona un motor con una reducción que lo dota de 0,4 kg.cm, par más que suficiente para realizar la acción requerida.

*Coeficientes de fricción obtenidos del libro: "Física para ciencias e ingeniería" de Serway.

12.2. ANEXO II. Análisis dinámicos.

Una vez finalizado el diseño se pretende estudiar su respuesta ante las solicitaciones a las que se verá expuesto con el objetivo de la validar definitivamente tanto los motores como el diseño en su conjunto desde un punto de vista dinámico.

Para la realización de estos análisis se hará uso del módulo de análisis de movimiento con el que cuenta el programa SolidWorks 2012.

12.2.1 Elevación de la guía vertical

En este análisis se estudia el par que debe de aplicar el motor, como mínimo, para elevar la guía vertical. Para ello, se parte del modelado 3D previamente realizado en Solidworks del diseño final, se simplifica eliminando componentes que no tienen relevancia para el desempeño de la acción a estudiar, y se exporta al módulo de análisis de movimiento.

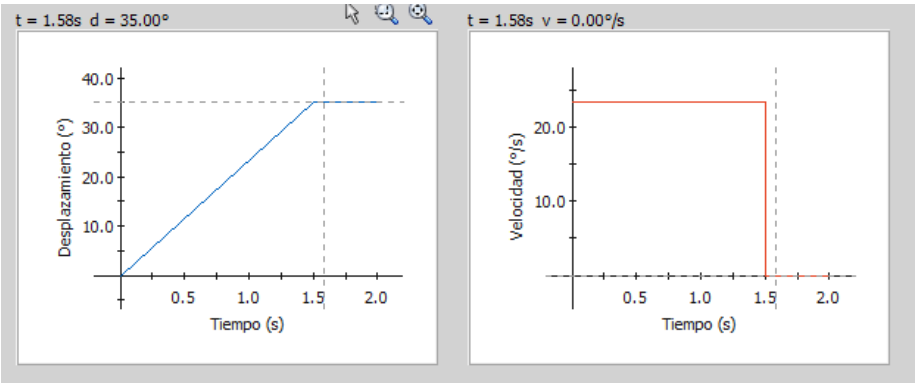
Todos los contactos son establecidos como contactos entre acero-acero y se editan las constantes de rozamiento a los siguientes valores (obtenidos del libro "Física para ciencias e ingeniería" de Serway):

:

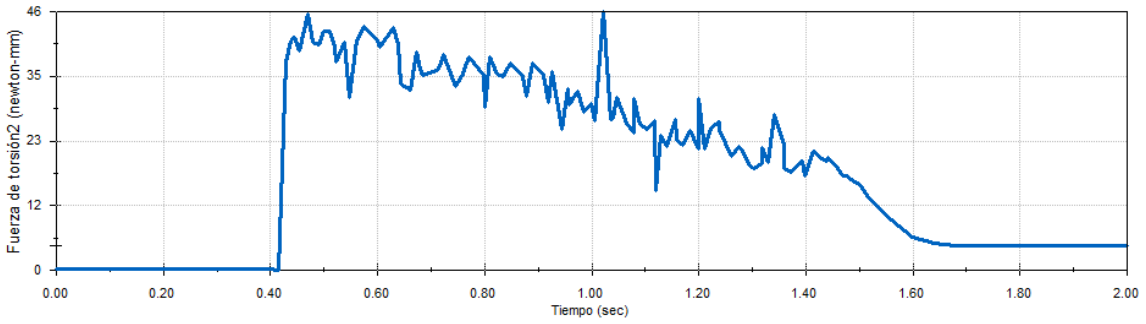
$$\mu_k=0,57$$

$$\mu_s=0,74$$

Por último se define a la leva del servo como un motor y se le ordena realizar desde su posición inicial (35º respecto al eje horizontal) un movimiento de 35º para conseguir elevar la guía:



El resultado del par necesario calculado por el módulo es el siguiente:



Como se puede comprobar en el momento que la leva choca con la guía (t=0,43s) se produce uno de las mayores solicitaciones ya que esta ha de superar la fuerza de rozamiento estática. En cuando la guía se comienza a mover el par sigue una tendencia descendente. Sin embargo, se puede observar que en el estudio el par cuenta con oscilaciones a lo largo de toda la gráfica. Estas se achacan a los continuos rozamientos de los pasadores con el soporte al elevarse la guía.

Del estudio se deduce que la mayor solicitación a la que el motor se verá expuesta es de unos 46N.mm (0,4693 kg.cm) por lo que el servomotor seleccionado que ofrece 1,5 kg.cm se da por bueno.

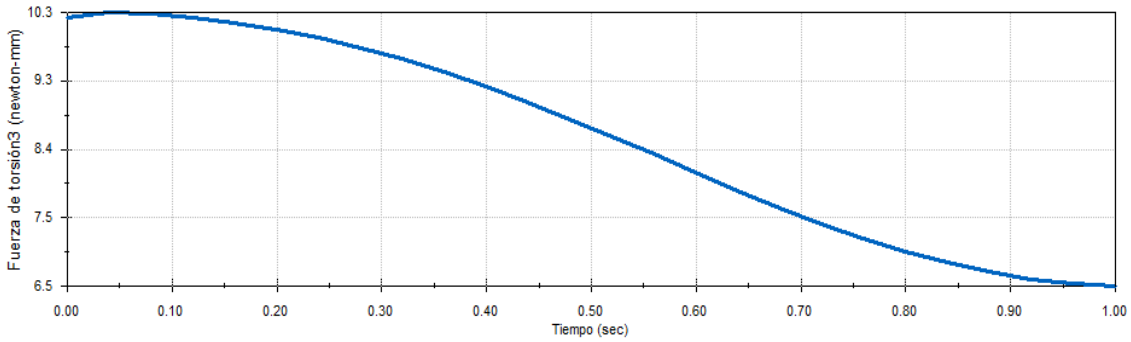
12.2.2 Movimiento de la guía horizontal

Una vez analizada la elevación de la guía vertical se da paso a analizar el movimiento de la guía horizontal en su situación más desfavorable, la elevación del gancho de cierre.

Al igual que en el análisis anterior se partirá del diseño 3D eliminando los componentes que no interfieren en los resultados y dejando la guía vertical elevada para mantener el cierre desbloqueado. De la misma manera, los contactos se han establecido con las mismas condiciones acero-acero anteriormente descritas.

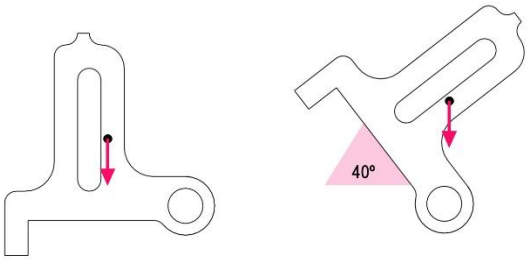
El engranaje central es definido como motor y para el estudio realizará un movimiento de 80º consiguiendo elevar el cierre.

El resultado del análisis aporta la siguiente gráfica:



Como se puede comprobar el mayor par (10,3 N.mm) es ejercido al comienzo del giro cuando el motor ha de vencer el rozamiento y elevar el gancho de cierre.

Según el giro se va produciendo el par va disminuyendo hasta llegar finalmente a los 6,5 N.mm, esto se atribuye, sobre todo, al diseño del gancho del cierre. El centro de gravedad del gancho de cierre se encuentra elevado respecto a la horizontal del eje del motor. Por lo que en un principio el peso del cierre se encuentra en un extremo del eje y cuando el gancho supera los 40º el peso del cierre ya no supone un esfuerzo para el motor.



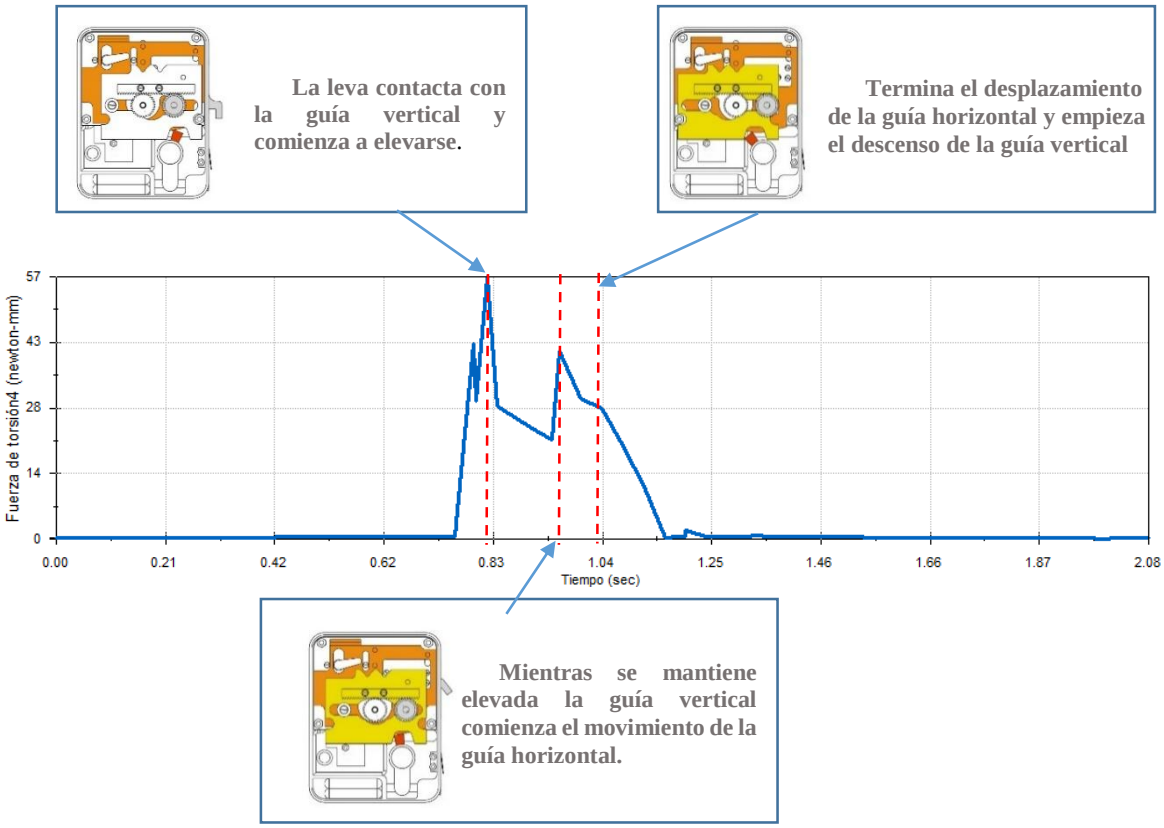
En vista de los resultados, el par máximo necesario es de 10,3 N.mm (0,11 Kg.cm) por lo que el motor de 0,4 kg.cm seleccionado cumple con el cometido.

12.2.3 Accionamiento manual

El último análisis a realizar tiene como objetivo determinar la fuerza a aplicar por el usuario cuando da uso al accionamiento manual.

En este análisis tanto la guía horizontal como la vertical entran en juego. Tantos los contactos anteriores como los nuevos debido al choque de la leva con las guías se mantienen en acero-acero.

En este se simula el giro de 360 grados de la leva en dos segundos. Los resultados se resumen en la siguiente gráfica.



Como se puede comprobar en las gráficas el usuario ha de ejercer la fuerza mayor en el segundo 0,78 con fin de elevar la guía vertical, esta tiene una magnitud de 57 N.mm (0,58 kg.cm).

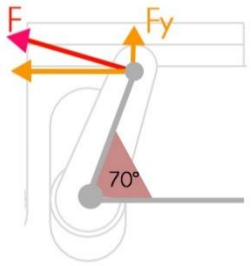
12.3. ANEXO III. Cálculo del muelle

La función del muelle es la de asegurar que la guía vertical descienda y bloquee a la guía horizontal. Para esta acción se implementa un muelle a tracción cuya fuerza empuja la guía vertical hacia abajo.

Esto significa que el servomotor ha de vencer las solicitaciones anteriormente calculadas en la elevación de la guía vertical más la fuerza que ejerce el muelle en contra de su movimiento.

Por esta razón, el cálculo del muelle parte del estudio dinámico realizado anteriormente con la elevación de la guía vertical.

El primer paso será calcula la fuerza vertical que el servomotor puede ejercer en la posición más desfavorable, que se da cuando la leva se encuentra a 70º.



Se conoce que el par máximo que ejerce el servomotor es de 1,5 kg.cm por lo que la fuerza F aplicada en la leva de 15 mm es igual a:

$$Mt = F * d$$

$$F = \frac{Mt}{d} = \frac{1{,}5\ Kg.cm}{15\ mm} \cdot \frac{9{,}82\ N}{1\ Kg} \cdot \frac{10\ mm}{1\ cm}$$

$$F = 9{,}82\ N$$

A continuación se calcula la fuerza vertical que podría ejercerse sobre la guía vertical cuando esta está elevada y, en consecuencia, el muelle en tensión máxima:

$$F_y = \text{F x } \cos(\alpha) = 9{,}82\ x \cos(70)$$

$$F_y = 3{,}35\ \text{N}$$

Para trabajar con un margen que asegure el correcto funcionamiento del mecanismo se trabajará con el 80% de la fuerza, un coeficiente de seguridad amplio y que busca asegurar el buen funcionamiento del mecanismo.

$$F_s = 3{,}35\ \text{N x } 0{,}8$$

$$F_s = 2{,}7\ \text{N}$$

El siguiente paso es calcular la fuerza de reacción que ejerce la guía vertical sobre la leva del servomotor cuando esta llega a su posición más elevada sin muelle. Para ello nos servimos de los resultados del análisis dinámico, anteriormente realizado, que aporta el par máximo necesario: 46 N.mm. Se calcula la fuerza máxima vertical que ha de ejercer la leva siendo la opuesta la reacción buscada.

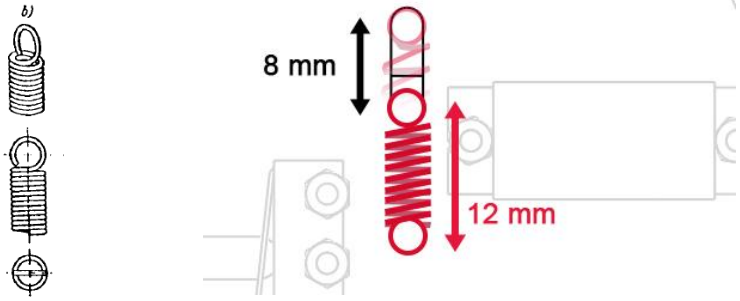
$$Fl = \frac{Mt}{d} = \frac{46\ N.mm}{15\ mm} = 3{,}06\ N$$

$$Fl_y = \text{Fl} \cdot \cos(\alpha) = 3{,}06 \cdot \cos(70) = 1{,}04\ N$$

Una vez conocida la reacción se calcula la diferencia entre la fuerza de la que el servo dispone y la que se ejercer para elevar la guía vertical, resultando la fuerza máxima que puede ejercer el muelle cuando se encuentra en su máxima extensión.

$$F_k = 3{,}35\ \text{N} - 1{,}04\ \text{N} = 2{,}31\ \text{N}$$

Posteriormente se procede a calcular la elongación máxima del muelle.



La elongación necesaria es de 8 mm sin embargo se da 2 mm extra para mantener el muelle en tensión en todas las condiciones consiguiendo:

$$f_{max} = 10\ \text{mm (elongación maxima)}$$

$$L_k = 10\ mm\ (Longitud\ del\ muelle\ \text{sin}\ carga)$$

Para el diseño se selecciona un muelle a tracción con anillas de ojo entero alemán hecho en acero conformado DIN 17221 (E=210000 N/mm^2 G=80000 N/mm^2).

Se calcula el grado de elasticidad del muelle buscado:

$$C = \frac{F_k}{f_{max}} = \frac{2{,}31\ N}{10\ mm} = 0{,}231\ N/mm$$

Se requiere un muelle de dimensiones reducidas por lo inicialmente se selecciona alambre de diámetro 0,5 milímetro y en base a la fórmula:

$$L_k = (i_f + 1)x\ d$$

Se calcula el número de espiras elásticas (i_f) necesarias para una longitud sin tensión de 10 mm:

$$i_f = \frac{L_k}{d} - 1 = \frac{10mm}{0{,}5\ mm} - 1 = 19\ espiras$$

Por último se calcula el diámetro medio de a espira (D_m) en base a la fuerza máxima:

$$F_k = \frac{G \cdot d^4 \cdot f}{8 \cdot D_m^3 \cdot i_f}$$

$$2{,}31\ N = \frac{80000\ N/mm \cdot 0{,}5^4 mm \cdot 10mm}{8 \cdot D_m^3 \cdot 19}$$

$$D_m = 5{,}22\ mm$$

El valor calculado se aproxima a 5 mm y se realiza una última comprobación de la fuerza:

$$F = \frac{80000\ N/mm \cdot 0{,}5^4 mm \cdot 10mm}{8 \cdot 5^3 mm \cdot 19} = 2{,}63N$$

La fuerza final del muelle supera a la establecida como máxima de 2,31 N sin embargo como al principio de los cálculos se ha aplicado un factor de seguridad el valor se da por válido quedando un muelle de las siguientes características:

Tipo de muelle	Muelle a tracción con anillas de ojo entero alemán
Material	Acero conformado DIN 17221
Numero de espiras (i_f)	19
Diámetro de alambre (D_m)	5mm
Diámetro de espira (d)	0,5 mm
Grado de elasticidad (c)	0,231 N/mm
Elongación máxima (f_{max})	10 mm

Para su uso en el prototipo no se dispone de los medios para fabricar un muelle con las características calculadas por lo que se buscará una alternativa comercial con particularidades semejantes.

12.4. ANEXO IV. Ensayos MEF

Se realizan una serie ensayos MEF mediante el programa SolidWorks con el objetivo de encontrar la máxima solicitación a la que el diseño se puede ver expuesto, comprobando así, su seguridad ante posibles intentos de forzado. Solo se analizan las piezas que estén, o puedan llegar a estar, expuestas a solicitaciones elevadas.

Los valores de los materiales (límites elásticos, curvas S-N, amortiguamientos, etc.) son orientativos y extraídos de materiales homólogos a los usados en la fabricación de las piezas. No obstante, se ha tratado de seguir la máxima rigurosidad en su obtención para preservar la validez de los ensayos.

Para la realización de los ensayos se simuló una fuerza en el extremo del gancho de cierre fingiendo ser un intento de forzado. A continuación se estudiaron su reacción en el gancho de cierre y eje. Estos ensayos se repitieron de forma iterativa hasta encontrar la fuerza máxima (tanto estática como dinámica) que se puede aplicar en el extremo del gancho garantizando la supervivencia del mecanismo.

El resultado de los ensayos dio como fuerza máxima 250N sin sistema de seguridad. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que una vez el gancho impacta contra el tope de seguridad este absorbe gran parte de las solicitaciones, por lo que la fuerza máxima es significativamente superior a la calculada sin sistema de seguridad. De manera conservadora se establecen los 250N en las especificaciones del diseño, como la fuerza máxima soportable en un forzado.

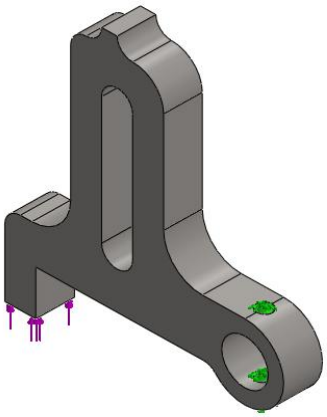
A continuación se muestran los resultados de los ensayos realizados en detalle.

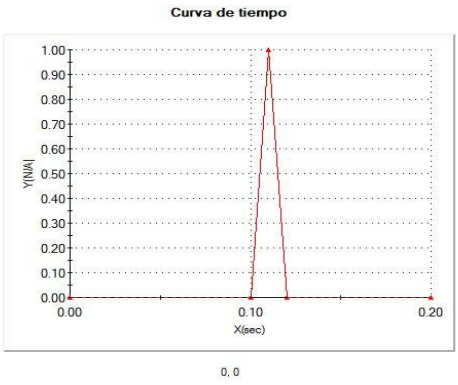
12.4.1 Gancho de cierre

Este componente es el encargado de realizar el cierre y por ello también el más expuesto a ser forzado para lograr abrir la puerta. En este apartado se realizarán dos estudios: estudio estático (simulando un forzado mediante palanca) y un estudio dinámico (simulando forzado mediante golpes).

Se busca comprobar que el componente soporte las solicitaciones y que el desplazamiento máximo en su extremo sea menor de 10 mm, ya que es la distancia necesaria para abrir la cerradura.

Material:
Acero AISI 1020



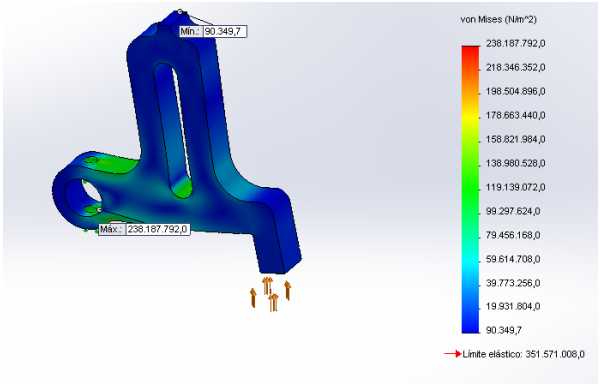


Pese a que en una situación real la fuerza no se podría ejercer en el extremo del cierre, ya que este queda oculto en el interior de la puerta, en los estudios a realizar se sitúa en dicho extremo ya que se trata de una situación más desfavorable. En los agujeros del pasador se coloca una restricción fija.

En ambos análisis se usa el método adaptativo por defecto del "Solidworks" y un mallado con tamaño medio de elemento de 1.13 mm y una tolerancia de 0.065 mm.

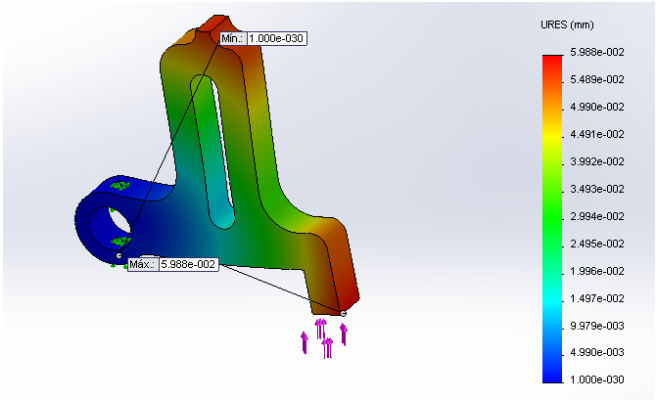
Ambas fuerzas contarán con una magnitud de 250N, en el modelo estático constante en el tiempo, mientras que en estudio dinámico actuará solo 0,1 segundos. Este último se realizará con un incremento de tiempo de 0.005 segundos durante 0,3 segundos.

- Resultados análisis estático:
  - Tensión equivalente Von-Mises:



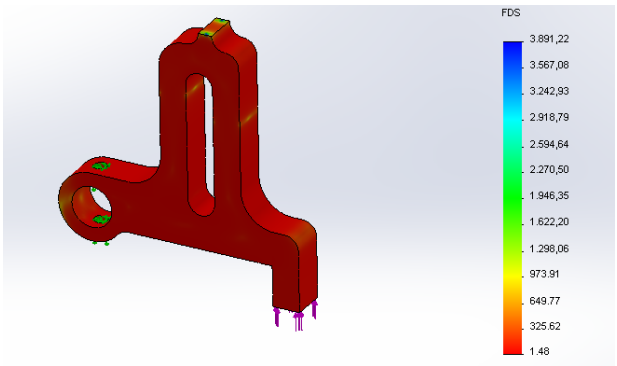
Se comprueba que la solicitación mayor, entorno a los 238 MPa, se produce cerca del agujero de fijación del cierre y se encuentra muy lejos del límite elástico del acero.

- Desplazamiento:



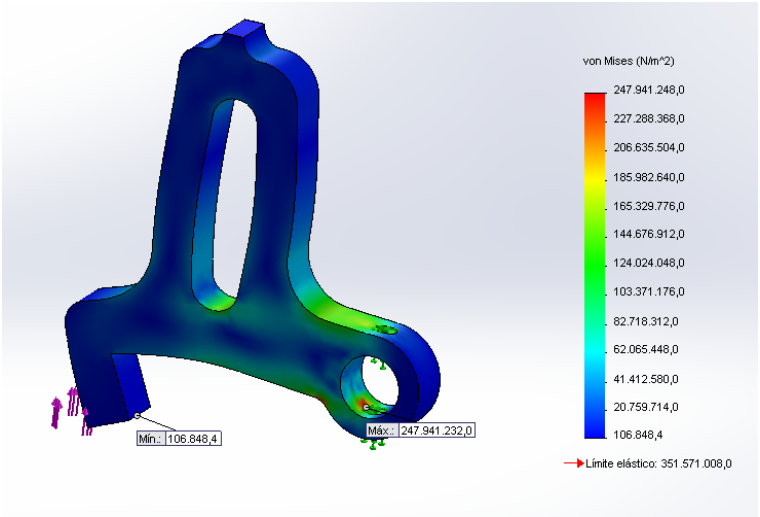
El desplazamiento máximo ocurre en el extremo del cierre donde se ejecuta la fuerza, este es de un 6 mm aproximadamente y no es suficiente para abrir el cierre que cuenta con 10 mm de saliente.

- Factor de seguridad:



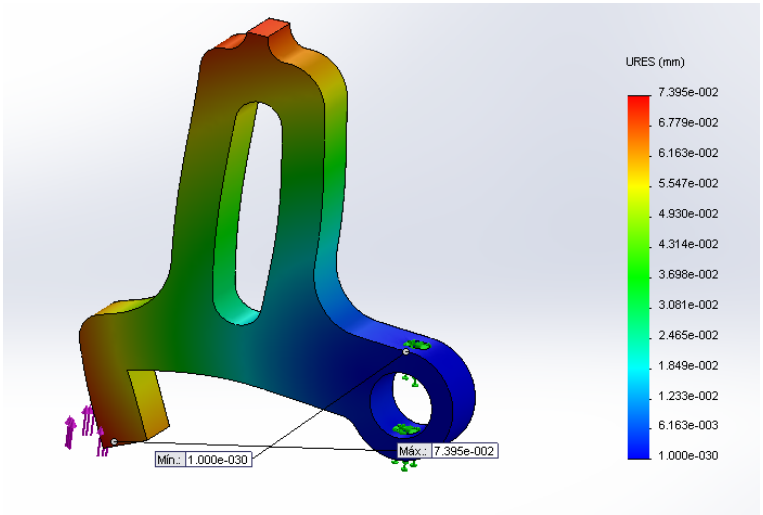
Como se puede comprobar el material soporta la carga de 250N con una factor de seguridad mínimo de 1,46.

- Resultados análisis dinámico:
  - Tensión equivalente Von-Mises:



En este estudio la tensión de Von Mises máxima alcanza los 247 MPa en el segundo 0,11 que recibe el impacto y se sitúa, al igual que en el análisis estático, en un punto cercano al agujero de sujeción. Se comprueba que incluso en este anolis en el que se estudia un impacto pulsante de 250 N la tensión máxima se encuentra lejos del límite elástico del material.

  - Desplazamientos:



La deformada de este estudio varía con respecto al anterior al tratarse de un golpe pulsante, alcanzando mayores desplazamientos. El desplazamiento máximo en el extremo del gancho es de unos aproximadamente 7,4 mm.

Conclusiones:

En vista a los resultados se comprueba que, tanto en el estudio estático como en el dinámico, ante la solicitación de 250 N el componente estudiado se comporta correctamente, encontrándose lejos del límite elástico y sufriendo desplazamientos menores a 10 mm.

Pese a ello, en el estudio dinámico se alcanzan desplazamientos cercanos a los 10 mm (7,4mm)

12.4.2 Eje principal

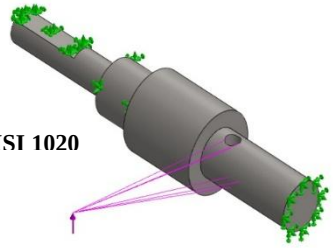
El eje principal es la pieza sobre la cual el gancho se apoya y gira. De esta definición se deduce que las solicitaciones que el gancho recibe son transmitidas a este componente mediante el pasador que los une.

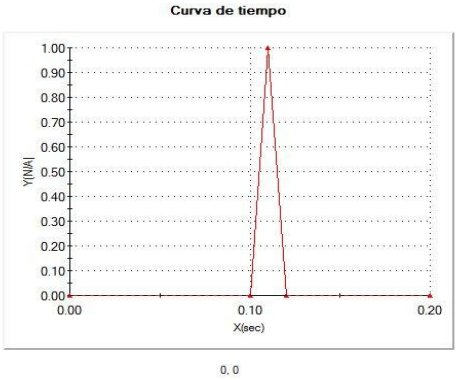
En este análisis se estudia cómo afectan al eje las fuerzas a las que anteriormente se expuso al gancho de cierre.

Para ello, se realizarán los mismos dos estudios: un estudio estático y un estudio dinámico, ambos con una carga remota de 250N situada a 30 mm del agujero del pasador al que se transmite la reacción de dicha carga. Se realizan tres restricciones:

- Una restricción fija, simulando la retención que ejerce el engranaje, en el chaflán del eje.
- Una restricción cilíndrica fija, que permite el giro del eje pero no su movimiento, simulando su apoyo en la carcasa.
- También se ha incluido el casquillo que da apoyo al eje, este se le ha dotado de un restricción fija y se ha realizado una conexión de tipo pasador con el eje.

Material:
Acero AISI 1020

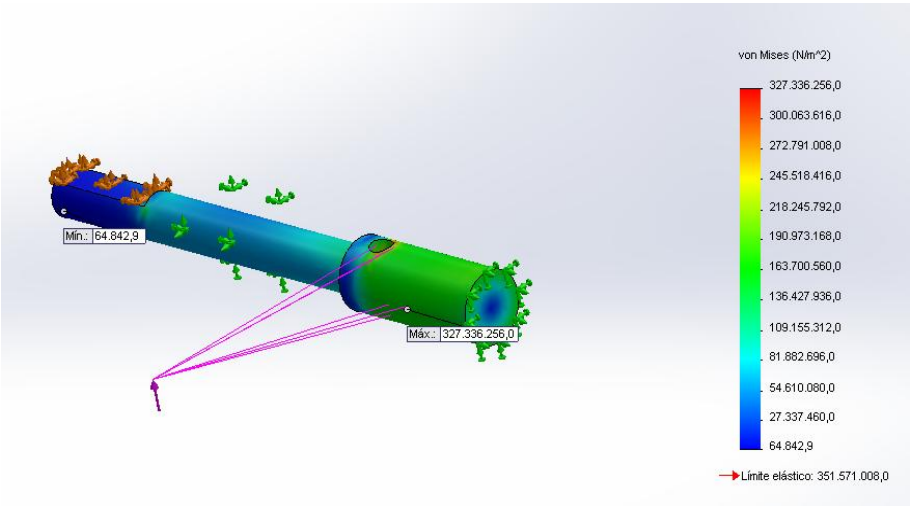




En ambos análisis se usa el método adaptativo por defecto del "Solidworks" y un mallado con tamaño medio de elemento de 1.13 mm y una tolerancia de 0.065 mm.

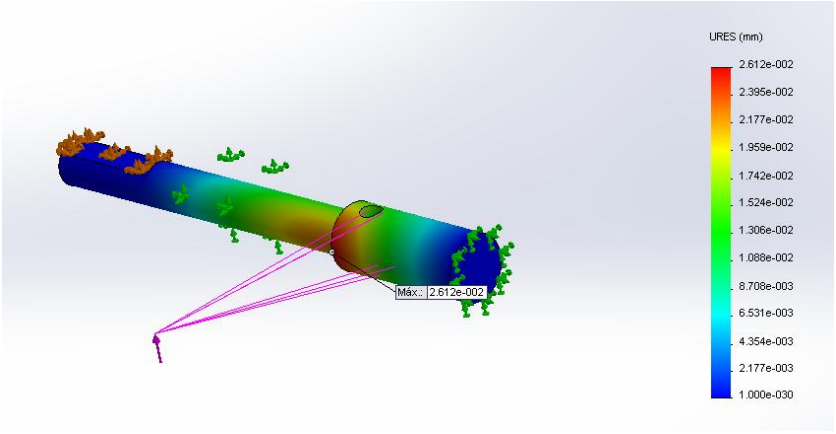
Se decide no mostrar los resultados del casquillo ya que estos se muestran muy conservadores y no se creen importantes de mención.

- Resultados análisis estático:
  - Tensión equivalente Von-Mises:



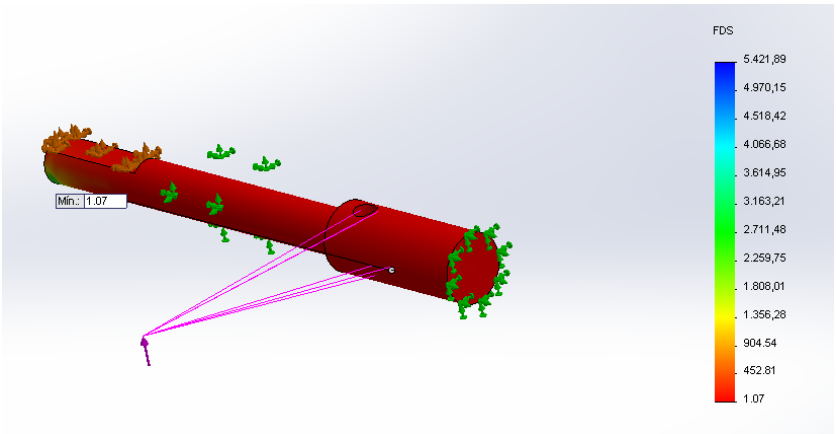
La mayor solicitación a la que se ve expuesta el eje (327 MPa) se da en el agujero del pasador y se encuentra cerca del límite elástico del acero.

- Desplazamientos:



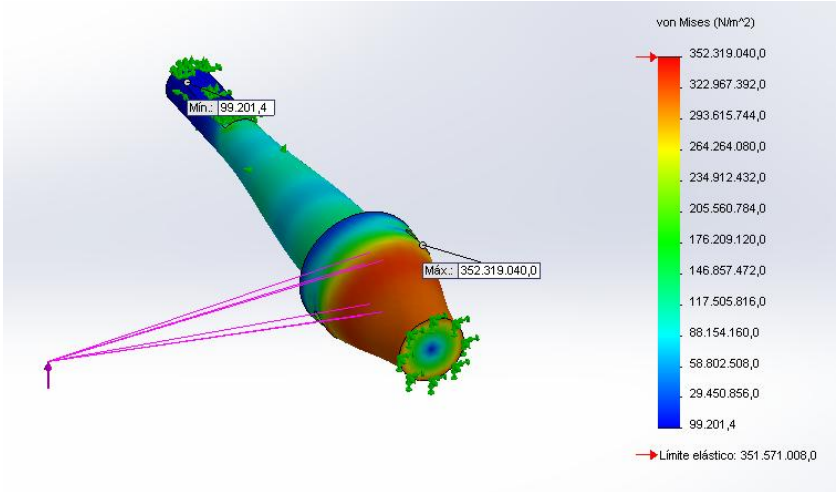
El mayor desplazamiento se encuentra, como era de esperar, en el agujero del pasador. De la poca deformación de la gráfica se deduce que estos desplazamientos son debidos en su mayoría al giro de la pieza ante la gran fuerza torsora a la que se ve expuesta.

- Factor de seguridad:



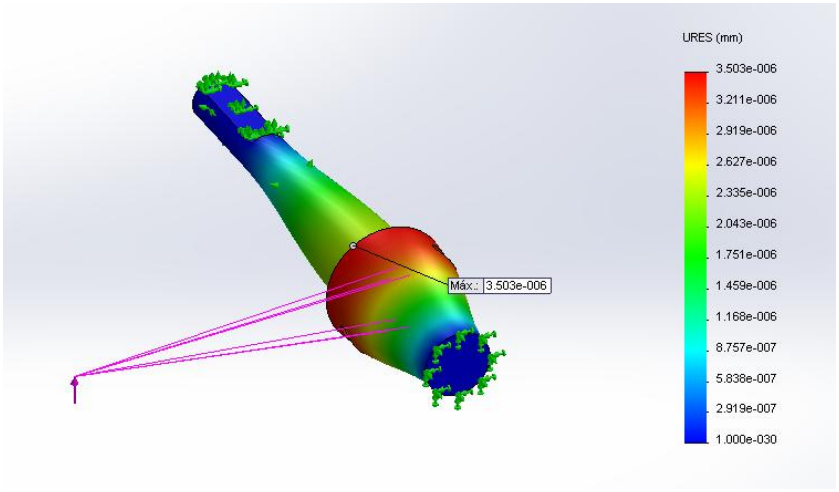
Por último se muestra el FDS de la pieza, la cual en su gran mayoría se encuentra ante un valor de medio de 200 encontrando en el agujero el valor mínimo cercano a 1.

- Resultados análisis dinámico:
  - Tensión equivalente Von-Mises:



Como era de esperar el estudio muestra una mayor tensión de Von Mieses, sobrepasando en 2 MPa el límite elástico del material, cuando la fuerza de 250 N se realiza de manera pulsante.

- Desplazamientos:



Al igual que los de tensiones, los resultado de desplazamientos son más elevados que sus homólogos en el estudio estático. En el gráfico de deformada que el golpe desplaza mucho la zona de apoyo del gancho y deforma de manera muy irregular el eje.

Conclusiones:

Como muestran los resultados de los ensayos, la fuerza de 250 N estudiada logra superar el límite elástico del material por 2MPa en el estudio dinámico. Pero teniendo en cuenta que la fuerza se ejerce en un punto más desfavorable del que físicamente es posible realizarla, el resultado se da por bueno y se establece los 250 N como la máxima fuerza que se puede ejercer sobre el gancho sin que el eje se vea afectado.

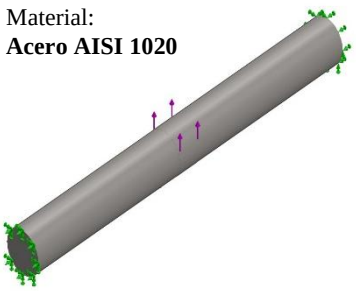
12.4.3 Tope de seguridad

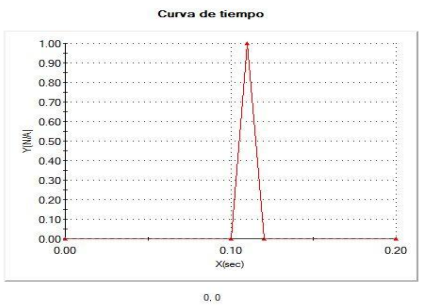
El tope de seguridad es una barra de acero de 3mm de diámetro cuya función es la de reducir las solicitaciones a las que se ve expuesto el eje y el mecanismo interno del cierre electrónico en caso de ser forzado. Si el cierre no es accionado por el usuario el tope se mantiene bajado y en el caso de que el gancho se intente elevar mediante palanca o golpe su parte superior choca contra el tope de seguridad absorbiendo gran parte de las reacciones del golpe en el mecanismo.

Se realiza un estudio dinámico simulando el comportamiento del tope del seguro ante un golpe de 250N. No se realiza estudio estático ya que sus solicitaciones, en vista a los resultados de los ensayos anteriores, son de menor magnitud.

Se colocan restricciones fijas en sus extremos y dicha fuerza en su punto medio.

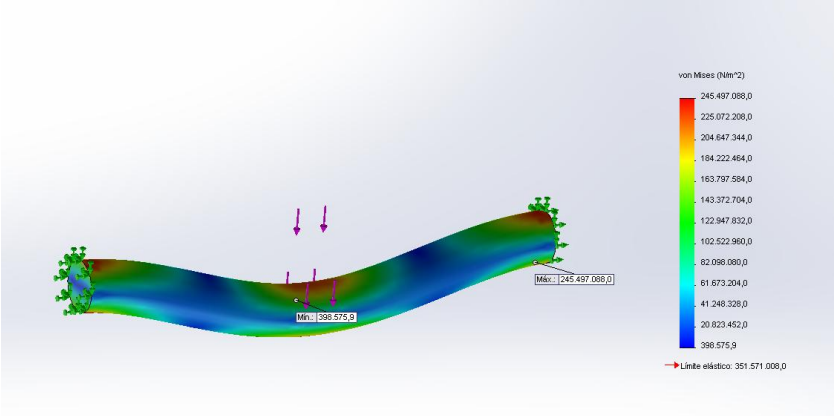
Material:
Acero AISI 1020





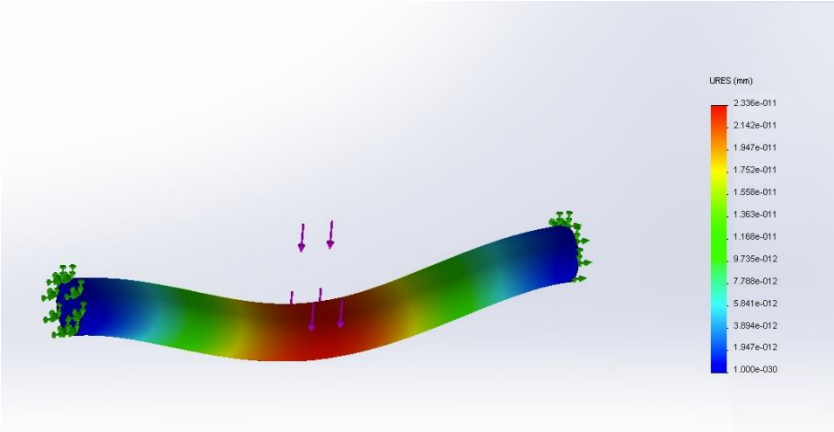
En el análisis se usa el método adaptativo por defecto del "Solidworks" y un mallado con tamaño medio de elemento de 1.13 mm y una tolerancia de 0.065 mm.

- Tensión equivalente de Von Mises:



Las tensiones mayores se originan en el centro y en los extremos del tope y están en torno a los 245 MPa. Muy lejos del límite elástico del acero por lo que se concluye que el tope sobrelleva el golpe de 250N.

- Desplazamiento:



La deformación del tope en su parte central ronda los 2,4 mm en dirección de la fuerza aplicada.

Conclusiones:

El tope soporta con creces un golpe de 250N ejercido por el gancho de cierre sufriendo un desplazamiento de 2mm. Por lo que las solicitaciones que ejerce el gancho de cierre sobre el eje estudiadas en ensayos anteriores se verán reducidas significativamente elevando la fuerza necesaria para realizar el forzado del cierre.

12.5. ANEXO V. Ensayos bajo normativa.

La norma UNE-EN-16014 especifica tres métodos de ensayos relativos a la resistencia y a la durabilidad de cerraduras para mobiliario en cualquier campo de aplicación.

Esta norma europea no se aplica a los mecanismos internos del cierre.

Los ensayos consisten en la aplicación de cargas o fuerzas que simulan un uso funcional normal, así como un mal uso razonablemente previsible. Estos son:

- Ensayo de sobrecarga: consiste en una fuerza aplica en la dirección de apertura de la cerradura. Simula un intento de apertura forzado cuando el cierre está bloqueado. Para un cierre de tipo gancho la fuerza a aplicar es de 350N durante 5 ciclos con pausas entre ciclos de 120s.
- Ensayo de funcionamiento: la fuerza se aplica de la misma manera que en el caso anterior. Se simula un intento de apertura sin sobrecarga por lo que la fuerza a aplicar ahora es de 150N manteniendo el número de ciclos y el tiempo de pausa.
- Ensayo de durabilidad. En este ensayo la cerradura ha de abrirse y cerrarse durante 5000 ciclos con carga y 20000 ciclos sin carga.

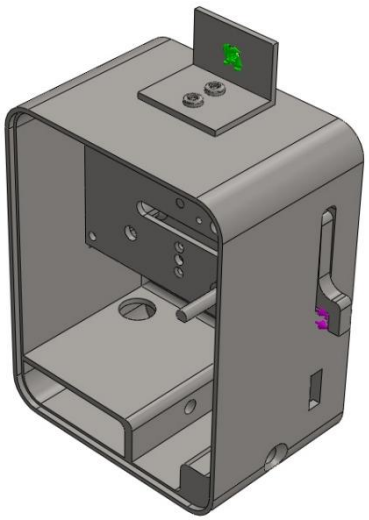
Estas pruebas han de realizarse en un banco de ensayos especial para tal fin utilizando cinco juegos de cerraduras. El ensayo se considera superado si la cerradura no ha sufrido daños ni deformaciones y el cierre sigue bloqueando la puerta.

Como no se dispone de tal banco y ni de tanto número de prototipos, con la ayuda del módulo de Solidworks se simularán dos de los tres ensayos garantizando, al menos teóricamente, que el diseño logra solventarlos con éxito.

12.5.1 Ensayo a sobrecarga

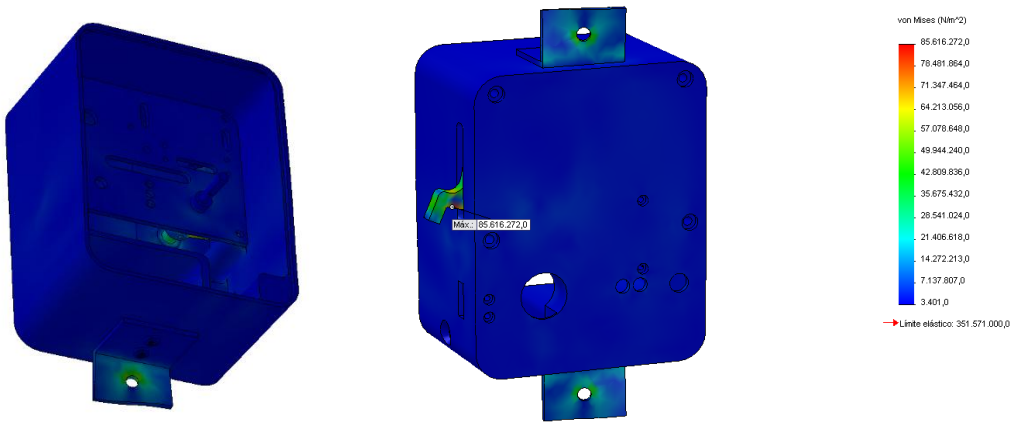
Como ya se ha explicado, este ensayo simula un intento de apertura con sobrecarga. Para la simulación se eliminan los componentes que no influyen en los resultados con el objetivo de simplificar los cálculos. Dos restricciones fijas son situadas en los agujeros de los pernos y se aplica la fuerza de 350N en la cara interna del gancho simulando el apoyo contra la caja de cierre al intentar abrir la puerta. Todos los componentes son homogenizados al mismo tipo de acero: AISI1020.

En el análisis se usa el método adaptativo por defecto del “Solidworks” y un mallado con tamaño medio de elemento de 1.13 mm y una tolerancia de 0.065 mm.



En principio se realiza un estudio estático del comportamiento del cierre con el objetivo de determinar los efectos de la fuerza aplicada.

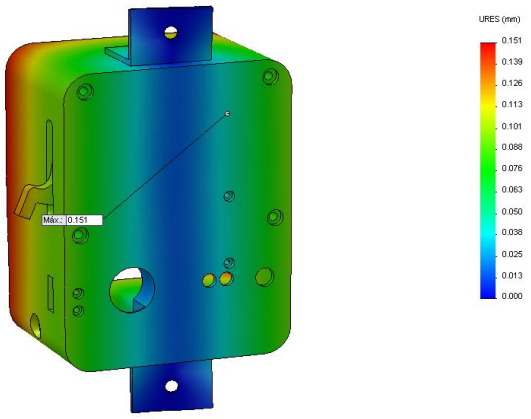
- Tensión equivalente de Von Mises:



Se observa que la mayor tensión equivalente, cercana a los 85 MPa, se da en la esquina del gancho. El cierre en su conjunto recibe una solicitación media de aproximadamente 22 MPa.

Ambas tensiones se encuentras muy lejos del límite elástico del acero seleccionado para los componentes de la simulación por lo que el coeficiente de seguridad será muy elevado y no existe peligro de deformaciones permanentes.

- Desplazamientos:



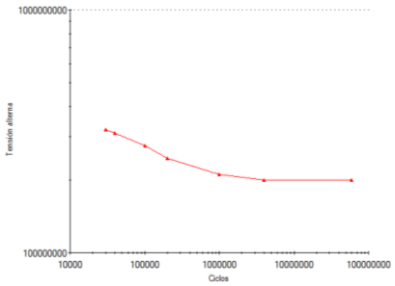
Los desplazamientos no son muy amplios siendo el mayor entorno a los 0,15 mm en el borde la carcasa. El gancho apenas se desplaza 0,1 mm de su posición inicial por lo que no existe el riesgo de una posible apertura.

El ensayo exige repetir esta solicitación 5 veces con pausas de 120 segundos. Sin embargo, se decide realizar un estudio de fatiga más exigente sometiendo el cierre a un mayor número de ciclos: 1000.

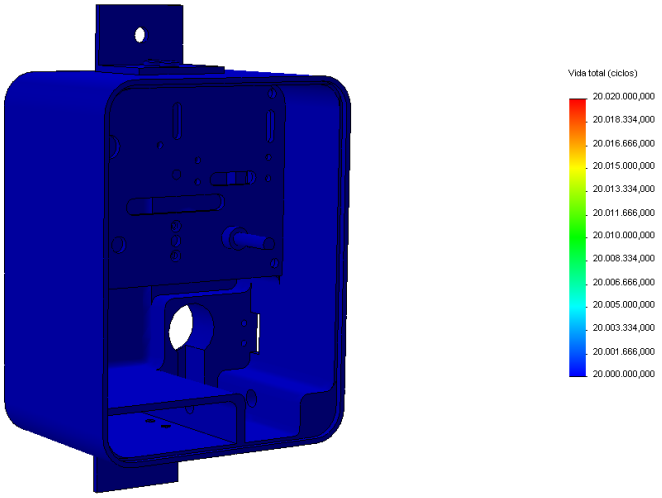
El ensayo a fatiga se realiza con las mismas condiciones que el ensayo estático anterior, sometiéndolo a cargas cíclicas intermitentes:

$$R= \sigma_min/\sigma_max = 0$$

La fuerza será aplicada solo en un sentido. La curva de fatiga (S-N) dl acero es la que tiene por defecto el Solidworks para aceros, si bien no es la misma que el acero seleccionado para el diseño si aportará valores aproximados en el resultado:



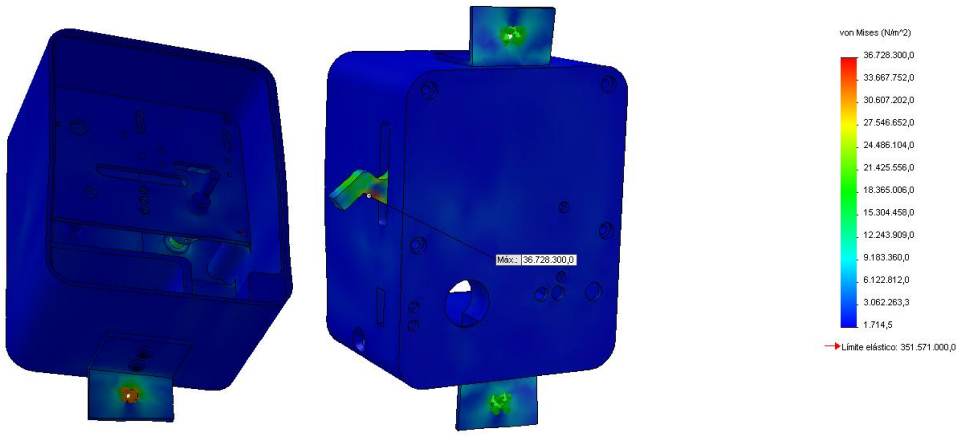
El resultado del estudio de fatiga calcula una vida en ciclos en torno a los 20 millones para la solicitación estudiada.



12.5.1 Ensayo de funcionamiento

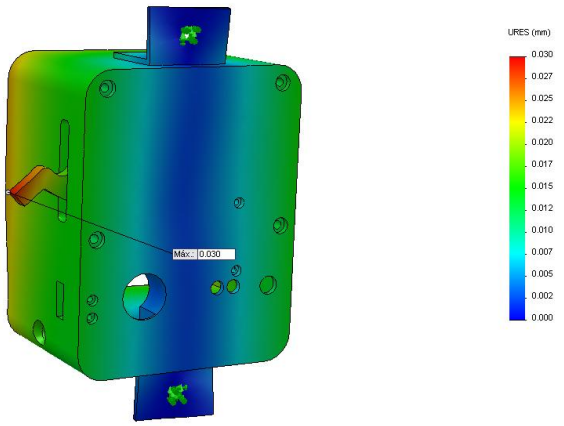
En este ensayo se mantienen las mismas condiciones que en el realizado en el apartado anterior, la única variación se realiza en la fuerza a aplicar que se reduce a 150N. Este ensayo tiene como finalidad simular un intento de apertura cuando el cierre está bloqueado por parte del usuario pero sin ejercer una fuerza elevada. A continuación se muestran los resultados del estudio estático:

- Tensión equivalente de Von Mises:



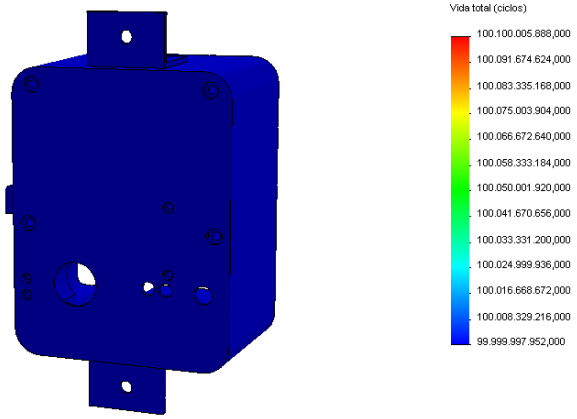
Las tensiones se reducen a más de la mitad en comparación con el ensayo anterior y manteniéndose las mayores en las mismas zonas. La tensión mayor vuelve a situarse en la esquina del gancho esta vez con un valor aproximado de 37 MPa.

- Desplazamientos:



Al igual que las tensiones los desplazamientos se reducen en magnitud pero siguen el mismo patrón que el ensayo anterior. Esta vez el valor máximo de desplazamiento se encuentra en el gancho de cierre quedándose en 0,03mm.

- Estudio a fatiga. (Se mantienen las mimas condiciones que el estudio realiza en el ensayo de sobrecarga)



Como era de esperar el número de ciclos bajo esta fuerza menor aumenta considerablemente hasta una cifra que podemos considerar como vida infinita.

12.5.2 Ensayo de durabilidad

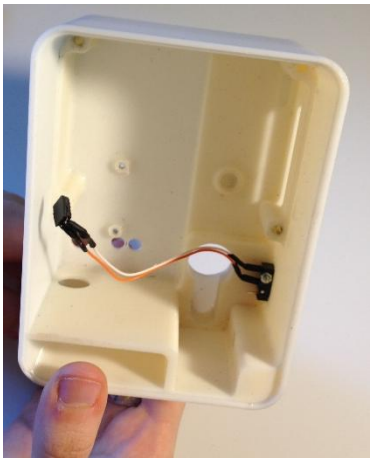
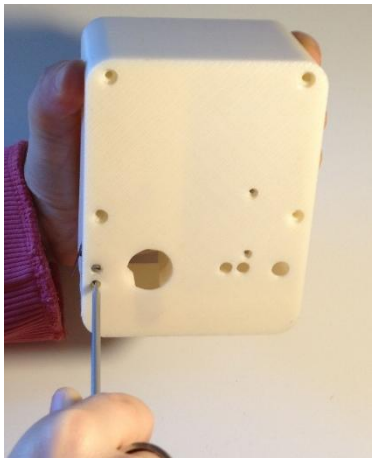
Este ensayo consiste en el accionamiento del cierre durante 5000 ciclos con carga y 20000 ciclos sin carga por lo que no se puede simular con el programa Solidworks ya que implica un estudio de fatiga con componentes móviles.

Por esta razón este ensayo solo se realizará en caso de la comercialización del cierre diseñado en el presente proyecto.

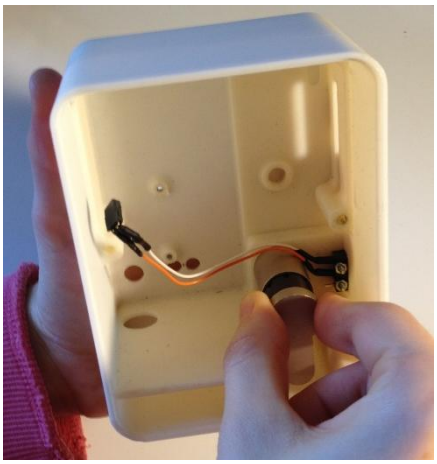
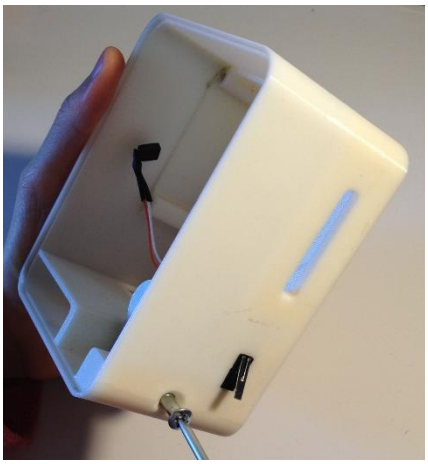
12.6. ANEXO VI. Montaje.

En este anexo se explica y muestra la secuencia de acciones a realizar para realizar el montaje final del cierre.

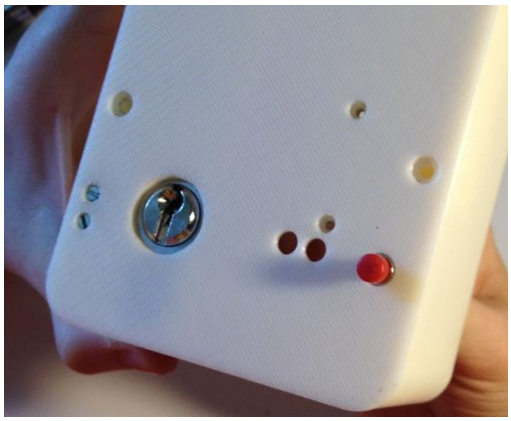
1. Se coloca el final de carrera encargado del encendido por contacto y se fija medante dos tornillos de M2x20 y sus correspondientes arandelas y tuercas.

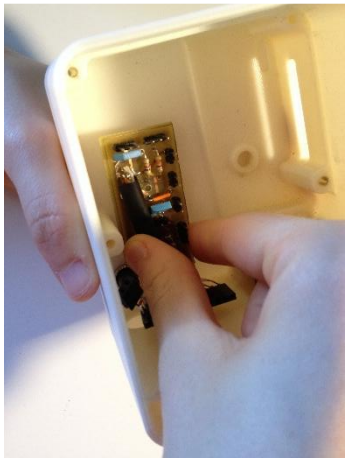
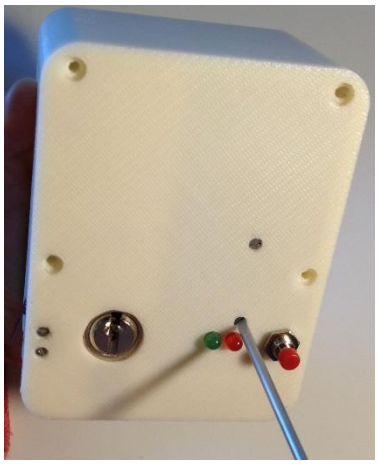
2. Se introduce el cilindro de la llave en el orificio inferior a presión.
3. Se procede a atornillar el perno de sujeción que impide que este pueda ser extraído.

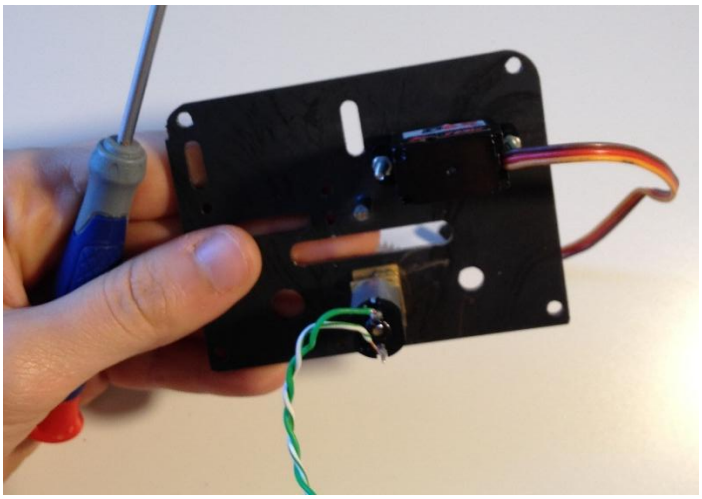
4. Se introduce y fija el pulsador mediante su tuerca.



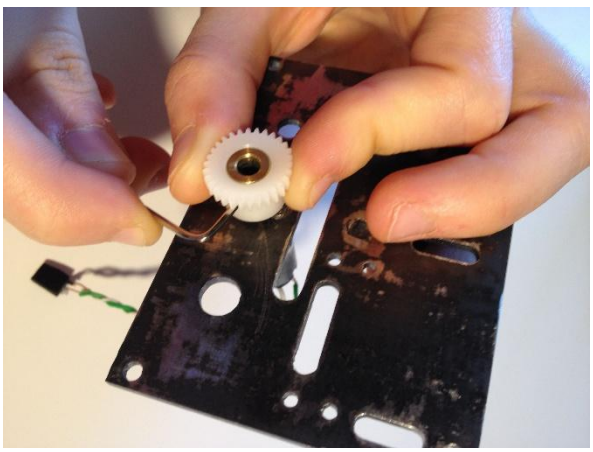
5. Se posiciona y se atornilla la placa encargada de recoger las conexiones de todos los sensores y actuadores del sistema. Para ello, se hace uso de dos tornillos de M2 x 10 y dos tuercas. Se posiciona un aislante entre la tuerca y la PCB con el fin de evitar posibles contactos indeseados entre pistas.

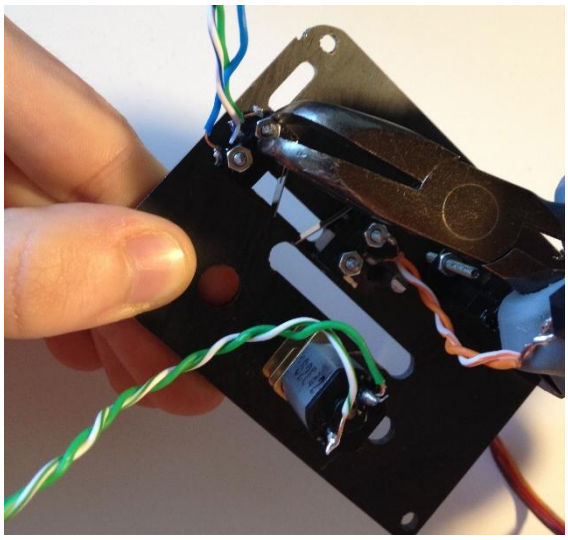
6. Se realiza la conexión entre la PCB y el final de carrera y el pulsador.
7. En el soporte se fijan los dos actuadores. Para el servo se hace uso de dos tornillos (M2 x 20), dos tuercas y dos arandelas. La sujeción del motor se realiza mediante dos tornillos de M1,6 x 6 que lo aprietan contra el soporte.



8. Sobre el eje del motor se fija el engranaje encargado de mover la guía horizontal, siendo atornillado mediante una llave Allen.

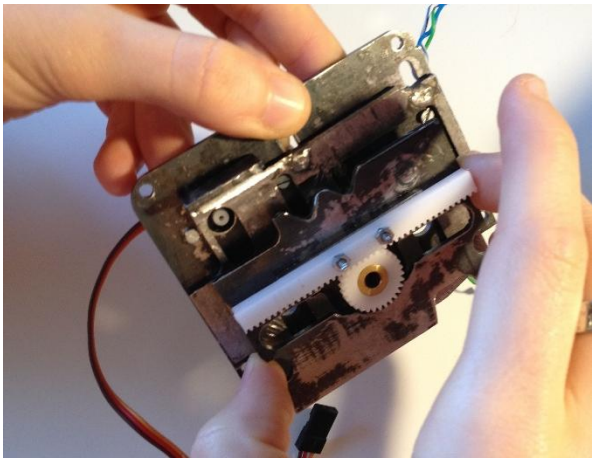


9. Se instalan los finales de carrera encargados de informar del estado de la guía horizontal. Para su fijación se hace uso de 4 tornillos de M2x12, 4 arandelas y 4 tuercas.



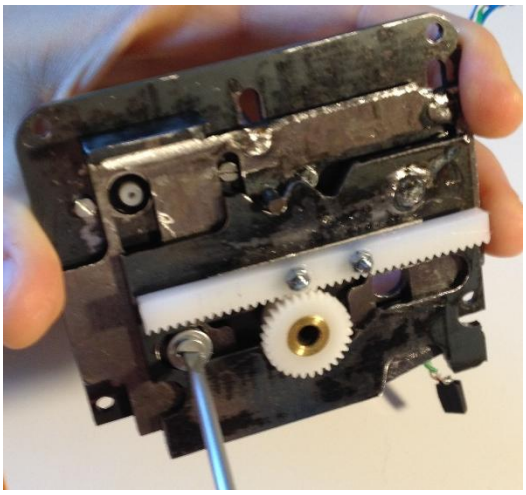
10. Se coloca la cremallera en la guía horizontal mediante dos tornillos de M2x12 y dos tuercas.

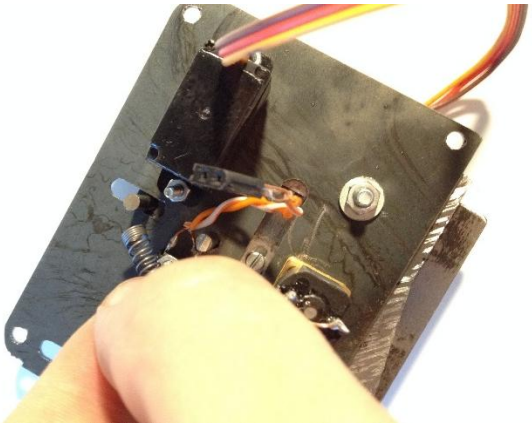
11. Se superpone la guía vertical sobre el soporte.
12. Se superpone la guía horizontal sobre la guía vertical.



13. Se sitúa el eje de sujeción izquierdo y se sujeta mediante un tornillo de M3x12, dos arandelas y una tuerca.

14. Se coloca el muelle encargado de facilitar el descenso de la guía vertical entre los dos salientes.

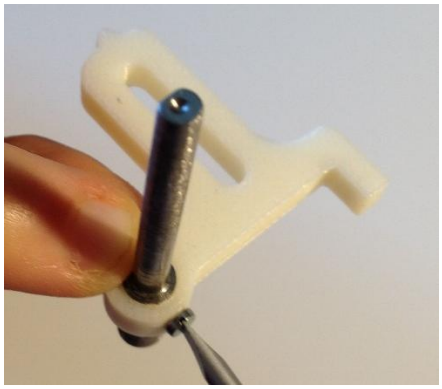




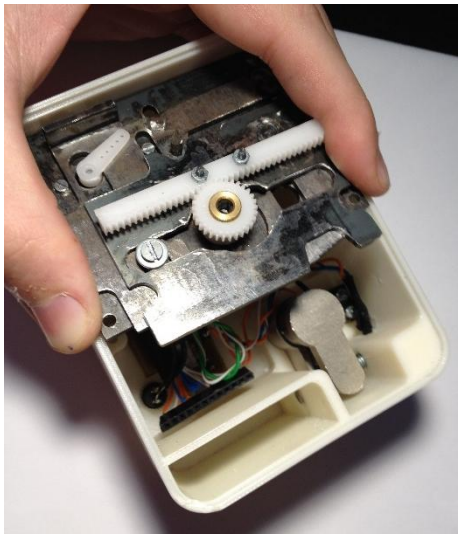
15. Se ubica el sensor de efecto Hall en un orificio realizado para su sujeción.

16. Se une el gancho de cierre al eje de giro mediante un perno de M2x12 que sirve de pasador y una tuerca.

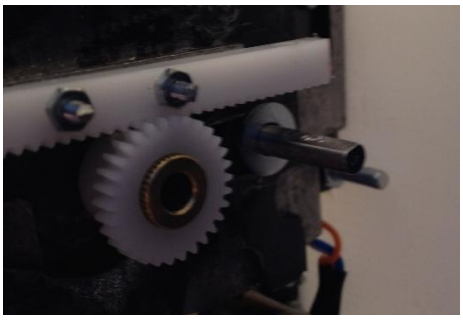
17. Se introduce el eje interior a través del casquillo. El conjunto se posiciona en el orificio sobre el que pivota el gancho.



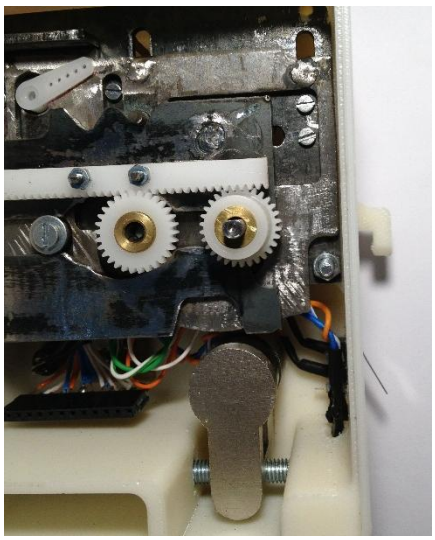
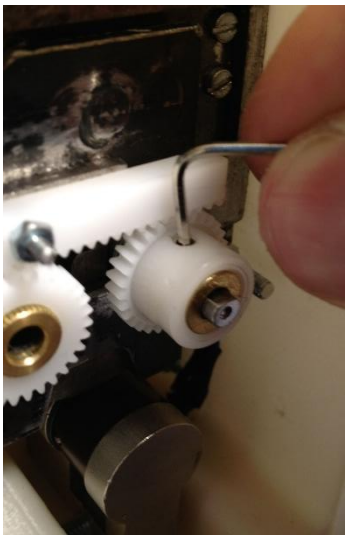
18. Se realizan todas las conexiones restantes con la placa de conexiones.
19. Se introduce el mecanismo del cierre dentro de la carcasa habiendo pre-posicionado adecuadamente los cables del sistema. A su vez, es fijado mediante cuatro tornillos de M3x40 y cuatro tuercas.



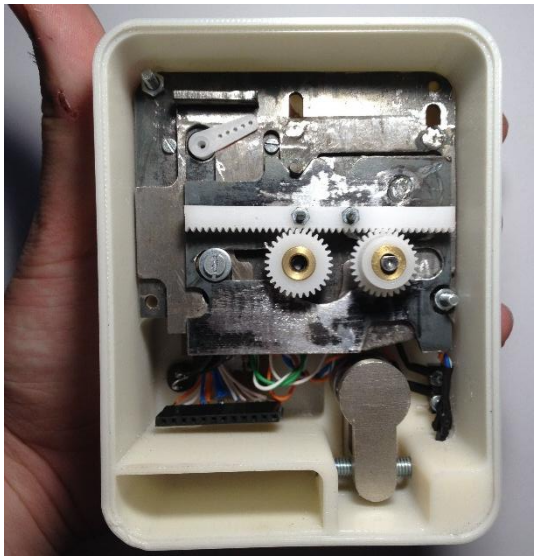
20. Sobre el eje de giro se colocan dos arandelas encargadas de separar el engranaje del giro del gancho de la guía.



21. Se sitúa el engranaje sobre el eje de giro, antes de su fijación se ha de tener cuidado en dos aspectos:
    - El mecanismo ha de encontrarse en la posición de bloqueo.
    - El gancho ha de estar lo más perpendicular a la carcasa que sea posible.

Montaje realizado hasta el paso 21:



22. Se introducen las baterías en su compartimento extrayendo sus conexiones a través del orificio que comunica con el resto de la carcasa interior.
23. Se sujeta la PCB principal a la tapa trasera mediante el mismo sistema que la PCB de conexiones.
24. Se realizan las conexiones restantes.
25. Se cierra la tapa ejerciendo presión, quedando encajada.

12.7. ANEXO VII. Potencia y consumo estimados.

En este anexo se realiza un cálculo aproximado de la potencia consumida por el conjunto de componentes electrónicos. Este cálculo se realiza de los componentes de mayor consumo en condiciones de trabajo de máxima exigencia.

Además, se calcula el consumo diario en mAh en base a los requerimientos establecidos en el proyecto de 20 usos al día con el fin de determinar el tiempo de vida de las baterías y conocer la viabilidad del diseño.

Para el cálculo se supondrá que el cierre se encuentra inactivo con todos los componentes que lo permitan en modo sleep y que se realizan 20 activaciones de 12 segundos cada una, volviendo a pasar a inactivo una vez finalicen. Resumiendo, al día el cierre se encuentra:

- Tiempo activo = $20 \cdot 12 = 240$ segundos
- Tiempo inactivo = $24 \cdot 3600$ – Tiempo activo = 86160 segundos

12.7.1 Consumo PIC 16F1829:

El cálculo de consumo del PIC, cuando el sistema se encuentra activo, se realiza en base a las tablas de consumo que suministra el datasheet del mismo. Para una configuración de oscilador de 8 MHz:

Param No.	Device Characteristics	Min.	Typ†	Max.	Units	Conditions	
						VDD	Note
D017*		—	0.6	0.85	mA	1.8	FOSC = 8 MHz HFINTOSC mode
		—	0.9	1.25	mA	3.0	
D017*		—	0.6	0.85	mA	1.8	FOSC = 8 MHz HFINTOSC mode
		—	0.96	1.35	mA	3.0	
		—	1.03	1.55	mA	5.0	

Para el cálculo se trabajará con el dato más desfavorable, el consumo máximo de 1,55 mA.

$$P_{PICact} = V_{CC} \cdot I_{PICact} \rightarrow 5\ V \cdot 0.00155\ A = 7{,}75\ mW$$

Ahora se calcula el consumo de los 240 segundos que estará activo diariamente:

$$W_{PICact} = 7{,}75\ mW \cdot 240s\ /\ 3600s = 0.517\ mW \cdot h$$

El siguiente cálculo busca conocer el consumo del PIC en modo sleep, para ahorrar la mayor cantidad de energía se apagaran todos los módulos posibles.

Param No.	Device Characteristics	Min.	Typ†	Max. +85°C	Max. +125°C	Units	Conditions	
							VDD	Note
	Power-down Base Current (IPD)(2)							
D022		—	0.02	1.0	2.7	µA	1.8	WDT, BOR, FVR, and T1OSC disabled, all Peripherals Inactive
		—	0.05	1.75	3.3	µA	3.0	
D022		—	17.8	37	44	µA	1.8	WDT, BOR, FVR, and T1OSC disabled, all Peripherals Inactive
		—	20.5	42	48	µA	3.0	
		—	21.7	45	65	µA	5.0	

Al igual que en el cálculo anterior se trabaja con el dato más desfavorable, en este caso 45 µA.

$$P_{PICs} = V_{CC} \cdot I_{PICs} \rightarrow 5\ V \cdot 0.000045\ A = 0{,}225\ mW$$

Ahora se calcula el consumo de los 86160 segundos que estará en modo "sleep" diariamente:

$$W_{PICs} = 0{,}225\ mW \cdot 86160\ s\ /\ 3600\ s = 5{,}385\ mW \cdot h$$

Una vez conocidos ambos consumos se suman para obtener el consumo total diario del PIC:

$$W_{PIC} = 0.517\ mW \cdot h + 5{,}385\ mW \cdot h = 5{,}902\ mW \cdot h$$

$$\text{Consumo PIC} = 5{,}902\ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 1{,}18 mAh$$

12.7.2 Consumo BlueSmirf Silver:

Al igual que el PIC el modulo bluetooth cuenta con modo sleep, por lo que se realizará los cálculos para los dos supuestos. La hoja de características aporta la siguiente tabla:

Parameter	Min	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage (DC)	5.0	5.3	5.6	V
Average power consumption				
Radio ON* (Discovery or Inquiry window time)		10		mA
Connected Idle (No Sniff)		11		mA
Connected Idle (Sniff 100 milli secs)		12		mA
Connected with data transfer	12	12	13	mA
Deep Sleep Idle mode		26		uA

Para el cálculo del consumo del módulo, una vez el sistema está activo, se escoge la opción más desfavorable siendo esta de 13 mA y se supone que conexión se mantendrá durante al menos 8 segundos:

$$P_{Bact} = V_{CC} \cdot I_{Bact} \rightarrow 5\ V \cdot 0.013\ A = 65\ mW$$

Ahora se calcula la energía consumida durante los 240 segundos que el cierre estará activo diariamente:

$$W_{Bact} = 65\ mW \cdot 160s\ /\ 3600s = 2{,}89\ mW \cdot h$$

Se procede a calcular la potencia del bluetooth en modo "sleep":

$$P_{Bs} = V_{CC} \cdot I_{Bs} \rightarrow 5\ V \cdot 0.000026\ A = 0{,}130\ mW$$

Ahora se calcula el consumo de los 86160 segundos que estará en modo "sleep" diariamente:

$$W_{Bs} = 0{,}130\ mW \cdot 86160\ s\ /\ 3600\ s = 3{,}11\ mW \cdot h$$

Finalmente el consumo total diario:

$$W_B = 2{,}89\ mW \cdot h + 3{,}11\ mW \cdot h = 6\ mW \cdot h$$

$$\text{Consumo BlueSmirf} = 6\ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 1{,}2\ mAh$$

12.7.3 Consumo motor:

Para el cálculo del consumo del motor se tiene en cuenta que por cada activación del sistema este se activa durante 1 segundo con máxima carga. De la hoja de características del motor se obtiene que, a máxima carga, la intensidad es de unos 250 mA. Por lo que la potencia es igual a:

$$P_M = V_{CC} \cdot I_M \rightarrow 5\ V \cdot 0.250\ A = 1250\ mW$$

Ahora se calcula la energía consumida en los 20 usos realizados diariamente:

$$W_M = 1250\ mW \cdot 20s\ /\ 3600s = 6{,}95\ mW \cdot h$$

$$Consumo\ motor = 13{,}88\ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 1{,}38\ mAh$$

12.7.4 Consumo servomotor:

El servomotor actuará dos veces: una para elevar la guía, lo que se supondrá como máxima carga, y la segunda para permitir el descenso, donde no estará sometida a carga alguna. Ambos movimientos se realizan en un segundo cada uno. De las hojas de características se recoge que, en base a una alimentación de 5V, sin carga se necesita una intensidad de 40 mA mientras que con carga máxima unos 300 mA. Se calcula la potencia necesaria:

$$P_{SS} = V_{CC} \cdot I_{SS} \rightarrow 5\ V \cdot 0.300\ A = 1500\ mW$$
$$P_{SA} = V_{CC} \cdot I_{SA} \rightarrow 5\ V \cdot 0.04\ A = 200\ mW$$

Ahora se calcula la energía consumida en los 20 usos realizados diariamente por ambas acciones:

$$W_S = 1700\ \ mW \cdot 20s\ /\ \ 3600s = 9{,}44\ \ mW \cdot h$$

$$\text{Consumo servo} = 9{,}44\ \ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 1{,}89\ mAh$$

12.7.5 Consumo L293D

El datasheet del integrado L293D muestra que hace uso de 40 µA. Por lo que su potencia es:

$$P_L = V_{CC} \cdot I_L \rightarrow 5\ V \cdot 0.00004\ A = 0{,}2\ mW$$

Esta potencia es consumida de forma continua por lo que energía consumida a lo largo del día es:

$$W_L = 0{,}2\ \ mW \cdot 24h = 4{,}8\ \ mW \cdot h$$

$$\text{Consumo L293D} = 4{,}8\ \ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 0{,}96\ mAh$$

12.7.6 Consumos ramas LED

Los diodos LED solo funcionan una vez se activa el sistema y estos no se encuentran activos en todo momento. Las resistencias limitan la intensidad de la rama con 5V a unos 20 mA, por lo que la potencia se calcula como:

$$P_{LED} = V_{CC} \cdot I_{LED} \rightarrow 5\ V \cdot 0.02\ A = 100\ mW$$

Para calcula la energía que consume cada LED se estima que cada uno de ellos estará activo el 75% de tiempo que el cierre este activo, lo que quiere decir 180 segundos:

$$W_{LED} = 100\ \ mW \cdot 180\ s\ /\ \ 3600 = 5\ \ mW \cdot h$$

$$Consumo\ LED = 2 \cdot 5\ \ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 2\ mAh$$

12.7.7 Consumo del regulador de tensión LM2940

El regulador mantendrá un consumo continuo mientras el circuito se encuentre alimentado ya que se ha de regular el voltaje de las baterías a los 5V. Según el datasheet el consumo máximo es de unos 20 mA.

$$P_{REG} = V_{CC} \cdot I_{REG} \rightarrow 7{,}4\ V \cdot 0.02\ A = 148\ mW$$

$$W = 148\ mW \cdot 24h = 3552\ mW \cdot h$$

$$Consumo\ LM2940 = 3552\ \ mW/7{,}4\ V = 480 mAh$$

12.7.8 Divisor de tensión

La función del divisor de tensión es la de reducir a la mitad el voltaje de entrada con el objetivo de ser posible su lectura por medio de una entrada analógica y conocer su nivel de carga.

El regulador de tensión consta de dos resistencias de 4,7 KΩ realizando la lectura entre las mismas. Por dicha rama circula una intensidad igual a:

$$I = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R}} = \frac{5\ \mathrm{V}}{9400\ \Omega} = 0{,}53\ mA$$

Por lo que la potencia se calcula como:

$$\mathrm{P_{DIV}} = \mathrm{V_{DIV}} \cdot \mathrm{I_{DIV}} \rightarrow 5\ \mathrm{V} \cdot 0.00053\ \mathrm{A} = 2{,}65\ \mathrm{mW}$$

El divisor de tensión trabajará de continuo por lo que su energía consumida será igual a:

$$\mathrm{W_{DIV}} = 2{,}65\ \mathrm{mW} \cdot 24\mathrm{h} = 63{,}6\ mW \cdot h$$

$$Consumo\ divisor = 63{,}6\ mW \cdot h\ /\ 5\ V = 12{,}72\ mAh$$

12.7.9 Tabla resumen de consumos

Finalmente se resume los consumos en la siguiente tabla:

MÓDULO	CONSUMO ACTIVO	CONSUMO INACTIVO	CONSUMO GLOBAL
PIC	0,10 mAh	1,08 mAh	1,18 mAh
BlueSmirf	0,58 mAh	0,62 mAh	1,20 mAh
Motor	1,39 mAh	0,00 mAh	1,39 mAh
Servomotor	1,89 mAh	0,00 mAh	1,89 mAh
L293D	0,01 mAh	0,95 mAh	0,96 mAh
Diodos LED	2,00 mAh	0,00 mAh	2,00 mAh
LM2940	1,33 mAh	478,67 mAh	480 mAh
Divisor de tensión	0,04 mAh	12,68 mAh	12,72 mAh
TOTAL	7,34mAh	494.01 mAh	**501,35 mAh**

12.8. ANEXO VIII. Cálculos electrónicos.

12.8.1 Resistencia limitadora diodo LED rojo

Para el correcto funcionamiento del diodo LED rojo se ha de garantizar que la tensión que soporte se encuentre entre los 1,8 y 2,3 V y que circule una tensión máxima de 20 mA. La rama será alimenta con 5V por un pin del PIC. Por lo que se ha de calcular una resistencia limitadora:

$$R = \frac{V_F - V_{LED}}{I}$$

$$R = \frac{5 - 1{,}7}{0{,}020} = 165\,\Omega$$

En base al cálculo la resistencia limitadora será de 180Ω (valor normalizado).

12.8.2 Resistencia limitadora diodo LED verde

La tensión del diodo LED verde se ha de situarse entre los 2 y 3,5 V y la tensión máxima no sobrepasar los 20 mA. Al igual que el LED rojos la rama es alimenta con 5V por un pin del PIC.

$$R = \frac{V_F - V_{LED}}{I}$$

$$R = \frac{5 - 2{,}1}{0{,}020} = 145\,\Omega$$

En base al cálculo la resistencia limitadora será de 150Ω (valor normalizado).

12.8.3 Cálculo de transistor de apagado

La función del transistor es cortocircuitar el SCR durante un tiempo determinado para proceder al apagado del circuito.

Para ello se requiere que trabaje en corte y saturación buscando que trabaje como un interruptor.

Antes de realizar el apagado, el PIC se encarga de realizar el apagado de todos los módulos y componentes de manera que en el momento del apagado la corriente sea siempre la misma. En base a los datos mostrados en el apartado anterior se conoce que el consumo aproximado (con el módulo bluetooth en modo sleep) será de 27 mA. En forma de comprobación se realiza una lectura con amperímetro dando un resultado de 30 mA.

El transistor empleado es un 2N2222 de cuyo datasheet se extraen estimamos los siguientes valores:

$$h_{FE} = 100 \text{ para } \mathrm{I_C} = 30\mathrm{mA}$$

$$V_{BE} = 0.9\ \mathrm{v}$$

Para que el transistor trabaje en saturación se debe cumplir:

$$\mathrm{I_B} > \frac{\mathrm{I_C}}{\mathrm{h_{FE}}}$$

Siendo I_B la corriente de base e I_C la corriente de colector.

También se conoce que:

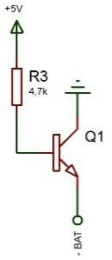
$$\mathrm{I_B} = \frac{\mathrm{V_{in}} - \mathrm{V_{BE}}}{\mathrm{R1}}$$

Sustituyendo e igualando la corriente de colector a 30 mA:

$$\frac{5-0.9}{R_B}\cdot 100 > 0.03$$

$$R_B < 13667$$

Se decide usar una resistencia de 4,7 KΩ.

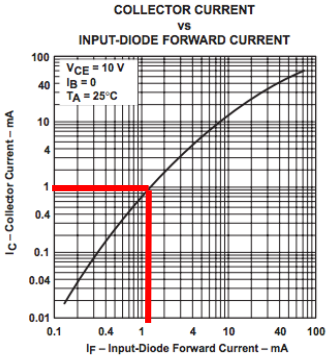


12.8.4 Inclusión de optoacoplador

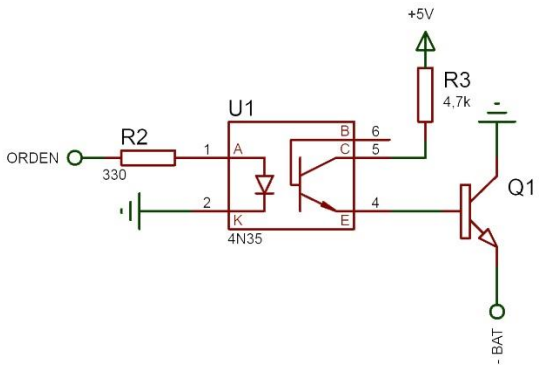
La inclusión del optoacoplador 4N35 hace necesario un nuevo esquema en el uso del transistor, ya que el 4N35 no soporta más de 4 mA.

En el nuevo esquema, la orden del PIC es dada al ánodo del diodo LED del optoacoplador en vez de a la rama de la base del transistor.

La corriente que pasa por el colector varía dependiendo de la corriente con la que se alimenta el diodo de la siguiente forma:



Por lo que para que circulo toda la corriente de la rama de la base del transistor (1 mA) se ha situar una resistencia al diodo LED que limite la corriente a un valor superior a 1 mA, se selecciona un resistencia de 330Ω (15mA).



12.9. ANEXO IX. Manual Raspberry PI

Este anexo se presenta como un manual de configuración inicial de la Raspberry Pi. En los diferentes apartados del mismo se detalla la configuración realizada así como la instalación de recursos útiles para el desempeño del proyecto.

12.9.1 Instalación de Raspbian (bajo mac)

La raspberry es suministrada con un sistema de instalación de SO llamado NOOBS que permite instalar de manera muy sencilla: Debian, Arch Linux, Fedora (Pidora) y un par de versiones del centro multimedia XBMC.

Sin embargo, este sistema impide el uso de toda la capacidad de la SD, por lo que se decide realizar la instalación manual del sistema operativo Debían. Para ello se descarga el SO del siguiente enlace:

http://www.raspberrypi.org/downloads

Se introduce una SD en el equipo y en el terminal de mac se teclea:

```
df -h
```

Este comando informa de los nombres de todas las unidades de almacenamiento. Conectar la SD y quedarse con la referencia. Ejemplo: /dev/disk1s1

Desmontar (pero no expulsar) el disco de la SD:

```
sudo diskutil unmount /dev/disk1s1
```

Para volcar la imagen a la SD se debe usar el nombre del disco entero, para eso se elimina el "s1/s2" (particiones) y se añade la r delante: "rdisk1".

```
sudo dd bs=1m if=~/Downloads/2012-10-28-wheezy-raspbian/2012-12-16-wheezy-raspbian.img of=/dev/rdisk1
```

Esta ejecución no informa del progreso y tarda más de cinco minutos. La SD estará lista al finalizar.

12.9.2 Configuración inicial

Para realizar la configuración inicial se ha de conectar a la Raspberry: teclado, alimentación y pantalla HDMI. Encender e iniciar sesión, por defecto:

- Usuario: Pi
- Contraseña: Raspberry

Al iniciar aparece una ventana de configuración. En caso de no aparecer:

```
raspi-config
```

En esta ventana se cambia la contraseña de la raspberry:

```
...
2 - Change user password
...
```

También se puede cambiar: hora, lengua y tipo de teclado.

12.9.3 Conexión LAN/Internet

Para realizar la conexión es necesario teclado, pantalla y conectar la raspberry vía Ethernet a un ordenador o router.

En caso se configurar la conexión bajo router, se ha de conocer el rango de IPs con las que el router trabaja y asignarle una IP fija a la raspberry. Para eso se ha de editar el archivo:

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```

Añadiendo:

```
auto lo
iface lo inet loopback
iface eth0 inet static
#iface eth0 inet dhcp (se comenta esta linea)
address 192.168.1.70 (IP deseada)
netmask 255.255.255.0 (mascara)
gateway: 192.168.1.1 (Dirección router)

…
(el resto igual)
```

Una vez cambiado, se sale y se guardan los cambios. Seguidamente se reinicia el sistema:

```
sudo reboot
```

Para comprobar que los cambios se han realizado una vez se ha reiniciado:

```
ifconfig
```

La configuración eth0 deberá mostrar la IP fija asignada en el paso anterior.

Para comprobar que la conexión internet es correcta se pone por ejemplo:

```
ping google.es
```

Si el terminal recibe paquetes de datos la conexión es correcta.

Para realizar la conexión vía LAN a un ordenador se han de seguir los pasos siendo el Gateway la dirección dada al ordenador.

12.9.4 Actualización de firmware

Una vez realizada la conexión a internet se procede a actualizar el firmware de la raspberry a la última versión, para corregir los posibles errores y agregar mejoras en su rendimiento.

Para conocer la versión actual del firmware podemos teclear en línea de comandos:

```
/opt/vc/bin/vcgencmd version
```

Se instalan paquetes necesarios:

```
sudo apt-get install ca-certificates git-core binutils
```

Para facilitar la actualización del firmware se hace uso del siguiente script:

```
sudo wget https://raw.github.com/Hexxeh/rpi-update/master/rpi-update
```

Se copia a la carpeta "usr/local/bin":

```
sudo cp rpi-update /usr/local/bin/rpi-update
```

Se le da permisos de administrador:

```
sudo chmod +x /usr/local/bin/rpi-update
```

Se ejecuta:

```
sudo rpi-update
```

Finalmente se reinicia.

```
sudo reboot
```

Para comprobar la versión:

```
/opt/vc/bin/vcgencmd version
```

12.9.5 Actualización de SO

Si la versión instalada de raspbian no es la última se recomienda actualizar el sistema a su última versión, para ello primero se comprueban las versiones y librerías instaladas preparando todo para ser instalado:

```
sudo apt-get update
```

Se instala:

```
sudo apt-get upgrade
```

Se reinicia:

```
sudo reboot
```

Una vez actualizado para facilitar el uso del sistema operativo se instala el paquete de español.

```
sudo dpkg-reconfigure locales
```

Se selecciona (con el espacio):

```
...
[X] es_ES.UTF-8 UTF-8
...
```

También se cambia el teclado a español:

```
sudo dpkg-reconfigure keyboard-configuration
```

Y la zona horaria:

```
sudo dpkg-reconfigure tzdata
```

12.9.6 Conexión SSH Local

Para facilitar el acceso de la raspberry se activa la conexión ssh Para ello se debe habilitar en la configuración de la raspberry:

```
raspi-config
```

Para realizar la conexión desde otro ordenador Linux o Mac se usaría el propio terminal del SO, en caso de usar Windows se hace necesario el uso de otro programa (ej: putty). La conexión se realiza mediante el código:

```
ssh pi@192.168.1.70
```

En este tipo de conexión si la conexión cae se ha de establecer la conexión de nuevo a mano, para evitarlo se usa el autossh. Se instala mediante el comando:

```
sudo apt-get install autossh
```

Y para usarlo se añade la palabra auto a la conexión ssh:

```
autossh usuario@host
```

Cuando se restablece la conexión después de una caída se pierden los comandos y ejecuciones en las que se estaba trabajando, para evitarlo se instala screen, un programa que crea sesiones virtuales dentro de sesiones:

```
sudo apt-get install screen
```

El primer paso es iniciar sesión:

```
screen
```

De esta manera se crea una sesión virtual que en caso de perder la conexión se pausa, pudiendo volver a seleccionarla mediante el comando:

```
screen -ls
```

Y seleccionando la sesión deseada.

12.9.7 Conexión SSH vía internet

El acceso vía SSH a la raspberry por internet se hace a través del puerto 22 del router usado. En la configuración del router dicho puerto se abre y se le asigna a la IP fija dada a la raspberry. De esta

manera siempre que se inicie una conexión con la dirección externa de nuestro router al puerto 22, el router conectara directamente con la IP local que se le ha asignado a la raspberry PI.

```
ssh -p 22 pi@68.168.1.171
```

El problema es que la IP externa del router es reasignada a otra nueva cada vez que este se reinicia o reconecta a la red. Y para conocerla se ha de entrar en la configuración del router, para solucionarlo se puede crear una cuenta en www.noip.com (Explicado más adelante).

12.9.8 Envío de archivos vía SSH (SCP)

El protocolo ssh permite la transmisión por copia de archivos entre ordenadores, el comando se llama scp. Ejemplo de la copia de un documento de las raspberry pi a un ordenador externo:

```
scp pi@192.168.1.70:~/Desktop/prueba.txt ~/Desktop
```

Copia de un archivo de un ordenador a la raspberry pi:

```
scp ~/Dektop/prueba.txt pi@192.168.1.70:~/Desktop/prueba.txt
```

Comandos útiles de recurso scp:

- p: Preserva permisos, así como tiempos de modificación y acceso.
- q: No muestra la barra de progreso.
- r: Copia recursiva, es decir que copia los sub-directorios.
- v: Muestra los mensajes para debugging.
- l : limite en kbps

Para aplicarlos:

```
scp  -r ...  ...
```

12.9.9 Instalación de USB-Wifi

Para eliminar la dependencia de cables se instala un USB Wi-Fi. Este simplemente se inserta y es detectado por la Raspberry PI y simplemente se ha de editar la configuración en el archivo de interfaces:

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```

Siguiendo el siguiente patrón:

```
allow-hotplug wlan0
auto wlan0
iface wlan0 inet static
#CONFIGURACION WIFI
        address 192.168.1.71
        netmask 255.255.255.0
        gateway 192.168.1.1
        wpa-ssid nombrered
       wpa-psk contraseña
```

Se guarda y se reinicia.

12.9.10 Creación de conexión No-IP

Para facilitar las conexiones vía internet y no tener que recordar la IP externa que le ha sido asignada al router con el que se trabaja se crea una cuenta en la página www.no-ip.com que asocie la IP del router a un dominio más fácil de recordar.

En nuestro caso: "proyectollave.no-ip.biz" (usuario: proyectocierre contraseña: mecatronica)

Una vez creada la cuenta se debe instalar un paquete para que la raspberry logre asociarse a dicha cuenta. Para ello se descarga:

```
wget http://www.no-ip.com/client/linux/noip-duc-linux.tar.gz
```

Se descomprime

```
tar -zxvf noip-duc-linux.tar.gz
```

Se instala, pedirá el correo y la contraseña de registro en no-ip, el periodo de actualización se deja en 30 y a la pregunta se contesta no:

```
cd noip-2.1.9-1/
```

```
make
```

```
sudo make install
```

Por último se configura no-ip para que se auto-inicie con la Raspberry. Para ello se crea el siguiente fichero:

```
sudo nano /etc/init.d/noip2
```

Y Se escribe:

```
sudo /usr/local/bin/noip2
```

Se sale y se guarda. Se le da permiso de ejecución:

```
sudo chmod +x /etc/init.d/noip2
```

Y se sitúa en la cola de ejecución.

```
Raspberry Pi.local_enable=YES
write_enable=YES
```

```
sudo update-rc.d noip2 defaults
```

Se inicia sino lo está:

```
sudo /usr/local/bin/noip2
```

Por último se abre el puerto 80 del router asociando a la IP fija de la raspberry.

12.9.11 IP externa asociada a NO-IP

Una vez instalado No-ip, al disponer de una IP pública que no es fija cada vez que la IP cambie se tendría que entrar en la cuenta de no-ip y cambiar la IP pública.

Para solucionar esto, se instala ddclient que se encarga de revisar la IP externa del router periódicamente y actualizarla en la cuenta de no-IP

```
sudo apt-get install ddclient
```

La configuración inicial se salta y se acepta a todo configuramos el archivo directamente:

```
sudo nano /etc/ddclient.config
```

Se escribe la configuración:

```
protocol=dyndns2
use=web, web=checkip.dyndns.com/, web-skip='IP Address'
server=dynupdate.no-ip.com
login=proyectocierre
password='mecatronica'
proyectollave.no-ip.biz
```

12.9.12 Servidor FTP

El protocolo SCP permite la copia de archivos pero si es necesario copiar o mover muchos archivos a la vez el trabajo se hace tedioso. Para solucionar esto se instala una aplicación que permite a la Raspberry Pi funcionar como un servidor ftp.

```
sudo apt-get install vsftpd
```

```
sudo nano /etc/vsftpd.conf
```

```
service vsftpd restart
```

12.9.13 VNC

VNC es un programa de software libre basado en una estructura cliente-servidor el cual permite tomar el control del ordenador servidor remotamente a través de un ordenador cliente.

Esto eliminará la dependencia de una pantalla, para su instalación:

```
sudo apt-get install tightvncserver
```

```
tightvncserver
```

A la pregunta se contesta “n” para que permita el manejo de Linux y no solo su visualización. Se crea una contraseña y se verifica. Se reinicia la Raspberry Pi:

```
sudo reboot
```

Para ejecutarlo:

```
vncserver :0 -geometry 1920×1080 -depth 24
```

Es necesario abrir el puerto 5901.

12.10. ANEXO X. Resumen de clases

En este anexo se describen los métodos de las clases más importantes del código implementado en las Raspberry Pi.

12.10.1 Clase "usuario"

	Nombre	Tipo	Dato	Descripción
1	id_user	Variable (Pr)	short	Número de identificación del usuario
3	name_user	Variable (Pr)	string	Contiene el nombre del usuario
4	surname1	Variable (Pr)	string	Contiene el primer apellido del usuario
5	surname2	Variable (Pr)	string	Contiene el segundo apellido del usuario
6	license	Variable (Pr)	short	Define el tipo de usuario
	allowed_closets[]	Variable (Pr)	bool	Almacena los permisos del usuario a los armarios
7	fullname()	Variable (Pr)	string	Devuelve el nombre y los apellido en una única cadena
8	user ()	Constructor	void	Construye e inicializa un nuevo usuario
9	~user()	Destructor	void	Destruye el objeto del usuario
10	set_iduser()	Método (Pu)	void	Fija el número de identificación del usuario
11	get_iduser()	Método (Pu)	int	Retorna el valor del número de identificación del usuario.
12	get_data()	Método (Pu)	void	Realiza la conexión con la base de datos y dado el número de identificación guarda en las variables privadas la información del usuario con el id dado.
13	get_license()	Método (Pu)	short	Obtiene el tipo de usuario
14	delete_user()	Método (Pu)	void	Inicializa los valores de las variables privadas
15	get_allowed_closet()	Método (Pu)	bool	Obtiene la licencia del usuario para un número de armario

12.10.2 Clase "commserial"

	Nombre	Tipo	Dato	Descripción
1	PortManager	Variable (Pr)	int	Recoge el estado de configuración del puerto serial
2	select_port	Variable (Pr)	*char	Recoge la información sobre el puerto a configurar
3	select_baudrate	Variable (Pr)	int	Selecciona la velocidad en baudios de la comunicación
4	select_canonica	Variable (Pr)	bool	Variable que configura o no la entrada canónica de la comunicación.
5	commserial()	Constructor	void	Construye e inicializa el objeto
6	~commserial()	Destructor	void	Cierra la conexión y destruye el objeto
7	set_config()	Método (Pu)	void	Realiza la configuración de la conexión serial
8	init_serial()	Método (Pu)	void	Inicia la comunicación serial
9	close_comunicationl()	Método (Pu)	void	Finaliza la comunicación serial
10	send()	Método (Pu)	void	Envía la trama pasada a través del serial
11	answer()	Método (Pu)	void	Espera y lee el puerto serial
12	Get_portmanager()	Método (Pu)	int	Devuelve el valor de la variable privada PortManager

12.10.3 Clase "fingerprint"

	Nombre	Tipo	Dato	Descripción
1	id_fingerprint	Variable (Pr)	int	Recoge el valor de identificación de la huella leída
2	send_action	Variable (Pr)	int	Recoge la acción a realizar
3	asnw_action	Variable (Pr)	int	Recoge la acción realizada por el sensor de huellas
4	answ_param	Variable (Pr)	int	Recoge el parámetro de respuesta o envío del sensor de huellas
5	sendsh[]	Variable (Pr)	char	Trama de envío al sensor de huellas
6	answsh[]	Variable (Pr)	char	Trama de respuesta del sensor de huellas
7	comsh	Clase (Pr)	commserial	Objeto que establece la conexión con el sensor de huellas (no canónica)
8	send()	Método (Pr)	void	Se encarga de crear la trama adecuada de envío en razón de las variables aportadas y enviarla.
9	answer()	Método (Pr)	bool	Se encarga de interpretar la trama recibida y almacenar la respuesta.
10	cmosLED()	Método (Pr)	bool	Enciende y apaga la luz del sensor de huellas.
11	capturefinger()	Método (Pr)	bool	Realiza la captura de la huella dactilar.
12	error()	Método (Pr)	bool	Devuelve el valor del error acontecido
13	presing_status()	Método (Pr)	bool	Comprueba si el sensor de huellas está siendo presionado
14	fingerprint()	Constructor	void	Crea la clase, inicializa las variables y realiza la conexión con el puerto serial adecuado
15	~fingerprint()	Destructor	void	Elimina la clase y cierra la conexión
16	open()	Método (Pu)	bool	Inicia la comunicación con el sensor de huellas
17	close()	Método (Pu)	bool	Cierra la comunicación con el sensor de huellas
18	enrollment()	Método (Pu)	bool	Inicia el registro de una nueva huella en la posición de memoria aportada.
19	enrolln()	Método (Pu)	bool	Toma de huella para su registro (necesario tres capturas)
20	identification()	Método (Pu)	bool	Toma una huella y la compara con sus registros devolviendo el número de identificación en caso de que sea correcta.
21	enrolledcount()	Método (Pu)	bool	Devuelve el número de huellas almacenadas en la base de datos
22	checkenrolledid()	Método (Pu)	bool	Comprueba si la posición de registro dada se encuentra en uso
23	deleteid	Método (Pu)	bool	Borra el registro dado
24	deletall	Método (Pu)	bool	Borra la base de datos por completo
25	parametros()	Método (Pu)	string	Devuelve el error en cadena string
26	get_id	Método (Pu)	short	Establece el valor de la variable privada id_fingerprint
27	get_parameter()	Método (Pu)	int	Obtiene el valor del parámetro de respuesta

12.10.4 Clase "menu"

	Nombre	Tipo	Dato	Descripción
1	text[]	Variable (Pr)	string	Recoge el texto de cada línea del menú
2	select[]	Variable (Pr)	bool	Define una línea como seleccionable o no
3	vaciado()	Método (Pr)	void	Limpia la terminal de Linux
4	init_var()	Método (Pr)	void	Inicializa las variables del menú
5	screen_inicial()	Método (Pu)	void	Pantalla inicial del menú
6	screen_welcome	Método (Pr)	Void	Pantalla de bienvenida
7	screen_user()	Método (Pr)	void	Pantalla de selección para usuarios
8	screen_sup_user()	Método (Pr)	void	Pantalla de selección para súper-usuarios
9	screen_close()	Método (Pr)	void	Pantalla de cierre de sesión
10	screen_fingerprint()	Método (Pr)	void	Pantalla de identificación biométrica
11	screen_register()	Método (Pr)	void	Pantalla de registro de huella
12	screen_select_user()	Método (Pr)	void	Pantalla de selección de usuario
13	screen_select_closet()	Método (Pr)	void	Pantalla de selección de armario
14	screen_reg_user()	Método (Pr)	void	Pantalla de registros realizados por el usuario
15	screen_reg_closet()	Método (Pr)	void	Pantalla de registros realizados en el armario
16	screen_license()	Método (Pr)	void	Pantalla de permisos de acceso del usuario
17	acc_identif()	Método (Pr)	void	Realiza la identificación biométrica.
18	acc_close()	Método (Pr)	void	Elimina el usuario.
19	acc_registerf()	Método (Pr)	void	Realiza el registro de una nueva huella dactilar.
20	get_closet()	Método (Pr)	string	Obtiene el nombre del armario
21	launch_menu()	Método (Pr)	void	Lanza una nueva pantalla del menú
22	get_action()	Método (Pr)	string	Proceso de identificación
23	menu()	Constructor	Void	Construye e inicializa el objeto
24	~menu()	Destructor	void	Destruye el objeto