



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**EQUIPO MECATRÓNICO PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS
DE MICROESTRUCTURAS DE ACEROS Y FUNDICIONES
FERROSAS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MECATRÓNICA**

MARCO BRYAN ALULEMA PAREDES

DIRECTOR: ING. ANÍBAL MANTILLA MSC.

Quito, abril 2019

© Universidad UTE 2019.

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1717708547
APELLIDO Y NOMBRES:	Alulema Paredes Marco Bryan
DIRECCIÓN:	Francisco Salgado N49-222
EMAIL:	bryan94alu@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	022 417 692
TELÉFONO MOVIL:	098 166 7980

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Equipo mecatrónico para el estudio y análisis de microestructuras de aceros y fundiciones ferrosas
AUTOR O AUTORES:	Alulema Paredes Marco Bryan
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	04 de abril de 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Aníbal Mantilla Msc.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero En Mecatrónica
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>En este proyecto se diseña y construye un equipo mecatrónico, en el cual se evidencia la innovación de una técnica para el estudio aplicando superposición de imágenes y presentaciones digitales, de tal manera que su fácil uso resulte de ayuda para un efectivo aprendizaje por ser didáctico y de gran impacto visual; alejándose de la típica metodología de enseñanza-aprendizaje de la educación 1.0, en la cual el estudiante recibe información de manera pasiva; lo cual</p>

	<p>constituye una herramienta de estudio de la educación 3.0 en la que el estudiante es capaz de hacer uso de medios electrónicos para brindar soporte a la metodología de aprendizaje. Es por esto que para el diseño de este proyecto se tomó en cuenta diferentes variables, entre ellas: el tamaño y peso del equipo, la capacidad de operar con batería interna, versatilidad, velocidad de operación, entre otras; lo que da como resultado en un equipo compacto, ligero, resistente y durable. Exhibe información para el análisis y el estudio de 6 microestructuras de aceros y 18 microestructuras de aleaciones ferrosas diferentes, dando como resultado la información de 24 materiales distintos. Es capaz de controlar por software la superposición de discos para presentar diferentes imágenes según la ubicación del disco inferior; además de desplegar en la pantalla táctil, ubicada en la parte superior del equipo, la lista de las diferentes combinaciones que se obtienen según la posición del disco inferior. Se puede seleccionar de que material se desea obtener más información, a través de dicha pantalla o por medio de los botones que se ubican en el borde de cada combinación, se selecciona según la necesidad del usuario, entre: fotografía de la microestructura del material vista a través de un microscopio, composición o sus principales usos. Por lo tanto, es apropiado para el estudiante o profesional que desee obtener información, comparar e interactuar de manera instantánea y sencilla, aun en ausencia de suministro eléctrico o conexión a red de datos móviles.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Microestructuras, aprendizaje, aleación, aceros, fundiciones ferrosas.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>In this project, a mechatronic equipment is designed and built, in which the innovation of a technique for the study is demonstrated by the application of overlays of images and digital presentations, in such a way that its</p>

	<p>easy use is useful for an effective learning because it is didactic. and great visual impact; move away from the teaching-learning methodology typical of education 1.0, in which the student receives information passively; which constitutes a tool for the study of education 3.0 in which the student can use electronic media to support the learning methodology. For this reason, for the design of this project, different variables were taken into account, among them: the size and weight of the equipment, the capacity to operate with internal battery, the versatility, the speed of operation, among others; What resulted in a compact, lightweight, durable and durable equipment. It displays information for the analysis and study of 6 steel microstructures and 18 microstructures of different ferrous alloys, which results in the information of 24 different materials. It is able to control by software the superposition of discs to present different images according to the location of the lower disc; In addition to displaying on the touch screen, located on the top of the computer, the list of different combinations that are obtained according to the position of the lower disk. You can select from which material you want to obtain more information, through said screen or through the buttons that are on the edge of each combination, it is selected according to the user's need, between: photograph of the microstructure of the material seen through A microscope, composition or its main uses. Therefore, it is appropriate for the student or professional who wants to obtain information, compare and interact instantaneously and easily, even in the absence of a power source or a mobile data network connection.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Microstructures, learning, alloy, steel, ferrous alloys.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'ALULEMA PAREDES', is written over a horizontal black line.

ALULEMA PAREDES MARCO BRYAN

C.I. 171770854-7

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ALULEMA PAREDES MARCO BRYAN**, CI 171770854-7 autor del proyecto titulado: **Equipo mecatrónico para el estudio y análisis de microestructuras de aceros y fundiciones ferrosas** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, abril de 2019



ALULEMA PAREDES MARCO BRYAN

C.I. 171770854-7

DECLARACIÓN

Yo **ALULEMA PAREDES MARCO BRYAN**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



ALULEMA PAREDES MARCO BRYAN

C.I. 171770854-7

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Equipo mecatrónico para el estudio y análisis de microestructuras de aceros y fundiciones ferrosas**", que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Marco Alulema Paredes**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Aníbal Rubén Mantilla Guerra, Msc.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 171199612-2

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PAGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
EVOLUCIÓN DE LA EDUCACIÓN	4
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC).....	4
EQUIPOS DEDICADOS A LA EDUCACIÓN	5
APLICACIONES DEL EQUIPO MECATRÓNICO PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DE MICROESTRUCTURAS DE ACEROS Y FUNDICIONES FERROSAS	7
ALEACIONES HIERRO-CARBONO	7
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	11
ANÁLISIS DEL PROBLEMA	12
2.1. ESTABLECIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS	12
2.2.1. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA MECÁNICO	13
2.2. DISEÑO DEL SISTEMA	15
2.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	16
2.2.1.1. Selección de componentes y módulos.	18
2.2.1.2. Diseño del circuito eléctrico	23
2.2.1.3. Diseño del sistema detector de posicionamiento.....	25
2.2.2. DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ Y COMPONENTES MECÁNICOS	26
2.2.2.1. Diseño de la estructura del equipo.....	26
2.2.2.2. Diseño del disco inferior (móvil).	27
2.2.2.3. Diseño del disco o cobertura superior.....	28
2.2.2.4. Diseño de sistema de transmisión	28
2.2.3. DISEÑO DEL SOFTWARE	30
2.2.4. DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA	31
2.3. MANUFACTURA DEL EQUIPO	34
2.3.1. INTEGRACIÓN.....	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	38
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO CONSTRUIDO	38
3.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	38
3.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	39
3.1.3. BENEFICIOS.....	39
3.2. COMPONENTES SELECCIONADOS Y CONSTRUIDOS	40

	PAGINA
3.3. COSTO DETALLADO DE COMPONENTES	40
3.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	42
3.4.1. PRUEBA DE DESFASE EN LA ROTACIÓN.....	42
3.4.2. PRUEBA DE DESFASE POR UBICACIÓN	43
3.4.3. PRUEBA DE AUTONOMÍA DE LA BATERÍA	45
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1. Materiales para presentar en el equipo	13
Tabla 2. Cuadro comparativo de tarjetas electrónicas programables	18
Tabla 3. Comparación de pantallas TFT	19
Tabla 4. Características del banco de baterías	20
Tabla 5. Características del controlador de motor DC	22
Tabla 6. Características de Motor DC con caja reductora	29
Tabla 7. Características Generales	38
Tabla 8. Características técnicas	39
Tabla 9. Componentes seleccionados y construidos	40
Tabla 10. Análisis de costos	41
Tabla 11. Pruebas de desfase del disco móvil en relación al disco fijo. ...	42
Tabla 12. Prueba de desfase por ubicación	44
Tabla 13. Materiales presentados en el quipo	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Equipo didáctico: Mesa de fuerzas	5
Figura 2. Disco geográfico de España	6
Figura 3. Simulador para entrenamiento en electrónica	7
Figura 4. Esquemas de las diferentes microestructuras de fundiciones de hierro	10
Figura 5. Metodología en V.	11
Figura 6. Vista explosionada. Componentes básicos del equipo	14
Figura 7. Arquitectura del sistema.....	15
Figura 8. Diagrama de procesos del equipo	16
Figura 9. Sistema electrónico computacional.	17
Figura 10. Electrónica del módulo de alimentación	21
Figura 11. Electrónica del módulo de alimentación	21
Figura 12. Diagrama de conexión del integrado L293D.....	22
Figura 13. Vista virtual del circuito impreso.....	23
Figura 14. Diseño del esquema electrónico de control	24
Figura 15. Sistema detector de posicionamiento	25
Figura 16. Estructura del sensor de posicionamiento.	26
Figura 17. Estructura base del equipo.....	27
Figura 18. Vista superior del disco inferior (móvil).....	27
Figura 19. Vista isométrica del disco superior.	28
Figura 20. Sistema de transmisión de movimiento	29
Figura 21. Diagrama de flujo del algoritmo del sistema detector de posición	30
Figura 22. Interfaz de bienvenida.....	31
Figura 23. Interfaz gráfica que presenta la lista de materiales	32
Figura 24. Menú de selección de la información a presentar.....	32
Figura 25. Presentación de la descripción del material	33
Figura 26. Presentación de la microestructura del material	33
Figura 27. Presentación de la microestructura del material	33
Figura 28. Integración de elementos de hardware y software	34
Figura 29. Vista isométrica y superior de la estructura y cobertura del equipo.....	34
Figura 30. Diseño y construcción del sistema detector de posicionamiento.....	35
Figura 31. Posicionamiento de los componentes de control	36

Figura 32. Integración de los componentes de control, incluido el disco móvil	36
Figura 33. Presentación de la información según la posición del disco interior	37
Figura 34. Equipo ensamblado con todos sus componentes	37
Figura 35. Flujograma para realizar la prueba de desfase por ubicación	43

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Hoja de dibujo del ensamble del equipo.....	52
Anexo 2. Hoja de dibujo del ensamble del detector de posición.....	53
Anexo 3. Hoja de dibujo del diseño de las escobillas del detector de posición.....	54

RESUMEN

En este proyecto se diseña y construye un equipo mecatrónico, en el cual se evidencia la innovación de una técnica para el estudio aplicando superposición de imágenes y presentaciones digitales, de tal manera que su fácil uso resulte de ayuda para un efectivo aprendizaje por ser didáctico y de gran impacto visual; alejándose de la metodología tradicional de enseñanza-aprendizaje de la educación 1.0, en la que el estudiante recibe información de manera pasiva; lo cual constituye una herramienta de estudio de la educación 3.0 en la que el estudiante es capaz de hacer uso de medios electrónicos los mismos que brindan soporte a la metodología de aprendizaje. Por lo cual para el diseño de este proyecto se tomó en cuenta diferentes variables, entre ellas: el tamaño y peso del equipo, la capacidad de operar con batería interna, versatilidad, velocidad de operación, entre otras; dando como resultado un equipo compacto, ligero, resistente y durable. Exhibe información para el análisis y el estudio de 6 microestructuras de aceros y 18 microestructuras de aleaciones ferrosas diferentes, dando la información de 24 materiales diversos. Es capaz de controlar mediante software la superposición de discos para presentar diferentes imágenes según la ubicación del disco inferior; en la parte superior del equipo se refleja en pantalla táctil una lista de las diferentes combinaciones las cuales se obtienen según el cambio de posición del disco inferior. Se puede escoger de que material se desea obtener más información, a través de pantalla o mediante la pulsación de botones los cuales se encuentran ubicados en el borde de cada combinación, la misma que se selecciona según la necesidad del usuario, entre: fotografía de la microestructura del material vista a través de un microscopio, composición o sus principales usos. Por lo tanto, es apropiado para el estudiante o profesional que desee obtener información, comparar e interactuar de manera instantánea y sencilla, aun en ausencia de suministro eléctrico o conexión a red mediante datos móviles.

Palabras clave: Microestructuras, aprendizaje, aleación, aceros, fundiciones ferrosas.

ABSTRACT

In this project, a mechatronic equipment is designed and built, in which the innovation of a technique for the study is demonstrated by the application of overlays of images and digital presentations, in such a way that its easy use is useful for an effective learning because it is didactic, and great visual impact; move away from the teaching-learning methodology typical of education 1.0, in which the student receives information passively; which constitutes a tool for the study of education 3.0 in which the student can use electronic media to support the learning methodology. For this reason, for the design of this project, different variables were taken into account, among them: the size and weight of the equipment, the capacity to operate with internal battery, the versatility, the speed of operation, among others; What resulted in a compact, lightweight, durable and durable equipment. It displays information for the analysis and study of 6 steel microstructures and 18 microstructures of different ferrous alloys, which results in the information of 24 different materials. It is able to control by software the superposition of discs to present different images according to the location of the lower disc; In addition to displaying on the touch screen, located on the top of the computer, the list of different combinations that are obtained according to the position of the lower disk. You can select from which material you want to obtain more information, through said screen or through the buttons that are on the edge of each combination, it is selected according to the user's need, between: photograph of the microstructure of the material seen through A microscope, composition or its main uses. Therefore, it is appropriate for the student or professional who wants to obtain information, compare and interact instantaneously and easily, even in the absence of a power source or a mobile data network connection.

Key Words: Microstructures, learning, alloy, steel, ferrous alloy.

1. INTRODUCCIÓN

Según el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior del Ecuador (CACES), varias universidades ecuatorianas se ven obligadas a realizar importantes cambios en diversos aspectos relacionados con el modelo clásico de enseñanza-aprendizaje que incluyen; entre otras muchas acciones, la incorporación de nuevos sistemas y técnicas de apoyo a la docencia, como es el caso de la Innovación tecnológica que tiene un peso de 1,2% (CACES, 2018) en el Modelo de Instituciones de Educación Superior (IES) con oferta de Grado y Posgrado.

Por consiguiente, la aplicación de un aprendizaje activo para el desarrollo de competencias en los estudiantes es fundamental, alejándose así del modelo clásico basado en la figura del profesor como un transmisor de conocimientos los cuales posteriormente debían ser memorizados (Cano, 2014) en favor de un profesor que ayuda, supervisa y evalúa la formación de sus alumnos (Merino, 2018), de esta manera adoptando las tendencias de la “Educación 3.0”.

Este es el caso, de la creación de un equipo mecatrónico utilizado como material de apoyo, una innovadora técnica mediante el uso de “tarjetas educativas digitales”, el cual fomenta la pedagogía activa; la misma que está enfocado para el estudio y análisis de microestructuras de aceros y fundiciones ferrosas, al estar alimentado de la información más relevante de distintos tipos de materiales, simplificando el uso de diversos modelos de material de apoyo, por lo que resultará para los alumnos una forma de practicar, adquirir y recordar de manera clara y dinámica en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Se aplica esta técnica para conocer las microestructuras de aceros y de fundiciones, aplicar dicho conocimiento de forma efectiva y eficiente. Por esta razón, los ingenieros mecánicos, mecatrónicos, industriales, metalúrgicos, y de otras profesiones afines que requieren contar con conocimiento de aceros y fundiciones ferrosas con aplicación en el ámbito de su profesión. En centros de aprendizaje y/o en ausencia de laboratorios, se utiliza únicamente libros para el estudio de aceros y fundiciones ferrosas, los cuales ofrecen gran variedad de información, lo que puede dificultar en la adquisición de conocimientos por medio de su estudio tradicional, más aun, cuando no es posible experimentar; es por esto que se requiere aplicar una nueva metodología didáctica para la identificación de las propiedades mediante clasificación, estableciendo semejanzas y diferencias, resolver problemas, entre otras de una manera muy amigable con el estudiante o profesional; de forma rápida, organizada y económica, generando una oportunidad para que el proceso de enseñanza- aprendizaje sea más profundo.

EVOLUCIÓN DE LA EDUCACIÓN

El aprendizaje es un proceso de adquisición de conocimientos, por lo cual con el pasar de los tiempos, los métodos y técnicas usadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje han cambiado drásticamente (Rosique, 2014), las cuales se las han clasificado en tres grupos:

- Educación 1.0: el cual es un proceso unidireccional, los alumnos adquieren la información de manera pasiva por parte de los docentes, se direcciona al estudio individual.
- Educación 2.0: refiere al trabajo colaborativo y la creación de conocimiento social, intercambio de opiniones y datos
- Educación 3.0. Introducción de medios tecnológicos, educación interactiva.

“La realidad educacional en el presente, enfrenta una realidad conformada con docentes preparados desde su génesis en el siglo XX, impartiendo clases a estudiantes del siglo XXI. No se trata de un cambio tecnológico, se trata de un cambio cultural, donde el docente es quien debe adaptarse a este nuevo escenario” (Ruiz, 2017).

Actualmente, han existido varios cambios tales como: los profesores, el sistema educativo, la tecnología, por lo que la educación no puede ignorar dichos cambios; se debe tomar en cuenta que el profesor frente a un curso es solo un guía, quien debe saber cómo motivar sus mentes, impartir técnicas para el desarrollo de los conocimientos de los estudiantes.

Por lo cual, se debe discurrir el uso y aplicativo de los medios electrónicos para apoyar las funciones de docencia, investigación y difusión, tomando en cuenta que permiten ampliar y flexibilizar las posibilidades de atención y satisfacción de la demanda mediante los programas de teleeducación de acuerdo con el nuevo concepto de educación virtual, a fin de alcanzar cada vez más al “Futuro”, el que facilitará el cambio y el aprendizaje continuo y permanente. (Guerra Rodríguez, 2014)

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC)

En el informe mundial sobre la educación, “Los docentes y la enseñanza en un mundo en mutación”, en 1998 la UNESCO describió el impacto de las TICs sobre los métodos convencionales de enseñanza y de aprendizaje, augurando también sobre la transformación del proceso de

enseñanza-aprendizaje y la forma en que docentes y alumnos acceden al conocimiento y la información.

“Las TICs son la innovación educativa del momento y permiten a los docentes y alumnos cambios determinantes en el quehacer diario del aula y en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los mismos” (Gómez Gallardo & Macedo Buleje, 2016).

EQUIPOS DEDICADOS A LA EDUCACIÓN

En la actualidad existen varios equipos didácticos dedicados a la educación, varios de ellos están ligeramente relacionados con este proyecto, de los cuales resaltan:

Equipo didáctico: Mesa de fuerzas

La mesa de fuerzas es un instrumento didáctico que permite realizar las fuerzas sobre el anillo mediante cuerdas que pasan por una polea de baja fricción y sostienen pesos en sus extremos, se puede observar en la Figura 1.

Se compone de una mesa circular de 300mm de diámetro que su uso está destinado para demostrar físicamente el comportamiento de magnitudes representadas por medio de vectores a partir del concepto de equilibrio de las diferentes masas (SoloStocks, 2015).



Figura 1. Equipo didáctico: Mesa de fuerzas
(SoloStocks, 2015)

Disco geográfico de España

Este disco de 130mm de diámetro usa el principio de la rotación de los discos y superposición de los mismos para presentar diferente información por cada sección rotada como se lo muestra en la Figura 2, este es un sistema en el cual, en el disco superior se encuentra impreso una flecha, al momento de rotar el disco inferior, la flecha debe señalar la provincia de la que se desea información, tal como: Habitantes, distancia desde Madrid, superficie de la provincia, longitud del río más importante, ciudad más importante, entre otras (TodoColección, 2018).

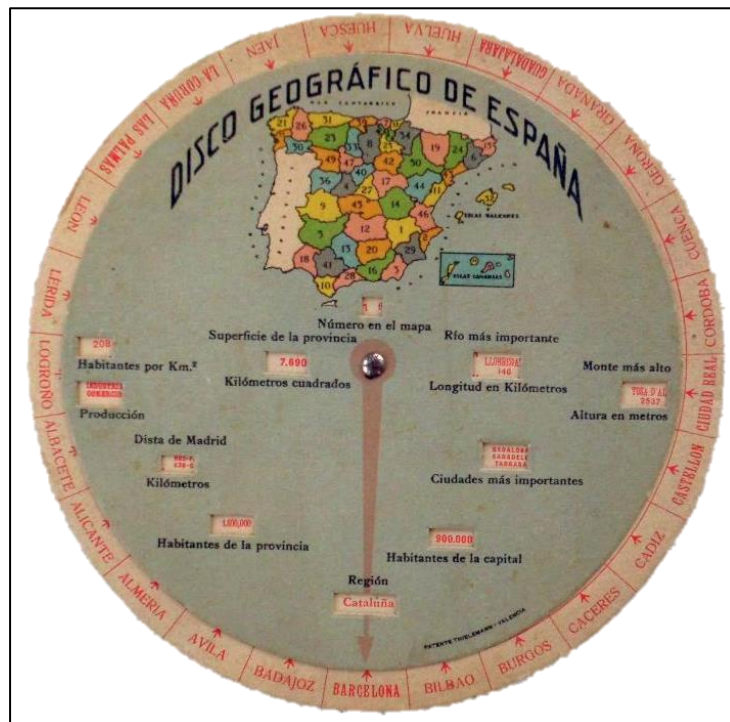


Figura 2. Disco geográfico de España
(SoloStocks, 2015)

Simulador para entrenamiento en electrónica

El equipo propuesto contiene una fuente de alimentación, una unidad generadora de señal, dispositivos para medir corrientes y voltajes, un osciloscopio de dos canales, así también, componentes electrónicos análogos y digitales (ver Figura 3).

Este simulador fue diseñado con el fin de ampliar la gama de componentes y circuitos electrónicos estudiados con posibilidades didácticas crecientes de su estudio, además, permite el reemplazo de los componentes que han fallado durante el estudio de una manera fácil y sencilla. (Rusia Patente nº RU0002636020, 2016).



Figura 3. Simulador para entrenamiento en electrónica
(Rusia Patente nº RU0002636020, 2016)

APLICACIONES DEL EQUIPO MECATRÓNICO PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DE MICROESTRUCTURAS DE ACEROS Y FUNDICIONES FERROSAS

ALEACIONES HIERRO-CARBONO

Aleación de un material es aquel que está compuesto de dos o más elementos químicos, de los cuales predominan en composición los átomos y enlaces metálicos (Mantilla Guerra & Mantilla Mantilla, 2018).

El hierro puro tiene escasas aplicaciones industriales, pero al formar aleaciones con el carbono (además de otros elementos), es el metal más utilizado en la industria moderna.

El componente con mayor proporción se denomina “metal base” del cual las propiedades físicas, químicas y mecánicas pueden ser cambiadas, y, demás materiales se denominan “elementos de aleación”.

El tipo y extensión del cambio de las propiedades dependen de la solubilidad con el metal base (Lyman, 2014). Las aleaciones se clasifican en dos grandes grupos:

- Ferrosas
- No ferrosas.

En las aleaciones Hierro-carbono, el carbono se puede encontrar en estado combinado (Fe_3C), como en estado libre (C, grafito), por lo cual el diagrama comprende dos sistemas.

- **Fe- Fe_3C (metaestable):** Este sistema comprende aceros y fundiciones blancas, o sea, las aleaciones con el carbono ligado, sin carbono libre (grafito).
- **Fe-C (estable):** Este sistema expone el esquema de formación de las estructuras en las fundiciones grises y atruchadas donde el carbono se encuentra total o parcialmente en estado libre (grafito).

Aleaciones ferrosas

En las aleaciones Hierro-Carbono los componentes fundamentales son Hierro (Fe) y Carbono (C). Además, en su composición siempre se encuentra presente el Silicio y Manganeso como elementos de aleación y el Azufre y Fósforo como impurezas. (Mantilla Guerra & Mantilla Mantilla, 2018)

Las aleaciones ferrosas, a su vez, comprenden dos grandes grupos:

- Aceros
- Hierros colados o fundiciones.

Aceros

El acero es una aleación de hierro con carbono en una relación que oscila entre 0.03 y 2%. Además, están presentes otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad y otras propiedades. (Universidad Tecnológica de Pereira, 2014)

Las propiedades físicas de los aceros y el comportamiento a distintas temperaturas dependen básicamente de la cantidad de carbono y su distribución. Se puede encontrar hasta once constituyentes diferentes, que se denominan: ferrita, cementita, austenita, martensita, ferrita perlita, bainita, ledeburita, steadita y grafito. (Universidad Autónoma de Madrid, 2014) Por lo cual, se analizará las siguientes microestructuras:

- **Ferrita:** blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución.
- **Perlita:** es una mezcla de ferrita y cementita, las propiedades físicas son intermedias entre la de sus componentes.
- **Austenita:** es el constituyente más denso de los aceros, la proporción de carbono varía entre 0 a 1,76%.

- **Martensita:** alta dureza, la proporción de carbono no es estable, varía hasta un máximo de 0,89% aumentando su dureza, resistencia mecánica y fragilidad con el contenido de carbono.
- **Bainita:** Se forma en la transformación isoterma de la austenita, en un rango de temperaturas de 250 a 550°C.
- **Ferrita-perlita:** presenta un acabado superficial uniforme, alta resistencia a la tracción y resistencia al desgaste.

Hierros colados o fundiciones

El contenido de carbono se encuentra en una relación que oscila entre 2 y 6,67% teóricamente. El carbono se puede presentar como grafito (forma libre) o Cementita (combinada). La forma y distribución del carbono influirá directamente en las propiedades físicas de la fundición. (Gutiérrez, 2016).

Se pueden clasificar en:

- **Fundición gris:** La mayor parte del carbono se encuentra sin combinar en forma de grafito (ver Figura 4.a).
- **Fundición blanca:** Donde todo el carbono se encuentra combinado (ver Figura 4.b).
- **Fundición maleable:** Carbono mayormente sin combinar en forma de nódulos irregulares o carbono revenido (ver Figura 4.c).
- **Fundición nodular:** Mediante aleantes especiales, el grafito forma esferoides compactos (ver Figura 4.d).
- **Fundición especial:** Las propiedades y estructura de las anteriores se modifica por el agregado de aleantes o grafito compactado (ver Figura 4.e).

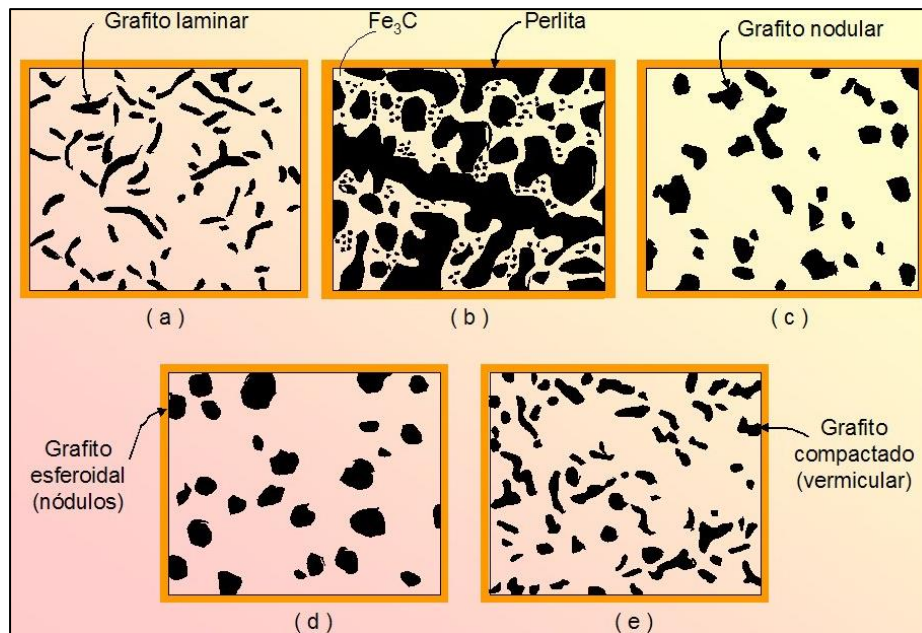


Figura 4. Esquemas de las diferentes microestructuras de fundiciones de hierro.
 a) gris, b) blanca, c) maleable, d) nodular, y, e) de grafito compacto.
 (Gutiérrez, 2016)

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

La metodología seleccionada para el desarrollo del presente equipo mecatrónico es conocida como el modelo en V (ver Figura 5). En la que primero se analizan y validan los requerimientos del sistema, en este caso se determina y analiza el problema. Luego se realiza el diseño del sistema el cual debe satisfacer el problema y requisitos propuestos.

Seguido de esto se define modelos de solución, los cuales se pueden dividir en subfunciones. Estas se encuentran ligadas directamente a las etapas y procesos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

A continuación, se realiza el diseño del sistema de control, geométrico, software y su interfaz gráfica. Los cuales, dan como resultado una solución conceptual del sistema.

Posterior y finalmente se integran los sistemas antes mencionados para que actúen conjuntamente y así cumplir el objetivo. Luego de haber completado esto, se verifica que el nuevo sistema cumpla con la solución planteada. De esta manera ya se puede obtener un prototipo del equipo diseñado (VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, 2004).

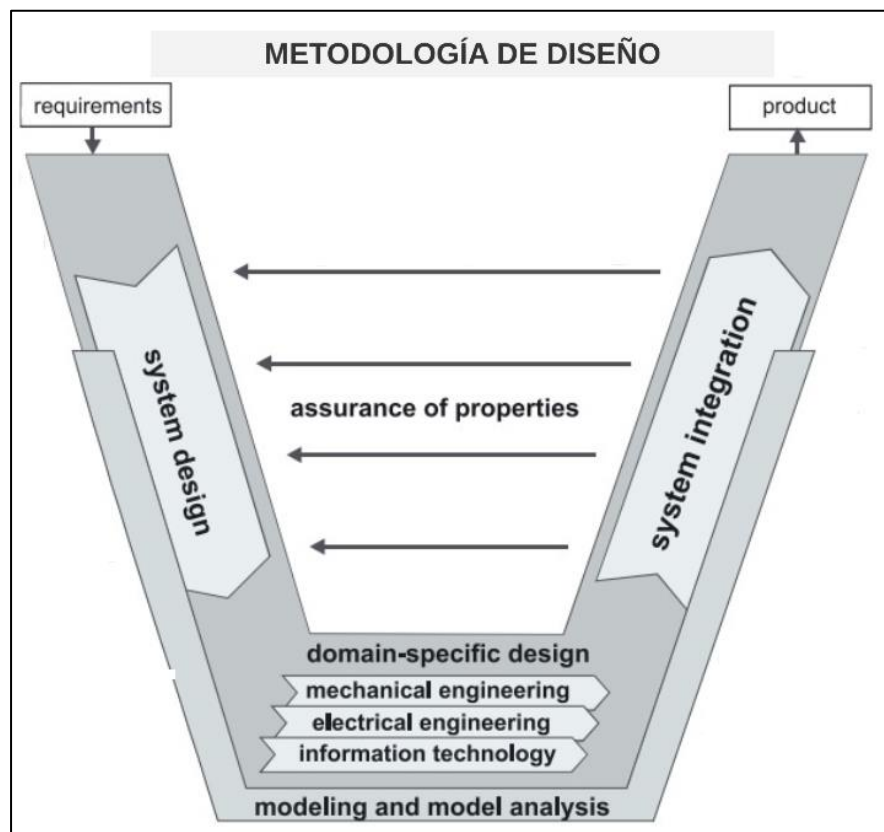


Figura 5. Metodología en V.
(VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, 2004)

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

La relación entre la teoría y la práctica constituye un problema en casi todos los ámbitos de la vida; las discrepancias entre los discursos y los hechos son habituales. También en el campo de la educación la teoría y la práctica sufren desencuentros; al respecto, destaca la importancia de la distancia que existe entre la producción de conocimiento y su puesta en práctica en los centros de aprendizaje (Alvarez, 2016). Como es el caso del análisis del diagrama hierro-carbono referente a las aleaciones ferrosas y aceros, que abarca gran información teórica, la cual es muy útil para todo ingeniero vinculado al campo de la ciencia de los materiales.

Una vez establecido el método para tratar este punto de la metodología se presentan los requerimientos necesarios para el desarrollo del equipo.

2.1. ESTABLECIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS

En todo proceso educativo es necesario tener en cuenta la metodología que se quiere utilizar. El presente proyecto se basa en métodos didácticos que deben estar alineados con las características y motivaciones de los alumnos o personas que llevan a cabo el aprendizaje, así como también el tiempo y recursos disponibles (Universidad Internacional de Valencia, 2015).

Este equipo debe proporcionar la información necesaria y detallada por cada material que se muestra, por lo cual se necesita movimientos controlados y establecer la comunicación entre los sistemas integrados del mismo.

Además, referente a las dimensiones, el equipo no debe superar los 400x400 mm y 80mm de altura, y peso no superior a 1,5 kg. De esta manera se facilita el transporte y almacenamiento.

El equipo mecatrónico, debe vincular los sistemas, es decir, realizar una lectura de posicionamiento del disco con movimiento rotacional en relación con el segundo disco fijo, para presentar la información del material seleccionado en una pantalla.

El equipo debe ser capaz de mover el disco por medio de un actuador y presentar la imagen del material seleccionado en la pantalla, seguido a esto presentar toda la información requerida de dicho material.

Los 24 materiales para presentar son los presentados en la Tabla 1:

Tabla 1. Materiales para presentar en el equipo

Acero	Ferrita	Fundición Gris	Ferrita
	Austenita		Austenita
	Bainita		Bainita
	Martensita		Martensita
	Perlita		Perlita
	Ferrita-Perlita		Ferrita-Perlita
Fundición Nodular	Ferrita	Fundición Maleable	Ferrita
	Austenita		Austenita
	Bainita		Bainita
	Martensita		Martensita
	Perlita		Perlita
	Ferrita-Perlita		Ferrita-Perlita

Por cada material, se debe presentar en la pantalla la siguiente información dependiendo de la necesidad del usuario:

- Características generales
- Propiedades físicas
- Composición del material

2.2.1. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA MECÁNICO

El equipo mecatrónico que se presenta comprende los siguientes componentes que se presentan en la Figura 6, los cuales actúan en conjunto con el fin de llegar al objetivo.

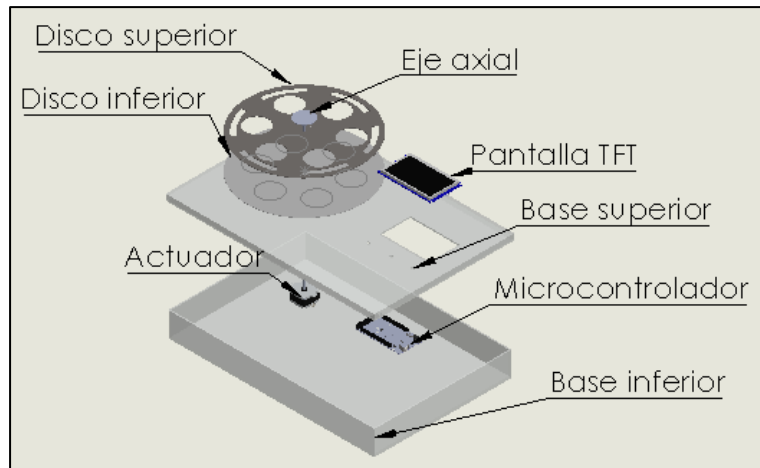


Figura 6. Vista explosionada. Componentes básicos del equipo

Base inferior del equipo: Estructura que actúa para la sujeción y anclaje de los sistemas, entre ellos, el sistema mecánico (eje axial, actuador eléctrico), de control (microprocesador, placas electrónicas) y de alimentación.

Actuador eléctrico: Elemento mecánico que está encargado de realizar la rotación del disco inferior, conectado por medio de una banda con el componente, el cual debe funcionar en un rango de voltaje de 0 a 5 [v] DC.

Microcontrolador: Circuito integrado programable, el cual es capaz de ejecutar las ordenes previamente grabadas en su memoria.

Disco inferior: Elemento circular con movimiento rotacional a través de su eje axial, el cual está encargado de presentar imágenes de sección circular de las siguientes microestructuras:

- Perlita
- Martensita
- Bainita
- Austenita
- Ferrita
- Ferrita-Perlita

Cobertura superior: Alberga la pantalla TFT para presentar la información del material, según corresponda. Exhibe en pequeñas ventanas transparentes de sección circular las microestructuras de los materiales, que según la superposición de los discos se van presentando. Además de tener impreso las matrices de:

- Fundición nodular
- Fundición gris
- Fundición maleable

2.2. DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema posee de un microcontrolador encargado de determinar y controlar el movimiento del disco inferior, establecer su posición en relación con el disco superior fijo, posteriormente enviar dicha información por comunicación serial a la interfaz HMI (Human Machine Interface) para procesar dichos datos, y de esta manera ser capaz de reflejar la información respectiva por cada material en la pantalla táctil TFT (Thin Film Transistor), se detalla en la Figura 7.

Por medio de botones de selección, ubicados en el borde de cada material, se puede interactuar con la información de los materiales exhibidos de una manera rápida y sencilla, es decir, desplegar en la pantalla la información de los materiales presentados en los discos, cada material representado por un botón.

Por otro lado, la comunicación se puede realizar de manera inversa, es decir, seleccionar de entre los 24 diferentes tipos de materiales previamente almacenados en la memoria del microcontrolador de la pantalla TFT a través de la pantalla táctil y de esta forma obtener la información deseada.

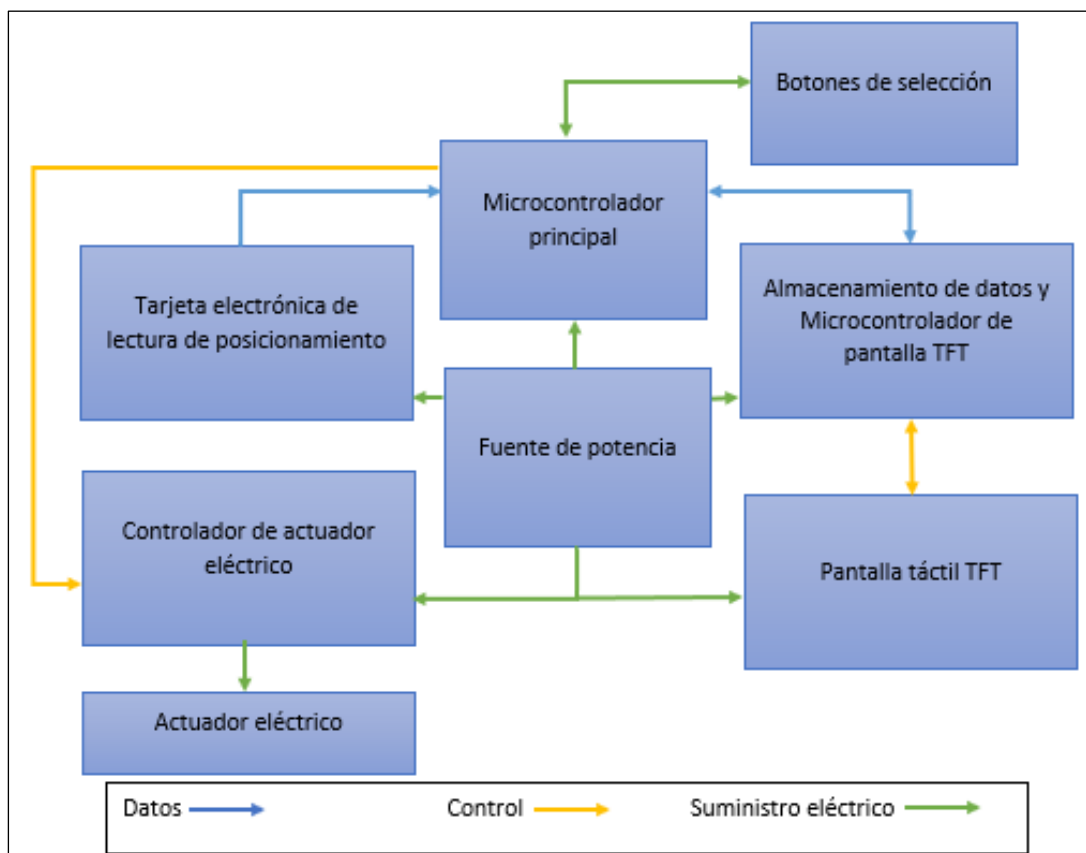


Figura 7. Arquitectura del sistema

Según la metodología utilizada para la elaboración de este proyecto, se ha dividido en dos dominios:

- A. Sistema de control
 - a. Diseño de software
 - b. Diseño electrónico
- B. Diseño del sistema motriz y componentes mecánicos

2.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El diseño del sistema se basa en el diagrama de flujo de la Figura 8, en el cual se detalla los diferentes procesos que debe realizar el equipo para su correcto funcionamiento y presentación de la información.

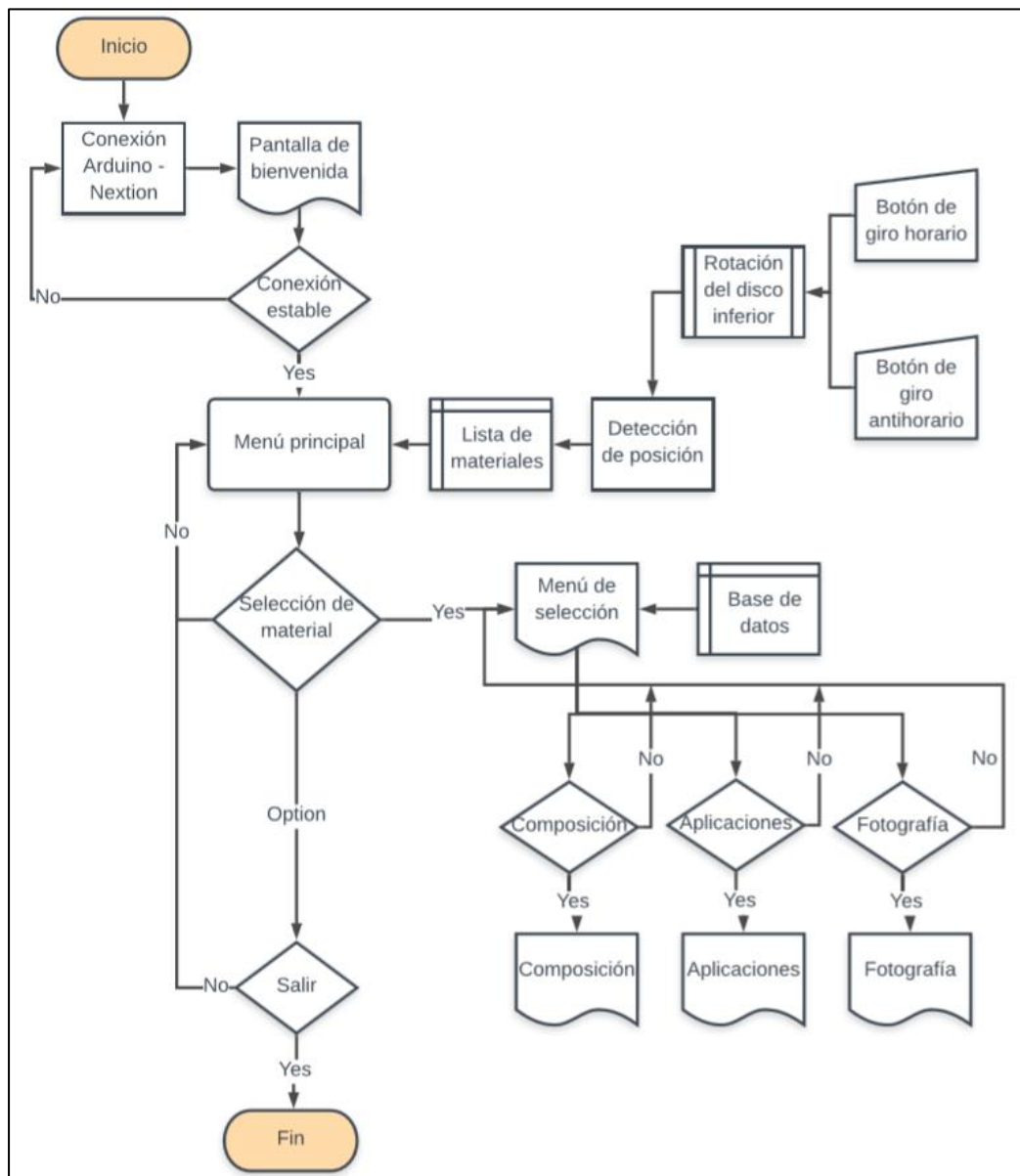


Figura 8. Diagrama de procesos del equipo

Los componentes de monitoreo y control en el equipo son:

- Microcontrolador,
- HMI (TFT),
- Tarjeta electrónica de lectura de posicionamiento,
- Botonera,
- Fuente y módulo de alimentación,
- Driver de motor

Se presenta el esquema de conexiones en la Figura 9.

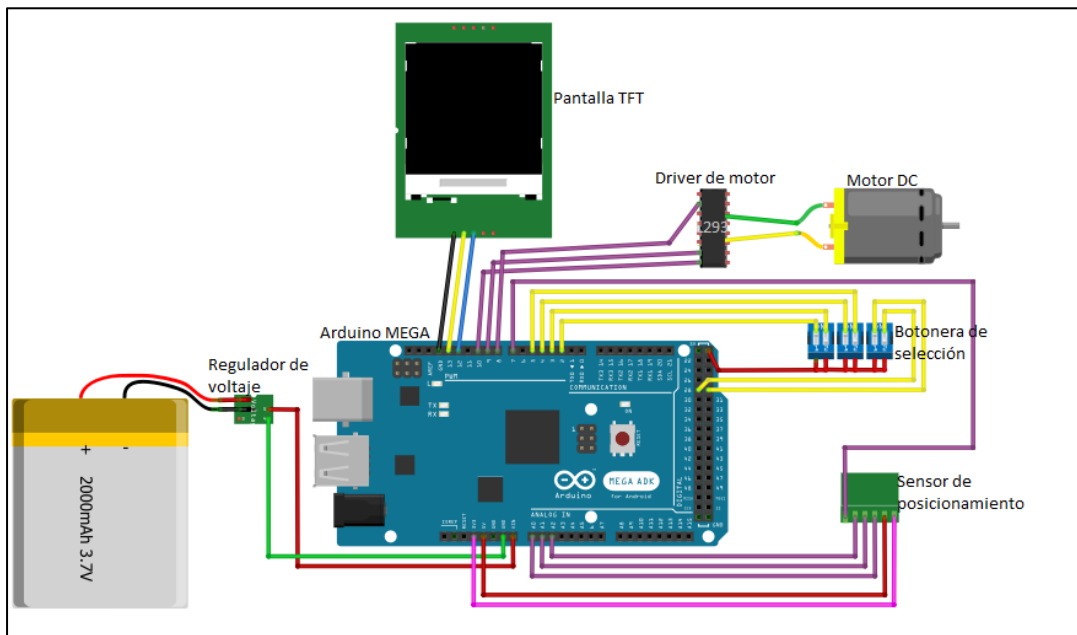


Figura 9. Sistema electrónico computacional.

En conjunto, el sistema HMI envía datos a través de un canal de comunicación al microcontrolador, el cual se comunica, verifica y compara con la información obtenida de la tarjeta electrónica de lectura del posicionamiento del disco inferior, según sea el caso, el microcontrolador es el encargado de enviar la información por medio de pulsos PWM al controlador del actuador eléctrico, el cual es capaz de rotar el disco inferior para posicionarlo según la información recibida a través del canal de comunicación desde el sistema HMI.

Los métodos de comunicación con el microcontrolador y tarjeta electrónica de lectura de posicionamiento se ejecutan a través de lectura de señales analógicas.

En cuanto a la comunicación entre el microcontrolador y el sistema HMI, del cual se aprovechan al máximo sus módulos, se lo realiza vía UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). La función principal es convertir los datos serie a paralelos cuando se trata de datos recibidos,

y de convertir datos paralelos a serie para transmisión. (Marín Martín, 2016)

2.2.1.1. Selección de componentes y módulos.

Microcontrolador

Los parámetros de análisis para la selección del microcontrolador programable son: velocidad máxima de reloj, capacidad de procesamiento, memoria flash, SRAM, EEPROM y características de los periféricos de comunicación.

La Tabla 2 muestra las características de las dos tarjetas microcontroladoras.

Tabla 2. Cuadro comparativo de tarjetas electrónicas programables

Modelo	Arduino Uno	Arduino Mega ADK
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560
Voltaje de Operación	3,3 – 5 v	3,3 – 5v
Salida PWM	6	15
Memoria Flash	32KB	256KB
EEPROM	1KB	4KB
Velocidad del reloj	16MHz	16MHZ
SRAM	2KB	8KB

(ATMEL, Arduino, 2015); (ATMEL, Arduino, 2014)

La tarjeta electrónica programable seleccionada para el desarrollo, Arduino Mega ADK (ver Figura 11) tiene la característica de que sus salidas son de 5 y 3,3V esto ayuda de gran manera para la lectura del posicionamiento del disco inferior, ya que se realiza lectura de dichos voltajes, la memoria flash de 256kB y SRAM de 8kB, dicha característica ayuda para almacenar gran cantidad de líneas de código de programación y variables que puedan ser enviadas y recibidas por medio de la comunicación UART, así también la transferencia de datos con respecto a sistema HMI sea más rápida y fluida, respectivamente. Tomando en cuenta al Arduino Uno, su mayor debilidad es la memoria flash de 32kB y SRAM de 2kB.

Interfaz gráfica y visual

Uno de los principales tributos que debe ofrecer este equipo, es que sea amigable con el usuario, que su manejo y control sea de una manera sencilla y didáctica. De esta manera identificar, interactuar y comparar de entre la lista de componentes, de los cuales la información haya sido cargada al sistema.

Por lo cual, algo muy importante que debe incluir en el equipo, es una pantalla táctil, para obtener la información necesaria de los materiales presentados según la superposición de los discos, así también, cambiar la información necesaria para poder comparar dicha información, es por esto, en el diseño del presente equipo es imprescindible incluir una pantalla táctil.

Se analizó cuál de las siguientes pantallas cumplía con los parámetros de selección en donde se buscó el tamaño la resolución, voltaje de operación, velocidad de procesamiento de imágenes.

De igual manera, se comparó entre varios modelos de pantallas TFT del mercado, de las cuales se validaron parámetros como el tamaño de la pantalla, resolución, voltaje de funcionamiento, memoria interna, procesamiento de imágenes y módulos de comunicación.

Tabla 3. Comparación de pantallas TFT

Marca	Nextion	SainSmart	Adafruit
Modelo	NX4827T043	SSD1289	ILI9341
Resolución	480x272 [px]	320x240[px]	240x320[p]
Voltaje de operación	5[V]	3,3 [V]	3,3 [V]
Memoria flash	16 [MB]	0[MB]	0[MB]
	SD Card	SD Card	SD Card
Velocidad de procesamiento de imágenes	65000 [colores]	65000 [colores]	262[colores]
Comunicación	TTL Serial Host	Shield	SDA y SCL
	2 pins	40 pins	30 pins

(ITEAD, 2017); (SainSmart, 2017); (Adafruit, 2018)

Con relación a las variables analizadas, se seleccionó a pantalla del fabricante NEXTION de 4,3 pulgadas, ya que cumple con los requerimientos necesarios en este proyecto, de igual manera tiene varias ventajas adicionales en comparación con los otros modelos, tales como: un software dedicado para la programación de imágenes

incorpora un microcontrolador y su comunicación por UART permite usar únicamente dos pines del microcontrolador Arduino.

En la pantalla de 480x272 [píxeles] permite desarrollar interfaces gráficas, cargado de varias imágenes en su memoria interna o tarjeta MicroSD, sin la preocupación de la saturación del sistema, por lo cual se logra tener una relación entre tamaño y fluidez.

Módulo de alimentación o “battery pack”

Tomando en cuenta el consumo energético del microcontrolador, la pantalla táctil TFT y demás componentes que conforman el equipo, se determina el uso del siguiente banco de baterías detallado en la Tabla 4.

Tabla 4. Características del banco de baterías

Marca	Pony Multimedia D-37
Capacidad	12000 [mAh]
Alimentación	5 [v] / 1000 [mA]
Salidas	2 USB 2.0
Voltaje de salida	5[v] / 2000[mA] 5[v] / 1000[mA]

(Pony Multimedia, 2017)

Para la selección de este componente se tomó en cuenta variables como: peso, tamaño, capacidad, número de salidas USB y corriente de salida.

Este componente se lo usa como regulador de voltaje, y a su vez, cuando la alimentación externa del equipo haya sido desconectada, este es capaz de continuar alimentando el equipo de manera independiente, mientras duren las baterías además de que la corriente no disminuye en relación con la carga de las baterías previamente mencionadas. El diagrama de conexiones se muestra en la Figura 10.

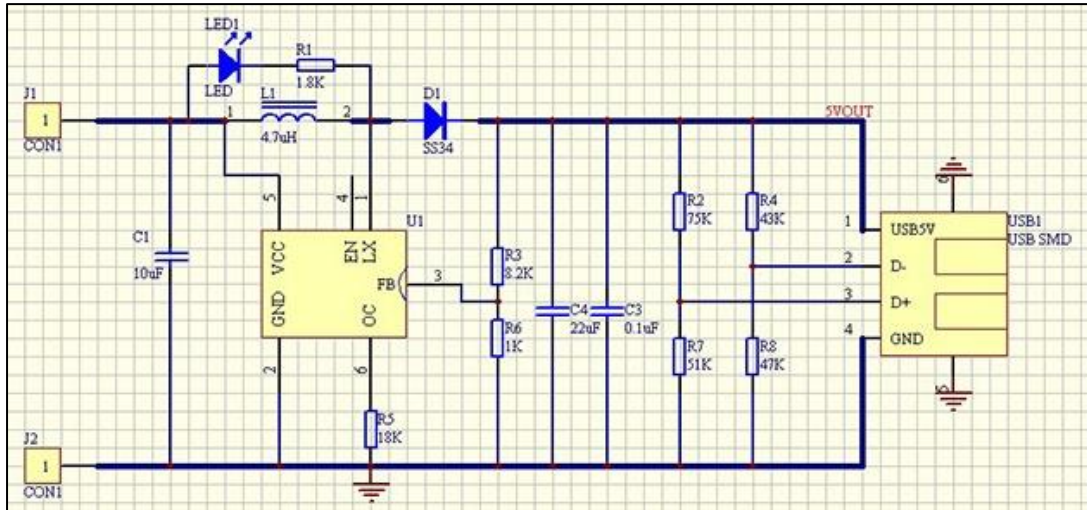


Figura 10. Electrónica del módulo de alimentación
(Pony Multimedia, 2017)

Módulo PL2303 Conversor USB a TTL.

Este módulo se utiliza para establecer la comunicación entre el computador y la pantalla táctil NEXTION, con el fin de cargar la interfaz gráfica previamente diseñada. Convierte el puerto USB del computador en un puerto serial, con niveles de voltaje TTL compatibles con la mayoría de las tarjetas microcontroladoras como Arduino/Pic/Raspberry Pi. Posee leds indicadores de transmisión de datos, salidas reguladas de voltaje de 5V y 3,3V, además, usa el chip PL2303HX de Prolific (ver Figura 11). (NaylampMechatronics.com, 2017)

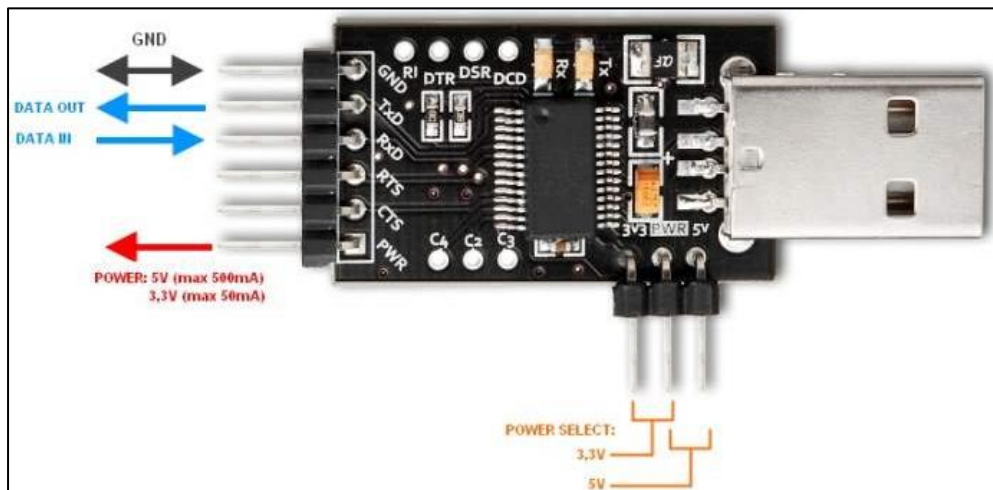


Figura 11. Electrónica del módulo de alimentación
(NaylampMechatronics.com, 2017)

Controlador de motor DC

El integrado que más se acopla a los requisitos es el integrado L293D (Tabla 5) el cual es capaz de controlar cargas de potencia media de motores pequeños, con la capacidad de controlar corriente de hasta 600mA en cada circuito y tensión de 4,5v a 36 v (Texas Instruments, 2016).

Tabla 5. Características del controlador de motor DC

Características del controlador L293D	
Controladores por paquete	4
Voltaje variable (Max) (V)	36
Voltaje de salida (Max) (V)	36
Pico de la salida de corriente (mA)	1200
Tiempo de respuesta (Typ) (ns)	800
Compatibilidad de entrada	TTL
Vol @ baja corriente (Typ) (mV)	1200
Iout/ch (Max) (mA)	600
Iout_off (Typ) (uA)	100

(Texas Instruments, 2016)

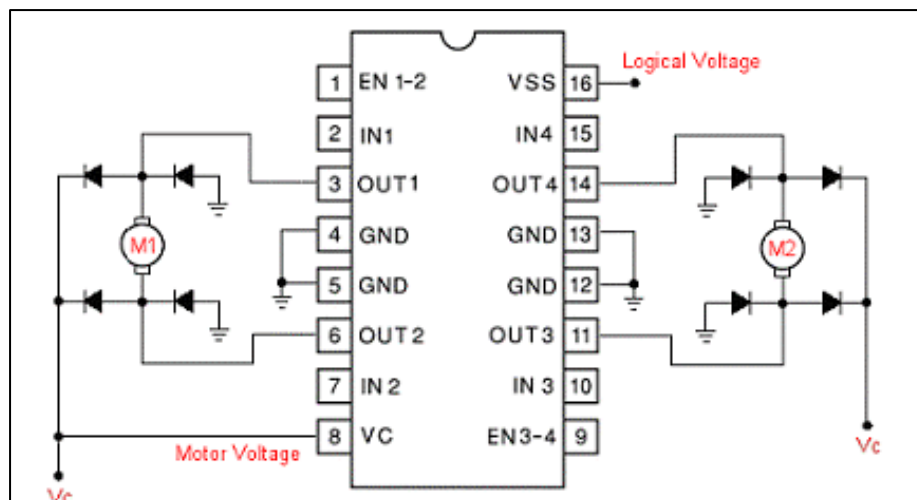


Figura 12. Diagrama de conexión del integrado L293D.

2.2.1.2. Diseño del circuito eléctrico

En la Figura 13 se presenta el diseño de una placa PCB, la cual es capaz de ubicarse en la parte superior del microcontrolador Arduino, de tal manera que se presenta como un módulo desarrollado para este proyecto con el fin de suprimir excesivas cantidades de cables para la comunicación y conexión de las diferentes partes del dispositivo.

Por lo cual, se diseñó un esquema de conexiones del sistema electrónico para la integración de todos los componentes necesarios (ver Figura 14), es decir, una placa con todos los componentes con el fin de interactuar directamente con el microcontrolador, para el control del equipo.

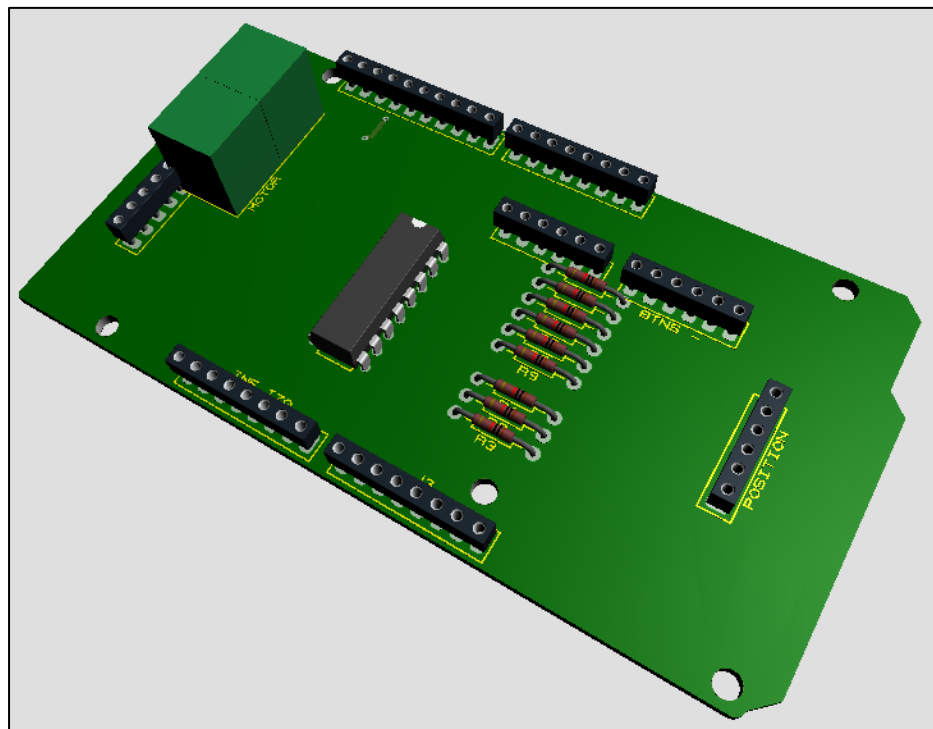


Figura 13. Vista virtual del circuito impreso

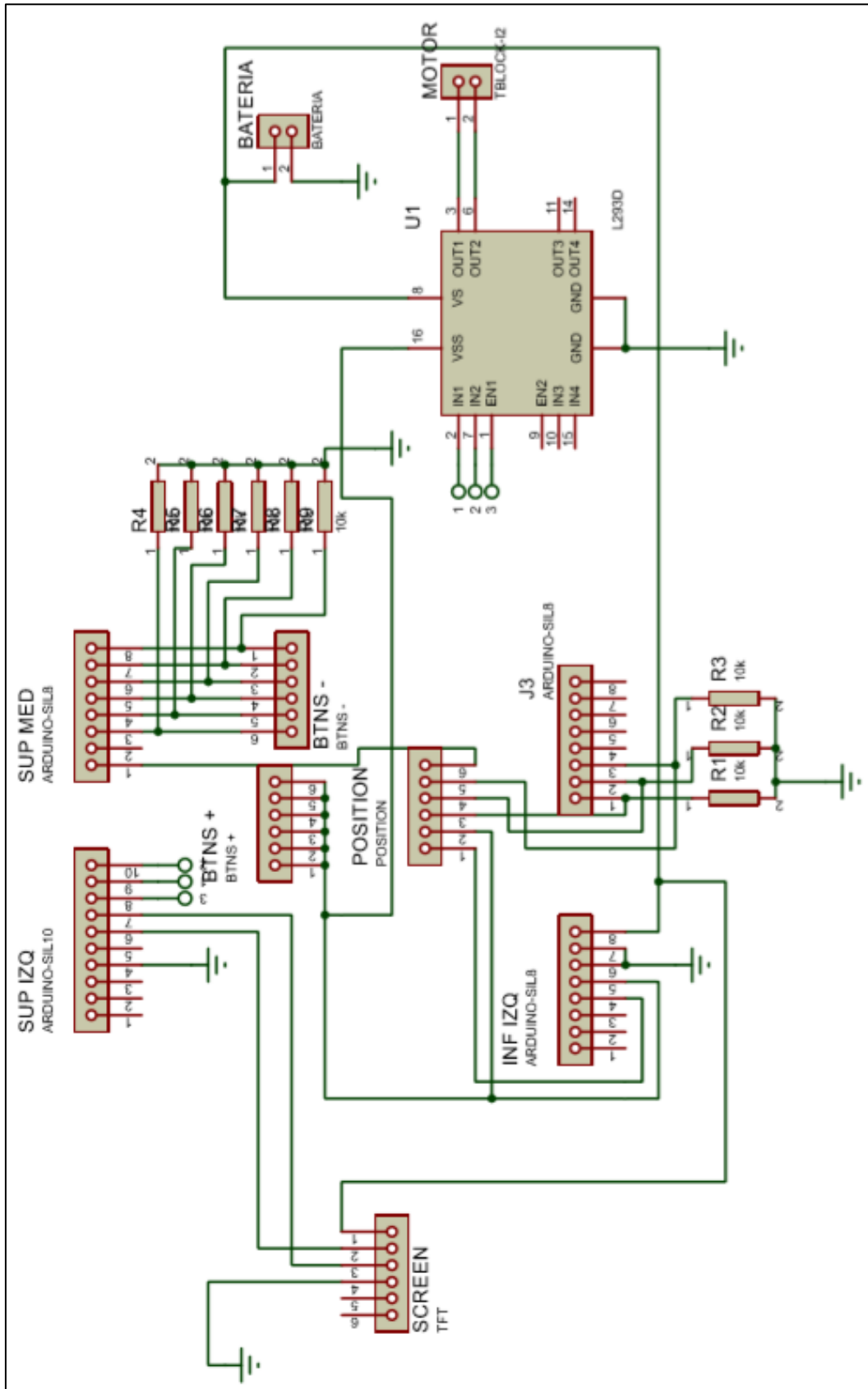


Figura 14. Diseño del esquema electrónico de control

2.2.1.3. Diseño del sistema detector de posicionamiento

Se diseñó un sensor detector de posicionamiento, el cual, según la rotación del disco inferior a través del eje axial, es capaz de detectar la posición del disco inferior (móvil) con referencia al disco fijo.

Para esto, se utiliza tres lecturas analógicas y una lectura digital del microcontrolador y, las salidas de 3,3 y 5 v. Con la rotación del del disco móvil, este hace girar unas escobillas metálicas (ver Figura 15), las cuales conectan diferentes contactos según la ubicación del disco. El microcontrolador obtiene una variación de voltaje a través de las diferentes entradas analógicas, y, por medio de un código previamente desarrollado, este es capaz de detectar el posicionamiento exacto del disco inferior.

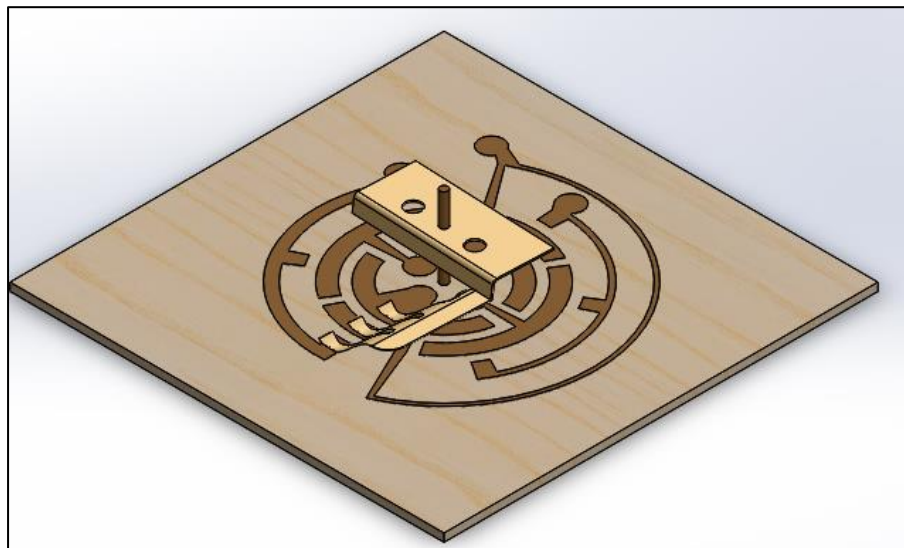


Figura 15. Sistema detector de posicionamiento

Diseño de la base del sensor de posicionamiento

Se diseñó una estructura, la cual asegura el funcionamiento del sensor y garantiza el contacto entre las pistas de la placa y la escobilla metálica. Esta estructura es capaz de anclarse a una polea que va conectada al motor a través de una banda de caucho, y también anclada al disco móvil (ver Figura 16), por lo cual forma parte del sistema de transmisión de movimiento.

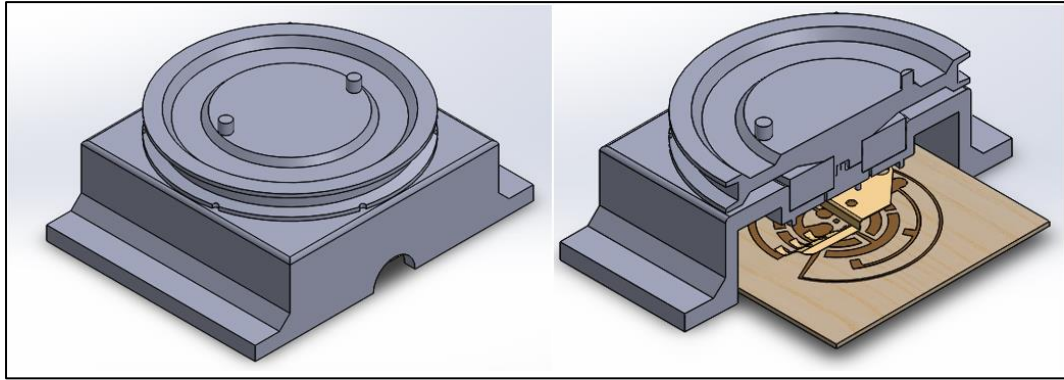


Figura 16. Estructura del sensor de posicionamiento.

2.2.2. DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ Y COMPONENTES MECÁNICOS

El diseño mecánico del equipo se dividió en diferentes partes previa a su construcción, esto con el fin de interactuar las partes por medio de software y de esta manera identificar las diferentes complicaciones que se pueden generar en el ensamble. Tales como:

- Estructura del equipo.
- Cobertura superior.
- Disco inferior.
- Sistema de transmisión de movimiento.

De los cuales, el diseño de cada componente se presenta a continuación:

2.2.2.1. Diseño de la estructura del equipo

El presente proyecto no requiere de diseño mecánico estructural, ya que no se encuentra sometido a cargas externas.

Con referencia a los requerimientos del sistema, el equipo no debe superar los 400 x 400 mm y 80 mm de altura. Por lo que es imprescindible el diseño de una estructura, la cual no supere los límites establecidos, y que, a su vez, sea liviana y resistente, capaz de soportar todos los componentes del proyecto.

Por lo tanto, se ha diseñado una estructura que satisfaga todos los requerimientos de diseño (ver Figura 17), en aluminio liso, este material se puede encontrar en el mercado de diferentes medias en su espesor, se utiliza principalmente para recubrir muebles y equipos; por lo que es una opción para la estructura del presente proyecto usando estampado en frío para la fabricación de este componente.

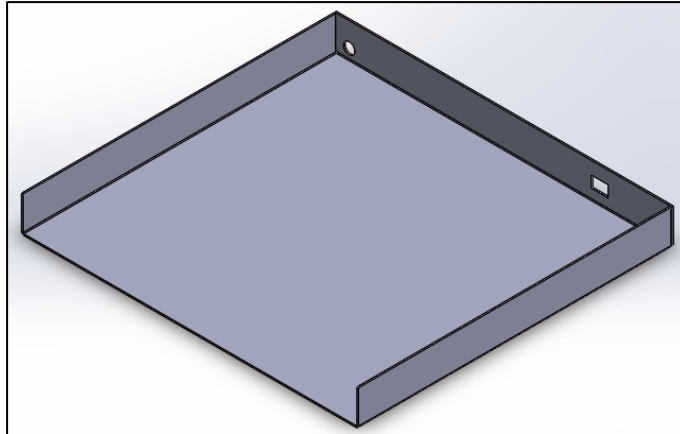


Figura 17. Estructura base del equipo

2.2.2.2. Diseño del disco inferior (móvil).

El disco inferior ha sido diseñado de tal manera que se pueda presentar 6 circunferencias internas y sus respectivos nombres (ver Figura 18) las cuales representan las microestructuras para presentar la información en la pantalla TFT, como:

- Perlita
- Martensita
- Bainita
- Austenita
- Ferrita
- Ferrita-Perlita

Este componente va anclado a la parte superior de la estructura del sensor, para de esta manera identificar la posición exacta de las circunferencias internas y la superposición con las imágenes fijas de la cobertura superior, dicha superposición depende de la rotación del presente disco.

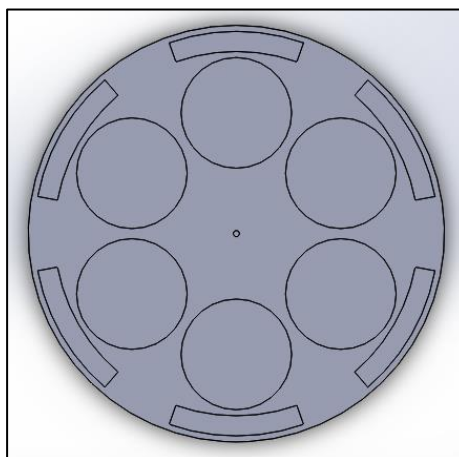


Figura 18. Vista superior del disco inferior (móvil)

2.2.2.3. Diseño del disco o cobertura superior

El disco superior se diseñó para que forme parte de la cobertura superior del equipo, de esta manera es posible que se puedan ubicar varios componentes en una misma placa de acero como la pantalla táctil TFT y botones (ver Figura 19).

Este componente presenta en fondo transparente las siguientes microestructuras:

- Fundición nodular
- Fundición gris
- Fundición maleable

Para su elaboración se utilizó acero inoxidable, además corte y grabado con una maquina laser de control numérico computarizado (CNC).

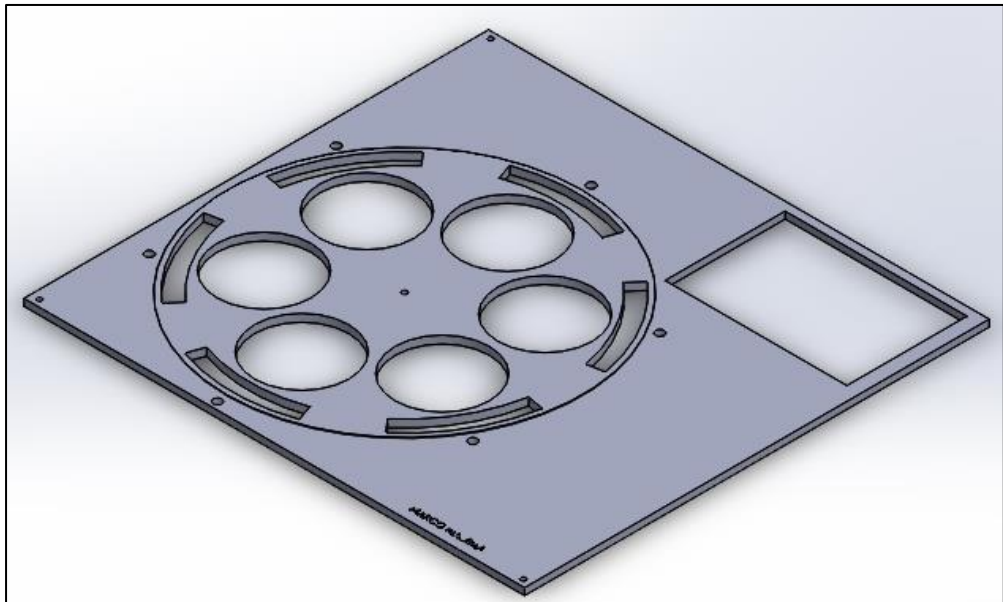


Figura 19. Vista isométrica del disco superior.

2.2.2.4. Diseño de sistema de transmisión

Para el diseño del sistema de transmisión se debe determinar el motor adecuado para el proyecto, en la Tabla 6 se detalla las características de un motor DC a 5v con caja reductora.

Tabla 6. Características de Motor DC con caja reductora

Motor DC con caja reductora	
Voltaje de operación	3 – 6 [v]
Velocidad angular nominal	200 [rpm]
Reducción	48:01:00
Consumo máximo de corriente	150 [mA]
Torque de salida	1 [kg.cm]

(Naylamp Mechatronics, 2015)

Para la selección de este motor se ha considerado que se lo puede adquirir con una caja reductora integrada la cual permite entregar el torque o par de torsión suficiente para rotar el disco inferior en un pequeño tamaño y a su vez en bajo voltaje, ya que el voltaje de operación está entre 3 y 6 [v], se puede ver en el diagrama de conexiones en la Figura 14.

En el sistema de transmisión, se utiliza el sistema detector de posición del disco inferior previamente diseñado, el cual, en la parte superior, tiene una polea de 54 mm de diámetro, además de una banda de goma de 300mm de longitud, una polea motriz de 15mm de diámetro y un motor DC con caja reductora.

En la Figura 20 se puede ver el ensamblaje diseñado para realizar el movimiento del disco inferior, y este al estar directamente conectado al sistema detector de posición, es capaz de accionar y detener el motor DC, según sea el caso de superposición de los discos.

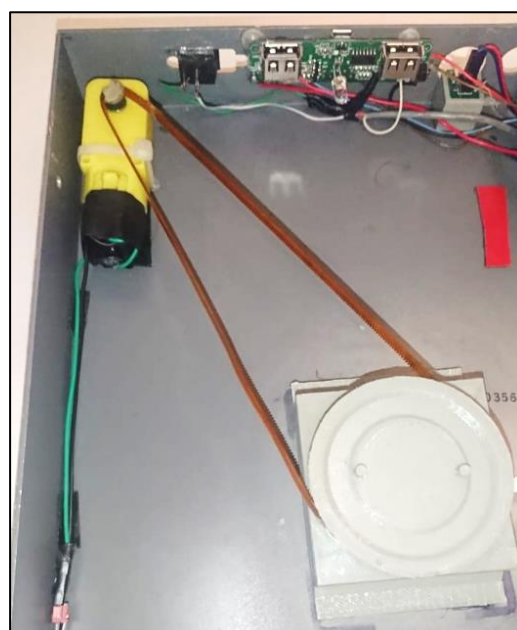


Figura 20. Sistema de transmisión de movimiento

2.2.3. DISEÑO DEL SOFTWARE

El usuario puede seleccionar de entre la información precargada en el equipo, y comparar entre los diferentes materiales, el mecanismo es capaz de determinar la posición de los discos para presentar la información que se necesita. A continuación, en la Figura 21 se presenta el diagrama de flujo de las operaciones del software.

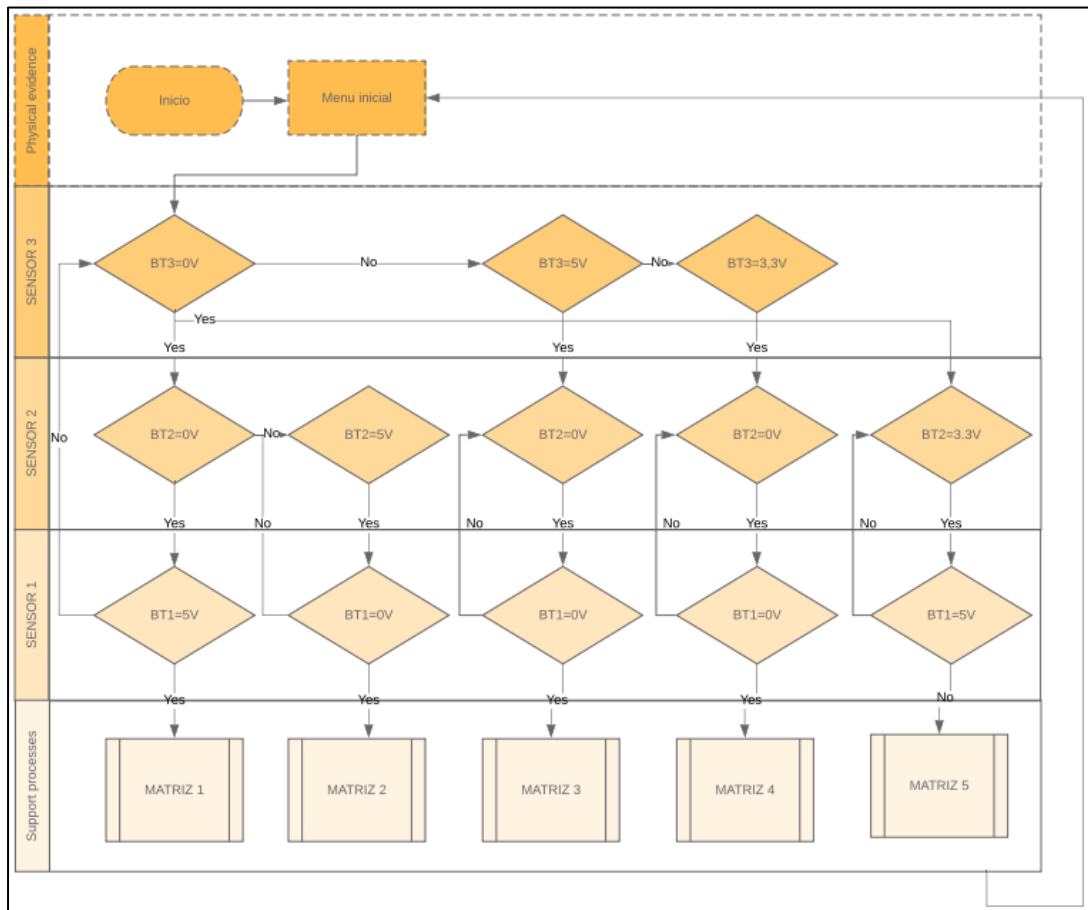


Figura 21. Diagrama de flujo del algoritmo del sistema detector de posición

De esta manera se determina la ubicación del disco inferior haciendo uso de 3 entradas de lectura analógica y dos salidas del microcontrolador, 5 y 3,3 v, de esta manera se identifica exactamente cuántos grados ha rotado el disco y la superposición en relación con el disco fijo.

2.2.4. DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica fue diseñada bajo el software NEXTION IDE, el cual ofrece las herramientas necesarias para el desarrollo de las diferentes pantallas con el fin de presentar toda la información según los materiales.

Interfaz de bienvenida

Al iniciar el equipo se muestra una pantalla de introducción (ver Figura 22), además de presentar el proyecto, esta se aprovecha para indicar que hay una conexión existente entre el microcontrolador y la pantalla Nextion, para esto debe cambiarse de imagen dentro de los próximos 3 segundos, de no ser así, no hay una comunicación estable entre los componentes.



Figura 22. Interfaz de bienvenida

Interfaz principal

En la Figura 23 se puede observar la interfaz en la cual se presentan los diferentes materiales ordenados y clasificados en dos listas: Aceros y Fundiciones ferrosas; esta información va a cambiar dependiendo de la ubicación de los discos y las señales e información recibida a través del microcontrolador.

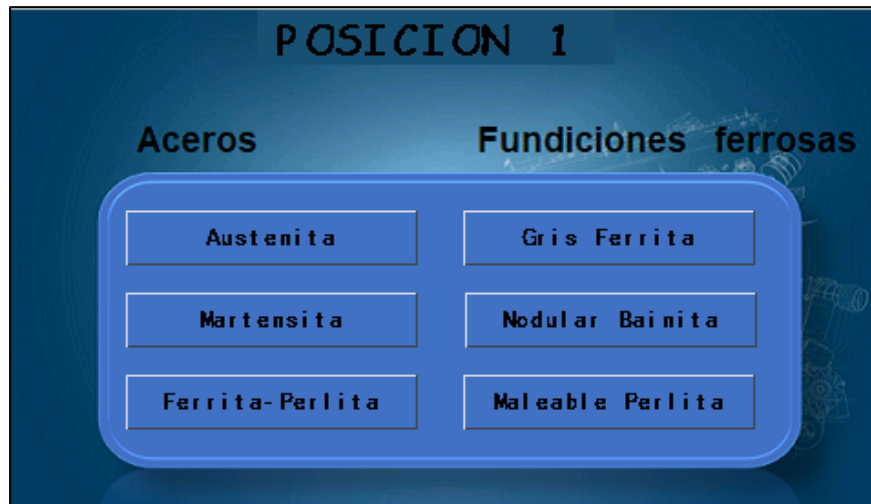


Figura 23. Interfaz gráfica que presenta la lista de materiales

Se elige de entre los materiales que se enlistan, y se presentará un menú relacionado a la información del material (ver Figura 24) del cual se puede seleccionar para la presentación de una corta descripción, propiedades generales y fotografía.



Figura 24. Menú de selección de la información a presentar.

A continuación, se presenta el modelo de presentación de la información por cada material: para la presentación de la descripción (Figura 25), propiedades generales (Figura 26) y fotografía (Figura 27).



Fundición Gris Ferrita

En esta fundición la matriz es ferrita y todo el carbono que hay en la aleación está en forma de grafito

Es una fase blanda de bajo contenido en carbono que presenta baja resistencia a la tracción pero alta ductilidad.

Figura 25. Presentación de la descripción del material



Fundición Gris Ferrita

Dureza: 90 HB

Resistencia: 30 kg/mm²

Alargamiento: 40%

Resiliencia: 8 kg/mm²

Figura 26. Presentación de la microestructura del material



Fundición Gris Ferrita



Figura 27. Presentación de la microestructura del material

2.3. MANUFACTURA DEL EQUIPO

En la Figura 28 se muestra el proceso de integración, armado y ensamble de los diseños previamente definidos de todas las partes, tales como: hardware y software, en la Figura 7 se muestra un esquema de integración de los componentes, que dan como resultado el equipo mecatrónico.

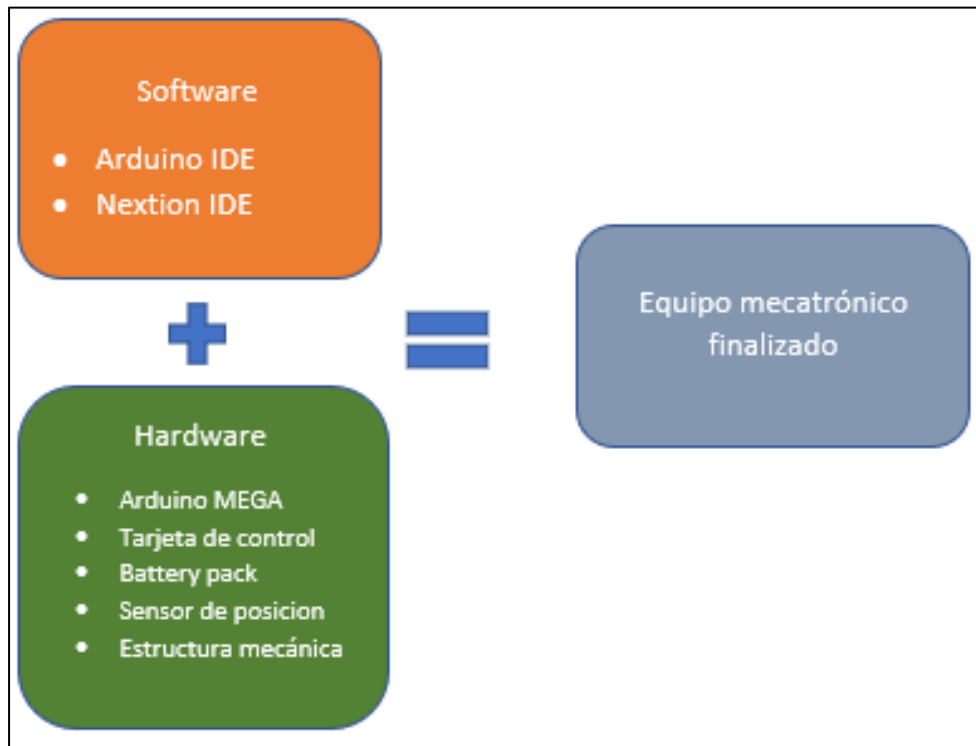


Figura 28. Integración de elementos de hardware y software

En la Figura 29, se muestra el modelado y ensamble realizado bajo el software SolidWorks, para luego llevarlo a corte laser CNC e impresión 3D, según corresponda la manufactura de cada elemento.

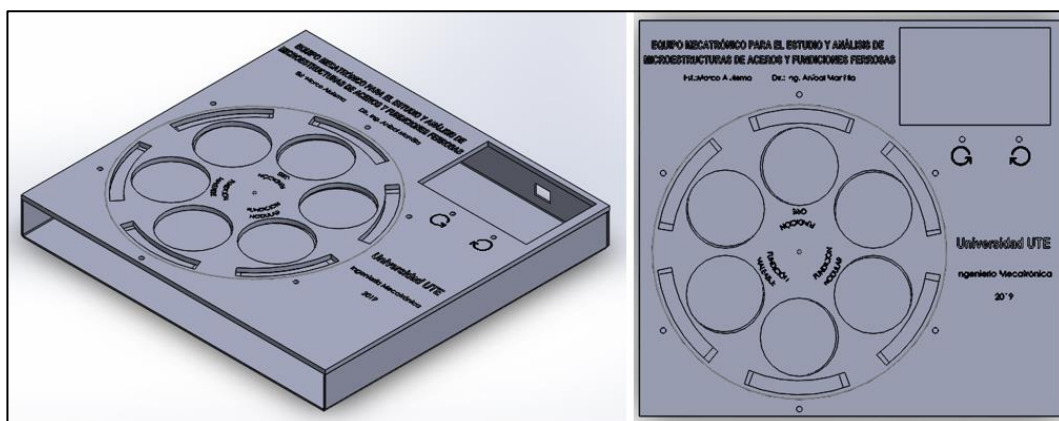


Figura 29. Vista isométrica y superior de la estructura y cobertura del equipo

En la Figura 30.a. se muestra el diseño listo para el proceso de impresión 3D en el software Ultimaker Cura, la cual se manufacturó la carcasa del sistema detector de posicionamiento, en la Figura 30.b, se muestra el componente concluido y ensamblado, listo para ser usado, este se realizó en PLA (poliácido láctico), es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico.

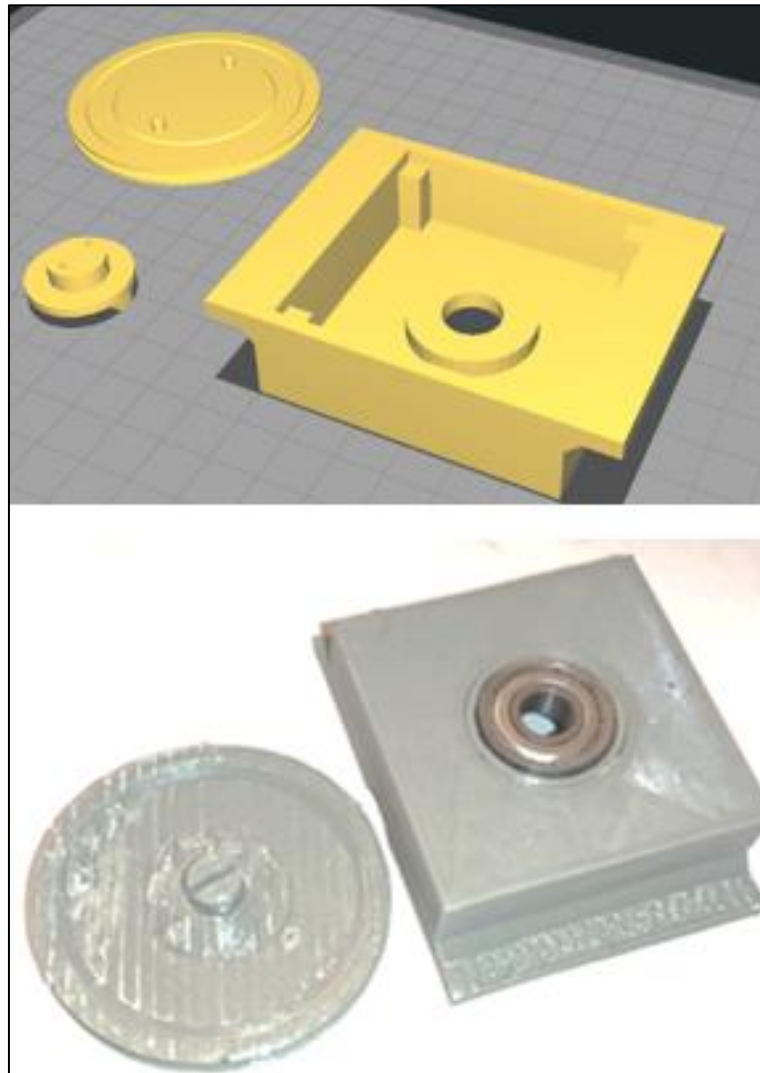


Figura 30. Diseño y construcción del sistema detector de posicionamiento

2.3.1. INTEGRACIÓN

En la Figura 31, se presenta la integración y ubicación interna de los componentes electrónicos y de control, es decir: microcontrolador Arduino, tarjeta de control, sensor de posicionamiento, motor DC, banda de goma para la transmisión del movimiento y el battery pack o fuente de alimentación. Además, en la Figura 32, la integración del disco inferior o disco móvil.

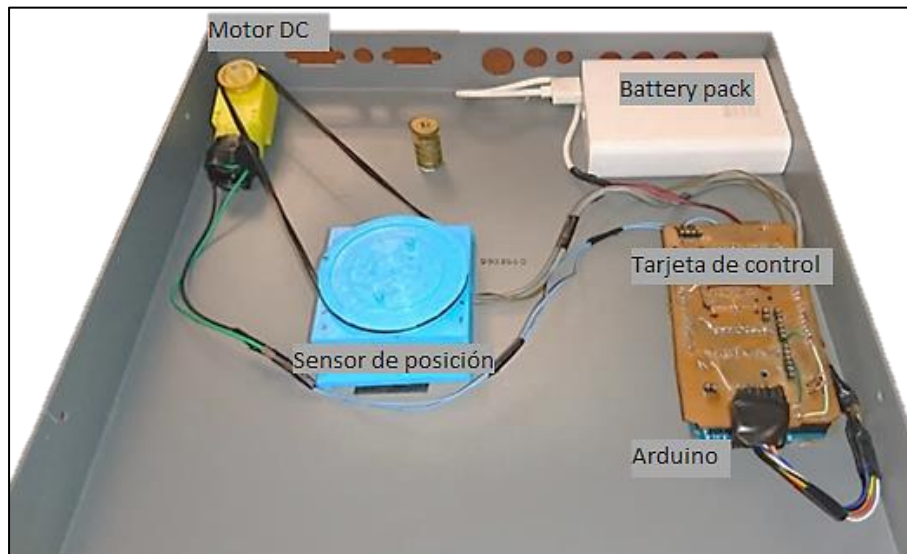


Figura 31. Posicionamiento de los componentes de control

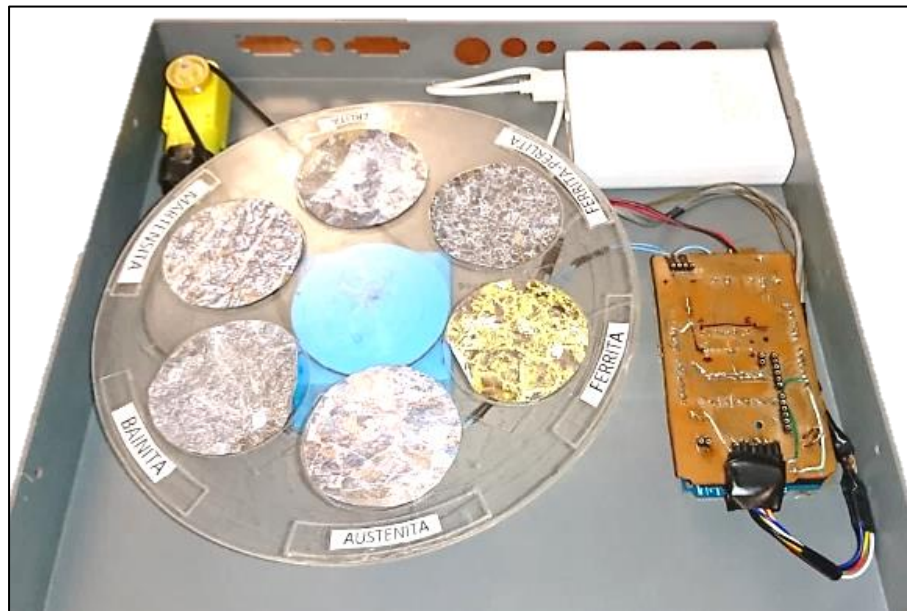


Figura 32. Integración de los componentes de control, incluido el disco móvil

En la Figura 33, se puede observar la presentación de la lista de materiales en la pantalla TFT, dependiendo de la ubicación del disco inferior, para la selección de los materiales según se requiera.



Figura 33. Presentación de la información según la posición del disco interior

Finalmente, en la Figura 34, se muestra la integración de todos los componentes, tanto de software como de hardware, para dar como resultado el equipo mecatrónico para el análisis de microestructuras de aceros y aleaciones ferrosas.



Figura 34. Equipo ensamblado con todos sus componentes

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se especifican las características generales del equipo, se realizan diferentes pruebas de funcionamiento y se analizan los costos.

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO CONSTRUIDO

El equipo mecatrónico para el estudio y análisis de microestructuras de aceros y fundiciones ferrosas permite analizar y comparar diferente información relacionada con las imágenes presentadas a través de la superposición de imágenes y la rotación del disco inferior para lograr dicho objetivo.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

En la Tabla 7, se detalla las características generales del equipo mecatrónico.

Tabla 7. Características Generales

Características	Descripción
Peso	1,2 [kg]
Dimensiones	297 x 277 x 37 [mm]
Material	Cuerpo: aluminio liso.
	Cobertura: Acero Inoxidable
Tipo de carga	Micro USB
Método de entrada	Pantalla táctil

Fácil de transporte tanto para el estudiante como para el profesional, ligero y con información útil para el análisis de los materiales.

Por el material de construcción, se garantiza su durabilidad.

3.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

En la Tabla 8 se visualiza las características técnicas del equipo, de igual manera se detallan los componentes utilizados para la construcción.

Tabla 8. Características técnicas

Características técnicas	
Funciones	Selección del material por HMI o por botonera
HMI	Pantalla táctil NEXTION de 4,3"
Capacidad	Almacenamiento de información de 24 materiales diferentes
Suministro eléctrico	Alimentación de 5 [v]DC por Micro USB
Consumo de corriente	1150 [mAh]
Velocidad de rotación del disco	8,3 [rpm]
Opciones	Inversión de giro del disco inferior

3.1.3. BENEFICIOS

- Ayuda en la metodología de enseñanza aprendizaje.
- Mantenimiento preventivo mínimo.
- Cambio fácil en la información de los materiales.
- Fácil de operar.
- Durable y resistente.
- No necesita conexión a internet.
- Autonomía por poseer baterías internas.

3.2. COMPONENTES SELECCIONADOS Y CONSTRUIDOS

En la Tabla 9 se detalla los componentes clasificados por los diferentes sistemas diseñados para la construcción del equipo mecatrónico.

Tabla 9. Componentes seleccionados y construidos

Sistema	Componente	Cantidad	Material
Sistema de control	Microcontrolador	1 u.	Arduino Mega
	HMI	1 u.	NEXTION
	Battery pack	1 u.	Pony Multimedia 12000 [mAh]
	Driver de motor	1 u.	L293D
	Pulsadores	8 u.	
	Escobillas del detector de posición	1 u.	Cobre
Sistema mecánico	Estructura del equipo	1 u.	Aluminio liso
	Base del sensor de posicionamiento	30 g.	PLA
	Cobertura	1 u.	Acero Inoxidable
	Banda dentada	1 u.	Banda de carriage EPSON de 25 mm de diámetro

3.3. COSTO DETALLADO DE COMPONENTES

En la Tabla 10 se realiza un análisis económico, el cual da como resultado una descripción general del costo de fabricación tomando en cuenta todos los componentes que fueron utilizados para la elaboración del equipo.

Tabla 10. Análisis de costos

Elementos	Cantidad	P. unitario	P. Total
Arduino	1	\$40,00	\$40,00
Banda EPSON Tm-u950	1	\$15,00	\$15,00
Battery Pack	1	\$12,00	\$12,00
Bornera	2	\$0,75	\$1,50
Cables	20	\$0,25	\$5,00
Calcomanías	4	\$2,00	\$8,00
Corte y grabado del disco móvil	1	\$4,00	\$4,00
Corte y grabado en acero	1	\$40,00	\$40,00
Driver motor	1	\$4,20	\$4,20
Espadines hembra	2	\$1,20	\$2,40
Espadines macho	2	\$1,20	\$2,40
Estructura de Aluminio Liso	1	\$20,00	\$20,00
Impresión 3D (polea porta disco)	1	\$6,00	\$6,00
Impresión 3D (sensor de posición)	1	\$15,00	\$15,00
Motor DC	1	\$4,50	\$4,50
Pantalla NEXTION	1	\$70,00	\$70,00
Piñón motriz dentado EPSON	1	\$7,00	\$7,00
Placa circuito impreso	1	\$15,00	\$15,00
Placa de acero inoxidable	1	\$7,00	\$7,00
Placa de sensor de posicionamiento	1	\$9,00	\$9,00
Pulsadores	8	\$0,25	\$2,00
Resistencias	8	\$0,04	\$0,32
TOTAL			\$290,32

3.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para determinar el funcionamiento del equipo se realizó diferentes pruebas, como de desfase del disco móvil (inferior) en relación con el disco fijo.

3.4.1. PRUEBA DE DESFASE EN LA ROTACIÓN

La prueba de desfase inició con la batería del equipo en 100% hasta llegar a la descarga total de la misma con intervalos de tiempo variable, tomando en cuenta la secuencia que se detalla en la Tabla 11.

Se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 11. Pruebas de desfase del disco móvil en relación al disco fijo.

Nº	Sentido	Desfase
1	RH	0°
2	RH	0°
3	RH	0°
4	LH	6°
5	LH	6°
6	LH	5°
7	LH	0°
8	RH	0°
9	LH	0°
10	LH	5°
11	LH	3°
12	RH	0°
13	LH	0°
14	LH	0°
15	LH	7°

Nº	Sentido	Desfase
16	LH	0°
17	LH	2°
18	RH	5°
19	RH	2°
20	RH	0°
21	RH	0°
22	LH	0°
23	RH	0°
24	RH	0°
25	RH	5°
26	RH	0°
27	LH	2°
28	LH	8°
29	LH	0°
30	RH	0°

Para mitigar el impacto que genera el desfase previamente detallado, fue necesario aumentar el diámetro de las fotografías de sección circular que se encuentran en el diseño de la presentación de imágenes de la circunferencia del disco móvil, de esta manera el impacto que genera el desfase es prácticamente imperceptible para el usuario.

3.4.2. PRUEBA DE DESFASE POR UBICACIÓN

En la figura 35 se detalla el proceso para realizar la siguiente prueba en la que se determina por ubicación el desfase que se genera al rotar el disco móvil.

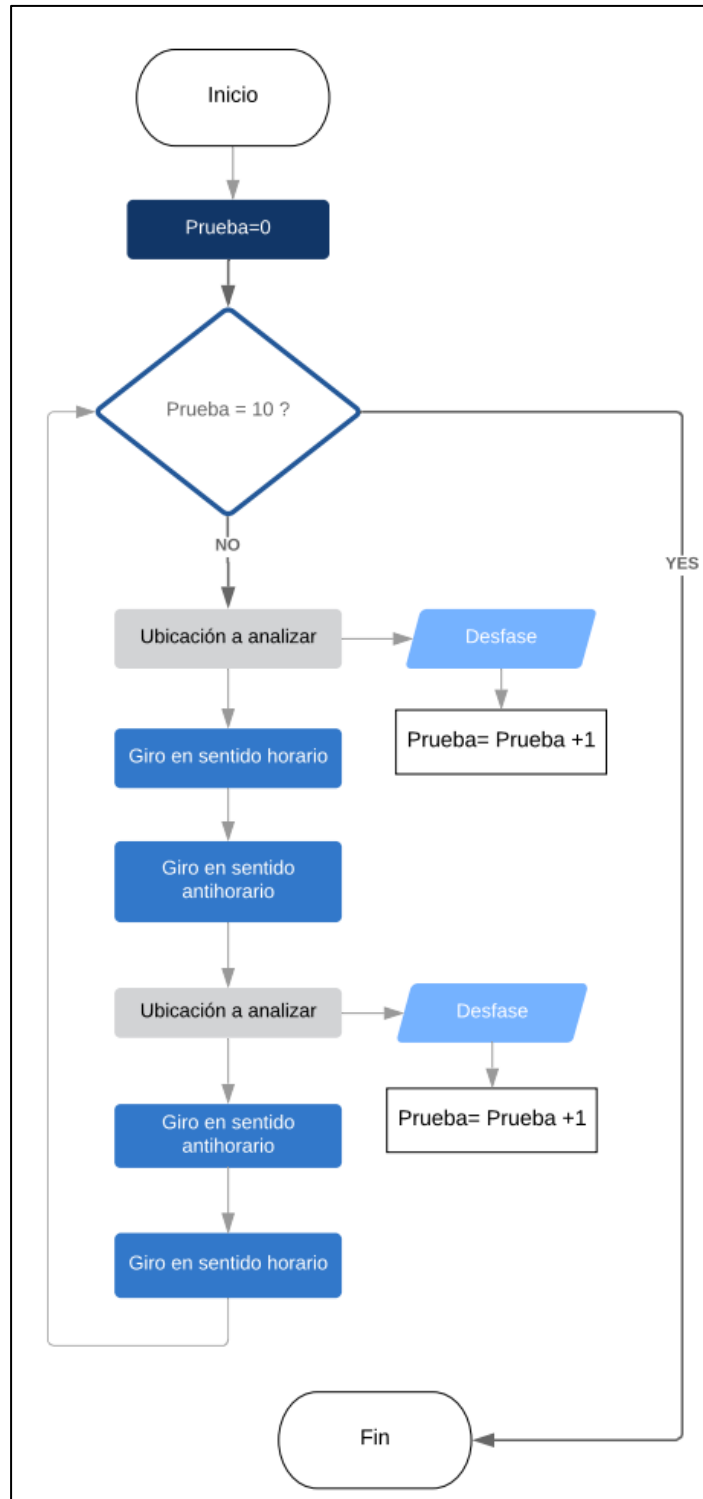


Figura 35. Flujograma para realizar la prueba de desfase por ubicación

En la Tabla 12, se presenta los datos obtenidos en relación con la rotación del disco móvil. Se tomo 10 veces la información de desfase por cada posición, se obtiene lo siguiente:

Tabla 12. Prueba de desfase por ubicación

Prueba N°	Desf.	Prueba N°	Desf.	Prueba N°	Desf.
Posición 1		Posición 2		Posición 3	
1	0°	1	0°	1	1°
2	5°	2	3°	2	2°
3	0°	3	5°	3	1°
4	2°	4	2°	4	2°
5	7°	5	10°	5	2°
6	2°	6	0°	6	0°
7	0°	7	0°	7	0°
8	0°	8	0°	8	4°
9	0°	9	3°	9	3°
10	2°	10	0°	10	1°
Promedio	1,8°	Promedio	2,3°	Promedio	1,6°
Posición 4		Posición 5		Posición 6	
1	0°	1	0°	1	0°
2	0°	2	0°	2	7°
3	0°	3	0°	3	0°
4	3°	4	1°	4	3°
5	2°	5	2°	5	2°
6	1°	6	0°	6	2°
7	0°	7	2°	7	3°
8	0°	8	2°	8	0°
9	0°	9	0°	9	4°
10	1°	10	0°	10	0°
Promedio	0,7°	Promedio	0,7°	Promedio	2,1°

Se determina que la posición que más desfase general es la ubicación 2, se debe principalmente a la inercia que genera el motor y el contacto de fin de carrera de la placa del sensor de posicionamiento.

3.4.3. PRUEBA DE AUTONOMÍA DE LA BATERÍA

Se realizó dos pruebas para validar la autonomía de la batería, una de ellas con el equipo en modo de espera, y la otra haciendo el uso intenso del equipo. Se detallan continuación:

Prueba 1. Equipo en standby o modo de espera, es decir el equipo encendido, con la pantalla TFT mostrando una lista de materiales y sin hacer uso del equipo.

Se determinó que desde 100% a 0% de carga da las baterías toma 5 horas.

Prueba 2. Equipo siendo usado de forma intensa e ininterrumpida, es decir interactuando con todos los componentes incluido la rotación del disco inferior, de esta manera el equipo se descargó completamente en 3,5 horas.

Se puede determinar que la autonomía del equipo es de 4,5 horas aproximadamente, tiempo suficiente para realizar las diferentes actividades u obtener la información necesaria, además de que se carga con 5 [v] DC a través de un puerto micro USB, en caso de necesitar más tiempo de carga se puede hacer uso de un power bank externo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un equipo mecatrónico para el análisis y estudio de microestructuras, composición y aplicaciones de aceros y hierros fundidos, el cual presenta los 24 materiales por medio de la superposición de las imágenes presentes en los discos, descritos en la Tabla 13, de cada material se presenta: características generales, propiedades y una fotografía de la microestructura vista bajo microscopio.

Tabla 13. Materiales presentados en el quipo

Acero	Ferrita	Fundición Gris	Ferrita
	Austenita		Austenita
	Bainita		Bainita
	Martensita		Martensita
	Perlita		Perlita
	Ferrita-Perlita		Ferrita-Perlita
Fundición Nodular	Ferrita	Fundición Maleable	Ferrita
	Austenita		Austenita
	Bainita		Bainita
	Martensita		Martensita
	Perlita		Perlita
	Ferrita-Perlita		Ferrita-Perlita

La técnica de estudio que se aplica en este equipo es innovadora, el uso del equipo es didáctico, amigable con el usuario y fácil de usar, además de contener información útil y precisa, la cual ayuda para el proceso de enseñanza-aprendizaje relacionado a las microestructuras de aceros y fundiciones ferrosas, lo cual es una herramienta de estudio útil para estudiantes y profesionales de varios campos de la ingeniería.

Después de un análisis exhaustivo de las herramientas de estudio que se tiene actualmente en el mercado, se concluye que por el diseño y

construcción de este equipo es capaz de ser protegido mediante una patente, ya que cumple con todos los requisitos de patentabilidad.

RECOMENDACIONES

El uso de plataformas de código abierto o software libre, permiten el uso ilimitado de las herramientas y librerías necesarias para el uso de dichos softwares, por lo que se recomienda dar prioridad al uso de software libre.

Realizar un estudio sobre el lenguaje de programación, tanto de Arduino IDE, como de NEXTION IDE, ya que los dos al estar basados en el lenguaje de programación C, tienen varias similitudes, pero de igual manera tienen diferentes librerías y métodos de programación, al conocer estas librerías y métodos se puede llegar a obtener mejores resultados en menor tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adafruit. (26 de Octubre de 2018). *Adafruit*. Obtenido de NEXTION información: <https://www.adafruit.com/product/1947>
- Alvarez, C. (2016). *Teoría frente a práctica educativa: algunos problemas y propuestas de solución*. México: scielo.org.mx.
- Ballesteros Martín., M. D. (2014). *Uso de programas de simulación para promover la pedagogía activa en la docencia*. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla: International Journal of Education Research and Innovation. Recuperado el 02 de 09 de 2018, de <http://www.upo.es/revistas/index.php/IJERI>
- CACES. (2018). *Modelo de evaluación institucional de Universidades y Escuelas Politécnicas 2018*. Quito: CACES.
- Cano, M. (2014). La evaluación por competencias en la educación superior. *Revista de currículum y formación de profesorado*, 1-16.
- Dirección de Acreditación de Universidades y Escuelas Politécnicas. (2015). *Informe General sobre la Evaluación, Acreditación y Categorización de las Universidades y Escuelas Politécnicas*. Ecuador: CACES.
- Fajardo Ávila, J. S. (2016). *Normas ASTM aplicadas a la fundición*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía. (2014). *Metalografía*. España: Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía.
- Fernández Alarcon, V. (2016). *Desarrollo de sistemas de información: Una metodología basada en el modelado*. Barcelona: Ediciones de la Universitat Politecnica de Catalunya, SL.
- FUNDINOX Chile S.A. (2016). *Fundición nodular*. Chile: San Bernardo.
- Gómez Gallardo, L. M., & Macedo Buleje, J. C. (2016). *Importancia de las TIC en la educación básica regular*. Perú: Investigación Educativa.
- Guerra Rodríguez, D. (2014). *El modelo educativo de las IES para el nuevo milenio*. Mazatlán: Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. Obtenido de http://publicaciones.anui.es.mx/pdfs/revista/Revista109_S3A4ES.pdf
- Gutiérrez, R. (2016). *Metalografía*. Argentina: Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/6750/Resumen%20Fundiciones%20de%20hierro.pdf>

- Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual*. (2014). Obtenido de <https://www.propiedadintelectual.gob.ec/>
- ITEAD. (Agosto de 2017). *itead.cc*. Obtenido de NX4827T043: <https://www.itead.cc/wiki/NX4827T043>
- Lyman, T. (2014). *Metals Handbook*^o. USA: American Society for Metals (ASM).
- Mantilla Guerra, A. R., & Mantilla Mantilla, W. A. (2018). *Tecnología de fundición*. Quito: Mantilla Guerra, Aníbal Rubén.
- Manual.altova.com. (2017). *Altova UModel 2018: Manual del usuario*. Obtenido de http://manual.altova.com/es/UModel/umodelenterprise/index.html?umparametric_diagramsys.htm
- Marín Martín, F. J. (2016). *Comunicaciones asíncronas (UART's)*. España: Departamento de Electrónica, Universidad de Malaga.
- Merino, J. (2018). El profesor universitario en la Sociedad. *Revista Espacio y Tiempo: Revista de Ciencias Humanas* 22, 213-231.
- Ministerio de Educación. (2016). Obtenido de Importancia del uso de material didáctico: <https://educacion.gob.ec/tips-de-uso/>
- NaylampMechatronics.com. (2017). Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/40-modulo-pl2303-convertidor-usb-a-ttl-.html>
- Ogata, K. (2014). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Pearson, Prentice Hall.
- Pony Multimedia. (2017). Obtenido de Battery Pack D-37.
- Presidencia de la Republica. (2010). *Ley Orgánica de Educación Superior, LOES*. Ecuador.
- Rodríguez Galbarro, H. (2012). *IngeMecanica*. Obtenido de Estudio y Clasificación: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn108.html>
- Rosique, R. (2014). *Un asomo a la Educación y Web 1.0, 2.0 y 3.0*. California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Ruiz, M. (2017). La educación 3.0. En M. Ruiz, *Reflexión Académica en Diseño y Comunicación N°XXX* (págs. 157-159). Argentina: Universidad de Palermo.
- SainSmart. (Julio de 2017). *SainSmart Power to the makers*. Obtenido de <https://www.sainsmart.com/products/3-2-tft-lcd-touch-screen-with-sd-slot?refSrc=11091765460&nosto=customers-also-bought#shopify-product-reviews>
- SoloStocks. (07 de Julio de 2015). *SoloStocks.com*. Obtenido de <https://www.solostocks.com.co/venta-productos/otros-instrumentos-analisis-medicion/equipo-didactico-mesa-de-fuerzas-891144>

- Texas Instruments. (Enero de 2016). *Data Sheet*. Obtenido de L293 - L293D.
- TodoColección. (01 de Agosto de 2018). *Marca comercial de Zoconet, S.L.* Obtenido de Todo Colección:
<https://www.todocoleccion.net/antiguedades/cartagena-murcia-libreria-prem-s-disco-geografico-espana-diametro-13-cm~x122926943>
- Universidad Autónoma de Madrid. (2014). *Aceros: Aleaciones Hierro-Carbono*. España: UAM.
- Universidad Internacional de Valencia. (09 de Abril de 2015). Obtenido de Cómo estudiar mejor: didáctica del aprendizaje en adultos:
<https://www.universidadviu.es/como-estudiar-mejor-didactica-del-aprendizaje-en-adultos/>
- Universidad Tecnológica de Pereira. (2014). *Diagrama Hierro-Carbono*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/5-diagrama-hierro-carbono/>
- VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik. (2004). *Design methodology for mechatronic systems*. Dusseldorf: VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung.
- Карпович, М. В., & Александрович, М. К. (2016). *Rusia Patente nº RU0002636020*.

ANEXOS

ANEXO 1
PLANOS

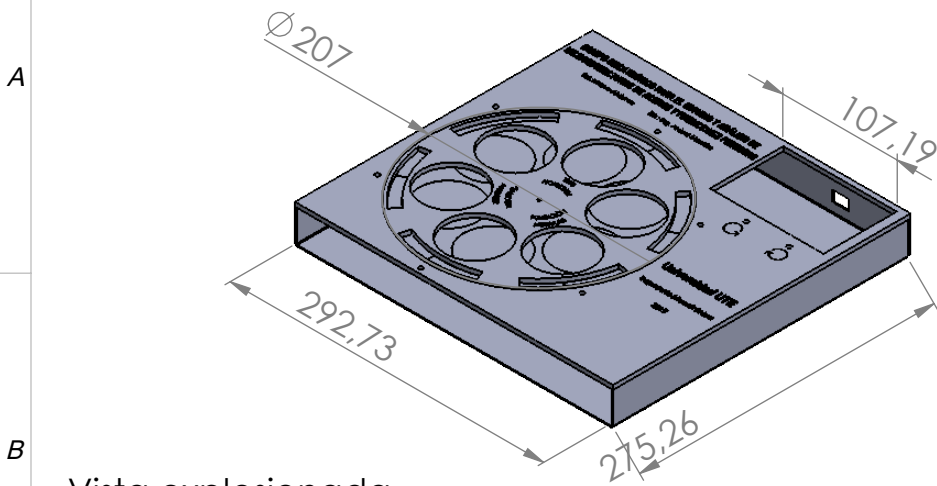
1

2

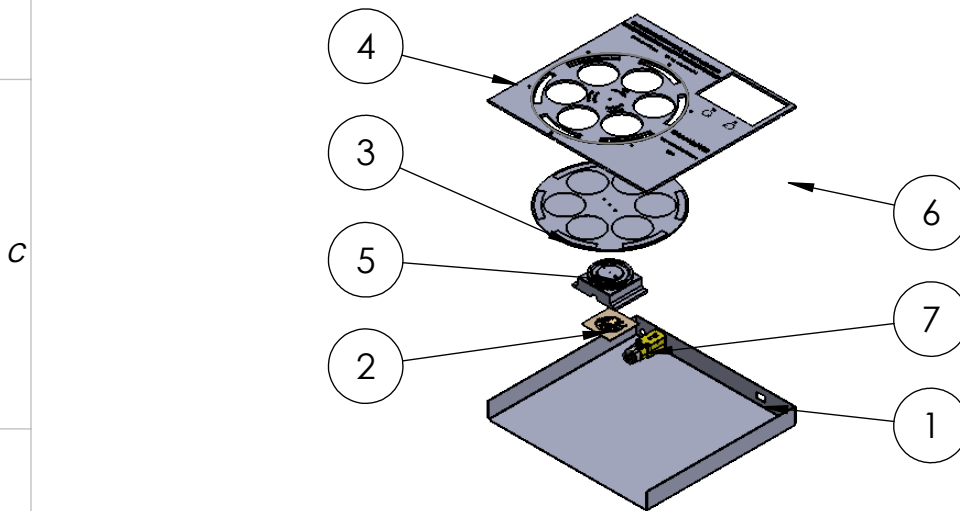
3

4

Vista isométrica



Vista explosionada



N.º	N.º DE PIEZA	CANT.
1	Estructura chapa metalica	1
2	Circuito detector de posición	1
3	Disco inferior (móvil)	1
4	Cobertura	1
5	Estructura del detector de posición	1
6	Nextion 4.3 inch	1
7	Motor DC	1

TOLERANCIA:

PESO [Kg]:

MATERIAL:

 ± 0.1

VARIOS

Fecha

Nombre

Dibujado 04/04/2019

Marco A.

Revisado

Aprobado

FIRMA / EMPRESA:



DIBUJO N.º:

ANEXO 1

ESCALA:

1:10

HOJA:

A4

Edición Modificación Fecha Nombre

1

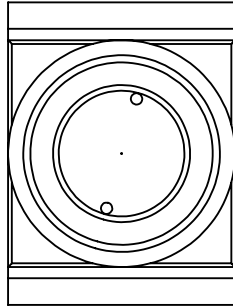
2

3

4

A

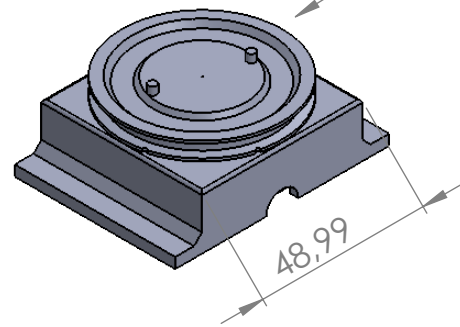
Vista superior



B

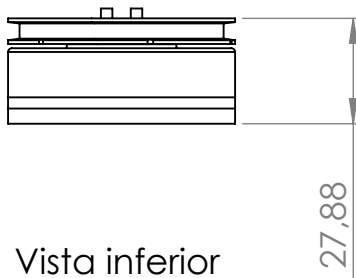
Vista isométrica

R VERDADERO30

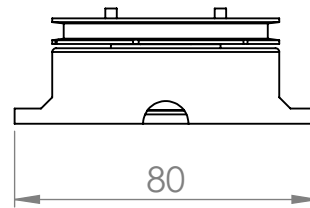


C

Vista lateral

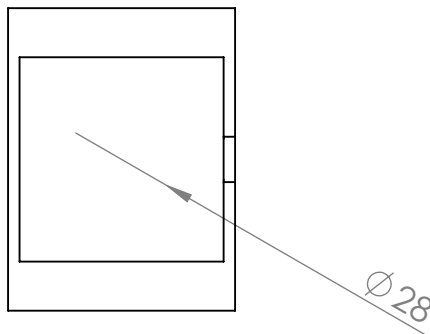


Vista lateral




D

Vista inferior

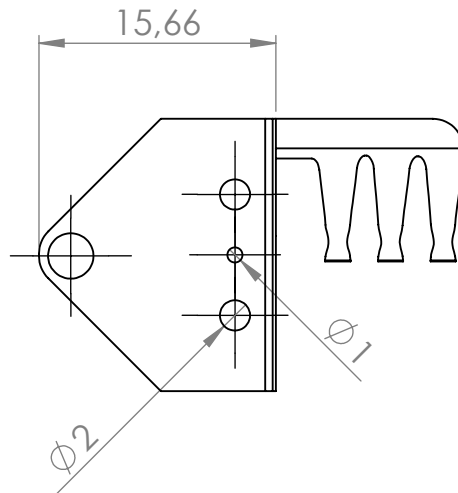


E

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1		VARIOS	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	04/04/2019	Marco A.	1:2
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
						ANEXO 2	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

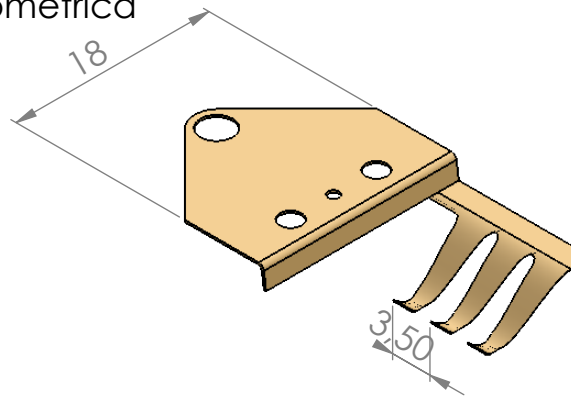
A

Vista superior



B

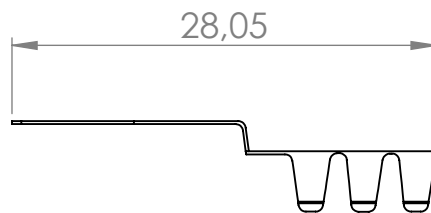
Vista isométrica



C

D

Vista lateral



E

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1		Cobre	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	04/04/2019	Marco A.	21
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
						ANEXO 3	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	