



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROTOTIPADO DE UN SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN EN UNA  
SILLA DE RUEDAS CON LA INSERCIÓN DE RECURSOS PARA  
CONTROL Y MONITOREO REMOTO USANDO IoT”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA INDUSTRIAL**

**AUTORA:**

**JENY MARIBEL SANGUCHO SAQUINGA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROTOTIPADO DE UN SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN EN UNA  
SILLA DE RUEDAS CON LA INSERCIÓN DE RECURSOS PARA  
CONTROL Y MONITOREO REMOTO USANDO IoT”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA INDUSTRIAL**

**AUTORA: JENY MARIBEL SANGUCHO SAQUINGA**

**DIRECTOR: ING. EDUARDO FRANCISCO GARCÍA CABEZAS**

Riobamba – Ecuador

2023

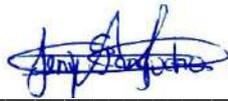
**©2023, Jeny Maribel Sangucho Saquina**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jeny Maribel Sangucho Saquina, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de diciembre de 2023



---

**Jeny Maribel Sangucho Saquina**

**180505080-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Propuesta Tecnológica, **“PROTOTIPADO DE UN SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN EN UNA SILLA DE RUEDAS CON LA INSERCIÓN DE RECURSOS PARA CONTROL Y MONITOREO REMOTO USANDO IoT”**, realizado por la señorita: **JENY MARIBEL SANGUCHO SAQUINGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Miguel Ángel Pérez Bayas  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2023-12-20

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-12-20

Ing. Julio César Moyano Alulema  
**ASESOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-12-20

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por guiar mi camino a lo largo de toda mi carrera profesional, a mis padres Anibal Sangucho y Martha Saquinga quienes fueron el pilar fundamental en mi vida académica, con mi más profundo amor y cariño esto es por ellos, ya que confiaron en mis capacidades y me motivaron a seguir adelante a pesar de las circunstancias que se presentaron en el trayecto apoyándome en toda mi educación superior, a mi hermana Vanessa Sangucho quien es mi angelito en el cielo y siempre la llevare dentro de mi corazón, a mi hermano Javier Sangucho por brindarme su cariño, su ayuda incondicional y su paciencia en cada favor que necesite. A mi mejor amiga Jeniffer Guanga por estar ahí en todo momento alentándome a seguir adelante y brindándome una mano para no rendirme.

*Jeny Sangucho*

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincera gratitud a mis queridos padres Anibal y Martha ya que sin ellos nada hubiese sido posible, gracias por ese esfuerzo sobrehumano, por su apoyo en todos los sentidos, por su cariño y confianza en mí, fueron mi motor para seguir adelante y cumplir hoy esta meta tan soñada. A mi hermano Javier por su cariño, por esas veces que necesite su ayuda y no me abandono en ningún momento.

Al Ing. Luis Allauca por brindarme esa ayuda incondicional, su tiempo, paciencia y su amistad durante todo este trayecto. A mi prima Mayra Toapanta que estando en una ciudad lejos de casa ella se convirtió en una hermana y me brindo su compañía y apoyo en cada momento que lo necesite. A mi novio Jefferson Camacho quien estuvo conmigo durante toda mi carrera desde el primer día, brindándome su apoyo, amor y sobre todo su comprensión y ayuda en todos los momentos difíciles que pase. A toda mi familia que en algún momento me brindaron una palabra de aliento, en especial a mis abuelitos y a mi tía Rosa por siempre preocuparse por mi bienestar, a mis primos Viviana y Alexis por cada palabra de ánimo que me brindaron y estar ahí en cada momento especial. A mis amigos los cuales fueron mi segunda familia en Riobamba.

Finalmente, un sincero agradecimiento a mi apreciada Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al director y al asesor del presente trabajo de titulación con esa vocación para enseñar y por todo el conocimiento que me aportaron a lo largo del desarrollo de esta tesis.

*Jeny Sangucho*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS .....        | xiii  |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... | xv    |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....        | xviii |
| RESUMEN .....                 | xix   |
| SUMMARY .....                 | xx    |
| INTRODUCCIÓN .....            | 1     |

### CAPÍTULO I

|        |                                    |   |
|--------|------------------------------------|---|
| 1.     | DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....     | 2 |
| 1.1.   | Planteamiento del problema .....   | 2 |
| 1.2.   | Justificación .....                | 2 |
| 1.3.   | Objetivos .....                    | 4 |
| 1.3.1. | <i>Objetivo General</i> .....      | 4 |
| 1.3.2. | <i>Objetivos Específicos</i> ..... | 4 |

### CAPÍTULO II

|          |  |   |
|----------|--|---|
| 2.       | MARCO TEÓRICO .....                              | 5 |
| 2.1.     | Antecedentes de investigación .....              | 5 |
| 2.2.     | Referencias Teóricas .....                       | 7 |
| 2.2.1.   | <i>Bipedestación</i> .....                       | 7 |
| 2.2.2.   | <i>Características de la bipedestación</i> ..... | 7 |
| 2.2.2.1. | <i>Posición Corporal</i> .....                   | 7 |
| 2.2.2.2. | <i>Equilibrio</i> .....                          | 8 |
| 2.2.2.3. | <i>Posición bípeda estática</i> .....            | 8 |
| 2.2.3.   | <i>Caracterización de la bipedestación</i> ..... | 9 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 2.2.4.    | <i>Beneficios de la bipedestación</i> .....                  | 9  |
| 2.2.5.    | <i>Bipedestador</i> .....                                    | 10 |
| 2.2.6.    | <i>Mecanismo bipedestador</i> .....                          | 11 |
| 2.2.7.    | <i>Tipos de bipedestadores</i> .....                         | 11 |
| 2.2.7.1.  | <i>Bipedestador dinámico</i> .....                           | 11 |
| 2.2.7.2.  | <i>Bipedestador supino</i> .....                             | 11 |
| 2.2.7.3.  | <i>Bipedestador prono</i> .....                              | 12 |
| 2.2.8.    | <i>Componentes de un bipedestador</i> .....                  | 12 |
| 2.2.9.    | <i>Silla de ruedas bipedestadora</i> .....                   | 13 |
| 2.2.10.   | <i>Beneficios de una silla de ruedas bipedestadora</i> ..... | 13 |
| 2.2.11.   | <i>Partes de una silla de ruedas bipedestadora</i> .....     | 14 |
| 2.2.12.   | <i>Internet de las cosas (IoT)</i> .....                     | 16 |
| 2.2.13.   | <i>Aplicaciones del IoT</i> .....                            | 16 |
| 2.2.14.   | <i>Plataformas de IoT</i> .....                              | 17 |
| 2.2.14.1. | <i>Ubidots</i> .....   | 17 |
| 2.2.14.2. | <i>Thing Speak</i> .....                                     | 18 |
| 2.2.14.3. | <i>Kaa Iot Platform</i> .....                                | 18 |
| 2.2.14.4. | <i>Zatar</i> .....   | 18 |
| 2.2.15.   | <i>Sistema automatizado</i> .....                            | 18 |
| 2.2.16.   | <i>Sistema de control</i> .....                              | 19 |
| 2.2.17.   | <i>Actuadores</i> .....                                      | 19 |
| 2.2.18.   | <i>Motor eléctrico</i> .....                                 | 19 |
| 2.2.19.   | <i>Actuador lineal</i> .....                                 | 20 |
| 2.2.20.   | <i>Batería</i> .....   | 20 |
| 2.2.21.   | <i>Sensores</i> .....  | 20 |

### CAPÍTULO III

|      |                                 |    |
|------|---------------------------------|----|
| 3.   | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> ..... | 22 |
| 3.1. | <b>Tipo de estudio</b> .....    | 22 |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>3.2.</b>      | <b>Tipo de investigación</b> .....  | 22 |
| <b>3.2.1.</b>    | <i>Investigación Documental</i> .....   | 22 |
| <b>3.2.2.</b>    | <i>Investigación Descriptiva</i> .....  | 22 |
| <b>3.2.3.</b>    | <i>Investigación Aplicada</i> .....   | 23 |
| <b>3.3.</b>      | <b>Metodología</b> .....  | 23 |
| <b>3.3.1.</b>    | <i>Método deductivo</i> .....   | 23 |
| <b>3.4.</b>      | <b>Técnicas de procesamiento de datos</b> .....   | 23 |
| <b>3.5.</b>      | <b>Parámetros de diseño del sistema</b> .....   | 23 |
| <b>3.5.1.</b>    | <i>Requerimientos del prototipo</i> .....   | 24 |
| <b>3.6.</b>      | <b>Arquitectura del prototipo</b> .....   | 24 |
| <b>3.6.1.</b>    | <i>Criterios de diseño del prototipo</i> .....  | 26 |
| <b>3.6.1.1.</b>  | <i>Etapa 1: Energización</i> .....  | 26 |
| <b>3.6.1.2.</b>  | <i>Etapa 2: Adquisición y control</i> .....   | 27 |
| <b>3.6.1.3.</b>  | <i>Etapa 3: Monitoreo IoT</i> .....   | 27 |
| <b>3.6.2.</b>    | <i>Consolidación del funcionamiento esperado del prototipo</i> .....                    | 27 |
| <b>3.7.</b>      | <b>Diseño del prototipo de la silla de ruedas con un sistema de bipedestación</b> ..... | 28 |
| <b>3.7.1.</b>    | <i>Diagrama del proceso del prototipo</i> .....   | 28 |
| <b>3.8.</b>      | <b>Diseño CAD estructural del prototipo</b> .....                                       | 29 |
| <b>3.8.1.</b>    | <i>Primera etapa de diseño</i> .....  | 29 |
| <b>3.8.2.</b>    | <i>Segunda etapa de diseño</i> .....  | 31 |
| <b>3.8.3.</b>    | <i>Etapa final de diseño</i> .....  | 32 |
| <b>3.9.</b>      | <b>Diseño de los sistemas de transmisión</b> .....                                      | 32 |
| <b>3.9.1.</b>    | <i>Diseño del sistema de bipedestación</i> .....  | 32 |
| <b>3.9.2.</b>    | <i>Diseño del sistema motorizado de ruedas</i> .....                                    | 34 |
| <b>3.10.</b>     | <b>Análisis estático estructural</b> .....  | 36 |
| <b>3.10.1.</b>   | <i>Caso 1: con la persona sentada</i> .....   | 36 |
| <b>3.10.1.1.</b> | <i>Mallado caso 1</i> .....   | 36 |
| <b>3.10.2.</b>   | <i>Caso 2: con la persona parada</i> .....  | 39 |
| <b>3.10.2.1.</b> | <i>Mallado caso 2</i> .....   | 39 |

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>3.11.</b>      | <b>Selección de hardware</b> .....  | 41 |
| <b>3.11.1.</b>    | <i>Módulo de procesamiento</i> .....  | 41 |
| <b>3.11.2.</b>    | <i>Tarjeta de interfaz</i> .....  | 43 |
| <b>3.11.3.</b>    | <i>Actuador lineal</i> .....  | 44 |
| <b>3.11.4.</b>    | <i>Fuente de energía</i> .....  | 45 |
| <b>3.11.5.</b>    | <i>Motor</i> .....  | 46 |
| <b>3.11.6.</b>    | <i>Pantalla</i> .....   | 47 |
| <b>3.11.7.</b>    | <i>Mandos de control</i> .....  | 48 |
| <b>3.12.</b>      | <b>Conexión de los componentes eléctricos y electrónicos de la silla</b> .....      | 49 |
| <b>3.13.</b>      | <b>Diseño de la placa electrónica del prototipo</b> .....                           | 50 |
| <b>3.13.1.</b>    | <i>Diseño Esquemático de la placa electrónica</i> .....                             | 50 |
| <b>3.13.2.</b>    | <i>Diseño PCB de la placa electrónica</i> .....                                     | 51 |
| <b>3.14.</b>      | <b>Construcción del prototipo de silla bipedestadora</b> .....                      | 52 |
| <b>3.14.1.</b>    | <i>Construcción de la base principal de la silla de ruedas</i> .....                | 52 |
| <b>3.14.2.</b>    | <i>Construcción del asiento móvil del prototipo</i> .....                           | 53 |
| <b>3.14.3.</b>    | <i>Construcción del espaldar del prototipo</i> .....                                | 53 |
| <b>3.14.4.</b>    | <i>Construcción del sistema de bipedestación</i> .....                              | 54 |
| <b>3.14.5.</b>    | <i>Fijación de los ángulos de bipedestación y ubicación de los actuadores</i> ..... | 54 |
| <b>3.14.6.</b>    | <i>Modificación y adaptación de las ruedas a la silla</i> .....                     | 55 |
| <b>3.14.7.</b>    | <i>Pintado de la parte estructural del prototipo</i> .....                          | 56 |
| <b>3.14.8.</b>    | <i>Adaptación de ruedas móviles delanteras y posteriores</i> .....                  | 56 |
| <b>3.14.9.</b>    | <i>Construcción de cajas metálicas para los componentes electrónicos</i> .....      | 57 |
| <b>3.14.10.</b>   | <i>Construcción de la placa electrónica del prototipo</i> .....                     | 58 |
| <b>3.14.10.1.</b> | <i>Impresión del diseño y limpieza de la placa</i> .....                            | 58 |
| <b>3.14.10.2.</b> | <i>Transferencia térmica y adecuación del diseño</i> .....                          | 58 |
| <b>3.14.10.3.</b> | <i>Curado del diseño en placa</i> .....   | 59 |
| <b>3.14.10.4.</b> | <i>Adecuación y soldadura de los componentes</i> .....                              | 59 |
| <b>3.14.10.5.</b> | <i>Montaje de componentes</i> .....   | 60 |
| <b>3.14.11.</b>   | <i>Conexión de los componentes en el prototipo</i> .....                            | 60 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 3.14.12.   | <i>Despliegue del prototipo</i> .....                               | 62 |
| 3.15.      | <b>Programación del prototipo</b> .....                             | 62 |
| 3.15.1.    | <i>Interfaz Gráfica del prototipo</i> .....                         | 63 |
| 3.15.1.1.  | <i>Algoritmo de programación de la interfaz gráfica</i> .....       | 64 |
| 3.15.2.    | <b>Configuración de la plataforma IOT</b> .....                     | 66 |
| 3.15.2.1.  | <i>Creación de la cuenta</i> .....                                  | 67 |
| 3.15.2.2.  | <i>Obtención del código APIKey</i> .....                            | 68 |
| 3.15.2.3.  | <i>Creación de un nuevo dispositivo</i> .....                       | 68 |
| 3.15.2.4.  | <i>Configuración del Dashboard</i> .....                            | 71 |
| 3.15.3.    | <b>Programación del módulo de procesamiento</b> .....               | 73 |
| 3.15.3.1.  | <i>Algoritmo de programación del módulo de procesamiento</i> .....  | 73 |
| 3.15.3.2.  | <i>Importación de librerías</i> .....                               | 74 |
| 3.15.3.3.  | <i>Inicialización de comunicación serial y plataforma IOT</i> ..... | 75 |
| 3.15.3.4.  | <i>Declaración de variables de control y tiempo</i> .....           | 75 |
| 3.15.3.5.  | <i>Lectura del puerto serial</i> .....                              | 76 |
| 3.15.3.6.  | <i>Verificación accionamiento de botones</i> .....                  | 76 |
| 3.15.3.7.  | <i>Envío a plataforma IOT</i> .....                                 | 77 |
| 3.15.3.8.  | <i>Control de accionamiento de bipedestación</i> .....              | 77 |
| 3.15.3.9.  | <i>Tipo de control y control de funcionamiento</i> .....            | 77 |
| 3.15.3.10. | <i>Visualización de información</i> .....                           | 78 |
| 3.15.3.11. | <i>Actualización de la interfaz gráfica</i> .....                   | 78 |

## CAPÍTULO IV

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.     | <b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> ..... | 79 |
| 4.1.   | <b>Análisis y discusión de resultados</b> .....               | 79 |
| 4.1.1. | <i>Validación del análisis estructural</i> .....              | 79 |
| 4.1.2. | <i>Tiempo de desplazamiento del actuador lineal</i> .....     | 81 |
| 4.1.3. | <i>Recorrido del actuador lineal</i> .....                    | 85 |
| 4.1.4. | <i>Grados de bipedestación</i> .....                          | 86 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.1.5. | <i>Sistema de seguridad</i> .....                    | 89 |
| 4.1.6. | <i>Consumo energético del prototipo</i> .....        | 89 |
| 4.1.7. | <i>Prueba de latencia en la plataforma IOT</i> ..... | 94 |
| 4.2.   | <b>Propuesta</b> .....                               | 95 |
| 4.2.1. | <i>Estrategias</i> .....                             | 96 |
| 4.2.2. | <i>Beneficios</i> .....                              | 96 |

## **CAPÍTULO V**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.     | <b>GESTIÓN DEL PROYECTO</b> .....               | 97 |
| 5.1.   | <b>Cronograma de actividades</b> .....          | 97 |
| 5.2.   | <b>Costos de la propuesta tecnológica</b> ..... | 97 |
| 5.2.1. | <i>Costos directos</i> .....                    | 97 |
| 5.2.2. | <i>Costos indirectos</i> .....                  | 98 |
| 5.2.3. | <i>Costos totales</i> .....                     | 98 |
| 5.2.4. | <i>Recurso humano</i> .....                     | 99 |
| 5.2.5. | <i>Recurso material</i> .....                   | 99 |

## **CAPÍTULO VI**

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.   | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> ..... | 100 |
| 6.1. | <b>Conclusiones</b> .....                   | 100 |
| 6.2. | <b>Recomendaciones</b> .....                | 102 |

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabla 3-1:</b>  | Cargas que intervienen con la persona sentada .....                 | 36 |
| <b>Tabla 3-2:</b>  | Resultado del estudio de tensiones – Caso 1 .....                   | 37 |
| <b>Tabla 3-3:</b>  | Resultado del estudio de desplazamientos – Caso 1.....              | 38 |
| <b>Tabla 3-4:</b>  | Resultado del factor de seguridad – Caso 1 .....                    | 38 |
| <b>Tabla 3-5:</b>  | Cargas que intervienen con la persona parada.....                   | 39 |
| <b>Tabla 3-6:</b>  | Resultado del estudio de tensiones – Caso 2.....                    | 40 |
| <b>Tabla 3-7:</b>  | Resultado del estudio de desplazamientos – Caso 1.....              | 40 |
| <b>Tabla 3-8:</b>  | Resultado del factor de seguridad – Caso 1 .....                    | 41 |
| <b>Tabla 3-9:</b>  | Especificaciones de los módulos de procesamiento .....              | 42 |
| <b>Tabla 3-10:</b> | Especificaciones técnicas de las tarjetas de interfaz.....          | 43 |
| <b>Tabla 3-11:</b> | Especificaciones técnicas de los actuadores lineales.....           | 45 |
| <b>Tabla 3-12:</b> | Especificaciones técnicas de las fuentes de energía .....           | 45 |
| <b>Tabla 3-13:</b> | Especificaciones de los motores.....                                | 46 |
| <b>Tabla 3-14:</b> | Especificaciones de la pantalla.....                                | 47 |
| <b>Tabla 3-15:</b> | Especificaciones de los tipos de interruptores .....                | 48 |
| <b>Tabla 3-16:</b> | Tabla de conexiones a la tarjeta de interfaz.....                   | 50 |
| <b>Tabla 4-1:</b>  | Validación del resultado del estudio de tensiones. ....             | 79 |
| <b>Tabla 4-2:</b>  | Validación del resultado del estudio de desplazamientos.....        | 80 |
| <b>Tabla 4-3:</b>  | Validación del resultado del factor de seguridad.....               | 80 |
| <b>Tabla 4-4:</b>  | Tiempo de ejecución de bipedestación sin peso.....                  | 81 |
| <b>Tabla 4-5:</b>  | Datos de peso y estatura de personas de prueba. ....                | 82 |
| <b>Tabla 4-6:</b>  | Tiempo de ejecución de bipedestación con persona 1 de 50 Kg. ....   | 82 |
| <b>Tabla 4-7:</b>  | Tiempo de ejecución de bipedestación con persona 2 de 60 Kg. ....   | 83 |
| <b>Tabla 4-8:</b>  | Tiempo de ejecución de bipedestación con persona 3 de 70 Kg. ....   | 84 |
| <b>Tabla 4-9:</b>  | Resultados de tiempos promedios de bipedestación según el peso..... | 84 |
| <b>Tabla 4-10:</b> | Recorrido del actuador en bipedestación sin peso. ....              | 86 |
| <b>Tabla 4-11:</b> | Recorrido del actuador en bipedestación con peso de 70 Kg. ....     | 86 |
| <b>Tabla 4-12:</b> | Grados de bipedestación sin peso. ....                              | 88 |
| <b>Tabla 4-13:</b> | Grados de bipedestación con peso de 80 Kg. ....                     | 88 |
| <b>Tabla 4-14:</b> | Consumo eléctrico nominal de las cargas del prototipo. ....         | 90 |
| <b>Tabla 4-15:</b> | Consumo energía fase inicial del prototipo. ....                    | 90 |
| <b>Tabla 4-16:</b> | Consumo energía fase encendido del prototipo.....                   | 91 |
| <b>Tabla 4-17:</b> | Consumo energía bipedestación del prototipo sin peso.....           | 91 |
| <b>Tabla 4-18:</b> | Consumo energía bipedestación del prototipo con peso de 70 kg. .... | 92 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 4-19:</b> Consumo energía motores del prototipo sin peso.....                         | 92 |
| <b>Tabla 4-20:</b> Consumo energía motores del prototipo con peso de 70 kg. ....               | 93 |
| <b>Tabla 4-21:</b> Prueba de latencia publicación de datos en Udibots.....                     | 94 |
| <b>Tabla 5-1:</b> Cronograma de actividades para el desarrollo del trabajo de titulación ..... | 97 |
| <b>Tabla 5-2:</b> Costos directos del prototipado de un sistema de bipedestación .....         | 98 |
| <b>Tabla 5-3:</b> Costos indirectos del prototipado de un sistema de bipedestación .....       | 98 |
| <b>Tabla 5-4:</b> Costos totales del prototipado del sistema de bipedestación .....            | 98 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                          |  |    |
|--------------------------|--|----|
| <b>Ilustración 2-1:</b>  | Posición bípeda estática.....                                | 8  |
| <b>Ilustración 2-2:</b>  | Biomecánica de la bipedestación.....                         | 9  |
| <b>Ilustración 2-3:</b>  | Beneficios de la bipedestación .....                         | 10 |
| <b>Ilustración 2-4:</b>  | Bipedestador.....  | 10 |
| <b>Ilustración 2-5:</b>  | Bipedestador dinámico .....                                  | 11 |
| <b>Ilustración 2-6:</b>  | Bipedestador supino .....                                    | 12 |
| <b>Ilustración 2-7:</b>  | Bipedestador prono .....                                     | 12 |
| <b>Ilustración 2-8:</b>  | Silla de ruedas bipedestadora .....                          | 13 |
| <b>Ilustración 2-9:</b>  | Armazón.....   | 14 |
| <b>Ilustración 2-10:</b> | Asiento y espaldar .....                                     | 15 |
| <b>Ilustración 2-11:</b> | Llantas de la silla de ruedas bipedestadora .....            | 15 |
| <b>Ilustración 2-12:</b> | Accesorios de seguridad .....                                | 16 |
| <b>Ilustración 2-13:</b> | Actuador lineal .....  | 20 |
| <b>Ilustración 2-14:</b> | Batería .....  | 20 |
| <b>Ilustración 2-15:</b> | Tipos de sensores .....                                      | 21 |
| <b>Ilustración 3-1:</b>  | Arquitectura del prototipo .....                             | 25 |
| <b>Ilustración 3-2:</b>  | Consolidación del prototipo .....                            | 27 |
| <b>Ilustración 3-3:</b>  | Diagrama del proceso para el desarrollo del prototipo .....  | 28 |
| <b>Ilustración 3-4:</b>  | Características de la silla de ruedas KD Premium .....       | 29 |
| <b>Ilustración 3-5:</b>  | Elementos de análisis sistema de bipedestación .....         | 30 |
| <b>Ilustración 3-6:</b>  | Diagrama de posición de los eslabones de bipedestación. .... | 30 |
| <b>Ilustración 3-7:</b>  | Silla de ruedas adaptado el sistema de bipedestación. ....   | 31 |
| <b>Ilustración 3-8:</b>  | Sistema electromecánico motorizado de ruedas. ....           | 31 |
| <b>Ilustración 3-9:</b>  | Diseño CAD final del prototipo.....                          | 32 |
| <b>Ilustración 3-10:</b> | Análisis sistema de bipedestación .....                      | 33 |
| <b>Ilustración 3-11:</b> | Análisis sistema motorizado de ruedas .....                  | 34 |
| <b>Ilustración 3-12:</b> | Mallado Caso 1 .....   | 37 |
| <b>Ilustración 3-13:</b> | Mallado Caso 2 .....   | 39 |
| <b>Ilustración 3-14:</b> | Módulos de procesamiento.....                                | 42 |
| <b>Ilustración 3-15:</b> | Tarjetas de interfaz .....                                   | 43 |
| <b>Ilustración 3-16:</b> | Tipos de actuadores lineales .....                           | 44 |
| <b>Ilustración 3-17:</b> | Fuentes de energía.....                                      | 45 |
| <b>Ilustración 3-18:</b> | Tipos de motores .....                                       | 46 |
| <b>Ilustración 3-19:</b> | Tipos de pantallas .....                                     | 47 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 3-20:</b> Interruptores .....   | 48 |
| <b>Ilustración 3-21:</b> Esquema de conexión de la silla bipedestadora .....                 | 49 |
| <b>Ilustración 3-22:</b> Esquemático de la placa electrónica .....                           | 51 |
| <b>Ilustración 3-23:</b> Diseño de la placa electrónica PCB .....                            | 51 |
| <b>Ilustración 3-24:</b> Máscara de componentes PCB .....                                    | 52 |
| <b>Ilustración 3-25:</b> Construcción de la base principal del prototipo .....               | 53 |
| <b>Ilustración 3-26:</b> Construcción del asiento móvil del prototipo .....                  | 53 |
| <b>Ilustración 3-27:</b> Construcción del espaldar del prototipo .....                       | 54 |
| <b>Ilustración 3-28:</b> Construcción del sistema de bipedestación.....                      | 54 |
| <b>Ilustración 3-29:</b> Fijación de los ángulos y ubicación de los actuadores .....         | 55 |
| <b>Ilustración 3-30:</b> Adaptación de las ruedas al prototipo.....                          | 55 |
| <b>Ilustración 3-31:</b> Pintado de la parte estructural del prototipo .....                 | 56 |
| <b>Ilustración 3-32:</b> Adaptación de ruedas móviles delanteras y posteriores .....         | 57 |
| <b>Ilustración 3-33:</b> Construcción de las cajas metálicas .....                           | 57 |
| <b>Ilustración 3-34:</b> Impresión y limpieza de placa electrónica.....                      | 58 |
| <b>Ilustración 3-35:</b> Transferencia y adecuación de la placa electrónica .....            | 59 |
| <b>Ilustración 3-36:</b> Curado de la placa electrónica.....                                 | 59 |
| <b>Ilustración 3-37:</b> Adecuación y soldadura de componentes de la placa electrónica ..... | 60 |
| <b>Ilustración 3-38:</b> Montaje de componentes en la placa electrónica .....                | 60 |
| <b>Ilustración 3-39:</b> Adecuación gabinete de componentes .....                            | 61 |
| <b>Ilustración 3-40:</b> Ubicación de componentes en el prototipo.....                       | 61 |
| <b>Ilustración 3-41:</b> Cableado de los componentes del prototipo .....                     | 62 |
| <b>Ilustración 3-42:</b> Prototipo desplegado .....  | 62 |
| <b>Ilustración 3-43:</b> Bosquejo de la interfaz gráfica .....                               | 63 |
| <b>Ilustración 3-44:</b> Diagrama de programación de la interfaz gráfica .....               | 64 |
| <b>Ilustración 3-45:</b> Importación de librerías para la programación de la interfaz .....  | 65 |
| <b>Ilustración 3-46:</b> Configuración inicial de la interfaz .....                          | 65 |
| <b>Ilustración 3-47:</b> Impresión de textos y valor de variables .....                      | 66 |
| <b>Ilustración 3-48:</b> Interfaz gráfica del prototipo programada .....                     | 66 |
| <b>Ilustración 3-49:</b> Página de la plataforma IOT Udibots .....                           | 67 |
| <b>Ilustración 3-50:</b> Creación de cuenta gratuita en Udibots .....                        | 67 |
| <b>Ilustración 3-51:</b> Confirmación de la creación de cuenta en Udibots.....               | 68 |
| <b>Ilustración 3-52:</b> Confirmación de la creación de cuenta en Udibots.....               | 68 |
| <b>Ilustración 3-53:</b> Creación de un dispositivo Raspberry en Udibots .....               | 69 |
| <b>Ilustración 3-54:</b> Código ejemplo creación de un dispositivo Raspberry en Udibots..... | 69 |
| <b>Ilustración 3-55:</b> Código creación dispositivo en Udibots parar el prototipo. ....     | 70 |
| <b>Ilustración 3-56:</b> Dispositivo creado en la plataforma de Udibots. ....                | 70 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 3-57:</b> Creación de un Dashboard de Udibots. ....                            | 71 |
| <b>Ilustración 3-58:</b> Creación de un Widget en Dashboard de Udibots. ....                  | 71 |
| <b>Ilustración 3-59:</b> Creación de un Widget en Dashboard de Udibots. ....                  | 72 |
| <b>Ilustración 3-60:</b> Configuración de aspecto del Widget en Dashboard .....               | 72 |
| <b>Ilustración 3-61:</b> Dashboard creado para el prototipo. ....                             | 72 |
| <b>Ilustración 3-62:</b> Algoritmo del módulo de procesamiento. ....                          | 73 |
| <b>Ilustración 3-63:</b> Importación de librerías para programación. ....                     | 74 |
| <b>Ilustración 3-64:</b> Inicialización comunicación serial y plataforma IOT .....            | 75 |
| <b>Ilustración 3-65:</b> Declaración de variables .....                                       | 75 |
| <b>Ilustración 3-66:</b> Lectura del puerto serial e inicio programa principal .....          | 76 |
| <b>Ilustración 3-67:</b> Verificación de accionamiento de botones .....                       | 76 |
| <b>Ilustración 3-68:</b> Envío a plataforma IOT .....   | 77 |
| <b>Ilustración 3-69:</b> Control de bipedestación .....                                       | 77 |
| <b>Ilustración 3-70:</b> Control de mando y funcionamiento .....                              | 77 |
| <b>Ilustración 3-71:</b> Control de mando y funcionamiento .....                              | 78 |
| <b>Ilustración 3-72:</b> Actualización de la interfaz gráfica .....                           | 78 |
| <b>Ilustración 4-1:</b> Registro de tiempos de subida y bajada sin peso. ....                 | 81 |
| <b>Ilustración 4-2:</b> Registro de tiempos de subida y bajada con peso 50 kg. ....           | 82 |
| <b>Ilustración 4-3:</b> Registro de tiempos de subida y bajada con peso 60 kg. ....           | 83 |
| <b>Ilustración 4-4:</b> Registro de tiempos de subida y bajada con peso 70 kg. ....           | 83 |
| <b>Ilustración 4-5:</b> Tiempos promedios de bipedestación según el peso. ....                | 84 |
| <b>Ilustración 4-6:</b> Medición de recorrido del actuador lineal. ....                       | 85 |
| <b>Ilustración 4-7:</b> Verificación de ángulo de bipedestación de 163° en el prototipo. .... | 87 |
| <b>Ilustración 4-8:</b> Verificación de ángulo de bipedestación de 169° en el prototipo. .... | 87 |
| <b>Ilustración 4-9:</b> Verificación de ángulos de bipedestación con peso de 70 kg. ....      | 88 |
| <b>Ilustración 4-10:</b> Sistema de seguridad del prototipo. ....                             | 89 |
| <b>Ilustración 4-11:</b> Medición consumo fase inicial. ....                                  | 90 |
| <b>Ilustración 4-12:</b> Medición consumo fase encendido. ....                                | 91 |
| <b>Ilustración 4-13:</b> Medición consumo bipedestación sin peso. ....                        | 91 |
| <b>Ilustración 4-14:</b> Medición consumo bipedestación peso 70 kg. ....                      | 92 |
| <b>Ilustración 4-15:</b> Medición consumo motores sin peso. ....                              | 92 |
| <b>Ilustración 4-16:</b> Medición consumo motores peso 70 kg. ....                            | 93 |
| <b>Ilustración 4-17:</b> Estrategias de propuesta .....                                       | 96 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** TABLA DE TALLA Y PESOS PROMEDIO SEGÚN EDAD 9 a 18 AÑOS

**ANEXO B:** TABLA DE PESOS RECOMENDADOS DE ACUERDO A LA ESTATURA

**ANEXO C:** PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

**ANEXO D:** MANUAL DE USUARIO

## RESUMEN

Las personas con problemas de movilidad no cuentan con sillas de ruedas que incorporen un sistema de bipedestación, por la falta de incentivos para su desarrollo y elevado costo de importación provocando que su estado de salud y emocional se deterioren al no tener la capacidad de desarrollar sus actividades de manera autónoma. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue prototipar un sistema de bipedestación en una silla de ruedas con la inserción de recursos para control y monitoreo remoto usando IoT. La metodología implementada tuvo un enfoque deductivo ya que se realizó un estudio del arte para la caracterización de la bipedestación; a través de una investigación exploratoria se caracterizó los requerimientos del prototipo obteniendo un modelo CAD, validado mediante un análisis estático estructural en el programa SolidWorks, siguiendo una metodología estructural se seleccionó los recursos software y hardware para dotar de recursos tecnológicos al prototipo, enseguida se procedió con la construcción de los sistemas mecánicos, electrónicos e implementación de la interfaz visual de la plataforma IoT materializando al prototipo culminando con pruebas de funcionamiento. De los resultados obtenidos, se destacó el potencial impacto del prototipo al incorporar un sistema automático de bipedestación electrónico, logrando un factor de seguridad mínimo de 1,98 lo que valida el diseño para soportar el peso de una persona de hasta 160 cm de altura y 70 Kg de forma segura, un ciclo total de bipedestación de 40 segundos de forma estable alcanzando los grados de bipedestación característicos de 163° y 169°, con un consumo energético de 196,8 W y un 100% de eficacia de publicación de datos en la plataforma IoT. En este contexto se concluye que el prototipo de silla bipedestadora presenta beneficios, siendo la disminución de costos, incorporación de tecnología y funcionamiento seguro en un producto de fabricación nacional.

**Palabras clave:** <PROTOTIPO>, <SILLA DE RUEDAS>, <BIPEDESTACIÓN>, <INTERNET DE LAS COSAS>, <CONTROL AUTOMÁTICO>.



15-01-2024  
0111-DBRA-UPT-2024

## SUMMARY

Due to a lack of incentives for its development and the high cost of importation, people with mobility impairments do not have wheelchairs with standing systems, which deteriorates their mental and physical health because they are unable to engage in activities independently. Therefore, the objective of the present work was to prototype a standing system in a wheelchair with the insertion of resources for remote control and monitoring using IoT. The methodology implemented had a deductive approach since a study of the art was carried out for the characterization of the standing system, through exploratory research, the requirements of the prototype were characterized by obtaining a Computer-Aided Design (CAD) model, validated through a structural static analysis in the SolidWorks program, following a structural methodology the software and hardware resources were selected to provide technological resources to the prototype, then proceeded with the construction of the mechanical and electronic systems and implementation of the visual interface of the IoT platform materializing the prototype culminating with functional tests. From the results obtained, the potential impact of the prototype was highlighted by incorporating an automatic electronic standing system, achieving a minimum safety factor of 1.98 which validates the design to support the weight of a person up to 160 cm tall and 70 kg safely, a total standing cycle of 40 seconds in a stable manner reaching the characteristic standing degrees of  $163^\circ$  and  $169^\circ$ , with an energy consumption of 196.8 W and 100% efficiency of data publication on the IoT platform. In this context, it is concluded that the standing chair prototype offers advantages, including lower costs, technological integration, and safe operation in a product produced domestically.

**Keywords:** <PROTOTYPE>, <WHEELCHAIR>, <STANDING SYSTEM>, <INTERNET OF THINGS>, <AUTOMATIC CONTROL>



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo  
0602603938

## **INTRODUCCIÓN**

Las lesiones en el cuerpo humano hoy en día son muy probables a suceder debido a diversos motivos, de este problema parte la discapacidad física la cual vendría a ser uno de los inconvenientes más fuertes en las personas, por dicha razón la sociedad en conjunto con el desarrollo de la tecnología y las áreas de conocimiento se ven en la ardua necesidad de producir instrumentos o herramientas que ayuden a este grupo de personas con su movilidad y los diversos tratamientos que la lesión les exija.

Es así como una silla de ruedas con un sistema de bipedestación brinda una alternativa de solución bastante factible para aquellas personas que padecen de algún tipo de discapacidad en sus extremidades inferiores. La existencia de sillas de ruedas con mecanismos de bipedestación en el Ecuador es limitada por tal razón con este proyecto se pretende dar solución a una de las mayores problemáticas que viven las personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores al no contar con un dispositivo que les permita movilizarse y readaptarse a aquellas actividades diarias de una manera óptima y sin riesgo alguno que perjudique su bienestar.

El prototipado de una silla de ruedas con un sistema de bipedestación expuesta en este trabajo está diseñada particularmente para satisfacer con los requerimientos de los pacientes en lo referente a seguridad, estabilidad y comodidad al momento de usarla brindando un mecanismo que gracias a su estructura y componentes eléctricos permitirá una actividad de bipedestación estable. En la actualidad en Ecuador, se encuentran disponibles diversos tipos de dispositivos que tienen el propósito de elevar la calidad de vida de estas personas, sin embargo, su implementación es restringida y no contribuye a la mejora de las capacidades físicas de los individuos, ya que los obliga a mantenerse en posición sentada constantemente.

Por esta razón, surge la necesidad de desarrollar, diseñar y simular un mecanismo de estructura bipedestadora, mismo que tiene como objetivo ajustar la configuración morfológica y postura de una persona conforme a principios ergonómicos, lo que facilita la realización temporal de ejercicios que benefician a diferentes sistemas del cuerpo humano. Este enfoque también tiene un impacto directo en la consecución del Objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir, ya que promueve la equidad y el desarrollo completo de cada individuo.

## CAPÍTULO I

### 1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

En Ecuador de acuerdo a datos emitidos por el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en el 2017 reportó un total de 418 001 personas con discapacidad, del cual el 54,7% presenta un grado de discapacidad grave y muy grave y tan solo el 20,8% se encuentra laboralmente activo (CONADIS, 2022). Entre este grupo sobresale la discapacidad física, tomando en cuenta este factor se ve la necesidad de mejorar la calidad de vida de dicho grupo, puesto que la adquisición de una silla de ruedas de bipedestación es de difícil acceso dado que en el país aún son inexistentes las fábricas que se dediquen a la producción de este tipo de equipos, esto debido a que sus costos son elevados por la necesidad de importación lo que incide en un incremento sustancial en el precio de venta en nuestro país.

De igual manera la falta de continuidad de trabajos de investigación e inexistencia de incentivos de parte del estado para el desarrollo de este tipo de silla bipedestadora ha hecho que estas sean de fabricación únicamente bajo pedido de acuerdo a las exigencias del usuario sin considerar el desarrollo de una producción en masa contribuyendo a la dependencia de importación de estos equipos. El hecho que en el mercado se cuente con un número de modelos reducido dificulta a aquellos usuarios que necesitan de terapias de rehabilitación o movilizarse para el desarrollo de sus actividades, provocando con esto que su salud se vea agravada y su condición de discapacidad se perjudique aún más con el tiempo, así como también su estado emocional al no tener la capacidad de desarrollar sus actividades de manera autónoma.

Tomando en cuenta la necesidad de aquellos individuos con problemas de movilidad y por otro lado la falta de gestión local para la implementación de este tipo de equipos en el mercado, se torna la necesidad de un sistema de bipedestación en una silla de ruedas, para dar movilidad a la persona de una manera sencilla mediante control y monitoreo, esto para facilitar a aquellos usuarios con discapacidad física para poder realizar actividades cotidianas ampliando su seguridad y confianza al momento de movilizarse.

#### 1.2 Justificación

El presente trabajo se desarrollará en busca de dar cumplimiento al Plan Nacional del Buen Vivir en su eje número uno, denominado “Derechos para todos durante toda la vida”, en el primero de

sus objetivos habla sobre “Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas” incluidas aquellas personas con algún tipo de discapacidad. Esta inserción de personas con discapacidad en el mercado laboral se logró gracias a la aplicación del Código del Trabajo. Por tanto, es necesario tomar importancia en el acceso de las personas con discapacidad a la educación inclusiva, información, espacios públicos, al trabajo digno, entre otros.

La implementación y desarrollo del mecanismo de bipedestación en sillas de ruedas ayudará a varios grupos de personas vulnerables entre estos a miembros de la Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo AFAPECH, quienes se encargan del cuidado de personas con discapacidad y a la vez cuentan con un convenio marco de cooperación con la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con el fin de mejorar el bienestar de las personas mediante el desarrollo de proyectos de investigación que permitan ampliar sus capacidades motrices para realizar las tareas cotidianas, mejorar su salud y calidad de vida. Es así como el desarrollo de un mecanismo bipedestador de fabricación nacional a partir de sillas de ruedas manuales permitirá solventar la problemática de acceso de este tipo de equipos, destacando la reducción de costos al eliminar valores referentes a la importación.

En base a lo mencionado la presente investigación es factible ya que con el acondicionamiento de un sistema de bipedestación utilizando elementos de control y monitoreo se generará un prototipo útil que mejore la calidad de vida de aquellos individuos con algún tipo de discapacidad física proporcionándoles una herramienta útil que les permita la inclusión al desarrollo del país de manera confiable y segura. La generación de un nuevo equipo a través de la transformación de uno ya existente ayudará al medio ambiente con la no producción de desechos aprovechando al máximo todos los componentes iniciales, así como la inclusión de recursos IoT dotará de recursos novedosos al permitir el monitoreo remoto de funcionamiento resultando en un producto que tenga buena acogida dentro del mercado.

Finalmente, considerando una visión a futuro a partir de la metodología de construcción resultante del desarrollo del presente trabajo se podrá establecer una nueva línea de producción para el país en el cual se generen empresas con plazas de trabajo para profesionales en distintas áreas de conocimiento, o a su vez se establezca dentro de las instituciones de educación superior espacios para el desarrollo de prácticas preprofesionales de los estudiantes de varias facultades destacando el desarrollo de investigaciones que permitan a partir de los resultados obtenidos la repotenciación del prototipo resultante o desarrollo de nuevos productos en busca de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Prototipar un sistema de bipedestación en una silla de ruedas con la inserción de recursos para control y monitoreo remoto usando IoT.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Realizar un estudio del arte para caracterizar la bipedestación para la definición de parámetros de diseño del prototipo.
- Realizar el modelado del prototipo empleando una herramienta CAD y su respectiva validación mediante un análisis estructural.
- Seleccionar el hardware y software para dotar de recursos tecnológicos al prototipo para su control y monitoreo local y remoto.
- Definir una plataforma IoT para la vinculación del prototipo a la nube.
- Implementar el prototipo para la realización de pruebas y determinación de su funcionalidad.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

Tomando en consideración que la discapacidad física es un punto importante hoy en día, se han creado una gran variedad de métodos o prototipos con la finalidad de combatir todas aquellas discapacidades que se encuentran en diferentes formas y niveles imposibilitando la movilidad completa de las personas. En base a este argumento se exponen temas de relevancia acordes a la temática planteada.

De acuerdo con Rosero (2021), en su trabajo denominado “DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS POSTURAL BIPEDESTADORA CON SISTEMA DE REHABILITACIÓN MUSCULAR (PANTORRILLA) PARA NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL” diseñó una silla de ruedas postural bipedestadora que cuenta con un sistema de apoyo para la rehabilitación muscular de niños con problemas de parálisis cerebral, este mecanismo fue adaptado para que se dé una inclinación en posición de sedestación de hasta 30°, para su estructura se tomaron medidas de niños entre 8 a 12 años, el material usado en el diseño fue el ASTM A 500 grados A, debido a sus excelentes propiedades. Además, se realizó un análisis estático de la estructura mediante el software de SolidWorks para así garantizar la seguridad del paciente obteniendo como resultado un factor de seguridad mayor a 2, el cual se considera apropiado para el diseño (Rosero, 2021, p. 18).

En el trabajo de tesis titulado “DISEÑO DE UNA SILLA BIPEDESTADORA PARA TERAPIAS DE REHABILITACIÓN Y REEDUCACIÓN FÍSICA PARA PERSONAS ADULTOS CON UN PESO MÁXIMO DE 100 Kg” de David Batallas, desarrollado en la Facultad de Mecánica, ESPOCH, Riobamba, 2022, diseñó y construyó una silla bipedestadora capaz de soportar una carga de 100 kg, misma que servirá de apoyo para terapias de rehabilitación física para aquellas personas que padecen de problemas con sus extremidades inferiores, en lo referente al diseño se tomó medidas antropométricas de un grupo de personas, usando el programa de SolidWorks se realizó la estructura del diseño, así como también su debida simulación. Sus componentes eléctricos se seleccionaron de acuerdo con el uso que se le va a dar a la silla y haciendo referencia a su uso en personas con discapacidad temporal; este mecanismo posee un diseño eficaz y de confianza para que el usuario pueda realizar sus terapias de manera segura, ya que al ser una silla diseñada bajo los requerimientos del usuario se tiene seguridad en su funcionamiento (Batallas, 2022, p. 17).

En el trabajo desarrollado por denominado “SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLA BIPDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES”, diseño un sistema de automatización y control para una silla de ruedas mediante la adaptación de un bipedestador, para su ejecución se requirió de un mecanismo que se acople a una silla de ruedas específicamente manual con el objetivo de implementar un sistema móvil que permita el desplazamiento en forma vertical de la silla tomando en consideración que esta debe soportar el peso de la estructura y el peso del paciente. El movimiento empleado en este mecanismo fue de tipo lineal, el resultado será la instalación de un sistema eficaz en la silla de ruedas bipedestadora, el cual llevará a cabo este procedimiento de manera automatizada y supervisada, preservando la integridad y adecuado desempeño de los dispositivos involucrados, esto permitirá satisfacer las necesidades particulares del paciente de manera completa (Sánchez, 2020, p. 14).

De acuerdo con el artículo denominado “DISEÑO DE UN BIPDESTADOR SEMIAUTOMÁTICO REAJUSTABLE PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON PARAPLEJIA” realizado por José Parreño y demás autores, se enfocan en la realización de un diseño en beneficio de aquellas personas con problemas de paraplejia, razón por la cual desarrollo un sistema mecatrónico con el fin de realizar una transición a una posición bípeda optando por seleccionar un bipedestador semiautomático con características idóneas y que se ajustan a medidas antropométricas de diversos pacientes, en cuanto a la selección del material Difiempleo el software CES EduPack en base al cual se optó la mejor opción siendo esta el acero ordinario debido a sus amplias propiedades mecánicas; posteriormente se hizo uso de una tarjeta Raspberry, un motor a pasos, un actuador eléctrico y una batería de ácido-plomo. Para su modelado y ensamblado se empleó el software Solidworks, con la estructura definida se realizó el diseño electrónico y una interfaz que permita el control usuario-máquina, para concluir con dicho trabajo se realizaron pruebas de validación para comprobar el funcionamiento y confort de los usuarios (Parreño et al., 2021, pp. 1-2).

Según en el trabajo desarrollado por Álvarez (2019) denominado “CONSTRUCCIÓN DE UN BIPDESTOR PARA REHABILITACIÓN Y ESTIMULACIÓN DE CAMINATA PASIVA PARA NIÑOS PARAPLÉJICOS DE 2 A 3 AÑOS” construyó un mecanismo que posibilite alcanzar una posición bípeda a niños que posean discapacidades físicas con la finalidad de brindar rehabilitación desde temprana edad para fortalecer sus músculos. Para esto se partió del diseño, mismo que fue basado en medidas antropométricas promedio de los niños de edades entre 2 a 3 años, en cuanto al material seleccionado se lo realizó con la ayuda de un análisis estático en el software SolidWorks, a partir de eso se optó por un tubo estructural, recubrimientos de madera mismos que fueron útiles en las instalaciones eléctricas y neumáticas; en lo referente al sistema

de automatización se implementó una interfaz gráfica que permite la visualización de los datos del paciente, esto mediante el uso de una Raspberry pi 3 Model B+ y un Arduino que permiten controlar el movimiento de bipedestación del mecanismo logrando con esto efectuar los ejercicios de rehabilitación y estimulación para el paciente (Álvarez, 2019, p. 17).

## **2.2 Referencias Teóricas**

### **2.2.1 *Bipedestación***

La bipedestación se define como la capacidad propia del ser humano que implica mantener el cuerpo en posición vertical con el apoyo de sus extremidades inferiores. El hecho de mantenerse en pie exige un arduo trabajo y una serie de respuestas a estímulos sensoriales del cuerpo y esto se alcanza con la adaptación en conjunto de los músculos tanto del cuello como del tronco, así como también reacciones para mantener el equilibrio y el enderezamiento mediante ajustes en el tono postural y modificaciones en el centro de gravedad del cuerpo (Zapata, 2014, p. 14).

### **2.2.2 *Características de la bipedestación***

Las reacciones que intervienen en la acción de mantenerse en posición vertical se puntualizan en una estabilidad dinámica y estable que permite a las personas mantenerse en una postura conveniente, misma que reúne ciertas características (Zapata, 2014, p. 14):

- La cabeza en una posición erguida y la barbilla retraída.
- Los hombros y la cabeza deben estar equilibrados en conjunto con las rodillas, la pelvis y la cadera.
- El arqueado de la columna debe estar dentro del límite normal.
- El abdomen debe adoptar una posición plana y el tronco derecho.
- Los pies deben estar separados y sus plantas asentadas completamente en el piso de manera que el peso del cuerpo se encuentre distribuido entre las dos piernas de la persona.

#### **2.2.2.1 *Posición Corporal***

La posición corporal hace referencia a cómo se relaciona la disposición del cuerpo humano en su totalidad o en una parte específica con respecto a la gravedad, es decir vendría a ser el resultado del equilibrio entre las fuerzas musculares que contrarrestan la gravedad. La posición corporal puede ser analizada desde un enfoque estático o dinámico. En términos estáticos, se refiere a la posición relativa del cuerpo o de sus distintas partes en relación con las demás y en el caso

dinámico, se trata del control preciso de la actividad neuromuscular para mantener el centro de gravedad dentro de la base de soporte (Herrera, 2021, p. 13).

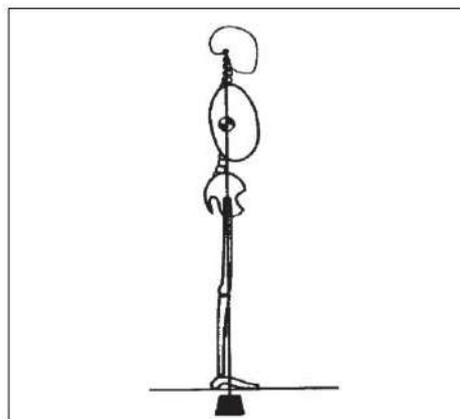
### 2.2.2.2 *Equilibrio*

La capacidad de mantenerse de pie o es estado de bipedestación requiere un control eficiente del equilibrio, mismo que depende de la interacción de varios factores, estos incluyen la información visual, vestibular y propioceptiva sobre la posición del cuerpo, una alineación biomecánica adecuada, la fuerza muscular suficiente y la coordinación en la activación muscular. Toda postura, en sí misma, genera cierta inestabilidad, lo que demanda una regulación neuronal constante para mantener el centro de gravedad del cuerpo dentro de la base de sustentación, que está determinada por la superficie de los pies (Herrera, 2021, p. 13).

### 2.2.2.3 *Posición bípeda estática*

La posición bípeda estática se logra al mantener el cuerpo en una postura erguida donde el peso se reparte entre ambos pies. Esto resulta en una alineación del centro de gravedad del cuerpo, lo que implica que una línea imaginaria que representa la reacción del suelo al peso de la persona se extiende desde la cabeza hasta los pies.

Esta línea atraviesa el orificio occipital, pasa por la parte frontal de la columna dorsal, ubicada aproximadamente un centímetro por delante de la cuarta vértebra lumbar, 0,6 centímetros detrás de la articulación de la cadera, delante de la articulación de la rodilla y culmina entre 1,5 y 5 centímetros antes de la articulación del tobillo como se puede apreciar en la ilustración 2-1 (Luengas et al., 2013, p. 61).

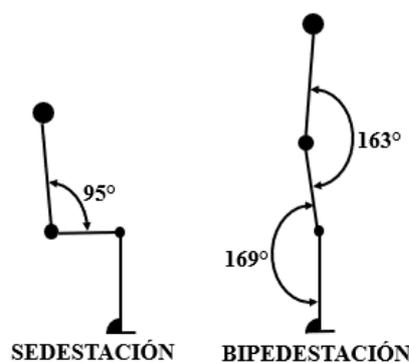


**Ilustración 2-1:** Posición bípeda estática  
Fuente: (Luengas et al., 2013, p. 61)

### 2.2.3 Caracterización de la bipedestación

El estudio y análisis del movimiento humano se lleva a cabo aplicando los principios de la mecánica y la biomecánica al cuerpo humano. La mecánica se utiliza para examinar las fuerzas y sus efectos en el cuerpo, mientras que la biomecánica combina los principios de la mecánica, la anatomía, la antropometría y la fisiología para investigar al individuo tanto en movimiento como en reposo. La transición de la posición sentada a la posición de pie implica la interacción entre articulaciones como: el tobillo, la rodilla, la cadera y como último punto la columna vertebral, tal como se indica en la ilustración 2-2.

Es importante destacar que la postura de bipedestación se caracteriza por tener la columna vertebral completamente recta sobre su base, esta postura implica que la cintura pélvica esté alineada en el mismo plano que las extremidades inferiores, y la cabeza se encuentra en continuación de la columna cervical, tal y como se explicó anteriormente. Durante la posición de pies, también conocida como bipedestación, se minimiza el uso de energía humana, lo cual ocurre cuando el vector vertical de la gravedad se alinea con la columna ósea de soporte de la persona (Herrera, 2021, p. 15).



**Ilustración 2-2:** Biomecánica de la bipedestación

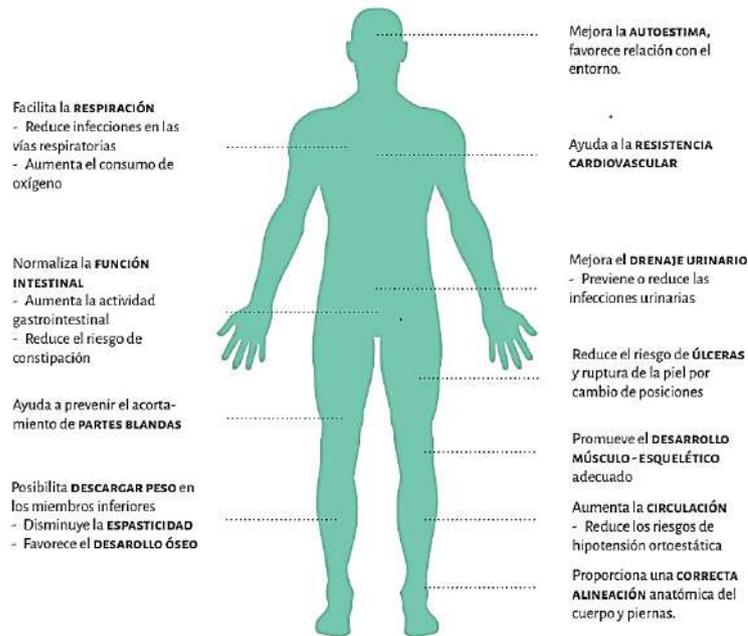
Fuente: (Saavedra et al., 2013, p. 25)

### 2.2.4 Beneficios de la bipedestación

La bipedestación brinda grandes beneficios, ilustración 2-3, uno de estos es que ayuda a la prevención de contracciones dolorosas de las extremidades inferiores y el dolor que estas pueden causar, mejora la circulación de la sangre evitando la formación de edemas; sin dejar de lado el efecto positivo que tiene sobre la cantidad de calcio y minerales presentes en el área de los huesos lo cual ayuda en la prevención de la osteoporosis y las fracturas que a estas se pueden asociar.

Entre otros beneficios importantes la bipedestación ayuda a mantener la fuerza muscular en las extremidades inferiores y en el tronco disminuyendo de esta manera los espasmos musculares,

estimula y refuerza el sistema cardiovascular y contribuye a disminuir los riesgos de pérdida de susceptibilidad de la postura vertical y demás (Salgado Caballero, 2016, p. 14).



**Ilustración 2-3:** Beneficios de la bipedestación  
**Fuente:** (Briones, 2018, p. 30)

### 2.2.5 Bipedestador

Un bipedestador, ilustración 2-4, es un aparato mecánico que tienen como función principal proporcionar ayuda a una persona que no puede mantenerse en pie por su propia cuenta, para que esta pueda adoptar una posición erguida y así evitar una serie de problemas como la mala circulación de la sangre, el daño en la masa ósea, dificultades en funciones respiratorias, digestivas, renales y demás. Por otra parte, da paso al uso de las extremidades inferiores generando además un beneficio en el sentido psicológico ya que el usuario se mantiene a la misma altura que las demás personas sin un mayor esfuerzo o peligro (Herrera, 2021, p. 20).



**Ilustración 2-4:** Bipedestador  
**Fuente:** (Briones, 2018, p. 38)

### 2.2.6 *Mecanismo bipedestador*

En el mercado se encuentran disponibles diversos tipos de mecanismos bipedestador que han sido implementados. Estos mecanismos pueden ser de naturaleza mecánica, neumática, eléctrica o hidráulica, y utilizan diferentes métodos de accionamiento para lograr la bipedestación. En el desarrollo de este trabajo, se optarán por diferentes tipos de mecanismos para realizar un bipedestador propio (Batallas, 2022, p. 17).

### 2.2.7 *Tipos de bipedestadores*

Los bipedestadores se dividen en tres tipos importantes:

#### 2.2.7.1 *Bipedestador dinámico*

El bipedestador dinámico, ilustración 2-5, es considerado como un mecanismo tipo andador que promueve de manera sencilla la alineación postural del usuario brindándole esa movilidad que por sus condiciones limitadas se ve imposibilitado a ejercer algún tipo de movimiento con sus extremidades inferiores. Este ejemplar puede aportar con dos grandes beneficios físicos para aquellas personas con problemas en sus extremidades inferiores ya que sirve tanto para realizar marchas autónomas como para adoptar una posición bípeda lo que permite al usuario la integración social (Lozano, 2019, p. 2).



**Ilustración 2-5:** Bipedestador dinámico

Fuente: (Lozano, 2019, p. 2)

#### 2.2.7.2 *Bipedestador supino*

Se trata de un equipo que permite a una persona mantenerse en posición supina con la finalidad de mantener un mejor control de la cabeza, el tronco y los pies, logrando así que la carga del paciente sea variable. El bipedestador supino, ilustración 2-6, está diseñado específicamente para aquellas personas que padecen de problemas en la cintura escapular y su grado de angulación se encuentra entre los 20° hasta los 90° (Senadis, 2019, p. 6).



**Ilustración 2-6:** Bipedestador supino  
Fuente: (MINSAL, 2017, p. 40)

### 2.2.7.3 *Bipedestador prono*

El bipedestador prono, ilustración 2-7, brinda ayuda técnica que posibilita a una persona posicionarse y mantenerse en una postura prona, es decir de forma vertical sucesiva permitiendo al usuario soportar su peso en una posición bípeda. El bipedestador prono regularmente cuenta con un grado de angulación que va desde 0° hasta 85° y su sistema puede ser de tipo hidráulico o eléctrico (Senadis, 2019, p. 3).



**Ilustración 2-7:** Bipedestador prono  
Fuente: (MINSAL, 2017, p. 41)

### 2.2.8 *Componentes de un bipedestador*

Un bipedestador está estructurado por los siguientes componentes básicos (Parreño et al., 2021, p. 6):

1. Componente de acción: este mecanismo puede ser de tipo hidráulico o eléctrico, en el primer caso se hace uso de un pistón hidráulico el cual se activa de manera manual con la ayuda del pie. Si hablamos de un mecanismo de tipo eléctrico se opta por el uso de un motor que cuente con una batería recargable.
2. Armazón: se trata de la estructura principal de la silla, esta puede estar elaborada a base de diversos materiales previo a un determinado análisis, estos pueden ser: acero, madera, hierro, entre otros.

3. Soportes: el objetivo primordial de este componente es brindar estabilidad en la zona de la pelvis del usuario para que así pueda adoptar una posición bípeda correcta, estos soportes pueden ser ajustables dependiendo del paciente. Por otro lado, un bipedestador también cuenta con un soporte para el área de las rodillas con la finalidad de que estas puedan mantenerse estables al momento de realizar la bipedestación.
4. Sujeciones: son bandas o correas flexibles que están fabricadas a base de velcro o de materiales elásticos como el polipropileno o nylon, esto permite al usuario sujetarse al bipedestador con la finalidad de evitar posibles caídas.
5. Estructura de apoyo: es una base que sirve de soporte para los pies, esta puede ser de diferentes materiales como la madera o el metal, incluye colocadores de pies que se ajustan con correas y además son ajustables dependiendo de la altura de la persona.
6. Ruedas: permiten el desplazamiento del bipedestador en diferentes direcciones ya que poseen ejes multidireccionales, además de contar con un sistema de bloqueo y frenos que brindan seguridad al usuario.

### **2.2.9 Silla de ruedas bipedestadora**

La silla de ruedas bipedestadora, ilustración 2-8, posibilita al usuario colocarse de pie en la propia silla ya que, esta cuenta con un mando electromecánico que permite la subida y bajada de la persona. Este tipo de dispositivos cuentan con implementos de sujeción y apoyo, esto con la finalidad de permitir al usuario colocarse de pie de una manera segura y factible sin la ayuda de otros individuos (Ayala, 2021, p. 10).



**Ilustración 2-8:** Silla de ruedas bipedestadora  
Fuente: (Briones, 2018, p. 39)

### **2.2.10 Beneficios de una silla de ruedas bipedestadora**

El uso de una silla de ruedas bipedestadora puede aportar grandes beneficios para aquellas personas con problemas de movilidad en sus extremidades inferiores, incluso si paso mucho

tiempo después de la incapacidad. Algunos de estos beneficios se mencionan a continuación (Batallas, 2022, p. 15):

- Ayuda a mejorar la circulación de la sangre permitiendo de esta manera la activación de la presión sanguínea, con el objetivo de prevenir la formación de úlceras por presión o lesiones en la piel.
- Mejora el trayecto intestinal ya que mediante una silla bipedestadora el usuario puede adoptar una postura vertical permitiéndole tener una mejor digestión.
- Permite el movimiento de los músculos reduciendo con esto las contracturas musculares debido a que los ejercicios en las extremidades son indispensables en aquellas personas con algún tipo de discapacidad.
- Reduce los problemas de osteoporosis gracias al movimiento de los huesos.

### ***2.2.11 Partes de una silla de ruedas bipedestadora***

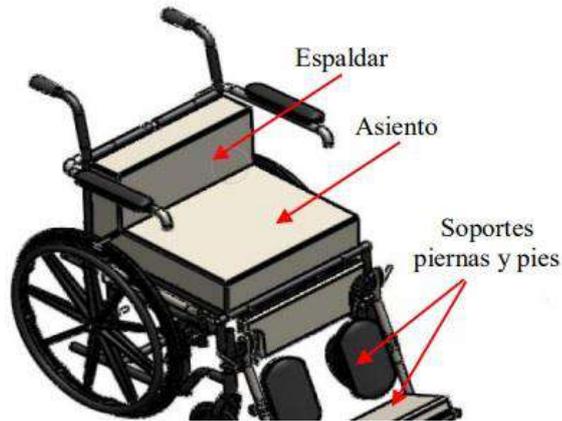
Una silla de ruedas bipedestadora está compuesta de algunos componentes básicos tales como:

- Armazón: se refiere a toda la estructura en donde se ensamblan los demás componentes de la silla para construirla, como se aprecia en la ilustración 2-9, su resistencia dependerá del material utilizado en su fabricación (Ayala, 2021, p. 14).



**Ilustración 2-9:** Armazón  
**Fuente:** (Ayala, 2021)

- Asiento y respaldo: son fabricados a base de diferentes tipos de materiales tanto sólidos como flexibles, esto dependerá de la condición del paciente. En el caso de usar materiales flexibles es recomendable el uso de cojinetes para lograr una postura y estabilidad adecuada del usuario, tal como se puede observar en la ilustración 2-10 (Ayala, 2021, p. 15).

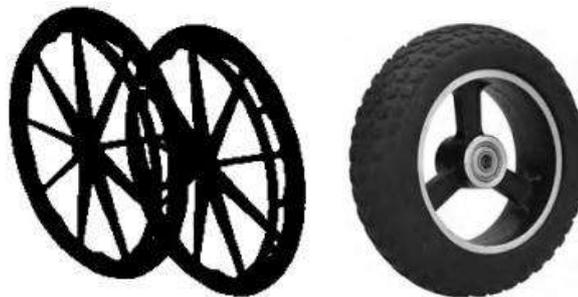


**Ilustración 2-10:** Asiento y espaldar

Fuente: (Espín, 2018, p. 20)

- Ruedas y llantas: la silla de ruedas se conforma de dos ruedas pequeñas y dos grandes, estas repercuten en ciertos factores de esta, como es en la altura, el modo de rotación, la ligereza, entre demás. Las ruedas, ilustración 2-11, son importantes para facilitar el desplazamiento en todo tipo de superficies, además permiten variar la orientación de desplazamiento.

Otro punto importante en lo referente a las ruedas y llantas es que estas van a depender del tipo de uso al que vaya a ser destinada la silla ya que esta puede servir tanto para rehabilitaciones como también para el uso diario u otro tipo de actividad que implique movilidad (Ayala, 2021, p. 18).



**Ilustración 2-11:** Llantas de la silla de ruedas bipedestadora

Fuente: (Ayala, 2021)

- Accesorios de seguridad: en este grupo se encuentran aquellos implementos de protección y estabilidad para brindar comodidad al usuario ya sea que este se encuentre en posición de sedestación o bipedestación. En este grupo de accesorio de seguridad, ilustración 2-12, se puede mencionar de manera rápida los frenos, los cinturones de seguridad, estabilizadores de cadera, arnés de seguridad para piernas, entre otros (Ayala, 2021, p. 19).



**Ilustración 2-12:** Accesorios de seguridad  
Fuente: (Ayala, 2021)

### 2.2.12 *Internet de las cosas (IoT)*

El IoT se refiere a aquellos sistemas físicos que reciben y transfieren datos por medio de conexión inalámbrica lo que disminuye la intervención humana gracias a que hoy en día la mayoría de los dispositivos vienen integrados con sistemas informáticos. El internet de las cosas es ideal para reducir los tiempos en una gran variedad de actividades, desde aquellas cotidianas hasta las involucradas en la industria, todo esto mediante el uso de la tecnología. Uno de los principales objetivos del IoT es brindar soluciones a aquellas dificultades que necesitan de la tecnología y la conexión a internet para el manejo de información mediante el uso de dispositivos electrónicos aptos para el manejo y recopilación de datos (Flores y Cossio, 2021, p. 1).

En concepto el "Internet de las Cosas" (IoT) se refiere a una tecnología que se basa en la conexión de objetos comunes a Internet, estos objetos tienen la capacidad de intercambiar, agregar y procesar datos relacionados con su entorno físico, con el propósito de ofrecer servicios valiosos a los usuarios finales. Además, esta tecnología puede detectar eventos o cambios, lo que permite que los sistemas correspondientes reaccionen de manera autónoma y adecuada. En resumen, la finalidad principal del IoT es establecer una infraestructura que elimine la brecha entre los objetos en el mundo físico y su representación en los sistemas de información (Barrio, 2018, p. 19).

### 2.2.13 *Aplicaciones del IoT*

Las áreas de aplicación del internet de las cosas son extensas y se consideran como una parte esencial dentro de los lugares de trabajo puesto que son de gran impacto en mejorar sus características físicas realizando cambios en los dispositivos para un mejor desarrollo de sus actividades. En lo referente a las áreas administrativas y financieras encargadas de controlar internamente los recursos de las organizaciones o empresas, el uso del IoT radica en el desarrollo

y elaboración de plataformas o programas que permitan el manejo y control de los negocios de la empresa permitiendo obtener la medición constante de estos.

El IoT está ligado con la industria 4.0, que en conjunto tienen una gran utilidad en el desarrollo de diferentes áreas relacionadas con la automatización entre estas el avance tecnológico de robots y sensores que son de provecho para el impulso de nuevos proyectos aplicativos que aumenten la funcionalidad de diferentes equipos o mecanismos. Otra área de aplicación importante hace referencia a la prevención de desastres y accidentes ya que se desarrollan sistemas de detección y rescate en caso de que se produzca una catástrofe natural. (Flores y Cossio, 2021, pp. 2-4)

En el área de la salud el IoT es un gran factor de apoyo debido a que gracias a su tecnología se consigue monitorear enfermedades crónicas, implementar dispositivos que permitan examinar el ritmo cardíaco, la presión, los niveles de azúcar o colesterol, entre otros; sin dejar de lado el gran desarrollo de mecanismos que posibiliten mejorar la calidad de vida de las personas debido a algún tipo de discapacidad o enfermedad. (Bonilla et al., 2016, p. 13)

En el ámbito industrial el internet de las cosas aporta en la monitorización de diferentes procesos de producción, mantenimiento de maquinarias, control de materiales, etc., este tipo de aplicaciones permiten mantener controlado el sector productivo mediante la generación de avisos o mensajes de alarma enviados a las personas encargadas del proceso, con el objetivo de que estos adopten las medidas adecuadas para corregir o verificar problemas en la cadena de producción. (Hallado, 2019, p. 21)

#### ***2.2.14 Plataformas de IoT***

En este punto se definirán algunas de las principales plataformas de software actualmente disponibles en el mercado. En cada una de estas plataformas, se detallarán sus atributos primordiales, así como también identificar el hardware más adecuado para su operación, discernir los contextos en los que encuentran aplicación y comprender su propósito general. Dentro de estas es posible citar las siguientes:

##### ***2.2.14.1 Ubidots***

Se trata de una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) que posibilita la creación de soluciones IoT para diversos sectores industriales. Hace uso de la computación en la nube en el marco del modelo Plataforma como Servicio (PaaS), a través del cual recopila, procesa y facilita los datos provenientes de los dispositivos finales o sensores pertenecientes al cliente (Vélez, 2022, p. 29).

#### *2.2.14.2 Thing Speak*

Thing Speak es una plataforma de aplicaciones abierta, elaborada con el propósito de facilitar la conexión entre individuos y objetos. Su distintivo radica en su naturaleza de código abierto, respaldada por una interfaz de programación de aplicaciones (API) que posibilita el almacenamiento y la recuperación de datos provenientes de objetos, esto se logra mediante el protocolo HTTP, tanto a través de Internet como a nivel de Red de Área Local (LAN). La sencillez destaca como un rasgo distintivo en Thing Speak cuando se trata de desarrollar aplicaciones del mundo real, permitiendo la generación de menos líneas de código y una configuración considerablemente más sencilla en comparación con otras alternativas (Garrido, 2015, p. 5).

#### *2.2.14.3 Kaa Iot Platform*

El proyecto Kaa representa una plataforma de intermediación que se fundamenta en el modelo de computación en la nube PaaS, que significa Plataforma como Servicio. Esta plataforma, de carácter abierto y con múltiples aplicaciones, es sumamente versátil, diseñada para implementar soluciones de Internet de las Cosas (IoT), aplicaciones colaborativas y productos inteligentes (Vélez, 2022, p. 27).

#### *2.2.14.4 Zatar*

Zatar se trata de una plataforma IoT enfocada en la construcción de aplicaciones corporativas, aprovechando la tecnología de la informática en la nube. Este sistema integral abarca elementos fundamentales del IoT, tales como sensores, tecnología RFID y códigos de barras, posibilitando a cualquier empresa acceder a la información necesaria y administrarla a través de la web, emplea una interfaz de programación de aplicaciones (API) basada en REST, que ofrece acceso a todas las propiedades y funciones de los dispositivos. Su enfoque altamente especializado en el ámbito logístico lo convierte en una propuesta particularmente atractiva en ese sector (Garrido, 2015, p. 19).

#### **2.2.15 Sistema automatizado**

Se define como el conjunto de técnicas mediante las cuales se busca sustituir procedimientos físicos mediante la integración de componentes que se relacionan entre sí de manera funcional, dando paso con esto a la formación de una estructura manipulada de forma autónoma usando elementos de mando que por lo general es el autómata programable apto para relacionarse con todos los accionadores del sistema y el elemento operativo (Sánchez, 2020, p. 16).

### **2.2.16 Sistema de control**

Es un sistema que se encuentra constituido por arreglos de elementos físicos que se relacionan entre sí para lograr un objetivo determinado, tomando como base tanto señales de entrada como de salida, dando paso con esto al sistema la acción de control. Este tipo de señales obtenidas son idóneas para un sistema ya que esto permite dirigir comandar o controlar de manera dinámica el mismo (Sánchez, 2020, p. 16).

### **2.2.17 Actuadores**

Un actuador se define como un aparato mecánico que tiene como funcionalidad llevar a cabo acciones al transformar energía en fuerza física, con el propósito de actuar y suministrar fuerza para realizar diferentes alteraciones ya sean estas de posición, velocidad o también efectuar cambios de estado partiendo de información adquirida previamente. Estos pueden depender del tipo de energía utilizada o del tipo de movimiento generado (Sánchez, 2020, p. 17).

### **2.2.18 Motor eléctrico**

Se conceptualiza como un equipo de tipo eléctrico giratorio que tiene como función principal convertir energía eléctrica a energía mecánica, esto se logra por medio de la interacción de los campos electromagnéticos que provienen de sus bobinas. Un motor eléctrico consta de ciertos componentes básicos expuestos a continuación (Sánchez, 2020, pp. 17-18):

1. Estator: es la parte fija del motor que funciona como base para que el motor pueda rotar, se trata de un movimiento magnético y no físico.
2. Rotor: es la parte móvil del motor que tiene como labor principal la transferencia mecánica, esta dependerá de la transformación de energía eléctrica a mecánica, suele estar formado por planchas de acero de silicio.
3. Carcasa: es el componente responsable de resguardar el rotor y estator, este puede estar fabricado de diferentes materiales dependiendo de la aplicación o diseño del motor.
4. Rodamientos: son elementos que tienen como finalidad conservar el rotor apartado del conjunto de bobinas del estator.
5. Ventilador: es aquel elemento que se encarga de dotar de ventilación al motor de manera que este absorba el aire que se encuentra en el ambiente y lo haga recorrer por las aberturas de la carcasa consiguiendo con esto una regulación adecuada de temperatura durante su funcionamiento.

6. Placa de bornes: sirve como un componente de protección debido a que resguarda a los conductores que alimentan al motor de cualquier factor o elemento que pueda provocar daños al mismo.

### **2.2.19 Actuator lineal**

El actuador lineal, ilustración 2-13, se define como un dispositivo electromecánico que convierte el movimiento rotatorio del motor a un desplazamiento de tipo lineal, su función está basada en transformar la energía eléctrica a un movimiento circular ejecutada a causa de la existencia de un motorreductor. Es adecuado para desplazar cargas, adaptar sistemas, actividades de elegir y colocar, entre demás aplicaciones útiles en la automatización industrial (Sánchez, 2020, p. 19).



**Ilustración 2-13:** Actuador lineal  
Fuente: (HIWIN, 2015)

### **2.2.20 Batería**

La batería, ilustración 2-14, o también conocida como acumulador de energía se define como un dispositivo idóneo para transformar la energía química a energía eléctrica, misma que se genera en la parte interna de las celdas electroquímicas mediante el acumulamiento de corriente alterna. Las baterías son de utilidad para alimentar artefactos o dispositivos eléctricos, tomando en cuenta el tamaño y potencia de la batería (Sánchez, 2020, p. 23).

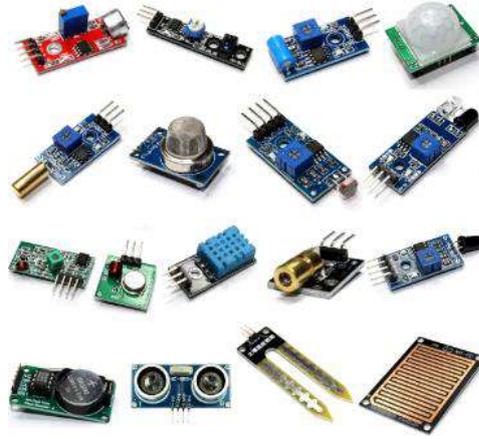


**Ilustración 2-14:** Batería  
Fuente: (Sánchez, 2020)

### **2.2.21 Sensores**

Los sensores son uno de los elementos fundamentales dentro del internet de las cosas, estos pueden ser implementados en todas partes gracias a su diversidad de tamaño ya que existen

sensores desde 4 mm de dimensión. El objetivo principal de estos elementos es la recolección de datos que en conjunto con múltiples redes permiten no solo informar sobre un entorno determinado, sino además adoptar medidas correctivas sin la necesidad de la intervención humana (Salazar y Silvestre, 2022, p. 24).



**Ilustración 2-15:** Tipos de sensores  
**Fuente:** (Sánchez, 2020)

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación es una propuesta tecnológica correspondiente al prototipado de un sistema de bipedestación en una silla de ruedas con la inserción de recursos para control y monitoreo remoto mediante el uso de IoT, por este motivo a partir de un plan definido se realizará un diseño bajo parámetros de selección de componentes y recursos tecnológicos que permitan desarrollar un prototipo que aporte a mejorar la calidad de vida de grupos vulnerables.

#### 3.2 Tipo de investigación

##### 3.2.1 *Investigación Documental*

La investigación documental se basa en la revisión de literatura académica, fuentes de información o documentos tales como: informes de revistas científicas, artículos, ensayos, libros electrónicos, etc., relacionados sobre un tema en particular con el fin de recolectar datos de forma organizada y de relevancia para la elaboración de un determinado estudio (CEU, 2021, p. 3).

Por ende, para el desarrollo del prototipo planteado, la investigación documental será de utilidad para obtener información referente a conceptos básicos sobre la bipedestación, los tipos de materiales y componentes a utilizarse, entre otros; tomando como fuentes de consulta a trabajos de titulación, publicaciones, libros y revistas.

##### 3.2.2 *Investigación Descriptiva*

La investigación descriptiva se enfoca en describir características importantes de fenómenos determinados mediante el uso de criterios sistemáticos que permitan establecer la estructura o el comportamiento de los mismos (Guevara et al., 2020, p. 166).

Para el desarrollo del presente trabajo se partirá de la descripción de los elementos principales de un sistema de bipedestación en una silla de ruedas y monitoreo remoto IoT a fin de lograr un prototipo óptimo y funcional apto para personas con algún tipo de discapacidad en sus extremidades inferiores.

### **3.2.3 Investigación Aplicada**

La investigación aplicada busca la aplicación práctica de los conocimientos teóricos adquiridos estableciendo una relación mixta entre el problema teórico como práctico. Establecida la fundamentación teórica de la silla de ruedas con sistema de bipedestación y monitoreo remoto se procederá con la implementación de los sistemas mecánicos y componentes tecnológicos a fin de validar el diseño desarrollado.

## **3.3 Metodología**

### **3.3.1 Método deductivo**

Conforme a (Rojas Jurado, 2005, p. 4), el método deductivo parte de datos o fundamentos generalmente aprobados como verdaderos, mismos que son tomados como principio general, para posteriormente emplear dicha información en casos determinados y comprobar de esta manera su validez. Utilizando esta definición como punto de partida, el desarrollo del trabajo se cimentará en los conocimientos alcanzados con anterioridad en referencia a los sistemas de bipedestación, mecanismos apropiados según ángulos predefinidos y monitoreo remoto permitiendo en base a estos establecer parámetros que serán de apoyo para la ejecución y validación del prototipo.

## **3.4 Técnicas de procesamiento de datos**

Una vez materializado el prototipo del sistema de bipedestación mediante la ejecución de una fase de pruebas se tendrán datos relacionados a su funcionalidad, mismos que serán registrados, organizados y tabulados haciendo uso del paquete de software Office, incluyendo Excel y Word, permitiendo analizar los resultados mostrándolos en un informe final en forma de cuadros, ilustraciones y tablas logrando de esta manera verificar el cumplimiento de los objetivos planteados para el presente trabajo de titulación.

## **3.5 Parámetros de diseño del sistema**

El sistema de bipedestación en una silla de ruedas basa su funcionamiento en el desarrollo de un prototipado que permita garantizar la seguridad en la movilidad y elevación del usuario mediante sistemas electromecánicos, por esta razón se debe considerar aspectos de relevancia en la selección de materiales para la estructura a fin de lograr un diseño confortable y estético; así como del conjunto de componentes tecnológicos que permitan el control y monitoreo remoto usando tecnología IoT.

### **3.5.1 *Requerimientos del prototipo***

Considerando que el prototipo deberá ser capaz de ejecutar movimientos comunes de una silla de ruedas, así como la inclusión de un mecanismo de bipedestación que permita elevar al usuario con el objetivo de brindar autonomía de movimiento y así no depender de otra para su movilización logrando con esto incluirse en la sociedad. En el diseño se debe tener presente lo siguiente:

- Adaptar un diseño electromecánico de un sistema de bipedestación a una silla de ruedas normal que permita elevar al usuario de forma segura. Tomando en consideración que la silla será donada por AFAPECH y al ser una silla estándar la ergonomía del usuario esta definida para personas de estatura entre 140 y 155 cm con un peso estimado de hasta 70 kg considerando las tablas de pesos acorde al tamaño presente en los Anexos A y B.
- Implementar un sistema electromecánico que facilite el desplazamiento de la silla de forma autónoma mediante el uso de un mando de control.
- Adecuar la silla para conseguir un diseño estético y ergonómico para el usuario final.

Debido a que se insertara recursos para el control de la silla, es necesario que se cuente con:

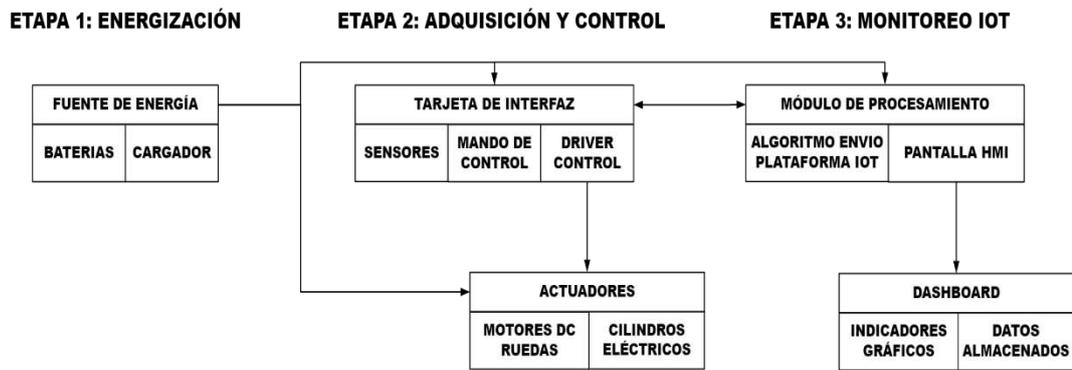
- Tarjeta de desarrollo o módulo de procesamiento compatible con diversas tecnologías.
- Sensores que permitan monitorear el estado de la silla durante la operación de esta.
- Actuadores dimensionados acorde a la carga de trabajo a desarrollar.
- Un sistema energético recargable que dote de autonomía de funcionamiento.

Para el monitoreo remoto usando IoT, se debe determinar una plataforma que cumpla con las siguientes características:

- Plataforma de acceso gratuito con la creación de una cuenta.
- Desarrollar un dashboard con recursos gráficos de tipo indicador numéricos y gráficos que permitan monitorear el estado de los sensores en tiempo real.
- Permita el acceso remoto a la información almacenada en la plataforma.

### **3.6 *Arquitectura del prototipo***

La ilustración 3-1 muestra la arquitectura del prototipo de un sistema de bipedestación en una silla de ruedas con la inserción de recursos para el control y monitoreo remoto.



**Ilustración 3-1:** Arquitectura del prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Se consideran tres etapas principales con subetapas cada una correspondientes a los componentes necesarios para poder establecer las funcionalidades planteadas del prototipo.

**Etapa 1: Energización.** – esta etapa se considera central dentro del prototipo al tener directa conexión con las restantes, debido a que proporcionará la fuente de energía para el funcionamiento del módulo de procesamiento y tarjeta de interfaz permitiendo de esta manera adquirir la señal de los componentes y controlar los actuadores.

- Etapa de fuente de energía: mediante el empleo de acumuladores de energía como son las baterías se brinda una fuente de voltaje y corriente adecuado para el funcionamiento total del prototipo. Debido a que el sistema tendrá un consumo de energía durante su funcionamiento autónomo las baterías sufrirán un desgaste normal durante este tiempo, por lo que mediante el uso de un cargador se permitirá recargar las mismas cuando el nivel de energía llegue a un nivel bajo.

**Etapa 2: Adquisición y control.** – en esta etapa se realizará por parte de una tarjeta de interfaz la adquisición de las señales de los sensores con los que contará el prototipo, así como el control de los motores del mecanismo para generar los movimientos de la silla de ruedas bipedestadora.

- Etapa tarjeta de interfaz: es la etapa encargada de ejecutar dos procesos, en primer lugar, establecer la comunicación bidireccional con el módulo de procesamiento para generar el intercambio de información en el sistema, y en segundo lugar realizar la adquisición de las señales emitidas por los sensores, así como el control de los actuadores del sistema.
  - Sensores: son los componentes encargados de informar el estado de funcionamiento de la silla de ruedas.
  - Mando de control: permite mediante el uso centralizado de botones comandar las acciones ejecutadas por los sistemas electromecánicos del prototipo.
  - Driver de control: debido a las características y dimensiones estructurales del prototipo se emplean actuadores que demandan un alto nivel de energía, en esta

etapa se encuentran drivers que permiten controlar los mismos salvaguardando la integridad de los demás componentes.

- Etapa actuadores: conformado por motores eléctricos de corriente continua de alto torque y consumo de energía controlados por la tarjeta de interfaz a través del driver de control.

**Etapa 3: Monitoreo IoT.** – una vez que se genere la adquisición de datos y control en esta etapa se efectuará el envío de la información hacia una plataforma para poder monitorear las condiciones operacionales del prototipo.

- Etapa módulo de procesamiento: en esta etapa se cuenta con un módulo equipado con un procesador programable en el que se implementa un algoritmo para efectuar el envío de la información hacia una plataforma de alojamiento de datos IoT, misma que puede ser visualizada por un dashboard en una pantalla HMI.
- Etapa dashboard: mediante el empleo de una plataforma IoT de código abierto se desarrolla un dashboard con indicadores gráficos que permitan el monitoreo de las condiciones del prototipo, así como el alojamiento de datos durante la operación.

### ***3.6.1 Criterios de diseño del prototipo***

#### ***3.6.1.1 Etapa 1: Energización***

Es la etapa central de funcionamiento del prototipo al suministrar la energía para el funcionamiento de los componentes de las etapas descritas. En el prototipo se trabajará con componentes que requieren distintos niveles de voltaje para su correcto funcionamiento, por este motivo se considera al estándar de voltaje de 24 VDC como fuente primaria para el suministro de voltaje en todo el prototipo, empleando reguladores para reducir este nivel a 12 o 5 VDC y así los demás componentes puedan funcionar sin inconvenientes.

El consumo de corriente de los componentes que integren el sistema desempeñará un factor clave al momento de determinar el tiempo de autonomía de funcionamiento energético que tenga el prototipo, considerando este aspecto una vez seleccionado los componentes se dimensionará la capacidad de voltaje y corriente de las baterías a ser empleadas.

Debido al consumo de los elementos es necesario contar con un dispositivo de carga una vez que el nivel de voltaje en las baterías decaiga a valores que impidan su correcto funcionamiento.

### 3.6.1.2 Etapa 2: Adquisición y control

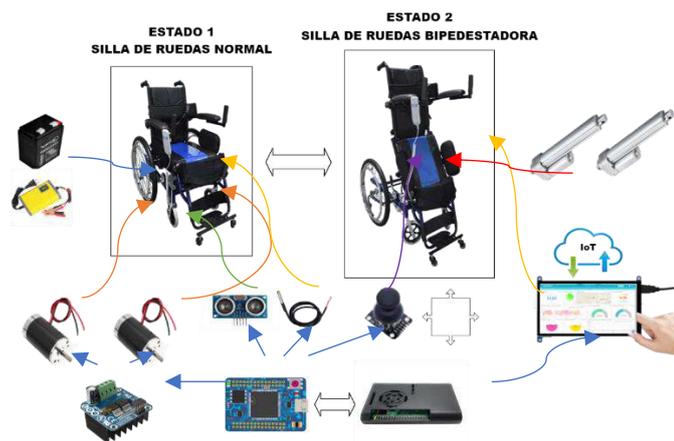
La segunda etapa estará constituida por la estructura de la silla de ruedas en la que se adecuaran los sistemas electromecánicos para la bipedestación y el movimiento motorizado de las ruedas del prototipo, así como los componentes de control siendo una tarjeta de interfaz encargada de ejecutar las acciones en los actuadores de acuerdo a la lectura de los sensores. En referencia a los actuadores empleados es necesario que los mismos garanticen la movilidad y elevación de la silla para un usuario con un peso aproximado de 100 Kg.

### 3.6.1.3 Etapa 3: Monitoreo IoT

La última etapa del prototipo estará constituida por un módulo de procesamiento que permita programar el envío de la información hacia una plataforma IoT alojada en internet, de igual manera una pantalla HMI que permita la visualización de la dashboard de la página y así permitir el monitoreo remoto; además este módulo debe ser capaz de establecer conexión a internet mediante Wifi permitiendo así el intercambio continuo de datos.

## 3.6.2 Consolidación del funcionamiento esperado del prototipo

Establecida la arquitectura del prototipo y criterios de diseño, la consolidación del sistema se muestra en la ilustración 3-2.



**Ilustración 3-2:** Consolidación del prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

En la primera etapa se energizarán todos los componentes del prototipo para iniciar su funcionamiento, se encenderán la tarjeta de interfaz, módulo de procesamiento y pantalla HMI con la dashboard de la página IoT quedando lista para uso por el usuario. Permitiendo de esta manera que se ubique en la silla y sea asegurado mediante los mecanismos de sujeción adaptables para cada persona.

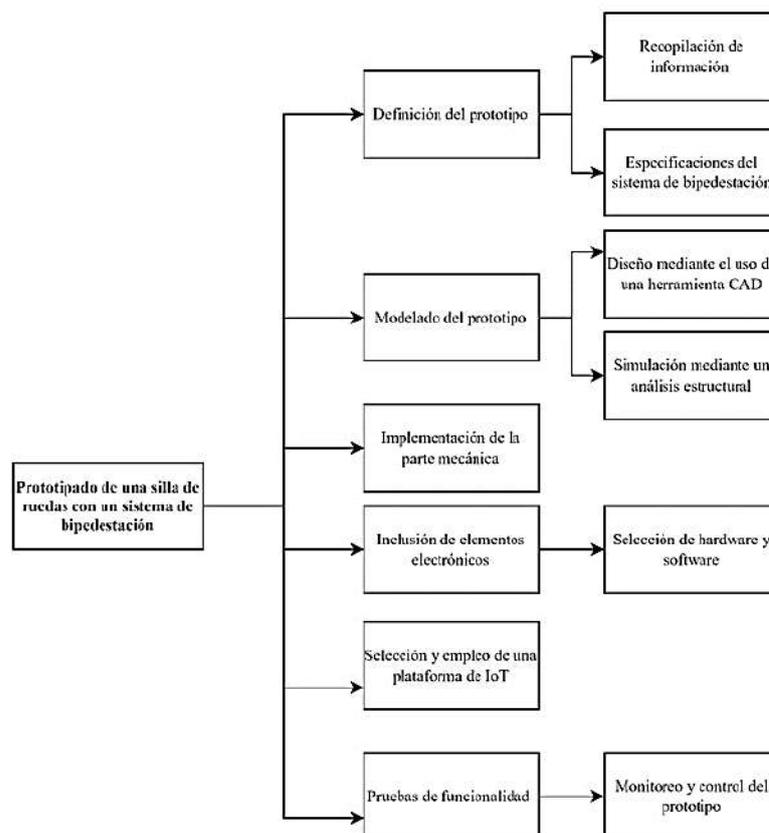
La segunda etapa inicia su operación una vez que el usuario haga uso de la silla, mediante el empleo de un mando de control será capaz de controlar el movimiento de la silla, así como activar y desactivar la bipedestación de esta, a la par se realiza la adquisición de las señales provenientes de los distintos sensores con los que se equipa al prototipo a través de la tarjeta de interfaz. En esta etapa se realiza también el intercambio de información con el módulo de procesamiento para que este último realice el tratamiento de los datos.

La tercera etapa con la comunicación bidireccional con la tarjeta de interfaz, el módulo de procesamiento toma la información y envía la misma hacia una plataforma IoT donde se reflejan los datos mediante indicadores en un dashboard que puede ser visualizada en la pantalla HMI con la que contara el prototipo.

### 3.7 Diseño del prototipo de la silla de ruedas con un sistema de bipedestación

#### 3.7.1 Diagrama del proceso del prototipo

La estructura y secuencia para el desarrollo e implementación del prototipo propuesto se muestra en la ilustración 3-3.



**Ilustración 3-3:** Diagrama del proceso para el desarrollo del prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Una vez que se han establecido los requisitos y el funcionamiento del sistema de bipedestación en una silla de ruedas, el diseño del prototipo se lleva a cabo siguiendo la metodología estructurada presentada que incluye una serie de fases. Estas etapas se ejecutan con el objetivo de cumplir con los parámetros de diseño establecidos para el prototipo.

### 3.8 Diseño CAD estructural del prototipo

Una vez que se han planteado los parámetros de diseño, se parte del análisis de la situación inicial de la silla de ruedas a la que se va a adaptar el sistema de bipedestación, en el presente trabajo se hace uso de la silla de ruedas americana de la empresa Knowledge and Innovation K&I misma que es una silla manual con un diseño estándar para ejecutar una movilidad cómoda y segura de los usuarios.

En la ilustración 3-4 se muestra la silla de ruedas con las características de construcción a fin de poder realizar un posterior diseño en software CAD y evaluar la adecuación de los sistemas planteados para el prototipado.

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Silla de ruedas 18"- Estándar KD Premium</b></p>  | <p><b>Características:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Modelo: LR8400-KD</li><li>- Tipo: Manual</li><li>- Tipo de material: Acero</li><li>- Diseño: Plegable</li><li>- Manubrios: Abatibles</li><li>- Reposapiés: Desmontables</li><li>- Diámetro de ruedas: 55 cm</li></ul> |
|--|--|

**Ilustración 3-4:** Características de la silla de ruedas KD Premium  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### 3.8.1 Primera etapa de diseño

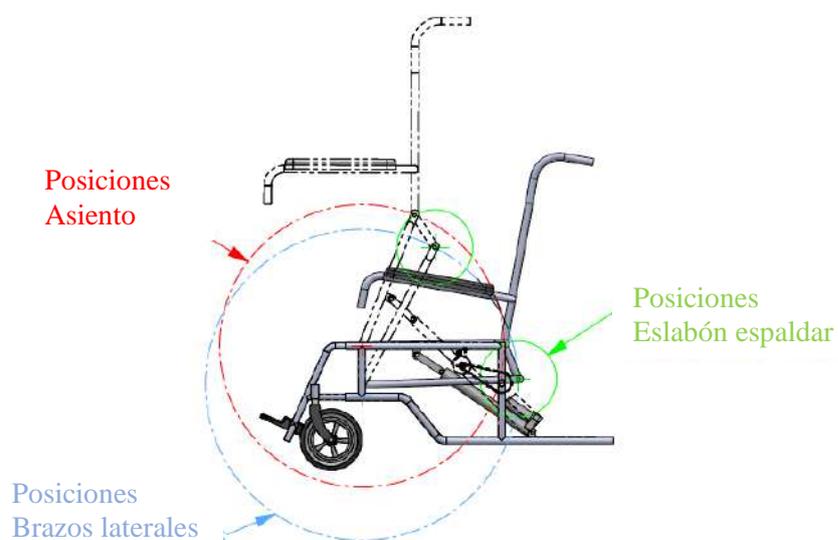
En primer lugar, el prototipado del sistema de bipedestación se diseña en base de las dimensiones de una silla de ruedas comercial a partir de esta se realiza el estudio de las diferentes versiones de sillas bipedestadora en el mercado y se adapta mediante análisis de movimientos a partir de los radios de los eslabones que se pueden ocupar en el espacio mencionado.

Para ello los elementos que se analizan mediante el modelado en SolidWorks se presentan en la ilustración 3-5.



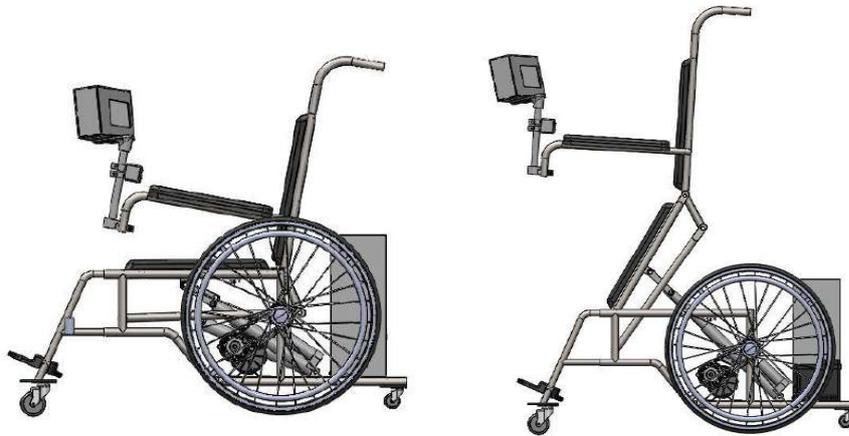
**Ilustración 3-5:** Elementos de análisis sistema de bipedestación  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Para la adecuación del diseño las limitaciones de espacio al ser un sistema adaptado se traducen en dimensiones finales de ciertos elementos como son: Asiento con un valor de 435 mm y la separación entre la base de brazos laterales y asiento con un valor de 120 mm. Dándonos como variables la longitud de los brazos laterales y la porción del espaldar que se considera un eslabón entre los brazos laterales y asiento. Además, se tiene como valores finales los recomendados por Saavedra et al. (2013), de acuerdo a los parámetros mencionados se realiza varios diagramas de posiciones para determinar la longitud y ángulo del eslabón perteneciente al espaldar entre los brazos laterales y el asiento llegando a obtener como resultado final el diagrama mostrado en la ilustración 3-6.



**Ilustración 3-6:** Diagrama de posición de los eslabones de bipedestación.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

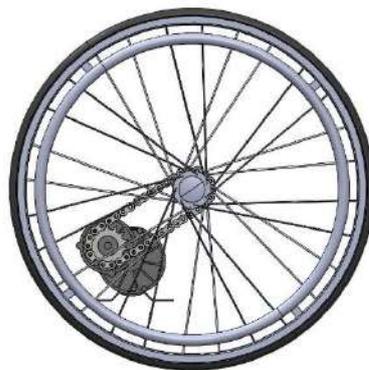
Mediante este análisis se llega a la dimensión final del eslabón espaldar de 118 mm el cual determina la posición idónea buscada para el prototipado, de esta manera se logra mediante el diseño que la silla de ruedas normal pueda efectuar la bipedestación teniendo dos estados de uso como se presenta en la ilustración 3-7.



**Ilustración 3-7:** Silla de ruedas adaptado el sistema de bipedestación.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.8.2 Segunda etapa de diseño

Después de conocer la longitud de los eslabones para adecuar el sistema de bipedestación obtenidos en la primera etapa de diseño, se procedió a adecuar el mecanismo electromecánico para motorizar las ruedas de la silla de ruedas. Para ello se efectuó el cambio de la manzana de la rueda por una manzana de rueda de bicicleta y así poder adaptar el eje al mecanismo de transmisión por cadena. Enseguida se procedió con el alargamiento del eje principal con un valor final de 100 mm, permitiendo el acoplamiento a un cilindro dentado y la manzana mediante la fijación con prisioneros. Finalmente se adapta un motor con transmisión en la base de la silla de ruedas.



**Ilustración 3-8:** Sistema electromecánico motorizado de ruedas.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.8.3 *Etapa final de diseño*

Finalmente, después de tener el diseño de todos los sistemas del prototipo se realizó el ensamble global de la silla de ruedas, ilustración 3-9, para esto además se colocó una base metálica en la parte trasera de la silla donde se realizará la instalación de los cilindros del mecanismo de bipedestación, así como de los componentes para el control y monitoreo. En el Anexo C se presentan los planos de la silla de ruedas con las adecuaciones descritas.



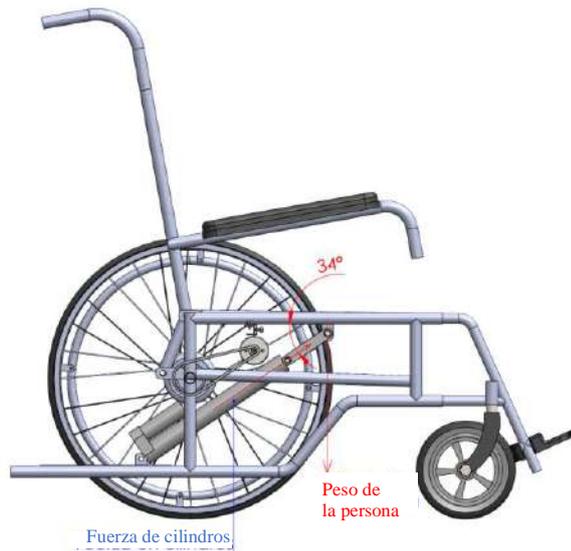
**Ilustración 3-9:** Diseño CAD final del prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

## 3.9 **Diseño de los sistemas de transmisión**

### 3.9.1 *Diseño del sistema de bipedestación*

En la ilustración 3-10, se toma en consideración la posición del mecanismo teniendo a la persona sentada con la distribución de fuerzas y soportes considerados para la determinación del torque necesario para los cilindros y se pueda efectuar la bipedestación de la silla y alcanzar los ángulos de bipedestación.

De acuerdo a un análisis de las propiedades físicas de la estructura de la silla, el peso de la estructura es de 19,3 kg que en conjunto con el peso de una persona promedio de 80 kg sobrepasando en 10 kg al peso proyectado y demás componentes del prototipo se tiene un peso total proyectado de 149,3 kg.



**Ilustración 3-10:** Análisis sistema de bipedestación  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

Para calcular la fuerza necesaria de los actuadores tipo cilindros para efectuar el movimiento del sistema de bipedestación, se realiza un análisis estático donde se establece una sumatoria de fuerzas igual a cero:

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

Considerando que el peso total de la persona junto al peso de la estructura del asiento y espaldar 80 + 5 kg con un factor de seguridad en cuanto al peso de 1,5 se tiene un valor teórico final mediante la aplicación de la ecuación:

$$-P_p + F_{cy} * \text{sen } \theta = 0 \quad (2)$$

Donde  $P_p$  es el Peso de la persona más el de la estructura de asiento y espaldar mismo que es el peso teórico que debe alzar el cilindro,  $P_p = 127,5$  [kg];  $F_{cy}$  es la fuerza del cilindro en el eje y valor que se desea determinar medido en [N];  $\theta$  es el ángulo de inclinación del sistema que para el caso por diseño se tiene  $34^\circ$ . Reemplazando estos valores en la ecuación (2) se tiene como resultado que:

$$\begin{aligned} -P_p + F_{cy} * \text{sen } 34^\circ &= 0 \\ -\left(127.5 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) + F_{cy} * \text{sen } 34^\circ &= 0 \\ F_{cy} &= 2236.75 \text{ N} \end{aligned}$$

Donde la fuerza conjunta de los cilindros debe ser mayor a 2236.75N para conseguir el movimiento del mecanismo, es así como se selecciona dos cilindros de capacidad de 1500N nominal cada uno y así conseguir el movimiento.

### 3.9.2 *Diseño del sistema motorizado de ruedas*

En el prototipado se considera un motor por cada rueda trasera al tener la posibilidad de giro de la silla, para el cálculo de potencia de ellos se tomará un factor de rozamiento entre el caucho de las ruedas y el asfalto y/o concreto como 0.8 para el cálculo de la fuerza necesaria para su movimiento.

A continuación, en la ilustración 3-11 se muestra el esquema de las fuerzas actuantes a considerar para el mecanismo electromecánico.



**Ilustración 3-11:** Análisis sistema motorizado de ruedas  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Considerando de igual manera el análisis de las propiedades físicas del prototipo se tiene un peso total de la silla con una persona de peso promedio de 149,3 kg.

Para el análisis del diseño se toma en cuenta que para mover la silla se debe vencer la fuerza en condición estática de la silla siendo la sumatoria de fuerzas igual a cero  $\sum F = 0$ . Mediante la aplicación de la ecuación:

$$N - P_{total} = 0 \quad (3)$$

Donde  $N$  es la fuerza normal medida en [N], y  $P_{total}$  es el peso total considerado la acción de la fuerza de la gravedad  $9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ . Mediante el reemplazo de datos en la ecuación (3) se tiene:

$$N - P_{total} = 0$$

$$N = P_{total} = 1464.63 \text{ N}$$

Con la fuerza normal encontrada, se procede a encontrar la fuerza de rozamiento mediante la aplicación de la ecuación:

$$F_r = \mu * N \quad (4)$$

Donde  $F_r$  es la fuerza de rozamiento medida en [N];  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento que para el caso de estudio se consideró 0.75;  $N$  es la fuerza normal encontrada en el paso anterior medida en Newton [N]. Teniendo de esta manera el siguiente resultado:

$$F_r = \mu * N = 0.75 * 1464.63 \text{ N}$$

$$F_r = 1098.47 \text{ N}$$

A continuación, para calcular la fuerza para determinar el impulso del motor se considera que la sumatoria de fuerzas en x es igual a cero,  $\sum F_x = 0$  tiene la siguiente ecuación:

$$F_r - F_i = 0 \quad (5)$$

Donde  $F_r$  es la fuerza de rozamiento en [N] y  $F_i$  es la fuerza para impulsar al motor. Mediante el reemplazo de los datos en la ecuación (4) se tiene que esta fuerza es igual a la de rozamiento encontrada:

$$F_{Rozamiento} - F_i = 0$$

$$F_i = 1098.47 \text{ N}$$

La fuerza para poder mover el conjunto de la silla junto a la persona debe ser mayor a 1098.47 N, considerando una velocidad media de 3 km/h para sillas eléctricas, la potencia necesaria para los motores se calcula a partir de la ecuación:

$$P = \frac{F_i \times v}{3600} \text{ KW} \quad (6)$$

Donde P es la potencia requerida por el motor medido en [KW];  $F_i$  la fuerza requerida para el movimiento [N] y v la velocidad de la silla en [Km/h]. Mediante el reemplazo de los datos encontrados en la ecuación (6) se tiene:

$$P = 1098.47 \times \frac{3}{3600} = 0.72 \text{ KW}$$

Al usar 2 motores este valor se tomaría como 360 W, por ello se considera al momento de seleccionar los motores una potencia estándar de 350 W, tomando en cuenta una leve afectación en la velocidad a la cual se movería la silla de ruedas.

### 3.10 Análisis estático estructural

Para el análisis estructural del prototipo se utiliza el software SolidWorks considerando los dos estados de funcionamiento de la silla de ruedas: con la persona sentada y parada. En ambos casos para simplificar el modelo se eliminan las ruedas, apoya brazos y pistones considerando a los mismos como puntos fijos al realizar un análisis estático.

Cabe destacar que a fin de realizar el análisis estático se toma como pesos los valores referenciales expuestos, poniendo en consideración que una vez se tengan los pesos reales de los componentes el análisis se realizará nuevamente con el objetivo de validar el diseño previo a su fase de construcción.

#### 3.10.1 Caso 1: con la persona sentada

En la tabla 3-1 se muestran las cargas que intervienen en el diseño para la situación en estudio:

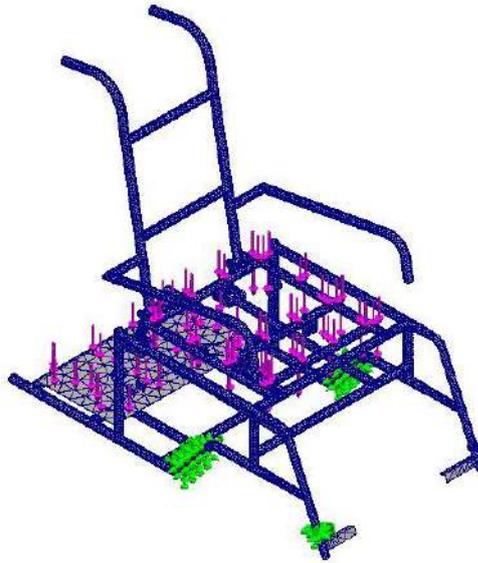
**Tabla 3-1:** Cargas que intervienen con la persona sentada

| Elementos                     | Peso [N] | Ubicación             |
|-------------------------------|----------|-----------------------|
| Baterías y equipo electrónico | 392      | Bandeja posterior     |
| Persona                       | 784      | Estructura de asiento |

Realizado por: Sangucho J., 2023

##### 3.10.1.1 Mallado caso 1

Para el análisis se emplea un mallado de tipo estándar tetraédrico por las formas curvas de los componentes del prototipo, como se muestra en la ilustración 3-12.



**Ilustración 3-12: Mallado Caso 1**  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

A continuación, se asignan las restricciones representadas por el color verde, así como las cargas en color morado obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3-2: Resultado del estudio de tensiones – Caso 1**

| Tipo                      | Mínimo   | Máximo    |
|---------------------------|----------|-----------|
| VON: Tensión de Von Mises | 0,00 MPa | 91,27 MPa |

**Realizado por:** Sangucho J., 2023

La máxima tensión que soporta la estructura del prototipo es de 91,27 MPa valor que se encuentra por debajo del límite elástico de 710 MPa. Por lo que el prototipo está correctamente diseñado bajo el criterio de Von Mises para soportar las cargas descritas.

**Tabla 3-3:** Resultado del estudio de desplazamientos – Caso 1

| Tipo                              | Mínimo  | Máximo  |
|-----------------------------------|---------|---------|
| URES: Desplazamientos resultantes | 0,00 mm | 0,91 mm |

Realizado por: Sangucho J., 2023

De acuerdo a los datos de la tabla 3-3 el desplazamiento máximo total que tiene el prototipo es de 0,91 mm por lo que la estructura puede soportar las cargas de forma satisfactoria.

**Tabla 3-4:** Resultado del factor de seguridad – Caso 1

| Tipo                | Mínimo |
|---------------------|--------|
| Factor de seguridad | 7,77   |

Realizado por: Sangucho J., 2023

De acuerdo a la tabla 3-4, el factor de seguridad mínimo conseguido por simulación es 7,77 mismo que es mayor a 1,5 por lo que el diseño es correcto bajo las cargas expuestas.

### 3.10.2 Caso 2: con la persona parada

En la tabla 3-5 se muestran las cargas que intervienen en el diseño para la situación en estudio siendo las mismas del caso 1:

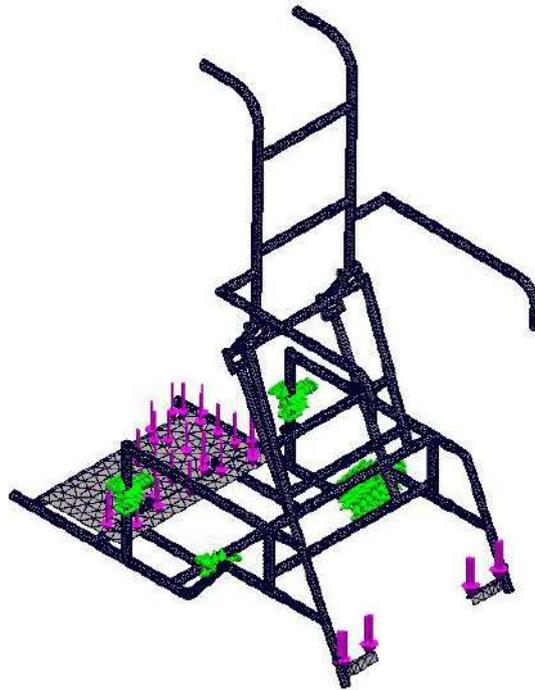
**Tabla 3-5:** Cargas que intervienen con la persona parada

| Elementos                     | Peso [N] | Ubicación             |
|-------------------------------|----------|-----------------------|
| Baterías y equipo electrónico | 392      | Bandeja posterior     |
| Persona                       | 784      | Estructura de asiento |

Realizado por: Sangucho J., 2023

#### 3.10.2.1 Mallado caso 2

Para el análisis se emplea de igual manera que el caso 1 un mallado de tipo estándar tetraédrico, como se muestra en la ilustración 3-13.

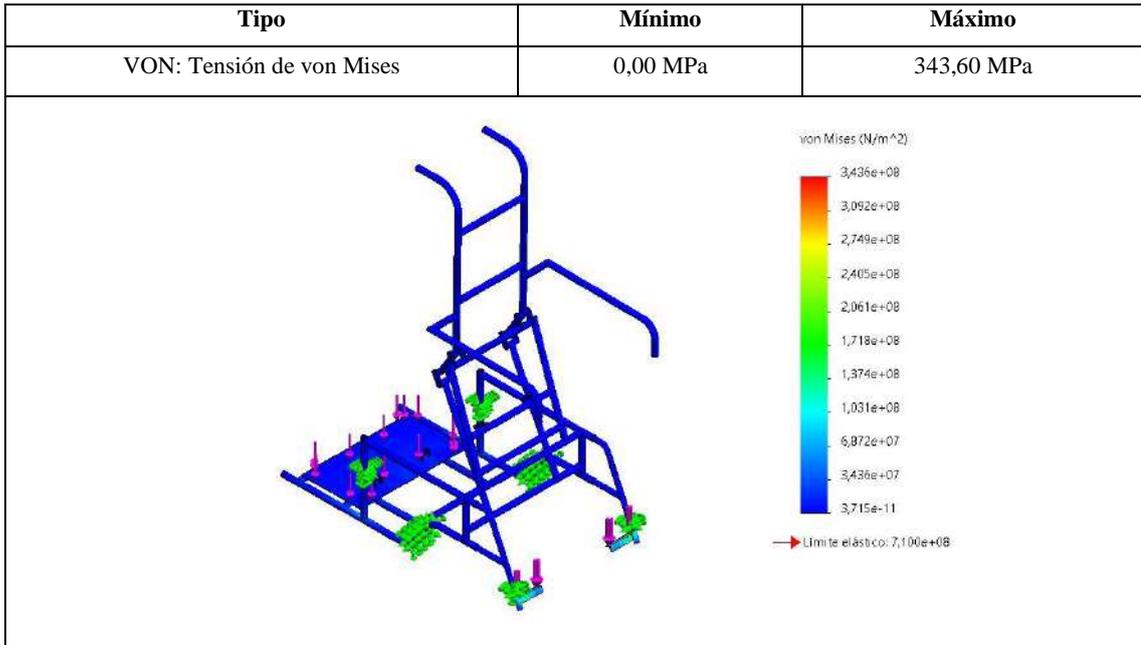


**Ilustración 3-13:** Mallado Caso 2

Realizado por: Sangucho J., 2023

A continuación, se asignan las restricciones representadas por el color verde, así como las cargas en color morado obteniendo los siguientes resultados considerando que en esta posición el peso de la persona cae sobre él apoya pies, así como sobre la base donde se ubican los componentes del prototipo entre ellas las fuentes de energía que de acuerdo a su capacidad de corriente su tamaño y peso son considerables desde el punto de vista del diseño.

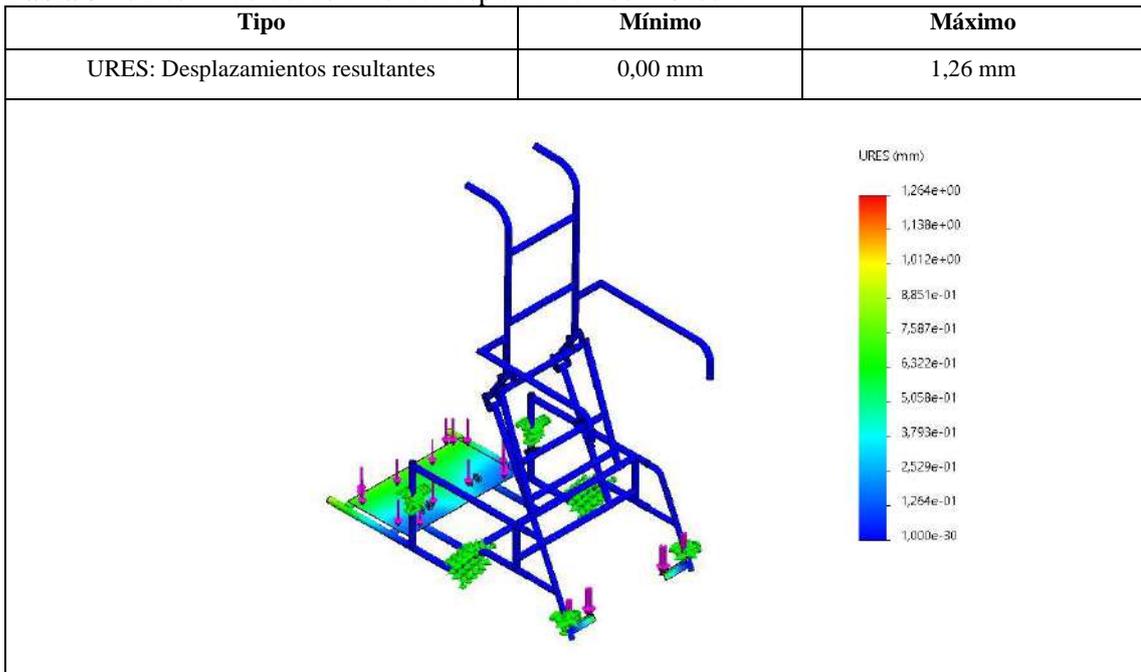
**Tabla 3-6:** Resultado del estudio de tensiones – Caso 2



Realizado por: Sangucho J., 2023

La máxima tensión que soporta la estructura del prototipo en el caso 2 es de 343 MPa valor que se encuentra también por debajo del límite elástico de 710 MPa.

**Tabla 3-7:** Resultado del estudio de desplazamientos – Caso 1

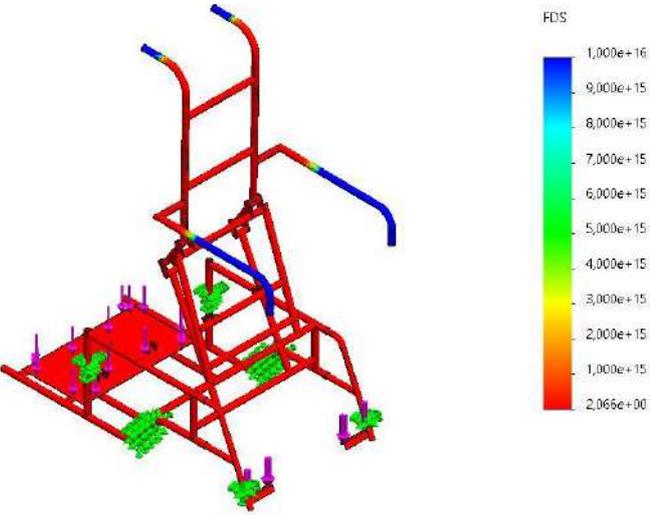


Realizado por: Sangucho J., 2023

De acuerdo a los datos de la tabla 3-7 el desplazamiento máximo total que tiene el prototipo es de 1,26 mm por lo que la estructura puede soportar las cargas de forma satisfactoria.

**Tabla 3-8:** Resultado del factor de seguridad – Caso 1

| Tipo                | Mínimo |
|---------------------|--------|
| Factor de seguridad | 2,06   |



Realizado por: Sangucho J., 2023

De acuerdo a la tabla 3-8, el factor de seguridad es mayor a 2,06 por lo que se demuestra que el diseño es resistente a las cargas que se encuentra sometido al ser mayor a 1,5.

### 3.11 Selección de hardware

Una vez efectuado el diseño del prototipo y la validación correspondiente del mismo mediante un análisis estático, se prosigue con la selección de los componentes electrónicos a través de un estudio de comparación entre estos para de este modo seleccionar los más convenientes en cuanto a su funcionalidad y disponibilidad.

#### 3.11.1 Módulo de procesamiento

En el Internet de las Cosas (IoT), es posible emplear ciertos dispositivos que permiten administrar y centralizar la información proveniente de sensores u otros nodos. En este caso, contamos con diferentes tipos de tarjetas, mismas que se tratan de placas electrónica de bajo consumo energético, poseen la capacidad de admitir conexiones de wifi de doble banda, básicamente son computadoras de bajo consumo que utilizan un tipo de sistema operativo determinado y permiten el desarrollo de diversos proyectos relacionados con el IoT. Además, brindan la posibilidad de conectar varios dispositivos a este tipo de placas para gestionar la información pertinente. En base a lo mencionado, en el mercado se encuentran disponibles diversos módulos de procesamiento que cumplen con los objetivos de funcionamiento requeridos. Entre estos tipos se tiene compañías

como: Raspberry Pi, Orange Pi 3 y Jetson Nano, como se puede apreciar en la ilustración 3-14, al igual que sus especificaciones se encuentran detalladas en la tabla 3-9.



**Ilustración 3-14:** Módulos de procesamiento  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 3-9:** Especificaciones de los módulos de procesamiento

| Especificaciones           | Raspberry Pi 3  | Orange Pi 3     | Jetson nano         |
|----------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| E/S analógicas             | -               | -               | -                   |
| E/S digitales              | 40 GPIO         | 26 GPIO         | 260 GPIO            |
| Protocolos de comunicación | UART, SPI, I2C  | UART, SPI, I2C  | I2C, I2S, SPI, UART |
| Volteja de operación       | 3.3 V           | 3.3 V           | 5 V                 |
| Software                   | Libre           | Libre           | Libre               |
| Hardware                   | Privado         | Privado         | Privado             |
| Entorno de programación    | Phyton, LabView | Phyton, LabView | Phyton, LabView     |
| Procesador                 | ARM CORTEX      | CORTEX A53      | ARM CORTEX-A57      |
| RAM                        | 1, 2, 4 GB      | 2 GB            | 4 GB                |
| Almacenamiento             | MicroSD         | MicroSD         | Micro SD            |
| Wireless                   | 802.11 AC       | 802.11 AC       | Bluetooth           |
| Salida de video            | HDMI            | HDMI            | HDMI, DP, DSI       |
| USB                        | 4               | 3               | 4                   |
| Voltaje de alimentación    | 5 V             | 5 V             | 5V                  |
| Corriente de consumo       | 500 mA          | 350 mA          | 4000 mA             |
| Dimensiones                | 85x53 mm        | 56x85 mm        | 70x45 mm            |
| Tipo de alimentación       | Cargador        | Cargador        | Cargador            |
| Frecuencia de trabajo      | 2 GHz           | 1,8 GHz         | 1,43 GHz            |
| Precio                     | \$ 350          | \$ 150          | \$ 152              |

Fuente: (Datasheet, 2023)

Realizado por: Sangucho J., 2023

En base a las características y de acuerdo con el tipo de trabajo a realizarse se optó por el uso de una Raspberry Pi 3, debido a que se trata de una minicomputadora autónoma capaz de realizar múltiples tareas, ideal para el control del sistema de bipedestación y sus componentes como lo son los actuadores lineales utilizados para la elevación del usuario, además de que dicha tarjeta recibirá información del usuario a través de una pantalla de visualización y también realizará la recopilación de datos de los sensores.

### 3.11.2 Tarjeta de interfaz

Según lo indicado en la elección del módulo de procesamiento, el propósito de la tarjeta de interfaz es establecer un canal de comunicación entre el módulo procesador y los elementos del sistema. Para llevar a cabo este procedimiento, se examinan las tarjetas de desarrollo que operan a 5 V nominales y que disponen de una interfaz de comunicación serial UART, permitiendo su conexión a través de USB.

En el mercado, las tarjetas de software libre Arduino son las más utilizadas comúnmente. Para la selección de estas tarjetas se consideraron los modelos Uno, Mega y Due, como se ilustra en la ilustración 3-15, debido a su capacidad de comunicación serial y a la presencia de un considerable número de pines de conexión para los componentes del prototipo. A continuación, se presentan los detalles técnicos de estas tarjetas en la tabla 3-10



**Ilustración 3-15:** Tarjetas de interfaz  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 3-10:** Especificaciones técnicas de las tarjetas de interfaz

| Especificaciones           | Arduino UNO    | Arduino Mega   | Arduino Due    |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| E/S analógicas             | 5 / 0          | 16 / 0         | 12 / 2         |
| E/S digitales              | 14             | 54             | 54             |
| Protocolos de comunicación | UART, SPI, I2C | UART, SPI, I2C | UART, SPI, I2C |
| Volteja de operación       | 5 V            | 5 V            | 3,3 V          |
| Software                   | Libre          | Libre          | Libre          |
| Hardware                   | Libre          | Libre          | Libre          |
| Entorno de programación    | Arduino IDE    | Arduino IDE    | Arduino IDE    |
| Procesador                 | ATMEGA 328P    | ATMEGA 2560    | AT91SAM3X8E    |
| Almacenamiento             | EEPROM 1 Kb    | EEPROM 4 Kb    | No             |
| RAM                        | 2 Kb           | 256 Kb         | 512 Kb         |
| Wireless                   | No             | No             | No             |
| Tipo USB                   | Estándar       | Estándar       | Mini           |
| Voltaje de alimentación    | 5 - 12 V       | 5 - 12 V       | 5 - 12 V       |
| Corriente de consumo       | 19 mA          | 40 mA          | 130 mA         |
| Dimensiones                | 68,6x53,4 mm   | 101,52x53,3 mm | 101,52x53,3 mm |

|                              |             |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Tipo de alimentación</b>  | Batería/USB | Batería/USB | Batería/USB |
| <b>Frecuencia de trabajo</b> | 16 MHz      | 16 MHz      | 84 MHz      |
| <b>Precio</b>                | \$ 15       | \$ 25       | \$ 35       |

**Fuente:** (Datasheet, 2023)

**Realizado por:** Sangucho J., 2023

Ya que el prototipo del sistema implicará la gestión de numerosos componentes electrónicos, los cuales demandan al menos 3 pines de conexión, la elección recae en el Arduino Mega, esto se debe a que dicha tarjeta dispone de la cantidad suficiente de pines para enlazar los componentes, facilita la comunicación serial, permite la conexión mediante USB y presenta un costo moderado en comparación con alternativas competidoras.

Además, su voltaje de operación de 5V posibilita el control de los actuadores del sistema mediante las instrucciones emanadas del módulo de procesamiento.

### 3.11.3 Actuador lineal

Para el desarrollo del prototipo en lo referente al sistema de bipedestación el actuador lineal será el encargado de realizar la elevación de la silla de ruedas de una posición sedente a una posición bípeda, este componente debe producir la fuerza necesaria para elevar a la silla, además de soportar el peso del usuario. Cabe mencionar que el recorrido del vástago del actuador debe ser justo y acorde al ángulo de bipedestación a fin de elevar la silla a la posición apropiada. Para llevar a cabo este trabajo se tiene la opción de diferentes modelos de actuadores lineales en el mercado, cada uno con propiedades y funcionamientos variados que serán usados de acuerdo con el tipo de trabajo a ejecutarse.

En base a lo mencionado con anterioridad se tomó en cuenta tipos de actuadores lineales, que se diferencian por su tipo de control: eléctricos, neumáticos e hidráulicos. Esto se muestra en la ilustración 3-16, y cada uno ellos poseen controles apropiados para su manejo, como se detalla en la tabla 3-11.



**Ilustración 3-16:** Tipos de actuadores lineales  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

**Tabla 3-11:** Especificaciones técnicas de los actuadores lineales

| Especificaciones     | Eléctrico | Neumático       | Hidráulico        |
|----------------------|-----------|-----------------|-------------------|
| Principio de control | Voltaje   | Aire comprimido | Fluido hidráulico |
| Desplazamiento       | Variable  | Variable        | Variable          |
| Velocidad            | Baja      | Alta            | Variable          |
| Torque               | Alto      | Alto            | Alto              |
| Controlador          | Driver    | Válvula         | Válvula           |
| Dimensiones          | Grandes   | Variable        | Grandes           |

Fuente: (FESTO, 2022)

Realizado por: Sangucho J., 2023

Para el desarrollo del trabajo se opta por el uso de un actuador lineal de tipo eléctrico ya que este brinda un alto grado de control y estabilidad para el sistema de bipedestación, además de tener un monitoreo constante de la velocidad y aceleración de su mecanismo para que este funcione correctamente en la implementación de la silla de ruedas y brinde la mayor seguridad al usuario evitando movimientos involuntarios peligrosos. Adicionalmente, es relevante señalar que la selección de un actuador lineal de naturaleza eléctrica se basa en la configuración eléctrica del sistema de alimentación proyectado para el prototipo.

### 3.11.4 Fuente de energía

Este componente tiene la responsabilidad de proveer energía eléctrica a elementos del prototipo como: motores, actuadores y sensores. Teniendo en cuenta las especificaciones de voltaje de los componentes del prototipo, se analizan tres opciones como alternativas óptimas: una batería de gel, seca y una de LiPo indicadas en la ilustración 3-17, y se detallan sus características técnicas en la tabla 3-12.

**Ilustración 3-17:** Fuentes de energía

Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 3-12:** Especificaciones técnicas de las fuentes de energía

| Especificaciones | Batería de gel | Batería seca              | Batería de lipo |
|------------------|----------------|---------------------------|-----------------|
| Composición      | Acido en gel   | Óxido de manganeso y zinc | Sal de litio    |
| Voltaje          | 12 VDC         | 12 VDC                    | 3,7 – 22,2 VDC  |
| Corriente        | 10 - 100 A     | 5 – 30 A                  | 1 - 25 A        |
| Precio           | \$ 60          | \$ 25                     | \$ 40           |

Fuente: (Datasheet, 2023)

Realizado por: Sangucho J., 2023

Para la construcción del prototipo, se ha optado por integrar una batería de gel, ya que es fundamental establecer una conexión estable entre el sistema del actuador lineal, los motores y demás elementos electrónicos mediante el sistema eléctrico por ende es crucial que el nivel de corriente sea elevado para asegurar el correcto funcionamiento de todos los componentes. Además, para garantizar un suministro de energía constante, se requiere una fuente de alimentación que consista en una batería recargable de voltaje continuo, típicamente de 12 VDC.

### 3.11.5 Motor

Estos elementos son los responsables de controlar tanto la velocidad como la dirección de la silla, existen varios tipos disponibles, los cuales se indican en la ilustración 3-18, por otro lado, sus especificaciones técnicas se encuentran detalladas en la tabla 3-13.



**Ilustración 3-18:** Tipos de motores  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 3-13:** Especificaciones de los motores

| Especificaciones               | Servomotor | Motor DC | Motor de pasos |
|--------------------------------|------------|----------|----------------|
| <b>Voltaje de alimentación</b> | 3-7,2 V    | 5-24 V   | 5-24 V         |
| <b>Torque</b>                  | Bajo       | Alto     | Alto           |
| <b>Precisión</b>               | Alta       | Media    | Muy Alta       |
| <b>Velocidad</b>               | Alta       | Variable | Baja           |
| <b>Acondicionador</b>          | Si         | No       | No             |
| <b>Precio</b>                  | \$ 40      | \$ 40    | \$ 30          |

Fuente: (Datasheet, 2023)

Realizado por: Sangucho J., 2023

Para el desarrollo de este proyecto, se ha seleccionado un motor DC debido a su versatilidad en cuanto a velocidades y su capacidad de proporcionar altos torques, esta característica es fundamental para garantizar la fuerza necesaria en el prototipo, permitiendo de esta manera una integración eficaz de los sistemas de la silla y asegurando su correcto funcionamiento. Esta elección se ha hecho descartando la opción de un servomotor, ya que este no proporciona el torque elevado requerido para mover la estructura.

Por otro lado, un motor de pasos implicaría la necesidad de un controlador de mayor potencia y tendría un costo económico más elevado. Por estos motivos, la elección del motor DC se presenta como la alternativa más adecuada para satisfacer los requisitos del proyecto.

### 3.11.6 Pantalla

Dado que uno de los requerimientos del prototipo implica la creación de un Dashboard con recursos gráficos destinados a representar los datos provenientes de los sensores, con el fin de garantizar un control y monitoreo efectivos de la silla, es imperativo implementar un componente que posibilite la visualización de esta interfaz específica. Para elegir la opción más idónea, se han considerado tres alternativas: una pantalla TFT, un monitor convencional y una pantalla táctil HDMI. La ilustración 3-19 detalla estos tipos de pantallas, y las características técnicas asociadas se encuentran representadas en la tabla 3-14.



**Ilustración 3-19:** Tipos de pantallas  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 3-14:** Especificaciones de la pantalla

| Especificaciones          | Pantalla TFT | Monitor  | Táctil HDMI |
|---------------------------|--------------|----------|-------------|
| <b>Marca</b>              | Orange Pi    | Samsung  | Elecrow     |
| <b>Tamaño</b>             | 5"           | 19"      | 7"          |
| <b>Resolución</b>         | 800x480      | 1366x768 | 1024x600    |
| <b>Angulo de visión</b>   | 175°         | 170°     | 168°        |
| <b>Interfaz</b>           | HDMI         | VGA      | UART        |
| <b>Longitud del cable</b> | 30 cm        | 1,5 m    | 50 cm       |
| <b>Plug and play</b>      | Sí           | Sí       | Sí          |
| <b>Precio</b>             | \$40         | \$80     | \$50        |

Fuente: (Datasheet, 2023)  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Se opta por una pantalla del tipo TDT debido a su amplia variedad de tamaños compactos, especialmente aquellos que no superan las 7 pulgadas, tomando en consideración la optimización del espacio, se elige una pantalla de 5 pulgadas, esta elección permite la conexión con el módulo de procesamiento raspberry, facilitando así también la visualización del sistema operativo, la

interfaz gráfica y el acceso a la página IoT para de esta manera, monitorear los diversos sensores del dispositivo de manera eficiente.

Esta decisión descarta la utilización de un monitor, ya que opera con un voltaje de 110 V, lo que impide su integración al sistema y, por otro lado, la pantalla táctil HDMI solo posibilita el despliegue de la interfaz gráfica mediante una conexión serial, lo que limita las capacidades de control y monitoreo del sistema.

### 3.11.7 Mandos de control

Se requiere el uso de mandos de control para controlar y manejar los dispositivos del sistema, en el mercado existen una gran variedad de ellos, sin embargo, en este estudio se analizarán dos tipos específicos indicados en la ilustración 3-20. Sus especificaciones se encuentran mencionadas en la tabla 3-15.



**Ilustración 3-20:** Interruptores  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 3-15:** Especificaciones de los tipos de interruptores

| Especificaciones         | Joystick          | Tres vías                   |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| <b>Voltaje</b>           | 600 V             | 127-277V                    |
| <b>Corriente</b>         | 10 A              | 16 A                        |
| <b>Tipo de conexión</b>  | Conexión rápida   | Conexión en puentes comunes |
| <b>Modo de operación</b> | Encendido/Apagado | Encendido/Apagado           |
| <b>Precio</b>            | \$24              | \$4                         |

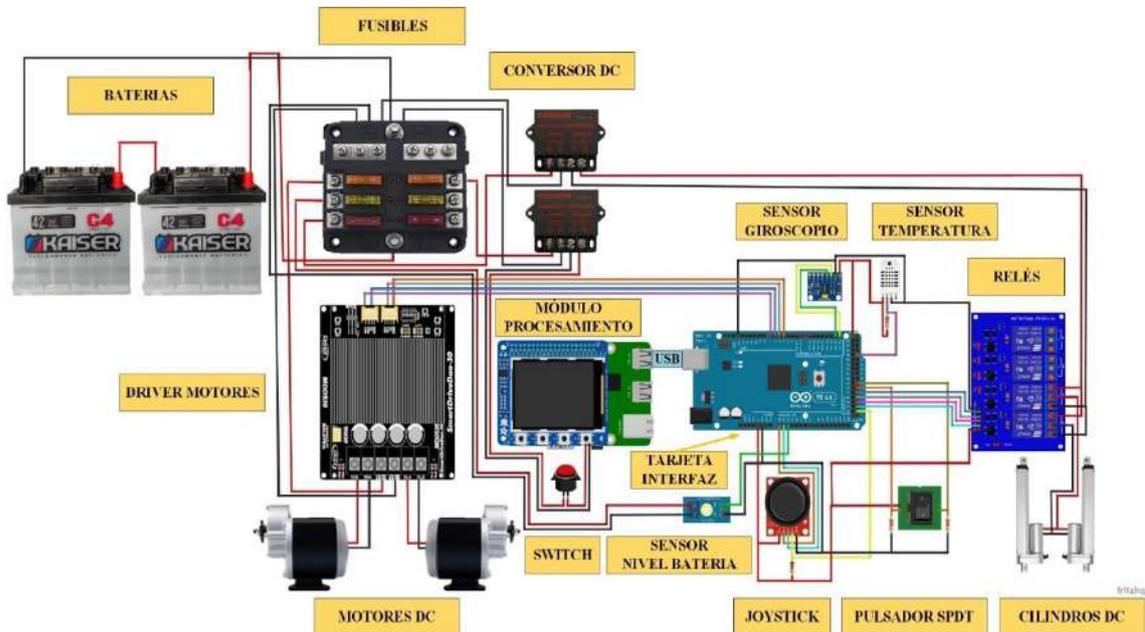
Fuente: (Datasheet, 2023)

Realizado por: Sangucho J., 2023

Se emplearán ambas modalidades de mandos de control: tanto un joystick como un mando de tres vías, la elección del primer dispositivo se fundamenta en la necesidad de contar con un componente que facilite el control preciso de los movimientos direccionales de la silla. Por otra parte, se incorporará el mando de control de tres vías para controlar las acciones del sistema de bipedestación. Esta estrategia de implementar dos tipos de mandos asegura un manejo versátil y eficaz de la silla, permitiendo adaptar las funciones de control de manera específica a las diferentes acciones y características del dispositivo.

### 3.12 Conexión de los componentes eléctricos y electrónicos de la silla

Una vez seleccionados todos los componentes eléctricos y electrónicos del prototipo de la silla bipedestadora, se realiza en el programa Fritzing la interconexión y simulación de cada componente para comprobar su funcionamiento y evitar problemas al momento de su implementación como se aprecia en la ilustración 3-21.



**Ilustración 3-21:** Esquema de conexión de la silla bipedestadora  
Realizado por: Sangucho J., 2023

El voltaje suministrado para el prototipo es de 24VDC proporcionado por dos baterías de 12 VDC conectadas en serie, los terminales de conexión ingresan a una caja de fusibles donde se dividen en 3 circuitos de alimentación, el primero con una protección de 20 Amperios ingresa al driver controlador de motores, el segundo con protección de 5 A es destinado para el módulo de control de nivel de batería, el tercero protegido con fusible de 10 A se conecta al convertor DC a 12 VDC que suministra la energía para los cilindros DC y finalmente el cuarto con protección de 5 A energiza al convertor DC de 5 VDC para alimentar al módulo de procesamiento y pantalla HMI del prototipo. La conexión entre el módulo de procesamiento y la tarjeta de interfaz se desarrolla por el puerto USB estableciendo una comunicación serial para establecer la lectura de sensores y activación de actuadores.

Las conexiones de la mayoría de los componentes del prototipo son hacia la tarjeta de interfaz Arduino Mega, en la tabla 3-16 se detallan las conexiones de control:

**Tabla 3-16:** Tabla de conexiones a la tarjeta de interfaz.

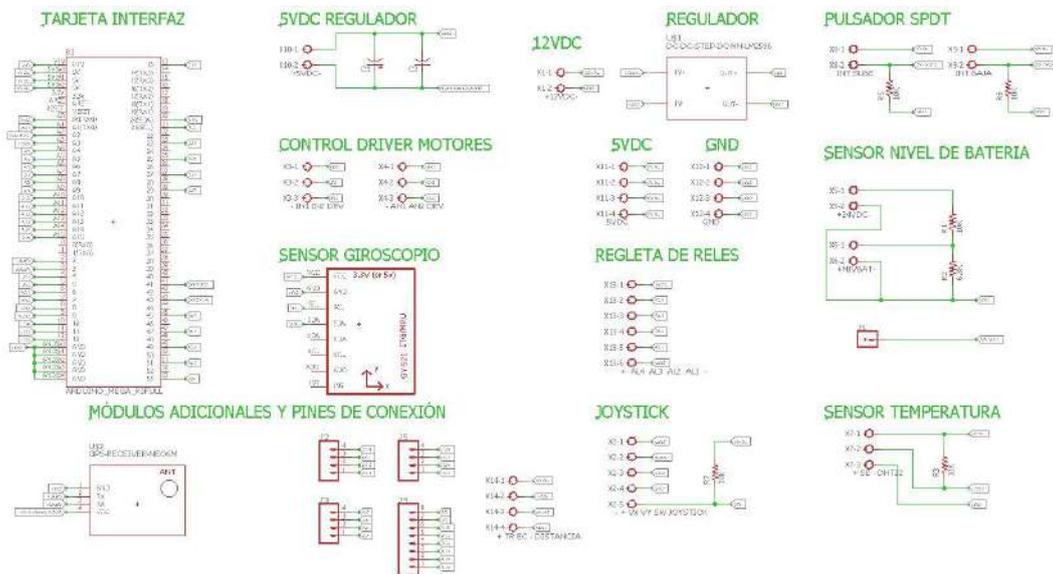
| Equipo                                 | Pin        | Pin de Controlador Arduino Mega |
|--|------------|---------------------------------|
| Driver de los motores<br>MDDS30 Cytron | IN1        | 5 V                             |
|  | IN2        | D2                              |
|  | AN1        | D3                              |
|  | AN2        | GND Común                       |
| Sensor Giroscopio<br>MPU6050           | VCC        | 5 V Arduino                     |
|  | GND        | GND Común                       |
|  | SCL        | SCL                             |
|  | SDA        | SDA                             |
| Sensor Temperatura<br>DHT22            | +          | 5 V Arduino                     |
|  | S          | D29                             |
|  | -          | GND Común                       |
| Sensor Voltaje<br>FZ0430               | S          | A2                              |
|  | -          | GND Común                       |
| Joystick<br>Keyes SJoys                | GND        | GND Común                       |
|  | VCC        | 5 V Arduino                     |
|  | VRx        | A0                              |
|  | VRy        | A1                              |
|  | SW         | D53                             |
| Pulsador<br>SPDT                       | Común      | 5 V Arduino                     |
|  | NO1 (Sube) | D41                             |
|  | NO2 (Baja) | D42                             |
| Regleta de relés                       | 5 VDC      | 5 V                             |
|  | IN1        | D51                             |
|  | IN2        | D49                             |
|  | IN3        | D47                             |
|  | IN4        | D45                             |
|  | GND        | GND Común                       |
| Raspberry Pi 3                         | USB        | USB UART                        |

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.13 Diseño de la placa electrónica del prototipo

#### 3.13.1 Diseño Esquemático de la placa electrónica

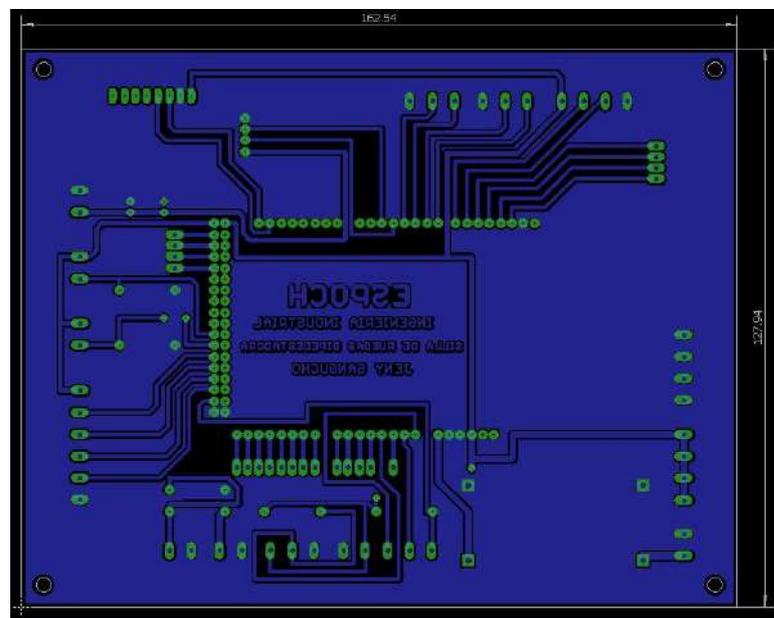
Una vez que cada componente ha sido asignado a un pin de entrada o salida de la tarjeta de interfaz se procede a unificar la conexión mediante una placa electrónica apoyados del software Eagle. La ilustración 3-22 muestra el esquemático de la placa donde se pueden observar todos los componentes detallados del prototipo, con el fin de lograr un diseño de fácil conexión e identificación para actividades de mantenimiento se hace uso de conectores de bornera doble distribuidos en los extremos de la placa, pensando en la incorporación de nuevos componentes sean sensores o actuadores aprovechando las características de la tarjeta de interfaz se dejan conectores tipo espadín a fin de emplear la misma placa en futuras mejoras del prototipo.



**Ilustración 3-22:** Esquemático de la placa electrónica  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

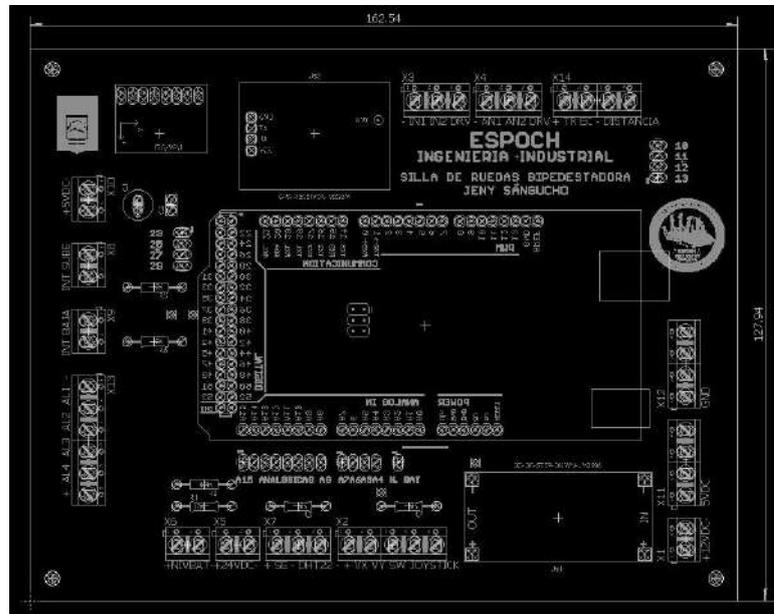
### 3.13.2 Diseño PCB de la placa electrónica

Desarrollado el diagrama esquemático haciendo empleo del software Eagle se realizó el diseño de la placa de circuito impreso PCB. La ilustración 3-23 evidencia el resultado logrando tener una placa con dimensiones de 163x128 mm, se destaca como elemento central a la tarjeta Arduino Mega del cual se derivan todos los componentes sensores y controladores de actuadores del prototipo. De acuerdo a lo descrito para la conexión se hace empleo de borneras de tornillo ubicados en el contorno de esta manera se facilita la conexión y desconexión en actividades de mantenimiento y correctivas.



**Ilustración 3-23:** Diseño de la placa electrónica PCB  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

Con el objetivo de facilitar la identificación de los componentes al momento de realizar el montaje del prototipo, se realiza una máscara de componentes para la parte frontal del PCB, logrando de esta manera menor la posibilidad de errores y daño de componentes, tal como se muestra en la ilustración 3-24.



**Ilustración 3-24:** Máscara de componentes PCB  
Realizado por: Sanguchó J., 2023

### 3.14 Construcción del prototipo de silla bipedestadora

#### 3.14.1 Construcción de la base principal de la silla de ruedas

La base principal del prototipo se encuentra acoplada al diseño de la silla de ruedas normal, para esto se parte con el retiro de la estructura que permitía a la silla contraerse, en su lugar se colocaron dos tubos mediante soldadura con las medidas especificadas en el diseño CAD, esto con la finalidad de brindar una estabilidad adecuada al prototipo.

De igual manera se ubicaron dos tubos en la parte delantera para lograr que la silla se mantenga equilibrada y no se mueva con facilidad, como se muestra en la ilustración 3-25, permitiendo con esto además contar con una parte de soporte para la elevación al momento de accionar la silla de bipedestación.

Cabe destacar que en este proceso si bien fue necesario adquirir tubo para la adecuación de los componentes en el diseño CAD, de los tubos retirados también se hizo uso ya que se adaptaban en tamaño a la nueva estructura en fabricación.



**Ilustración 3-25:** Construcción de la base principal del prototipo  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

### 3.14.2 Construcción del asiento móvil del prototipo

Posteriormente, se procede con la construcción del asiento móvil de la silla lo que permitirá que esta se puede movilizar en dirección de arriba hacia abajo, para ello se parte con el trazado de los tubos en base a las medidas especificadas en el diseño CAD, seguido de esto se prosigue con el armado de la estructura de la silla y como último paso se acopla a la silla de ruedas mediante la acción de soldadura verificando que esta funcione correctamente y brinde la funcionalidad de movilidad adecuada, así como se indica en la ilustración 3-26.



**Ilustración 3-26:** Construcción del asiento móvil del prototipo  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

### 3.14.3 Construcción del espaldar del prototipo

El proceso de fabricación del espaldar del prototipo comenzó mediante el trazado en los tubos de las dimensiones indicadas en el diseño CAD, a continuación, se dio la forma apropiada mediante la unión de las piezas que componen dicho elemento, seguido de esto se adaptaron las partes necesarias a la estructura mediante soldadura, en este punto es importante considerar que el espaldar del prototipo será la parte encargada de soportar el peso del usuario, por tal razón se debe tomar en consideración el correcto armado de esta estructura y la precisión de los ángulos

especificados en el sistema de bipedestación para el correcto funcionamiento del mismo, la construcción de esta pieza aparece en la ilustración 3-27.



**Ilustración 3-27:** Construcción del espaldar del prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### ***3.14.4 Construcción del sistema de bipedestación***

Una vez realizado el espaldar de la silla, lo siguiente a realizar es el sistema de bipedestación, para esto se parte con el armado de los ejes correspondientes para brindar movilidad al sistema, todos estos en base a las mediadas determinadas en el diseño, posterior a esto se ubica cada uno de los ejes en la estructura mediante soldadura, tomando en consideración los ángulos de bipedestación planteados con anterioridad, en la ilustración 3-28 se puede representar lo descrito.



**Ilustración 3-28:** Construcción del sistema de bipedestación  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### ***3.14.5 Fijación de los ángulos de bipedestación y ubicación de los actuadores***

En esta etapa del proceso, se inició con la meticulosa medición de los ángulos predefinidos para el sistema de bipedestación, utilizando con precisión un goniómetro como herramienta de referencia. A continuación, se avanzó hacia la fase de colocación estratégica de los actuadores eléctricos en los puntos específicos indicados en el diseño CAD previamente elaborado. La

ejecución de esta tarea implicó la aplicación experta de técnicas de soldadura, con un enfoque riguroso con la finalidad de asegurar los actuadores y la estructura principal del sistema tal como se puede observar en la ilustración 3-29.



**Ilustración 3-29:** Fijación de los ángulos y ubicación de los actuadores  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### **3.14.6 Modificación y adaptación de las ruedas a la silla**

Se implementó diversas modificaciones para transformar el sistema de movimiento manual de las ruedas a un sistema eléctrico, entre las adaptaciones realizadas, se destacó la sustitución del eje de las ruedas de la silla por uno de diseño diferente que facilitara la adaptación. Luego, mediante trabajos de soldadura se colocó una plancha en la base de la silla de acuerdo con las medidas especificadas en el diseño CAD para alojar a los motores.

A continuación, se incorporó un sistema motorizado con el objetivo de conferirle a la silla un movimiento más práctico, para lograr este propósito, se empleó un motor MY1016 Electric Scooter Motor DC 24V junto con un mecanismo de transmisión de cadena. Esta cadena debía tener una longitud adecuada entre los motores y las ruedas para garantizar una tensión apropiada y proporcionar un movimiento óptimo a la silla. Para finalizar, el siguiente paso consistió en realizar el ensamblaje completo de este nuevo sistema en el prototipo, como se muestra en detalle en la figura 3-30.



**Ilustración 3-30:** Adaptación de las ruedas al prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### ***3.14.7 Pintado de la parte estructural del prototipo***

Para concluir la fase estructural del prototipo, se llevó a cabo el proceso de pintura en la silla, siguiendo un procedimiento que abarcó la limpieza exhaustiva y el lijado correspondiente, seguido de esto, se aplicó una capa de pintura esmalte negra anticorrosiva debido a la exposición prevista de la silla a diversos cambios climáticos, esta elección se fundamenta en la intención de prolongar la vida útil del prototipo.

El objetivo principal de esta tarea se basa en conferirle a la silla una mejor presentación, como se puede apreciar en la ilustración 3-31.



**Ilustración 3-31:** Pintado de la parte estructural del prototipo

Realizado por: Sangucho J., 2023

### ***3.14.8 Adaptación de ruedas móviles delanteras y posteriores***

Para posicionar las ruedas móviles, se inició con la tarea de cortar las planchas para la adaptación, las dimensiones seleccionadas fueron de 10x8 cm para la parte delantera y 5x4 cm para la parte posterior, una vez obtenidas las planchas, se llevó a cabo la unión con la estructura de la silla mediante puntos específicos de soldadura para garantizar una fijación segura, a continuación, se procedió a fijar las llantas móviles a las planchas mediante los tornillos adecuados.

Estas ruedas tienen una doble función esencial, en primer lugar, brindan seguridad a la persona al momento de la bipedestación evitando que la silla se incline hacia delante y, por otro lado, proporcionan una mayor facilidad de movilidad al permitir que la silla se desplace en diversas direcciones, no limitándose a una posición recta.

En la ilustración 3-32 se encuentra detallado el proceso descrito, donde se destacan los trabajos de soldadura de estos componentes para garantizar su sujeción a la estructura.



**Ilustración 3-32:** Adaptación de ruedas móviles delanteras y posteriores  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.14.9 Construcción de cajas metálicas para los componentes electrónicos

Para la construcción de las cajas metálicas, se inició adquiriendo una plancha de 0,2 mm de espesor, seguido de esto se procedió a realizar mediciones precisas conforme al diseño CAD, y posteriormente se llevó a cabo el corte de la plancha. El siguiente paso consistió en el doblado de la plancha para darle la forma deseada, mediante acciones de soldadura se fijaron sus lados para crear la estructura de la caja.

Con el fin de garantizar un acceso conveniente y seguro, se incorporó un ángulo en los bordes para la fijación de la tapa mediante tornillos, así como también la sujeción de la caja a la estructura de la silla, como se aprecia en la ilustración 3-33.

Se fabricaron dos cajas metálicas distintas: una destinada a albergar las baterías y otra diseñada para resguardar todos los componentes electrónicos, esta separación tuvo como objetivo prevenir posibles incidentes derivados de la interacción entre las baterías, el cableado y otros elementos eléctricos considerando de esta forma la conveniencia operativa y la seguridad integral del sistema.



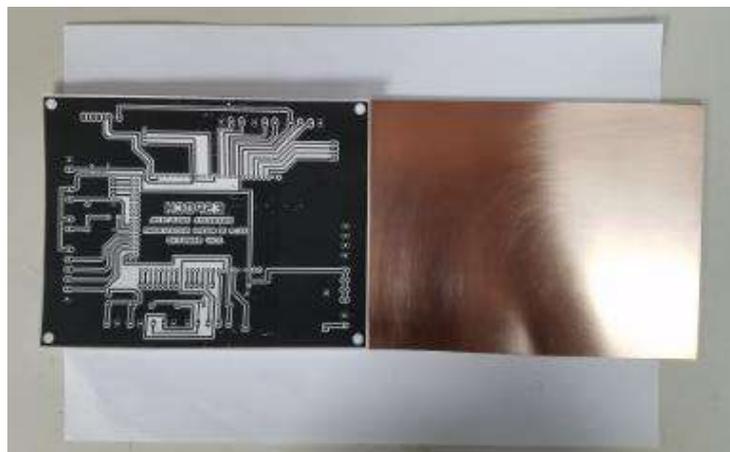
**Ilustración 3-33:** Construcción de las cajas metálicas  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

### ***3.14.10 Construcción de la placa electrónica del prototipo***

Culminada la construcción de la parte estructural y mecánica del prototipo, como siguiente punto se procede a la construcción de la placa electrónica que es la parte central de control donde convergen todos los componentes sensores y actuadores empleados en la silla bipedestadora. Para la fabricación se hace empleo del método de transferencia térmica mediante la aplicación de la siguiente metodología:

#### ***3.14.10.1 Impresión del diseño y limpieza de la placa***

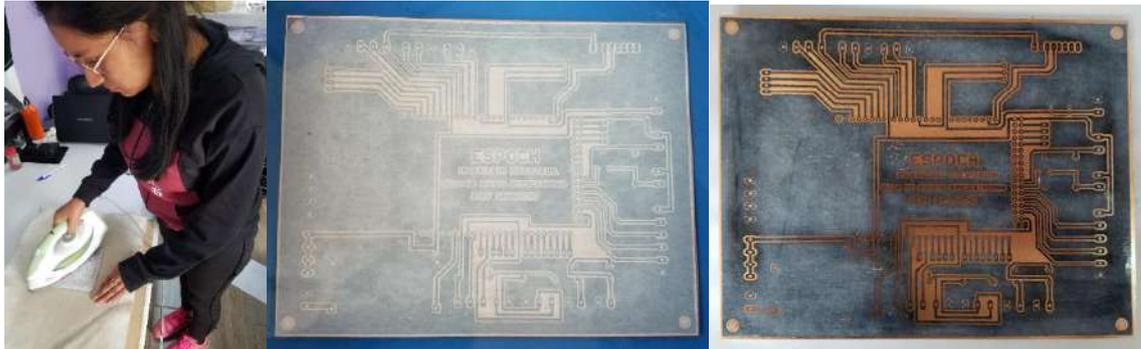
Se inicia con la impresión del diseño PCB haciendo uso de una impresora láser en papel couche de transferencia, a continuación se procede con la adecuación de la váquela de fibra de vidrio que es el material del cual está constituido la placa electrónica, se corta a las dimensiones del diseño mediante una sierra y se procede con la limpieza de esta con lustre metálico y alcohol isopropílico a fin de dejarla libre de impurezas para una correcta transferencia del diseño y calidad, como se muestra en la ilustración 3-34.



**Ilustración 3-34:** Impresión y limpieza de placa electrónica  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### ***3.14.10.2 Transferencia térmica y adecuación del diseño***

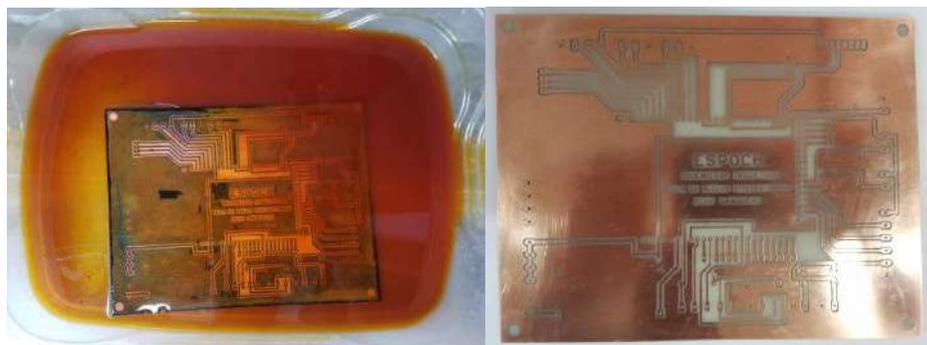
Con la ayuda de una plancha a nivel de calor alto se ejerce presión constante sobre toda la placa durante un lapso de 10 minutos, culminado este proceso se sumerge la placa en un recipiente con agua fría para poder retirar el papel y se quede solo el diseño transferido en la váquela. La adecuación consiste en dejar únicamente las pistas del diseño, mediante un borrador se facilita este proceso. En caso de ser necesario se acentúan las pistas con un marcador de punta fina permanente, como se puede observar en la figura 3-35.



**Ilustración 3-35:** Transferencia y adecuación de la placa electrónica  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

#### 3.14.10.3 Curado del diseño en placa

Enseguida con el diseño adecuado en un recipiente se sumerge a la placa en una solución de ácido férrico con agua caliente, se agita la misma a fin de que se remueva el sobrante de cobre que no forma parte del diseño transferido, a continuación, se limpia la placa retirando el tóner del diseño quedando solamente las pistas de cobre en la placa electrónica, logrando el resultado que se muestra en la ilustración 3-36.



**Ilustración 3-36:** Curado de la placa electrónica  
 Realizado por: Sangucho J., 2023

#### 3.14.10.4 Adecuación y soldadura de los componentes

Se procede con la transferencia de la máscara de componentes para una mejor orientación en el montaje, a continuación, con un taladro se efectúan perforaciones en cada uno de los pads de conexión de los componentes.

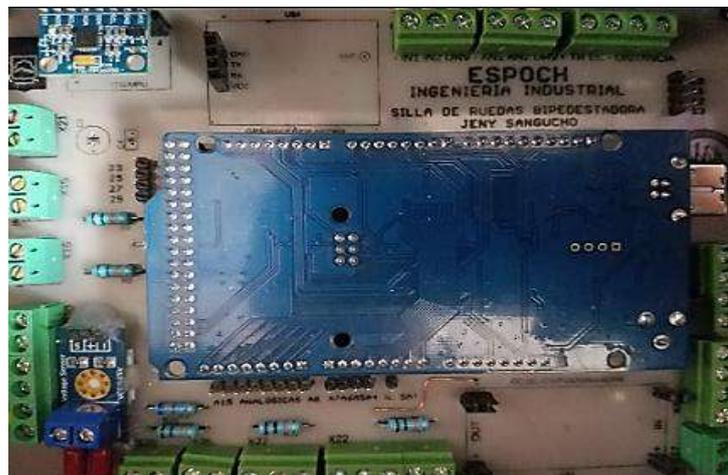
Haciendo empleo del cautín y estaño se efectúa la soldadura acorde al diseño ubicando los componentes de acuerdo al diseño, culminando esta actividad con la verificación de continuidad entre las pistas con ayuda de un multímetro, ilustración 3-37.



**Ilustración 3-37:** Adecuación y soldadura de componentes de la placa electrónica  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

#### 3.14.10.5 Montaje de componentes

Finalmente, se procede con la ubicación de los componentes en la placa electrónica donde se aprecia a la tarjeta de interfaz con los módulos sensores y conectores alrededor de la misma para la conexión de los restantes elementos, culminando el proceso de fabricación como se muestra en la ilustración 3-38.



**Ilustración 3-38:** Montaje de componentes en la placa electrónica  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

#### 3.14.11 Conexión de los componentes en el prototipo

Una vez que se contó con todos los componentes del prototipo, se efectuó en primera instancia a la ubicación de los componentes de control en el gabinete metálico ubicado en la parte posterior de la silla. Apoyados de una superficie aislante en la base del gabinete se realizó perforaciones para permitir el ingreso de los cables provenientes de los actuadores y elementos de control del prototipo. Con el fin de proporcionar hermeticidad se hacen empleo de conectores presa estopa PGM 12, como se muestra en la ilustración 3-39.



**Ilustración 3-39:** Adecuación gabinete de componentes  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Con el gabinete adecuado, se procede a ubicar en una distribución ordenada en primer lugar al bloque de fusibles, convertidores DC, driver de los motores, placa electrónica y regleta de relés logrando de esta manera facilitar la manipulación, identificación, conexión de cada componente, así como el reemplazo en caso de daño.

En cuanto a la ubicación de la pantalla del prototipo se empleó una caja construida en material acrílico soportada sobre una base impresa en 3D, en cuanto a los mandos de control con el joystick y el pulsador SPDT se diseñaron bases de igual manera materializadas en 3D y sujetas mediante tornillos, como se aprecia en la ilustración 3-40.



**Ilustración 3-40:** Ubicación de componentes en el prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Una vez instalado los componentes descritos, se realizó la conexión de cada uno de los componentes sensores y de control empleando cable concéntrico 2x16 AWG, 2x18 AWG y cable de instrumentación 4x18 AWG. En cuanto a los actuadores motores y alimentación de las baterías por el consumo de corriente mayor se emplearon cable 12 AWG y 6 AWG de acuerdo al esquema de conexión empleando terminales punteros en sus extremos, ilustración 3-41.



**Ilustración 3-41:** Cableado de los componentes del prototipo  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### ***3.14.12 Despliegue del prototipo***

Finalmente, la ilustración 3-42 muestra el prototipo de silla bipedestadora desplegado con todos sus componentes dejando listo para la programación y poder efectuar las pruebas de funcionamiento.



**Ilustración 3-42:** Prototipo desplegado  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### **3.15 Programación del prototipo**

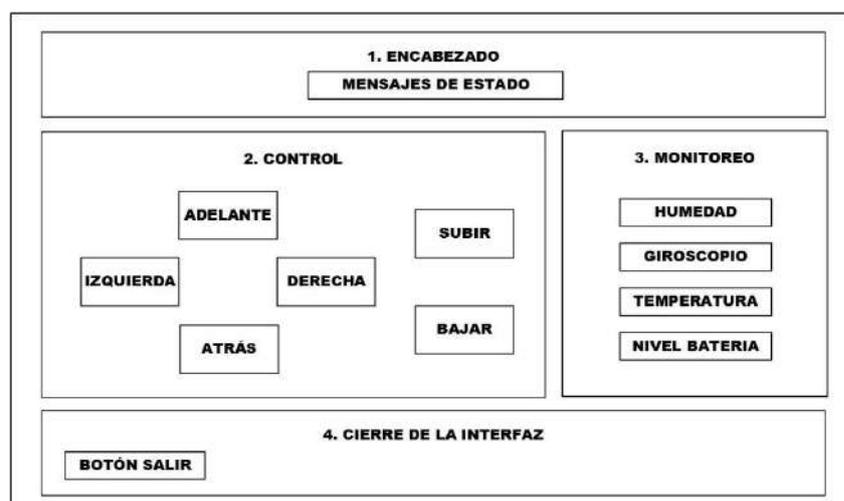
Con todos los componentes instalados en el prototipo se procede con la programación estableciendo las tareas a desempeñar en el funcionamiento siendo: la tarjeta de interfaz Arduino Mega se encargará de la lectura de los sensores, control de los actuadores y comunicación con el módulo de procesamiento; el módulo de procesamiento Raspberry se encargará de recibir la información recopilada por la tarjeta de interfaz y subirá la información hacia una plataforma IOT de acceso libre.

A su vez se contará con un HMI donde se podrá realizar el control primario de la silla de ruedas bipedestadora permitiendo la movilidad, la activación y desactivación de bipedestación, así como la capacidad de visualizar la página web IOT con los datos adquiridos a ser monitoreados.

### 3.15.1 Interfaz Gráfica del prototipo

Se inicia con el desarrollo del programa para la interfaz gráfica del prototipo misma que será desplegada en la pantalla táctil de 5 pulgadas instalada, en la misma se podrá visualizar la información de funcionamiento y control. Se hace empleo de la librería Pygame dentro de Python que permite crear objetos, animaciones y estructuras de programación para la interacción entre usuario y el prototipo. El diseño se inicia con el desarrollo de un bosquejo donde se definen los campos y componentes de la interfaz de acuerdo a la necesidad de funcionamiento. La ilustración 3-43 muestra la base de desarrollo en el que destacan 4 campos siendo:

- **Encabezado:** en esta primera sección se muestra el nombre del proyecto, así como los nombres y logos institucionales. En la parte inferior de esta sección se mostrarán textos de aviso para poder avisar al usuario el estatus de funcionamiento de la silla.
- **Control:** en esta sección estarán objetos de tipo pulsador con flechas para el control de movimiento de la silla de ruedas siendo adelante, izquierda, derecha, atrás; además de controles para la bipedestación.
- **Monitoreo:** la tercera sección mostrará la lectura de los sensores con los que está equipada la silla de ruedas, siendo: temperatura, humedad, giroscopio y nivel de batería.
- **Cierre del programa:** en la última sección se mostrará un controlador botón que permite salir de la interfaz del sistema.



**Ilustración 3-43:** Bosquejo de la interfaz gráfica  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.1.1 Algoritmo de programación de la interfaz gráfica



**Ilustración 3-44:** Diagrama de programación de la interfaz gráfica  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Con la implementación del algoritmo descrito en la ilustración 3-44 se crearon las secciones descritas con objetos pulsadores que permiten el control primario de movimiento de la silla de ruedas, así como la bipedestación, la visualización de estatus del programa, así como el valor de las variables de los sensores del prototipo y finalmente el cierre de la interfaz.

La programación de la interfaz gráfica inicia con la importación de la librería pygame y pygame\_widgets para poder iniciar con la creación del espacio de trabajo, así como la inclusión de botones para el control, como se muestra en la ilustración 3-45.

```
# PROGRAMACIÓN SILLA BIPEDESTADORA

# IMPORTACION DE LIBRETIAS
import pygame # INTERFAZ GRÁFICA
from pygame.locals import *
import pygame as pg
import pygame_widgets
import pygame
from pygame_widgets.slider import Slider
from pygame_widgets.textbox import TextBox
from pygame_widgets.button import Button
```

**Ilustración 3-45:** Importación de librerías para la programación de la interfaz  
Realizado por: Sangucho J., 2023

A continuación, se inicia con la importación de imágenes a desplegar en la interfaz, definición de coordenadas para la escritura de textos, tamaño de pantalla y color de fondo, de acuerdo a las sentencias de programación de la ilustración 3-46.

```
##### CONFIGURACIÓN INTERFAZ GRÁFICA #####
pygame.init() # INICIO DE LA INTERFAZ
mainClock = pygame.time.Clock()
# IMPORTACIÓN IMAGENES ENCABEZADO
epoch_logo=pygame.image.load('epoch.bmp') #LOGO ESPOCH
facultad_logo=pygame.image.load('facultad_r.bmp') #LOGO FACULTAD INDUSTRIAL
# IMPORTACIÓN IMAGENES CONTROL
arriba_img=pygame.image.load('arriba.bmp') # LOGO ARRIBA
abajo_img=pygame.image.load('abajo.bmp') # LOGO ABAJO
derecha_img=pygame.image.load('izquierda.bmp') # LOGO IZQUIERDA
izquierda_img=pygame.image.load('derecha.bmp') # LOGO DERECHA
subir_img=pygame.image.load('arriba_s.bmp') # LOGO ARRIBA SILLA
bajar_img=pygame.image.load('bajar_s.bmp') # LOGO ABAJO SILLA
# CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA DE LA INTERFAZ GRÁFICA
screen = pygame.display.set_mode((0, 0), pygame.FULLSCREEN)
color_fondo=(255, 255, 255) # ESTABLECIMIENTO COLOR BLANCO DE INTERFAZ
# DEFINICIÓN DE COORDENADAS PARA TÍTULOS Y LOGOS
coordenada_x_epoch=100 # TÍTULO ESPOCH
coordenada_y_epoch=20
color_epoch=(65, 188, 46)
coordenada_x_epoch_logo=15 # LOGO ESPOCH
coordenada_y_epoch_logo=20
coordenada_x_facultad=180 # TÍTULO FACULTAD
coordenada_y_facultad=55
color_facultad=(200, 55, 16)
coordenada_x_facultad_logo=710 # LOGO FACULTAD
coordenada_y_facultad_logo=20
coordenada_x_titulo=100 # TÍTULO PROYECTO
coordenada_y_titulo=90
color_titulo=(25, 255, 25)
c_x_izquierda=40 # LOGO IZQUIERDA
c_y_izquierda=220
c_x_derecha=280 # LOGO DERECHA
c_y_derecha=220
c_x_arriba=160 # LOGO ARRIBA
c_y_arriba=150
c_x_abajo=160 # LOGO ABAJO
c_y_abajo=320
c_x_subir=440 # LOGO ARRIBA SILLA
c_y_subir=180
c_x_bajar=440 # LOGO ABAJO SILLA
```

**Ilustración 3-46:** Configuración inicial de la interfaz  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Para la visualización de las variables se hace uso de una función que crea un cuadro donde se mostrará el valor de los sensores, con la importación de las fuentes se permite la escritura del texto en la interfaz, en la ilustración 3-47 se muestra cómo se realiza la visualización de un texto del título de la interfaz, así como de una variable a monitorear.

```

##### IMPORTACIÓN DE FUENTES #####
font1 = pygame.font.Font('freesansbold.ttf', 18)
font2 = pygame.font.Font('freesansbold.ttf', 18)
font3 = pygame.font.Font('freesansbold.ttf', 22)
font4 = pygame.font.Font('freesansbold.ttf', 30)
color_variable=(25, 25, 255) # DEFINICIÓN COLOR DE VARIABLES
mouse=(0,0)
##### FUNCIÓN CREACIÓN RECTANGULO #####
def crear_rectangulo(width, height, borde, color, borde_color):
    surf = pygame.Surface((width+borde*2, height+borde*2), pygame.SRCALPHA)
    pygame.draw.rect(surf, color, (borde, borde, width, height), 0)
    for i in range(1,borde):
        pygame.draw.rect(surf, borde_color, (borde-i, borde-i, width+3, height+3), 1)
    return surf
##### IMPRESIÓN DE TEXTOS Y VALOR DE VARIABLES #####
esepoch = font3.render('ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO', False, (25,0,255)) # TÍTULO ESPOCH
screen.blit(esepoch, (coordenada_x_esepoch, coordenada_y_esepoch))
screen.blit(esepoch_logo, (coordenada_x_esepoch_logo, coordenada_y_esepoch_logo))
titulo= font3.render('HUMEDAD', False, color_variable) # VARIABLE HUMEDAD
dato= font4.render(str(value_1), False, (0,0,0))
figura_1=crear_rectangulo(80,40,4, (0,180,0), (0,0,0))
screen.blit(figura_1, (618,145+20))
screen.blit(dato, (618+15,145+30))
screen.blit(titulo, (618,145))

```

**Ilustración 3-47:** Impresión de textos y valor de variables  
Realizado por: Sangucho J., 2023

El resultado de la ejecución de las líneas de programación de la interfaz gráfica se muestra en la ilustración 3-48, de acuerdo al diseño planteado con las secciones determinadas.



**Ilustración 3-48:** Interfaz gráfica del prototipo programada  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.2 Configuración de la plataforma IOT

Como siguiente punto se configura la plataforma IOT para la publicación y monitoreo de la información del prototipo, para el desarrollo del presente trabajo se escogió la plataforma Udibots por las prestaciones que ofrece siendo una de ellas la posibilidad de una cuenta de prueba gratuita para la ejecución de pruebas y así evaluar el desempeño de la plataforma, para ello se ingresa a la página web de la plataforma <https://es.ubidots.com/> como se muestra en la ilustración 3-49.



**Ilustración 3-49:** Página de la plataforma IOT Udibots  
Realizado por: Sangucho J., 2023

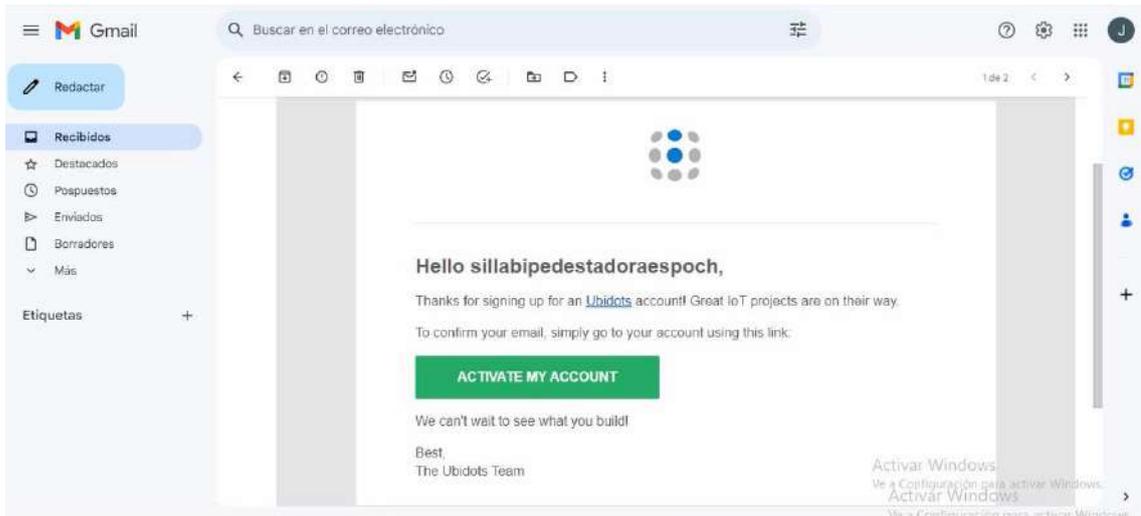
### 3.15.2.1 Creación de la cuenta

Una vez dentro de la página IOT se crea una cuenta gratuita mediante el registro en el cual se llena un formulario con información de contacto básica, ilustración 3-50, para ello se necesita una dirección de correo electrónico válida. La información de cuenta ingresada es correo: sillabipedestadora23@gmail.com y contraseña: epochsillabipedestadora.



**Ilustración 3-50:** Creación de cuenta gratuita en Udibots  
Realizado por: Sangucho J., 2023

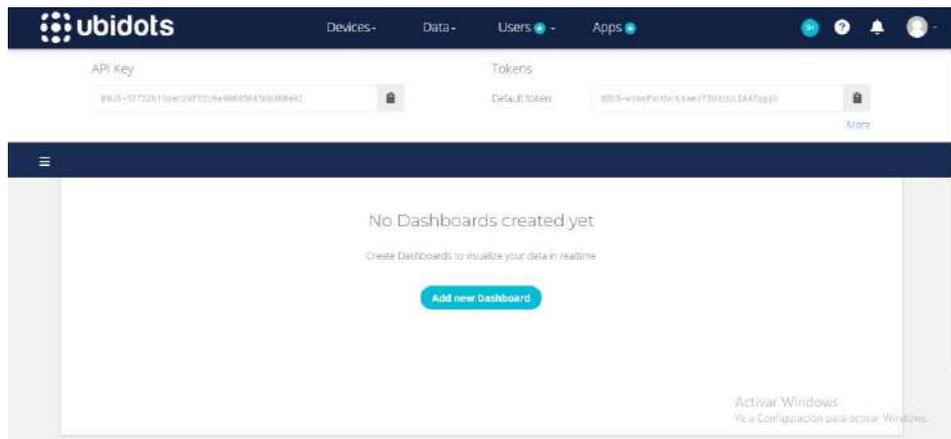
Ingresada la información, la plataforma de Udibots emite un mensaje al correo registrado para la confirmación de creación de cuenta dando por culminado este proceso, como se muestra en la ilustración 3-51.



**Ilustración 3-51:** Confirmación de la creación de cuenta en Ubidots  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

### 3.15.2.2 Obtención del código APIKey

Para poder realizar las tareas de escritura o lectura en la plataforma es necesario un código conocido como APIKey que está asociada a la cuenta y es único en la plataforma. Con este código el módulo de procesamiento permite la conexión con la plataforma y monitorear la información haciendo uso del IOT. Para obtenerlo se ingresa dentro de perfil en el apartado de API Credentials, ilustración 3-52, el código APIKey es: BBUS-53722b13dec2bf52c9e90085645db300a92

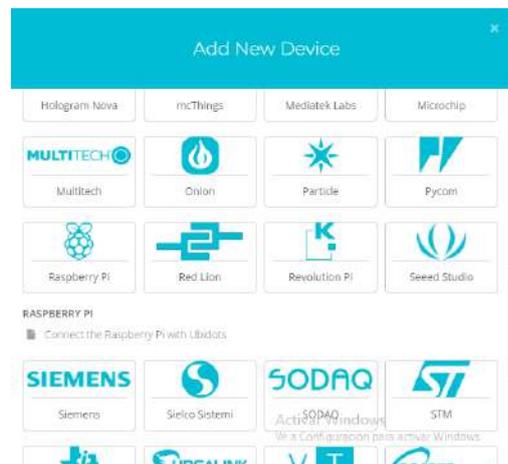


**Ilustración 3-52:** Confirmación de la creación de cuenta en Ubidots  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

### 3.15.2.3 Creación de un nuevo dispositivo

Para la creación de un nuevo dispositivo que en este caso es el módulo de procesamiento Raspberry Pi 3, en el apartado de Device se ingresa a Add new device seleccionando Raspberry

Pi en la parte inferior se despliega un apartado con una guía para la conexión entre Raspberry y Udidots como se muestra en la ilustración 3-53.



**Ilustración 3-53:** Creación de un dispositivo Raspberry en Udidots  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

La creación del dispositivo se realiza mediante líneas de programación suministradas en el código ejemplo, ilustración 3-54, para lo cual se ingresa en un programa de Phytton el token, nombre del dispositivo y las variables a ser monitoreadas.

```
import time
import requests
import math
import random

TOKEN = "" # Put your TOKEN here
DEVICE_LABEL = "machine" # Put your device label here
VARIABLE_LABEL_1 = "temperature" # Put your first variable label here
VARIABLE_LABEL_2 = "humidity" # Put your second variable label here
VARIABLE_LABEL_3 = "position" # Put your second variable label here

def build_payload(variable_1, variable_2, variable_3):
    # Creates two random values for sending data
    value_1 = random.randint(-10, 50)
    value_2 = random.randint(0, 85)

    # Creates a random gps coordinates
    lat = random.randrange(34, 36, 1) + \
        random.randrange(1, 1000, 1) / 1000.0
    lng = random.randrange(-83, -87, -1) + \
        random.randrange(1, 1000, 1) / 1000.0
    payload = {variable_1: value_1,
              variable_2: value_2,
              variable_3: {"value": 1, "context": {"lat": lat, "lng": lng}}}

    return payload
```

**Ilustración 3-54:** Código ejemplo creación de un dispositivo Raspberry en Udidots  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

Para el desarrollo del presente trabajo, la creación del nuevo dispositivo para la plataforma IOT se inicia con un nuevo programa en el IDLE de Phytton, mediante el empleo de las librerías time, requests, math y random. La ilustración 3-55 muestra la programación para la creación del

dispositivo denominado Silla bipedestadora asociada al token previamente descrito estableciendo a las variables humedad, giroscopio, temperatura y batería para el monitoreo.

```
##### CONFIGURACIÓN PLATAFORMA IOT UDIBOTS #####
import time
import requests
import math
import random
TOKEN = "BBUS-53722b13dec2bf52c9e90085645db300a92" # TOKEN DE LA PÁGINA
DEVICE_LABEL = "Silla Bipedestadora" # NOMBRE DEL DISPOSITIVO
VARIABLE_LABEL_1 = "humedad"
VARIABLE_LABEL_2 = "giroscopio"
VARIABLE_LABEL_3 = "temperatura"
VARIABLE_LABEL_4 = "bateria"

def get_var(device, variable):
    try:
        url = "http://industrial.api.ubidots.com/"
        url = url + \
            "api/v1.6/devices/{0}/{1}/".format(device, variable)
        headers = {"X-Auth-Token": TOKEN, "Content-Type": "application/json"}
        req = requests.get(url=url, headers=headers)
        return req.json()['last_value']['value']
    except:
        pass

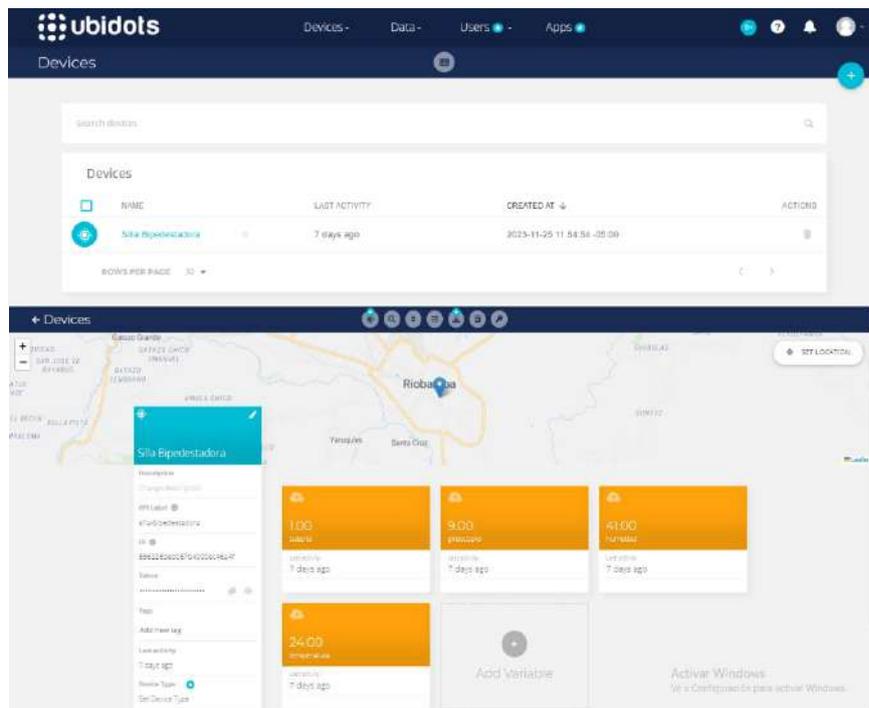
def build_payload(variable_1, variable_2, variable_3, variable_4):
    payload = {variable_1: value_1,
              variable_2: value_2,
              variable_3: value_3,
              variable_4: value_4}
    return payload

def post_request(payload):
    # Creates the headers for the HTTP requests
    url = "http://industrial.api.ubidots.com"
    url = "{}/api/v1.6/devices/{}".format(url, DEVICE_LABEL)
    headers = {"X-Auth-Token": TOKEN, "Content-Type": "application/json"}

    # Makes the HTTP requests
    status = 400
    attempts = 0
    while status >= 400 and attempts <= 5:
```

**Ilustración 3-55:** Código creación dispositivo en Udibots para el prototipo.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

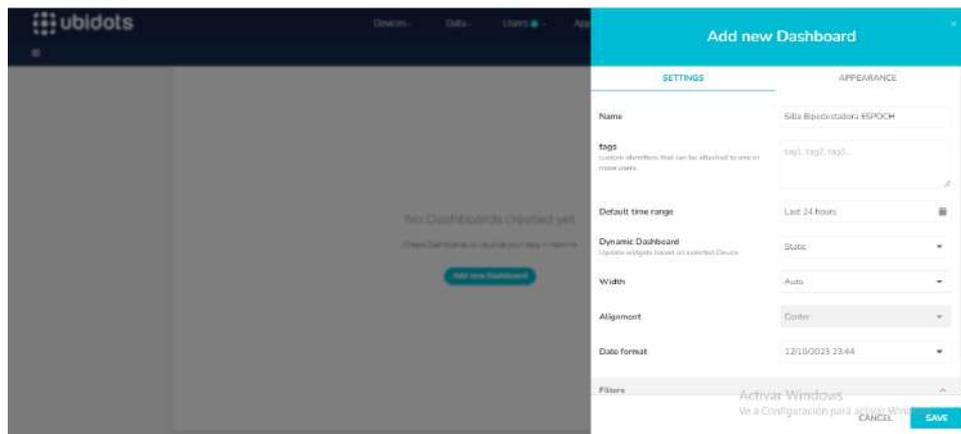
Con la ejecución del código descrito se obtiene el dispositivo creado como se muestra en la ilustración 3-56, donde se aprecia el dispositivo con el nombre ingresado, así como las variables.



**Ilustración 3-56:** Dispositivo creado en la plataforma de Udibots.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

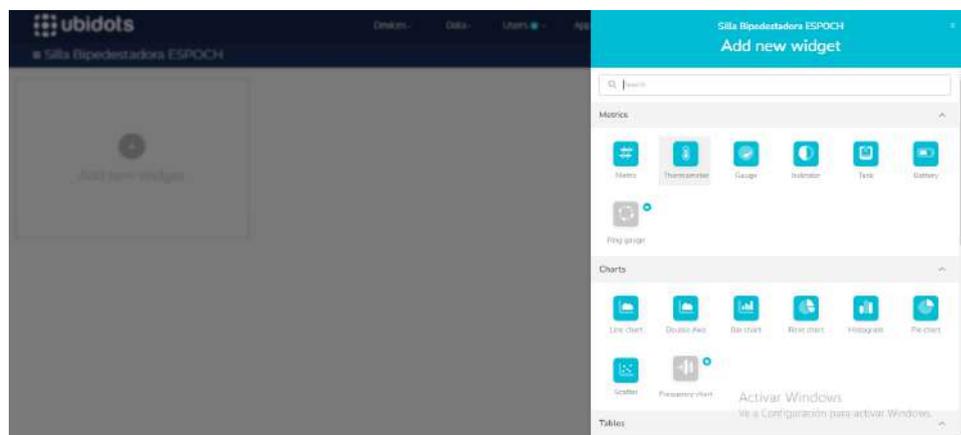
### 3.15.2.4 Configuración del Dashboard

Creado el dispositivo se procede a configurar el dashboard o panel de visualización de información con elementos gráficos propios de la plataforma IOT, para ello el apartado de Dashboard se selecciona Add new Dashboard y se configura con el nombre que para el trabajo es Silla Bipedestadora ESPOCH, como se visualiza en la ilustración 3-57.



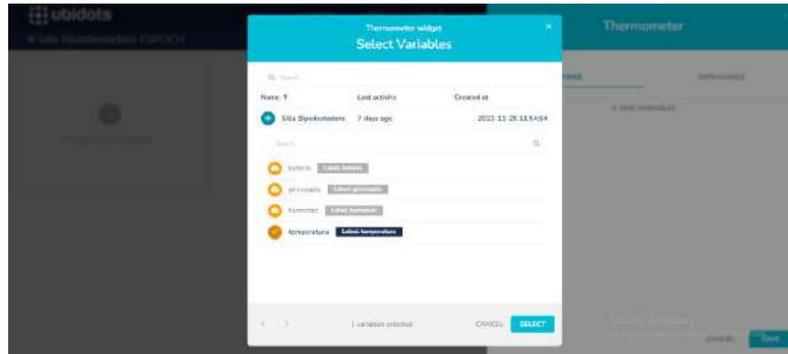
**Ilustración 3-57:** Creación de un Dashboard de Udidots.  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

Una vez creado se procede a agregar Widget o elementos gráficos asociados a las variables, Udidots ofrece una amplia gama de los mismos, al trabajar con variables de tipo numérico se escoge de los correspondientes a metrics, ilustración 3-58.



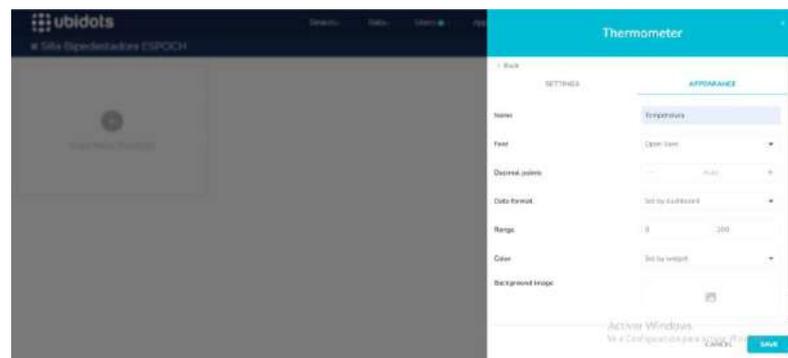
**Ilustración 3-58:** Creación de un Widget en Dashboard de Udidots.  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

Como ejemplo se toma el widget thermometer para ello una vez seleccionado se procede a asociarlo con una variable del dispositivo creado, para este caso se asocia con la variable temperatura, tal como se muestra en la ilustración 3-59.



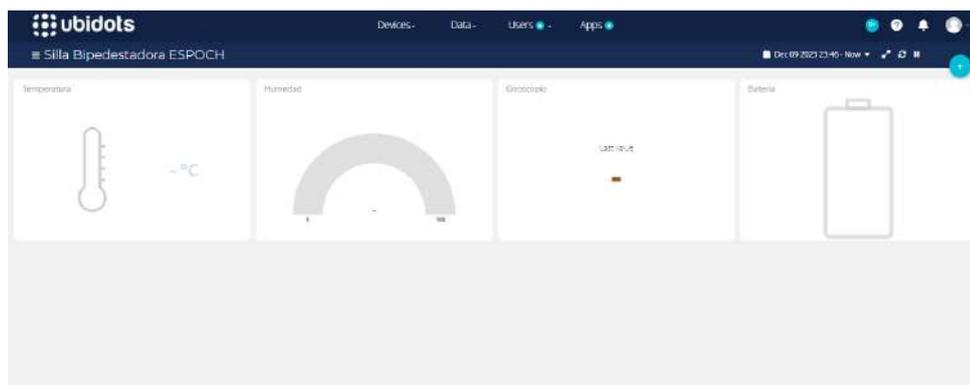
**Ilustración 3-59:** Creación de un Widget en Dashboard de Ubidots.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Asociado a la variable se procede a configurar el aspecto de visualización y se nombra a la variable con el nombre para este caso es Temperatura, ilustración 3-60.



**Ilustración 3-60:** Configuración de aspecto del Widget en Dashboard  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Siguiendo la misma metodología de creación se procede a asociar a cada una de las variables del prototipo. Los datos transmitidos mediante el módulo de procesamiento Raspberry Pi 3 son visualizados y almacenados en la plataforma web IOT Ubidots, permitiendo monitorear variables de forma numérica y gráfica mediante el empleo de campos en un canal de medición. La ilustración 3-61 muestra el dashboard generado.

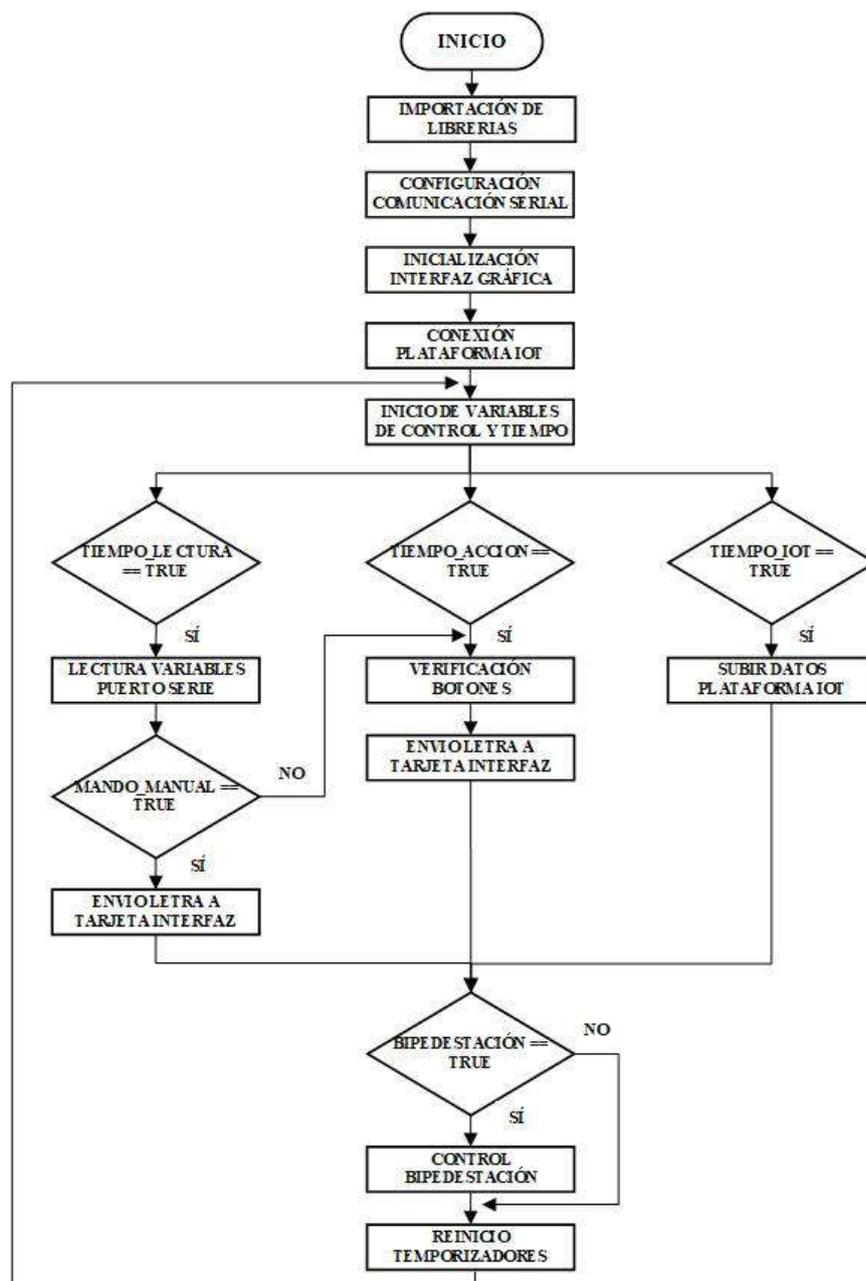


**Ilustración 3-61:** Dashboard creado para el prototipo.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3 Programación del módulo de procesamiento

El módulo de procesamiento se encarga de la lectura de los sensores del prototipo, el control de movimiento y accionamiento de la bipedestación en dos modos: manual y por la pantalla de la interfaz gráfica. Además, realiza la publicación de los datos en la plataforma IOT Udibots, para ello hace uso de la programación base descrita en la creación de la interfaz gráfica y configuración de la plataforma Iot.

#### 3.15.3.1 Algoritmo de programación del módulo de procesamiento



**Ilustración 3-62:** Algoritmo del módulo de procesamiento.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

Las acciones ejecutadas por el módulo se muestran en la ilustración 3-62, donde haciendo empleo del software de programación Python se inicia con la importación de librerías e inicio de la comunicación serial con la tarjeta de interfaz Arduino Mega, así como de la interfaz gráfica del prototipo, variables de control y temporizadores para la ejecución de multi tareas.

Enseguida se efectúan tres tareas simultaneas en las que se realiza la lectura del puerto serial con la información de los sensores provenientes de la tarjeta de interfaz, la verificación del modo de control del prototipo, así como el accionamiento de botones de control.

Finalmente se realiza la publicación de información en la interfaz gráfica, así como en la plataforma IOT, durante todos los procesos se realiza el control de la ejecución de bipedestación tomando en consideración condiciones óptimas para la realización del proceso.

A continuación, se detalla las acciones programadas:

### 3.15.3.2 Importación de librerías

Para iniciar con la programación del módulo es necesario importar una serie de librerías que permiten la interacción con los componentes del sistema. Para ello se hace empleo del comando import y el nombre de la librería a emplear. Como se describió para la programación de la interfaz gráfica es necesario la librería pygame para la configuración de los parámetros y diseño de la pantalla, en cuanto para el establecimiento de la comunicación serial se emplea la librería serial y time a fin de sincronizar la velocidad de interconexión entre dispositivos. Además, se emplean librerías request y math para la publicación de información en la plataforma IOT.

```
# PROGRAMACIÓN SILLA BIPEDESTADORA

##### IMPORTACIÓN DE LIBRERIAS #####
import pygame # INTERFAZ GRÁFICA
from pygame.locals import *
import pygame as pg
import pygame_widgets
import pygame
from pygame_widgets.slider import Slider
from pygame_widgets.textbox import TextBox
from pygame_widgets.button import Button

import numpy as np
import serial, time # COMUNICACIÓN SERIAL
import datetime
import math

import serial, time, json
from geopy.geocoders import Nominatim
import requests
import random
from sys import exit
```

**Ilustración 3-63:** Importación de librerías para programación.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.3 Inicialización de comunicación serial y plataforma IOT

La conexión serial entre dispositivos se realiza mediante el comando `serial.Serial` estableciendo la dirección del dispositivo Arduino Mega, la velocidad de comunicación a 19200 baudios por segundo. En cuanto a la plataforma IOT se establece las líneas de programación previamente descritas, destacando la función de `request` que permite establecer la conexión y publicación de variables en la plataforma como se muestra en la ilustración 3-64.

```
##### CONFIGURACIÓN SERIAL #####
ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0',19200,timeout=1, write_timeout=1)
##### CONFIGURACIÓN PLATAFORMA IOT UDIBOTS #####
import time
import requests
import math
import random
TOKEN = "BBUS-53722b13dec2bf52c9e90085645db300a92" # TOKEN DE LA PÁGINA
DEVICE_LABEL = "Silla Bipedestadora" # NOMBRE DEL DISPOSITIVO
VARIABLE_LABEL_1 = "humedad"
VARIABLE_LABEL_2 = "giroscopio"
VARIABLE_LABEL_3 = "temperatura"
VARIABLE_LABEL_4 = "bateria"
def get_var(device, variable):
    try:
        url = "http://industrial.api.ubidots.com/"
        url = url + \
            "api/v1.6/devices/{0}/{1}/".format(device, variable)
        headers = {"X-Auth-Token": TOKEN, "Content-Type": "application/json"}
        req = requests.get(url=url, headers=headers)
        return req.json()['last_value']['value']
    except:
        pass
def build_payload(variable_1, variable_2, variable_3,variable_4):
    payload = {variable_1: value_1,
              variable_2: value_2,
              variable_3: value_3,
              variable_4: value_4,
    }
    return payload
def post_request(payload):
    url = "http://industrial.api.ubidots.com" # CABECERA HTTP
    url = "{}/api/v1.6/devices/{}".format(url, DEVICE_LABEL)
    headers = {"X-Auth-Token": TOKEN, "Content-Type": "application/json"}
    status = 400
    attempts = 0
    while status >= 400 and attempts <= 5:
        req = requests.post(url=url, headers=headers, json=payload)
        status = req.status_code
        attempts += 1
    if status >= 400:
        print("[ERROR] Could not send data after 5 attempts, please check \
```

**Ilustración 3-64:** Inicialización comunicación serial y plataforma IOT  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.4 Declaración de variables de control y tiempo

La ilustración 3-65 muestra las variables de control empleadas para el movimiento de los motores, ejecución de bipedestación, modo de control, así como el inicio de temporizadores para la ejecución de tareas múltiples.

```
##### DEDCLARACIÓN VARIABLES CONTROL Y TIEMPO #####
running=True
tiempo_compilacion=datetime.datetime.now()
value_1_ant=0
value_2_ant=0
value_3_ant=0
value_4_ant=0
value_5_ant=0
control_motores=0
control_bipedo=0
control_nivelacion=0
control_direccion=0
tiempo_bipedo_ini=datetime.datetime.now()
tiempo_bipedo_fin=datetime.datetime.now()
segundos=0
modo_manual=0
-----
```

**Ilustración 3-65:** Declaración de variables  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.5 Lectura del puerto serial

Definidas las variables del programa en la estructura principal se ejecuta constantemente la adquisición de la posición del puntero del ratón a fin de definir el lugar dentro de la pantalla donde se está accionando un control, enseguida se inician las variables temporizadoras para contralar la ejecución de las tareas. Entre una de ellas es la lectura de información proveniente de la tarjeta de interfaz con los valores de los sensores del prototipo, ilustración 3-66.

```
##### PROGRAMA PRINCIPAL #####
while running:
    mouse = pygame.mouse.get_pos() # ADQUISICIÓN POSICIÓN DEL MOUSE
    events = pygame.event.get() # VERIFICACIÓN DE EVENTOS
    screen.fill(color_fondo) # ASIGNACIÓN COLOR DE FONDO
    tiempo_compilacion_inicio=datetime.datetime.now() # INICIO CONTADOR EJECUCIÓN PROGRAMA
    resta_sl=abs(tiempo_compilacion-tiempo_compilacion_inicio) # CONTROL DE TIEMPOS
    resta_sl=str(resta_sl)
    resta_sl=resta_sl.split(':')
    sengundo_sl=str(resta_sl[2])
    sengundo_sl=float(sengundo_sl)
    sengundo_sl=int(sengundo_sl)
    try:
        data = ser.readline().decode('utf-8').rstrip() # LECTURA SERIAL DE DATOS DE LA TARJETA DE INTERFAZ
        data=str(data)
        data = data.split(":")
    except Exception as e:
        data ="0 0 0 0 0"
    if len(data)>3:
        try:
            value_1 = int(data[0])
        except Exception as e:
            value_1=value_1_ant
        try:
            value_2 = str(data[1])
            value_2 = float(value_2)
            value_2 = int(value_2)
        except Exception as e:
            value_2=value_2_ant
            print("error de conversion valor 2")
        try:
            value_3 = int(data[2])
        except Exception as e:
            value_3=value_3_ant
```

**Ilustración 3-66:** Lectura del puerto serial e inicio programa principal  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.6 Verificación accionamiento de botones

La verificación de accionamiento de los botones se realiza mediante la supervisión del evento y comprobando las coordenadas de los controles, se realiza él envió por puerto serie una letra para que sea interpretado por la tarjeta de interfaz y realizar el movimiento, ilustración 3-67.

```
##### VERIFICACIÓN ACCIONAMIENTO DE BOTONES #####
for event in events:
    if event.type == pygame.MOUSEBUTTONDOWN:
        if c_x_izquierda <= mouse[0] <=c_x_izquierda+100 and c_y_izquierda<= mouse[1] <=c_y_izquierda+100 and control_bipedo==0 and modo_manual==0:
            print('izquierda up')
            ser.write(bytes("e", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("e", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("e", 'utf-8'))
            control_direccion=0
        if c_x_derecha <= mouse[0] <=c_x_derecha+100 and c_y_derecha<= mouse[1] <=c_y_derecha+100 and control_bipedo==0 and modo_manual==0:
            print('derecha up')
            ser.write(bytes("f", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("f", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("f", 'utf-8'))
            control_direccion=0
        if c_x_arriba <= mouse[0] <=c_x_arriba+100 and c_y_arriba<= mouse[1] <=c_y_arriba+100 and control_bipedo==0 and modo_manual==0:
            print('arriba up')
            ser.write(bytes("g", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("g", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("g", 'utf-8'))
            control_direccion=0
        if c_x_abajo <= mouse[0] <=c_x_abajo+100 and c_y_abajo<= mouse[1] <=c_y_abajo+100 and control_bipedo==0 and modo_manual==0 :
            print('atras up')
            ser.write(bytes("h", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("h", 'utf-8'))
            ser.write(bytes("h", 'utf-8'))
            control_direccion=0
```

**Ilustración 3-67:** Verificación de accionamiento de botones  
Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.7 Envío a plataforma IOT

El envío de datos se realiza mediante la sentencia `build_payload` con el valor de las variables monitoreadas, enseguida se hace un acuso de respuesta con el comando `post_request` verificando que los datos fueron actualizados en la plataforma como se muestra en la ilustración 3-68.

```
##### ENVIO DE DATOS A PLATAFORMA IOT #####
if segundo_s1%3==0:
    payload = build_payload(VARIABLE_LABEL_1, VARIABLE_LABEL_2, VARIABLE_LABEL_3,VARIABLE_LABEL_4,VARIABLE_LABEL_5,value_1,value_2,value_3,value_4)
    post_request(payload) # ENVIO A UDIBOTS
```

#### **Ilustración 3-68:** Envío a plataforma IOT

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.8 Control de accionamiento de bipedestación

La ejecución de la bipedestación es una acción que requiere de control constante durante su desarrollo por ese motivo, en la programación se controla el tiempo mientras el prototipo se encuentra en movimiento de subida o bajada y muestra en pantalla mensajes de ejecución del proceso, ilustración 3-69.

```
##### CONTROL BIPEDESTACIÓN #####
if control_bipedo==1:
    tiempo_bipedo_fin=datetime.datetime.now()
    resta=abs(tiempo_bipedo_ini-tiempo_bipedo_fin)
    resta=str(resta)
    resta=resta.split(':')
    try:
        segundos=str(resta[2])
        segundos=float(segundos)
        segundos=int(segundos)
    except Exception as e:
        segundos=0
    if segundos>24: # TIEMPO DE BIPEDESTACIÓN
        control_bipedo=0
    else:
        silla = font3.render('BIPEDESTACION EN PROCESO', False, (0,255,25)) # MENSAJE EJECUCIÓN DE BIPEDESTACIÓN
        screen.blit(silla, (260,125))
```

#### **Ilustración 3-69:** Control de bipedestación

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.9 Tipo de control y control de funcionamiento

Para el control del prototipo se emplea una variable que acorde a su valor determina si el mismo se realiza por mando manual o pantalla, a su vez se controla que para la ejecución de la bipedestación la silla esta nivelada con el empleo del giroscopio, ilustración 3-70.

```
##### CONTROL DE FUNCIONAMIENTO #####
if control_nivelacion==1: # VERIFICACIÓN NIVELACIÓN SILLA
    silla = font3.render('LA SILLA NO ESTA NIVELADA', False, (175,0,25)) # MENSAJE DE NO NIVELADO
    screen.blit(silla, (260,125))

if modo_manual==1: # VERIFICACIÓN DE CONTROL POR MANDO O PANTALLA
    silla = font3.render('MODO MANUAL', False, (175,0,25))
    screen.blit(silla, (340,125))
```

#### **Ilustración 3-70:** Control de mando y funcionamiento

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.10 Visualización de información

La visualización de información se ejecuta durante toda la ejecución del programa en la misma se muestran los títulos de la interfaz, así como la actualización de las variables provenientes del puerto serial como se muestra en la ilustración 3-71.

```
##### IMPRESIÓN DE VARIABLES EN INTERFAZ #####
epoch = font3.render('ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO', False, (25,0,255)) # TÍTULO ESPOCH
screen.blit(epoch, (coordenada_x_epoch, coordenada_y_epoch))
screen.blit(epoch_logo, (coordenada_x_epoch_logo, coordenada_y_epoch_logo))
carrera = font3.render('CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL ', False, (175,12,25)) # CARRERA INDUSTRIAL
screen.blit(carrera, (coordenada_x_carrera, coordenada_y_carrera))
screen.blit(carrera_logo, (coordenada_x_carrera_logo, coordenada_y_carrera_logo))
titulo= font3.render('PROTOTIPO DE SILLA DE RUEDAS BIPEDESTADORA Iot ', False, (25,125,25)) # TÍTULO PROYECTO
screen.blit(titulo, (coordenada_x_titulo, coordenada_y_titulo))
titulo= font3.render('HUMEDAD', False, color_variable) # VARIABLE HUMEDAD
dato= font4.render(str(value_1), False, (0,0,0))
figura_1=crear_rectangulo(80,40,4, (0,180,0), (0,0,0))
screen.blit(figura_1, (618,145+20))
screen.blit(dato, (618+15,145+30))
screen.blit(titulo, (618,145))
titulo= font3.render('GIROSCOPIO', False, color_variable) # VARIABLE GIROSCOPIO
dato= font4.render(str(value_2), False, (0,0,0))
figura_2=crear_rectangulo(80,40,4, (0,180,0), (0,0,0))
screen.blit(figura_2, (618,230+20))
screen.blit(dato, (618+15,230+30))
screen.blit(titulo, (618,230))
titulo= font3.render('TEMPERATURA', False, color_variable) # VARIABLE TEMPERATURA
dato= font4.render(str(value_3), False, (0,0,0))
figura_3=crear_rectangulo(80,40,4, (0,180,0), (0,0,0))
screen.blit(figura_3, (618,315+20))
screen.blit(dato, (618+15,315+30))
screen.blit(titulo, (618,315))
titulo= font3.render('BATERIA', False, color_variable) # VARIABLE BATERIA
dato= font4.render(str(value_4), False, (0,0,0))
figura_4=crear_rectangulo(80,80,4, (0,180,0), (0,0,0))
screen.blit(figura_3, (618,400+20))
screen.blit(dato, (618+15,400+30))
screen.blit(titulo, (618,400))
titulo= font3.render('SALIR', False, (0,0,0)) # BOTÓN SALIR
figura_5=crear_rectangulo(101,60,4, (255,0,0), (0,0,0))
screen.blit(figura_5, (10,410))
screen.blit(titulo, (35,430))
```

### **Ilustración 3-71:** Control de mando y funcionamiento

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 3.15.3.11 Actualización de la interfaz gráfica

La actualización de la interfaz gráfica se desarrolla cada 100 milisegundos verificando la ejecución de eventos, recibiendo y mostrando la información de funcionamiento del prototipo como se muestra en la ilustración 3-72.

```
##### ACTUALIZACIÓN DE CONTROLES #####
screen.blit(arriba_img, (c_x_arriba, c_y_arriba))
screen.blit(abajo_img, (c_x_abajo, c_y_abajo))
screen.blit(izquierda_img, (c_x_izquierda, c_y_izquierda))
screen.blit(derecha_img, (c_x_derecha, c_y_derecha))
screen.blit(subir_img, (c_x_subir, c_y_subir))
screen.blit(bajar_img, (c_x_bajar, c_y_bajar))
##### ACTUALIZACIÓN DE LA INTERFAZ #####
mainClock.tick(100)
pygame_widgets.update(events)
pygame.display.update()
pygame.display.flip()
pygame.quit()
```

### **Ilustración 3-72:** Actualización de la interfaz gráfica

Realizado por: Sangucho J., 2023

## CAPÍTULO IV

### 4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis y discusión de resultados

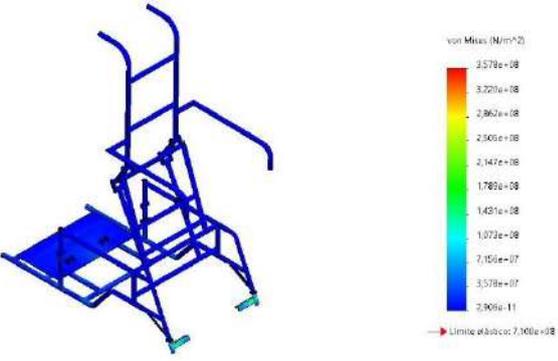
Integrar un sistema automatizado de control y monitoreo en una silla de ruedas bipedestadora contribuye a optimizar el proceso de elevación al cambiar de la silla de ruedas normal al bipedestador, esta automatización otorga autonomía al usuario al transformar el proceso de manual a automático, eliminando así la necesidad de depender de otras personas para llevar a cabo esta transición, este avance favorece la inclusión del usuario en la sociedad al facilitar su independencia. Con el objetivo de validar el funcionamiento del prototipo implementado se ejecutan una serie de pruebas para comprobar las características propias del prototipo.

##### 4.1.1 Validación del análisis estructural

A partir de los resultados obtenidos en el análisis estructural inicial considerando pesos estimados, se realiza la validación del diseño una vez conocido el peso real de los todos los componentes constitutivos del prototipo, teniendo una carga real.

**Tabla 4-1:** Validación del resultado del estudio de tensiones.

| Tipo                      | Mínimo   | Máximo    |
|---------------------------|----------|-----------|
| VON: Tensión de Von Mises | 0,00 MPa | 357,8 MPa |



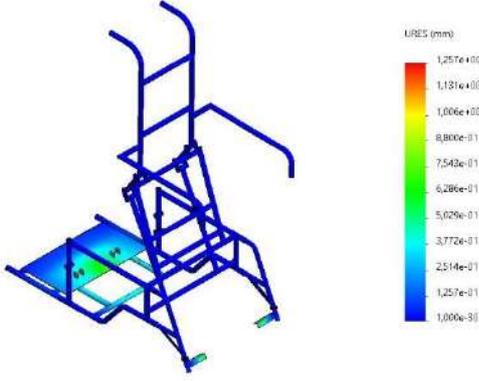
Realizado por: Sangucho J., 2023

Considerando el caso en el que el prototipo se encuentra en estado de bipedestación, en la tabla 4-1 se muestra el estado de deformación del prototipo el cual tiene un valor máximo de 357 MPa, tenido un valor de 107 MPa en los apoya pies, valor cercano al conseguido en el análisis inicial (103 MPa) con lo cual al encontrarse por debajo del límite elástico 710 MPa se valida el diseño bajo el criterio de Von Mises para soportar las cargas descritas.

En la tabla 4-2 se tiene una deformación máxima total de 1,26 mm del prototipo, y 0,37 mm en la placa y bases que soporta las baterías, así como de 0,50 mm en los tubos de los apoya pies, esto se debe a que esta estructura soporta gran parte del peso al momento de estar en estado bipedestador. Estos resultados son aceptables para el prototipo ya que no existe una diferencia significativa a partir del análisis inicial.

**Tabla 4-2:** Validación del resultado del estudio de desplazamientos

| Tipo                              | Mínimo  | Máximo  |
|-----------------------------------|---------|---------|
| URES: Desplazamientos resultantes | 0,00 mm | 1,26 mm |

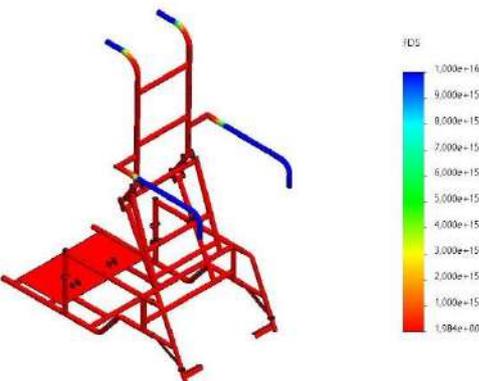


Realizado por: Sangucho J., 2023

Finalmente, en la tabla 4-3 se muestra el factor de seguridad para la silla bipedestadora con un factor mínimo de 1,98 en la mayor parte de la estructura donde se encuentran elementos de unión en los que se dan los estados de esfuerzo críticos. Valor que valida el diseño para soportar de forma segura el peso conjunto del usuario y los diferentes componentes del prototipo.

**Tabla 4-3:** Validación del resultado del factor de seguridad

| Tipo                | Mínimo |
|---------------------|--------|
| Factor de seguridad | 1,98   |



Realizado por: Sangucho J., 2023

#### 4.1.2 Tiempo de desplazamiento del actuador lineal

Para verificar el tiempo que toma desplazar a una persona en el desarrollo de la bipedestación se realizaron pruebas haciendo empleo de un cronometro registrando los tiempos de subida y bajada del prototipo, para ello se inició tomando como referencia el caso en que la silla no tiene peso del usuario y así tener una referencia de tiempos. La ilustración 4-1 muestra el proceso realizado.



**Ilustración 4-1:** Registro de tiempos de subida y bajada sin peso.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

En la toma de datos se realizaron 10 pruebas promediando los resultados de los tiempos de subida y bajada logrando establecer el ciclo de trabajo, la tabla 4-4 muestra los datos registrados.

**Tabla 4-4:** Tiempo de ejecución de bipedestación sin peso.

| Prueba          | Tiempo de subida | Tiempo de bajada | Tiempo de ciclo |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Prueba 1        | 19,76 s          | 18,20 s          | 37,96 s         |
| Prueba 2        | 19,50 s          | 18,35 s          | 37,85 s         |
| Prueba 3        | 19,12 s          | 18,58 s          | 37,70 s         |
| Prueba 4        | 19,20 s          | 18,45 s          | 37,65 s         |
| Prueba 5        | 19,89 s          | 18,48 s          | 38,37 s         |
| Prueba 6        | 19,70 s          | 18,25 s          | 37,95 s         |
| Prueba 7        | 19,80 s          | 18,37 s          | 38,17 s         |
| Prueba 8        | 19,16 s          | 18,42 s          | 37,58 s         |
| Prueba 9        | 19,48 s          | 18,50 s          | 37,98 s         |
| Prueba 10       | 19,81 s          | 18,46 s          | 38,27 s         |
| <b>Promedio</b> | <b>19,54 s</b>   | <b>18,41 s</b>   | <b>37,95 s</b>  |

Realizado por: Sangucho J., 2023

De los resultados obtenidos se tiene que el tiempo promedio de subida es de 19,54 segundos y el de bajada de 18,41 segundos, consiguiendo un tiempo de ciclo de trabajo de bipedestación de 37,95 segundos sin considerar el peso del usuario. A fin validar estos tiempos y considerando los

pesos referenciales de personas de los Anexos 1 y 2 se consideran pruebas en 3 personas cuyos datos de estatura y peso se encuentran en el rango permisible del diseño de la silla, tabla 4-5.

**Tabla 4-5:** Datos de peso y estatura de personas de prueba.

| Persona   | Género    | Peso     | Talla  |
|-----------|-----------|----------|--------|
| Persona 1 | Femenino  | 50,00 kg | 1,50 m |
| Persona 2 | Masculino | 60,00 kg | 1,57 m |
| Persona 3 | Femenino  | 70,00 kg | 1,45 m |

Realizado por: Sangucho J., 2023

En primer lugar, se registró los datos de la persona 1 con peso de 50 kg, como se muestra en la figura 4-2, registrando los datos expuestos en la tabla 4-6.



**Ilustración 4-2:** Registro de tiempos de subida y bajada con peso 50 kg.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-6:** Tiempo de ejecución de bipedestación con persona 1 de 50 Kg.

| Prueba          | Tiempo de subida | Tiempo de bajada | Tiempo de ciclo |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Prueba 1        | 21,06 s          | 18,44 s          | 39,50 s         |
| Prueba 2        | 21,10 s          | 18,45 s          | 39,55 s         |
| Prueba 3        | 21,07 s          | 18,38 s          | 39,45 s         |
| Prueba 4        | 21,12 s          | 18,48 s          | 39,60 s         |
| Prueba 5        | 21,08 s          | 18,48 s          | 39,56 s         |
| Prueba 6        | 21,11 s          | 18,42 s          | 39,53 s         |
| Prueba 7        | 21,08 s          | 18,44 s          | 39,52 s         |
| Prueba 8        | 21,10 s          | 18,38 s          | 39,48 s         |
| Prueba 9        | 21,09 s          | 18,42 s          | 39,51 s         |
| Prueba 10       | 21,13 s          | 18,46 s          | 39,59 s         |
| <b>Promedio</b> | <b>21,09 s</b>   | <b>18,44 s</b>   | <b>39,53 s</b>  |

Realizado por: Sangucho J., 2023

En seguida con la participación de la persona 2 de peso de 60 Kg, ilustración 4-3, se volvieron a registrar los tiempos de ejecución del proceso, teniendo como resultados los tiempos presentes en la tabla 4-7.



**Ilustración 4-3:** Registro de tiempos de subida y bajada con peso 60 kg.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-7:** Tiempo de ejecución de bipedestación con persona 2 de 60 Kg.

| Prueba          | Tiempo de subida | Tiempo de bajada | Tiempo de ciclo |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Prueba 1        | 21,46 s          | 18,40 s          | 39,86 s         |
| Prueba 2        | 21,51 s          | 18,41 s          | 39,92 s         |
| Prueba 3        | 21,49 s          | 18,37 s          | 39,86 s         |
| Prueba 4        | 21,50 s          | 18,39 s          | 39,89 s         |
| Prueba 5        | 21,48 s          | 18,38 s          | 39,86 s         |
| Prueba 6        | 21,47 s          | 18,39 s          | 39,86 s         |
| Prueba 7        | 21,50 s          | 18,38 s          | 39,88 s         |
| Prueba 8        | 21,47 s          | 18,41 s          | 39,88 s         |
| Prueba 9        | 21,48 s          | 18,40 s          | 39,88 s         |
| Prueba 10       | 21,55 s          | 18,41 s          | 39,96 s         |
| <b>Promedio</b> | <b>21,49 s</b>   | <b>18,39 s</b>   | <b>39,89 s</b>  |

Realizado por: Sangucho J., 2023

A continuación, el prototipo se probó con un peso cercano al límite permisible tomando como referencia a la persona 3 de peso 70 Kg, ilustración 4-4 logrando establecer los resultados presentados en la tabla 4-8.



**Ilustración 4-4:** Registro de tiempos de subida y bajada con peso 70 kg.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-8:** Tiempo de ejecución de bipedestación con persona 3 de 70 Kg.

| Prueba          | Tiempo de subida | Tiempo de bajada | Tiempo de ciclo |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Prueba 1        | 21,64 s          | 18,36 s          | 40,00 s         |
| Prueba 2        | 21,66 s          | 18,37 s          | 40,03 s         |
| Prueba 3        | 21,67 s          | 18,35 s          | 40,02 s         |
| Prueba 4        | 21,70 s          | 18,38 s          | 40,08 s         |
| Prueba 5        | 21,74 s          | 18,34 s          | 40,08 s         |
| Prueba 6        | 21,69 s          | 18,38 s          | 40,07 s         |
| Prueba 7        | 21,71 s          | 18,36 s          | 40,07 s         |
| Prueba 8        | 21,73 s          | 18,33 s          | 40,06 s         |
| Prueba 9        | 21,69 s          | 18,39 s          | 40,08 s         |
| Prueba 10       | 21,74 s          | 18,38 s          | 40,12 s         |
| <b>Promedio</b> | <b>21,70 s</b>   | <b>18,36 s</b>   | <b>40,06 s</b>  |

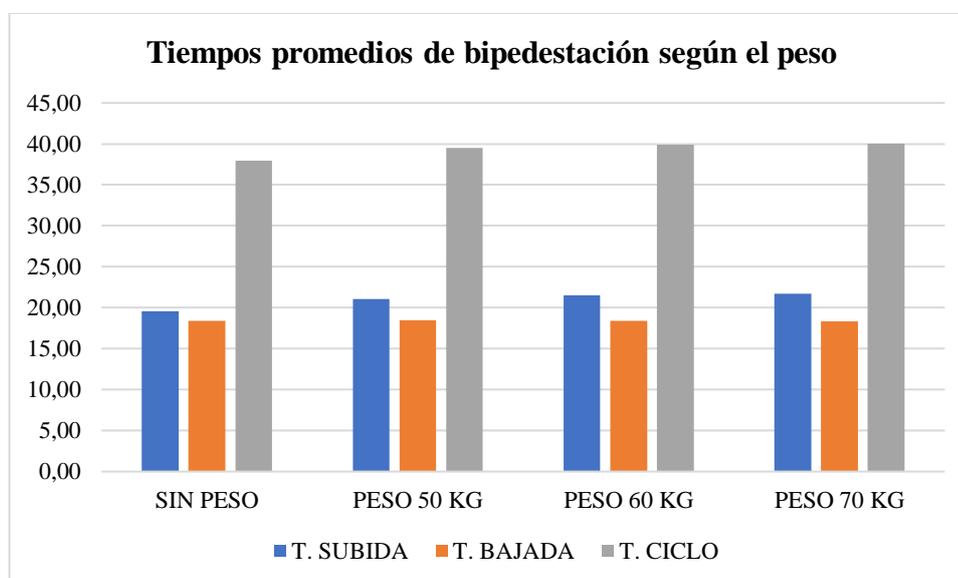
Realizado por: Sangucho J., 2023

Finalmente, en la tabla 4-9 e ilustración 4-5 se resumen los resultados promedio obtenido en las pruebas con la variación de peso.

**Tabla 4-9:** Resultados de tiempos promedios de bipedestación según el peso.

| Prueba     | Tiempo de subida | Tiempo de bajada | Resultado |
|------------|------------------|------------------|-----------|
| Sin Peso   | 19,54 s          | 18,41 s          | 37,95 s   |
| Peso 50 kg | 21,09 s          | 18,44 s          | 39,53 s   |
| Peso 60 kg | 21,49 s          | 18,39 s          | 39,89 s   |
| Peso 70 kg | 21,70 s          | 18,36 s          | 40,06 s   |

Realizado por: Sangucho J., 2023



**Ilustración 4-5:** Tiempos promedios de bipedestación según el peso.

Realizado por: Sangucho J., 2023

A partir de los resultados expuestos en la ejecución de pruebas sin considerar el peso de la persona y con variación del peso sobre el límite permisible, se observa que el menor tiempo de subida se registra sin peso teniendo 19,54 segundos mientras que con la variación de peso este tiempo incrementa aproximadamente 2 segundos teniendo variaciones despreciables hasta llegar a la prueba con 70 kg registrando un tiempo de 21,70 segundos; en cuanto al tiempo de bajada ocurre el fenómeno inverso en el que a medida el peso incrementa el tiempo tiende a disminuir logrando hacer este proceso en un mínimo de tiempo de 18,36 segundos. Al considerar el tiempo de ciclo este en todos los casos se encuentra por debajo de los 40 segundos.

Debido a esto el actuador se considera validado ya que funciona adecuadamente indistinto del peso de la persona. De esta manera se verifica que el diseño y la selección del actuador lineal garantiza la funcionalidad de bipedestación del prototipo, con esta prueba se estima en programación un tiempo medio de 24 segundos de subida y 22 segundos de bajada en la ejecución del proceso para garantizar que la silla llegue a los ángulos adecuados para considerarse bipedestador.

#### **4.1.3 Recorrido del actuador lineal**

Para el desarrollo de esta prueba se va a tomar en cuenta la estabilidad de la silla bipedestadora mientras esta se desliza de arriba abajo o viceversa, esto con el fin de determinar que el actuador lineal realice el recorrido completo para llegar al punto previsto en el diseño. Considerando las variaciones mínimas en el registro de tiempos de bipedestación para esta prueba se toma una sin peso adicional de una persona, tabla 4-10 y la siguiente tomando en cuenta el peso de la persona 3 de 70 kg, tabla 4-11. Haciendo uso de una regla se verifica que el actuador lineal recorra los 20 centímetros que permiten llegar a la silla a los ángulos de bipedestación, como se observa en la ilustración 4-6.



**Ilustración 4-6:** Medición de recorrido del actuador lineal.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-10:** Recorrido del actuador en bipedestación sin peso.

| Prueba    | Desplazamiento | Recorrido del vástago | Resultado |
|-----------|----------------|-----------------------|-----------|
| Prueba 1  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 2  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 3  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 4  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 5  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 6  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 7  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 8  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 9  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 10 | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |

Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-11:** Recorrido del actuador en bipedestación con peso de 70 Kg.

| Prueba    | Desplazamiento | Recorrido del vástago | Resultado |
|-----------|----------------|-----------------------|-----------|
| Prueba 1  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 2  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 3  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 4  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 5  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 6  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 7  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 8  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 9  | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |
| Prueba 10 | Estable        | 20 cm                 | Exitoso   |

Realizado por: Sangucho J., 2023

En los dos casos de funcionamiento y aplicando ensayos de 10 repeticiones, el actuador lineal experimentó el 100% de desplazamientos adecuados sin mostrar interrupciones en su recorrido, logrando llegar al final de este. Su movimiento fue controlado y estable tanto en el movimiento de subida como de bajada, de esta manera no se vio afectada la estabilidad del prototipo a pesar de una ligera vibración por el accionamiento de los cilindros y mecanismos.

#### **4.1.4 Grados de bipedestación**

Para llevar a cabo esta prueba, se utilizó una regla graduada mediante una plantilla con los ángulos a verificar de acuerdo a la biomecánica para validar la bipedestación. Se midió con precisión los ángulos predefinidos en el diseño, siendo 163° ilustración 4-7 y 169° ilustración 4-8 de la silla al momento en el que esta se encuentre en una posición de bipedestación.



**Ilustración 4-7:** Verificación de ángulo de bipedestación de  $163^{\circ}$  en el prototipo.  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023



**Ilustración 4-8:** Verificación de ángulo de bipedestación de  $169^{\circ}$  en el prototipo.  
**Realizado por:** Sangucho J., 2023

El objetivo es confirmar la consistencia de los ángulos y verificar la ausencia de variabilidad en ellos, los resultados obtenidos de esta prueba están detallados en la tabla 4-12 sin peso de una persona.

En la tabla 4-13 se registran los resultados con el peso de 70 kg de la persona 3, ilustración 4-9, ofreciendo una visión clara de los datos recopilados con el fin de poder validar que el prototipo implementado llegue a los ángulos de bipedestación estimados en el apartado de diseño, medido a partir del peso de 70 kg.

**Tabla 4-12:** Grados de bipedestación sin peso.

| Prueba    | Ángulo de 163° | Ángulo de 169° | Resultado |
|-----------|----------------|----------------|-----------|
| Prueba 1  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 2  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 3  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 4  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 5  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 6  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 7  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 8  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 9  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 10 | 163°           | 169°           | Exitoso   |

Realizado por: Sangucho J., 2023



**Ilustración 4-9:** Verificación de ángulos de bipedestación con peso de 70 kg.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-13:** Grados de bipedestación con peso de 80 Kg.

| Prueba    | Ángulo de 163° | Ángulo de 169° | Resultado |
|-----------|----------------|----------------|-----------|
| Prueba 1  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 2  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 3  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 4  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 5  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 6  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 7  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 8  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 9  | 163°           | 169°           | Exitoso   |
| Prueba 10 | 163°           | 169°           | Exitoso   |

Realizado por: Sangucho J., 2023

Los resultados obtenidos de esta prueba fueron satisfactorios, ya que no revelan una variabilidad en los ángulos durante la transición a la posición bípeda, es relevante destacar que las pruebas se llevaron a cabo bajo dos escenarios, lo cual añade confiabilidad a los resultados registrando que en el 100% de las pruebas se logró llegar a los ángulos establecidos en el diseño. Además, se consideraron las variaciones originadas a causa de las condiciones del nivel del piso durante la ejecución de las pruebas, asegurando así la validez y aplicabilidad de los resultados en distintos contextos y situaciones.

#### **4.1.5 Sistema de seguridad**

El sistema de seguridad del bipedestador, ilustración 4-10, que se encarga de sujetar a los usuarios mediante correas ubicadas estas en la parte superior, media e inferior de la parte delantera de la silla, son lo suficientemente robustas ya que, no solo ofrecen a la persona una sensación de confianza y seguridad, sino que también desempeñan un papel fundamental al ayudar a sostener su peso corporal y proporcionar estabilidad durante el uso del prototipo. Además, el bipedestador ayuda a los usuarios con la realización de terapias y a realizar movimientos que mantengan saludables sus articulaciones.



**Ilustración 4-10:** Sistema de seguridad del prototipo.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### **4.1.6 Consumo energético del prototipo**

Para el cálculo del consumo de energía del prototipo de silla bipedestadora, en primer lugar, se tomó en consideración como referencia la corriente nominal de cada carga instalada a partir de la hoja de datos detallada al momento de seleccionar los componentes resumida en la tabla 4-14.

**Tabla 4-14:** Consumo eléctrico nominal de las cargas del prototipo.

| Carga                                  | Voltaje | Corriente mínima<br>(sin carga) | Corriente máxima<br>(con carga) |
|--|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| Reguladores de voltaje                 | 24 VDC  | 1 mA                            | 5 A                             |
| Driver Motor Cytron SmartDrive Duo-30  | 5 VDC   | 100 mA                          | 100 mA                          |
| Motor LUNYEE                           | 24 VDC  | 2 A                             | 12,5 A                          |
| Cilindro Eco-Worthy                    | 12 VDC  | 0,8 A                           | 3 A                             |
| Módulo de procesamiento Raspberry Pi 3 | 5 VDC   | 0,3 A                           | 1,3 A                           |

**Realizado por:** Sangucho J., 2023

Con ayuda de una pinza amperimétrica de marca Fluke 376 FC en la escala de medición de corriente DC, se registra el consumo de los componentes en cada uno de sus estados de funcionamiento considerando que en la fase inicial el prototipo energiza únicamente los reguladores de voltaje y el driver Cytron de los motores sin carga siendo los únicos componentes energizados el prototipo, ilustración 4-11, registrando el consumo presentado en la tabla 4-15.



**Ilustración 4-11:** Medición consumo fase inicial.

**Realizado por:** Sangucho J., 2023

**Tabla 4-15:** Consumo energía fase inicial del prototipo.

| Estado de funcionamiento de las cargas |        |         |           |                         | Consumo |           |          |
|--|--------|---------|-----------|-------------------------|---------|-----------|----------|
| Reguladores                            | Driver | Motores | Cilindros | Módulo<br>Procesamiento | Voltaje | Corriente | Potencia |
| ON                                     | ON     | OFF     | OFF       | OFF                     | 24 V    | 0,1 A     | 2,40 W   |

**Realizado por:** Sangucho J., 2023

En cuando el switch de encendido del prototipo es accionado se entra en la fase de encendido, en esta además de los componentes energizados en la fase inicial, se suma el módulo de procesamiento que energiza por sus puertos a la tarjeta de interfaz y pantalla HMI integrada, registrando la medición que se muestra en la ilustración 4-12 y se resume en la tabla 4-16.



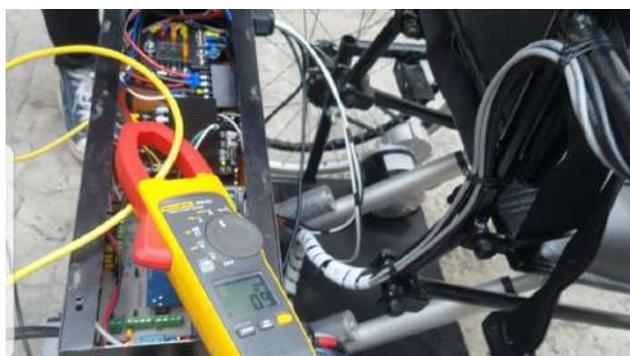
**Ilustración 4-12:** Medición consumo fase encendido.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-16:** Consumo energía fase encendido del prototipo.

| Estado de funcionamiento de las cargas |        |         |           |                      | Consumo |           |          |
|--|--------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|----------|
| Reguladores                            | Driver | Motores | Cilindros | Módulo Procesamiento | Voltaje | Corriente | Potencia |
| ON                                     | ON     | OFF     | OFF       | ON                   | 24 V    | 0,5 A     | 12,00 W  |

Realizado por: Sangucho J., 2023

En cuanto al consumo de los actuadores se realizó dos pruebas de verificación la primera se acciono la bipedestación sin el peso del usuario, ilustración 4-13 registrando el consumo de la tabla 4-17; y la segunda con un peso de 70 kg de la persona 3 de las pruebas, ilustración 4-14 evidenciando los resultados en la tabla 4-18. Se toma en consideración que este aumento de consumo solo se registra cuando el actuador es energizado e inicia su recorrido de subida o de bajada disminuyendo este consumo a medida que realiza este proceso, una vez que alcanza la posición deseada el consumo vuele a ser el mismo de la fase de encendido.



**Ilustración 4-13:** Medición consumo bipedestación sin peso.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-17:** Consumo energía bipedestación del prototipo sin peso.

| Estado de funcionamiento de las cargas |        |         |           |                      | Consumo |           |          |
|--|--------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|----------|
| Reguladores                            | Driver | Motores | Cilindros | Módulo Procesamiento | Voltaje | Corriente | Potencia |
| ON                                     | ON     | OFF     | ON        | ON                   | 24 V    | 0,9 A     | 21,60 W  |

Realizado por: Sangucho J., 2023



**Ilustración 4-14:** Medición consumo bipedestación peso 70 kg.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-18:** Consumo energía bipedestación del prototipo con peso de 70 kg.

| Estado de funcionamiento de las cargas |        |         |           |                      | Consumo |           |          |
|--|--------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|----------|
| Reguladores                            | Driver | Motores | Cilindros | Módulo Procesamiento | Voltaje | Corriente | Potencia |
| ON                                     | ON     | OFF     | ON        | ON                   | 24 V    | 2,6 A     | 62,40 W  |

Realizado por: Sangucho J., 2023

De acuerdo a lo evidenciado ya que el consumo del actuador lineal es momentáneo, enseguida se ejecutó la validación de consumo de los motores de las llantas con el prototipo encendido siguiendo la misma metodología aplicada para el actuador lineal, registrando en la tabla 4-19 los datos de consumo sin carga, ilustración 4-15, y en la tabla 4-20 los datos con carga de 70 kg, ilustración 4-16. Finalmente, se considera que el mayor consumo se da cuando los dos motores son accionados y teniendo presente que los mismos están funcionando al 20% de su capacidad nominal.



**Ilustración 4-15:** Medición consumo motores sin peso.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-19:** Consumo energía motores del prototipo sin peso.

| Estado de funcionamiento de las cargas |        |         |           |                      | Consumo |           |          |
|--|--------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|----------|
| Reguladores                            | Driver | Motores | Cilindros | Módulo Procesamiento | Voltaje | Corriente | Potencia |
| ON                                     | ON     | ON      | OFF       | ON                   | 24 V    | 1,9 A     | 45,60 W  |

Realizado por: Sangucho J., 2023



**Ilustración 4-16:** Medición consumo motores peso 70 kg.  
Realizado por: Sangucho J., 2023

**Tabla 4-20:** Consumo energía motores del prototipo con peso de 70 kg.

| Estado de funcionamiento de las cargas |        |         |           |                      | Consumo |           |          |
|--|--------|---------|-----------|----------------------|---------|-----------|----------|
| Reguladores                            | Driver | Motores | Cilindros | Módulo Procesamiento | Voltaje | Corriente | Potencia |
| ON                                     | ON     | ON      | OFF       | ON                   | 24 V    | 8,2 A     | 196,8 W  |

Realizado por: Sangucho J., 2023

El consumo de energía del funcionamiento del prototipo depende de la activación y desactivación de las cargas del mismo acorde a la fase de funcionamiento siendo:

- Para el funcionamiento en la fase inicial se registra el menor consumo con una corriente de 0,1 A y una potencia de 2,4 W.
- Durante la fase de encendido el consumo es ligeramente superior registrando 0,5 A 12W.
- En la fase de bipedestación el consumo con carga de 70 kg llega a tener un pico de 2,6 A y una potencia de 62,40 W, este consumo es momentáneo y va disminuyendo hasta completar el proceso.
- En la fase de activación de los motores de las ruedas se tiene el mayor consumo llegando con carga de 70 kg a 8,2 A y una potencia de 196,8 W.

En base a los resultados expuestos y considerando que en el funcionamiento normal del prototipo se encontrara en continuo accionamiento los motores de las ruedas durante periodos establecidos, se toma al consumo de 8,2 A como el consumo máximo de operación, mismo que considerando la capacidad de la batería es de 47 A/h se puede estimar el tiempo teórico de autonomía siendo:

$$T_{autonomia} = \frac{\text{Capacidad de la bateria}}{\text{Consumo de la carga}} \quad (7)$$

$$T_{autonomia} = \frac{47 \text{ A/h}}{8,2 \text{ A}}$$

$$T_{\text{autonomia}} = 5,73 \text{ h}$$

Si bien el resultado obtenido es de aproximadamente 6 horas, se recuerda que es un estimado ya que la capacidad de batería depende mucho de la velocidad de descarga de la batería. Para efecto de pruebas en uso de la silla se verifico que el prototipo funciona sin inconvenientes durante un aproximado de 4 horas antes de registrar avisos de descarga. Por lo cual el sistema energético es validado en la ejecución de pruebas de funcionamiento.

#### 4.1.7 Prueba de latencia en la plataforma IOT

Para verificar el desempeño de la plataforma IOT de Udibots empleada para el prototipo se registra el tiempo que toma la publicación de los datos de los sensores en la plataforma tomando en consideración la restricción que limita la cuenta gratuita de la plataforma en la que no se puede publicar data cada segundo, en este aspecto se considera un criterio dentro del Iot que marca que es de vital importancia saber la cantidad de datos a almacenar ya que en un proceso de monitoreo el funcionamiento lo marca la calidad de datos y no la cantidad para un posterior análisis.

En este contexto se toma como intervalo de tiempo de actualización de datos para la ejecución de pruebas de 3 segundos, durante un lapso de 1 minuto a fin de tener 21 datos por minuto. En la tabla 4-21 se registra los datos recopilados durante ese intervalo de tiempo.

**Tabla 4-21:** Prueba de latencia publicación de datos en Udibots.

| N° | Cantidad datos | Hora     | Humedad | Giroscopio | Temperatura | Batería | Estado   |
|----|----------------|----------|---------|------------|-------------|---------|----------|
| 1  | 4              | 12:00:00 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 2  | 4              | 12:00:03 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 3  | 4              | 12:00:06 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 4  | 4              | 12:00:09 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 5  | 4              | 12:00:12 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 6  | 4              | 12:00:15 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 7  | 4              | 12:00:18 | 51      | 2          | 22          | 100     | Correcto |
| 8  | 4              | 12:00:21 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 9  | 4              | 12:00:24 | 51      | 2          | 22          | 100     | Correcto |
| 10 | 4              | 12:00:27 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 11 | 4              | 12:00:30 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 12 | 4              | 12:00:33 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 13 | 4              | 12:00:36 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 14 | 4              | 12:00:39 | 51      | 2          | 22          | 100     | Correcto |
| 15 | 4              | 12:00:42 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 16 | 4              | 12:00:45 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 17 | 4              | 12:00:48 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 18 | 4              | 12:00:51 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 19 | 4              | 12:00:54 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 20 | 4              | 12:00:57 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |
| 21 | 4              | 12:01:00 | 51      | 1          | 22          | 100     | Correcto |

Realizado por: Sangucho J., 2023

De acuerdo a los resultados registrados se tiene que el 100% de los datos es publicado de manera correcta en la plataforma en el intervalo de tiempo establecido. Se destaca que sí bien a fin de verificar la latencia ante un tiempo de publicación en el límite inferior permisible por la plataforma una de las restricciones de la plataforma es que en su cuenta gratuita permite por mes el envío y almacenamiento de 30000 datos una vez alcanzado este límite la plataforma no permite la publicación de nueva información, teniendo que esperar al siguiente mes para que se renueva esta cantidad. Considerando una publicación en tiempo real de los datos cada segundo esa cantidad se alcanzaría en tan solo 8 horas durante un día.

Considerando el criterio de calidad de información a ser publicada y basados en el plan gratuito adquirido se establece que el tiempo de publicación de datos sea cada minuto, logrando con esto abarcar un monitoreo continuo aproximado a un mes de funcionamiento.

## **4.2 Propuesta**

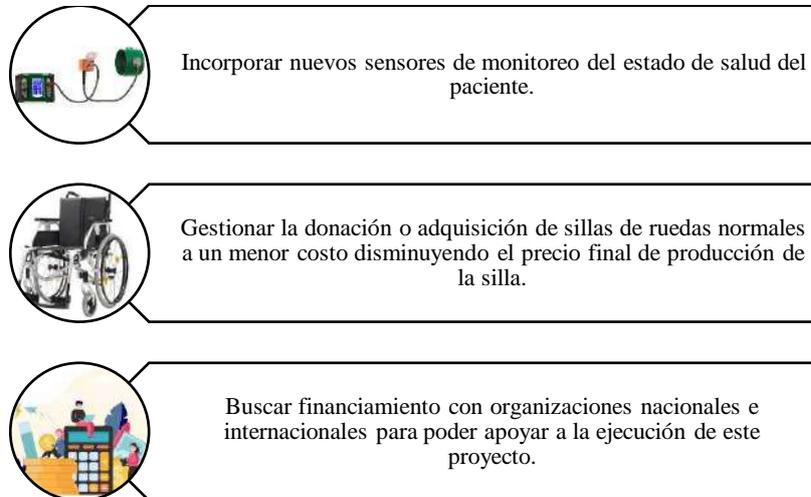
Con el continuo progreso tecnológico en plataformas enfocadas en el control y monitoreo de diversos dispositivos, es crucial destacar las oportunidades que surgen en los sectores de la salud y la producción; identificar este tipo de oportunidades puede conllevar a beneficios sustanciales. En este contexto, se ha incorporado una serie de propuestas al prototipo, las cuales podrían ser desarrolladas de manera eficiente a través de investigaciones adicionales ya que estas no solo buscan optimizar el rendimiento del prototipo, sino también explorar nuevas posibilidades que pueden generar mejoras significativas en los ámbitos mencionados. La aplicación de estas ideas promete impulsar la eficacia y la utilidad de la plataforma de monitoreo IOT, contribuyendo así a un avance más sólido y beneficioso en los campos de la salud y la producción.

Integrar sensores que no solo supervisen el estado funcional de la silla, sino que ahora, mediante la incorporación de nuevos sensores, también realicen un seguimiento preciso de la condición médica de los pacientes, representa un avance significativo en la evolución de esta tecnología. La ampliación de la capacidad de monitoreo hacia la salud del usuario permite obtener datos más completos y valiosos, brindando información en tiempo real sobre parámetros médicos relevantes. Esta innovación no solo optimiza la funcionalidad de la silla, sino que también abre nuevas posibilidades para mejorar la calidad de la atención médica y el bienestar de los usuarios al proporcionar un monitoreo médico continuo y personalizado.

Establecer un modelo de negocio en el cual se gestionen convenios en centros de atención a personas mayores o personas con discapacidades, ya que debido a la investigación realizada se verificó un alto porcentaje de personas que no cuentan con acceso a este tipo de sillas de

bipedestación, y que con una inversión moderada se pueda gestionar los recursos para que con experiencias adquiridas en la fabricación de este prototipo, se logre construir bipedestadores, en lugar de importar sillas de otros lugares.

#### 4.2.1 Estrategias



**Ilustración 4-17:** Estrategias de propuesta  
Realizado por: Sangucho J., 2023

#### 4.2.2 Beneficios

Con la implementación de este tipo de propuesta de proyecto se solventaría una necesidad de un porcentaje alto de personas en nuestro país que por discapacidades y por la condición económica no pueden acceder a este tipo de sillas, pero que con la operatividad se han demostrado que para la optimización de su salud es una buena opción contar con un dispositivo de este tipo.

La implementación de esta propuesta daría lugar a la creación de una nueva línea de producción, representando no solo un avance en términos de oferta y accesibilidad, sino también generando oportunidades de empleo significativas. Este proyecto no solo se traduciría en la fabricación de sillas especializadas, sino que también abriría las puertas para el desarrollo de futuros proyectos similares. Así, se establecería no solo una nueva línea de producción, sino un campo laboral expansivo que nutriría la innovación y la creación de soluciones para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades.

Reutilización de componentes que en muchos casos son desechados a la basura como por ejemplo las sillas de ruedas manuales que se hallan en mal estado, se las aprovecharía para potenciarlas y darles un nuevo uso convirtiéndolas en sillas con sistemas de bipedestación.

## CAPÍTULO V

### 5 GESTIÓN DEL PROYECTO

#### 5.1 Cronograma de actividades

El cronograma exhibido en la tabla 5-1 presenta las actividades realizadas para la adquisición del “Prototipado de un sistema de bipedestación en una silla de ruedas con la inserción de recursos para control y monitoreo remoto usando IoT”.

**Tabla 5-1:** Cronograma de actividades para el desarrollo del trabajo de titulación

| ACTIVIDADES   | TIEMPO ESTIMADO (EN SEMANAS) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|---|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 1                            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Recopilación de la información.   |                              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Realización del modelado del prototipo y validación de este mediante un análisis estructural. |                              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Selección del hardware y software para dotar de recursos tecnológicos al prototipo.           |                              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Definición de una plataforma IoT para la vinculación del prototipo a la nube.                 |                              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Ejecución de pruebas del prototipo.   |                              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Desarrollo del escrito.   |                              |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |

**Realizado por:** Sangucho J., 2023

#### 5.2 Costos de la propuesta tecnológica

Una vez finalizado el desarrollo de cualquier tipo de proyecto que involucre la fabricación de un nuevo mecanismo o dispositivo, es necesario analizar los recursos financieros asignados, para de esta manera determinar su rentabilidad en comparación con posibles competidores o proyectos similares en el mercado.

##### 5.2.1 Costos directos

En esta sección se proporciona información referente a los costos de los diferentes elementos utilizados para el desarrollo del prototipo, estos a su vez se encuentran clasificados en tres grupos importantes: componentes mecánicos, electrónicos y eléctricos detallados en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Costos directos del prototipado de un sistema de bipedestación

| <b>Descripción</b>                    | <b>Cantidad</b> | <b>Precio unitario<br/>USD</b> | <b>Precio total<br/>USD</b> |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Estructura y componentes mecánicos    | 1               | 300                            | 300                         |
| Componentes y actuadores electrónicos | 1               | 650                            | 650                         |
| Elementos varios                      | 1               | 100                            | 100                         |
| <b>TOTAL (USD)</b>                    |                 |                                | <b>1050</b>                 |

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 5.2.2 Costos indirectos

En análisis de costos indirectos comprende aquellos gastos que tienen una influencia indirecta en la construcción del prototipo, mismos que se detallan en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Costos indirectos del prototipado de un sistema de bipedestación

| <b>Descripción</b> | <b>Costo USD</b> |
|--------------------|------------------|
| Transporte         | 55               |
| Imprevistos        | 50               |
| <b>TOTAL (USD)</b> | <b>105</b>       |

Realizado por: Sangucho J., 2023

### 5.2.3 Costos totales

En base a los costos directos e indirectos detallados anteriormente se procede con el cálculo de los costos totales del desarrollo del prototipo indicados en la tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Costos totales del prototipado del sistema de bipedestación

| <b>Descripción</b>              | <b>Costo USD</b> |
|---------------------------------|------------------|
| Costo directo                   | 1050             |
| Costo indirecto                 | 105              |
| <b>TOTAL (USD)</b>              | <b>1155</b>      |
| <b>Fuente de financiamiento</b> | Autónomo         |

Realizado por: Sangucho J., 2023

El costo total de la fabricación de un prototipado de un sistema de bipedestación en una silla de ruedas con la inserción de recursos para su control y monitoreo se sitúa alrededor de los \$ 1155 dólares, este costo es considerado bastante asequible, especialmente teniendo en cuenta que la silla de ruedas posee múltiples funciones muy útiles para el usuario. En base a esto y teniendo en

cuenta que en el mercado las sillas normales tienen un costo de hasta 600 dólares, una silla bipedestadora con todas estas características se encuentra en un rango viable en términos de costos ante el mercado.

#### **5.2.4 *Recurso humano***

La responsable fundamental del presente trabajo es la señorita Jeny Sangucho, quien, como autora de esta propuesta tecnológica y el compromiso con este, es el recurso humano principal para lograr el cumplimiento de todos los propósitos planteados a lo largo del desarrollo del trabajo de titulación.

#### **5.2.5 *Recurso material***

Previo a esto, se proporcionaron los detalles sobre los instrumentos, softwares y recursos utilizados en el desarrollo del trabajo, dando a conocer diversas opciones en referencia a sensores, módulos de procesamiento y demás componentes, estas opciones pueden ser seleccionadas según la conveniencia y ciertos requisitos específicos.

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

A partir de la revisión bibliográfica sobre los mecanismos y los sistemas que componen una silla bipedestadora se pudo establecer los parámetros de diseño para de esta manera modificar a la silla normal a fin de que pueda realizar los movimientos y alcanzar la biomecánica de bipedestación con la verificación de los ángulos de  $163^\circ$  y  $169^\circ$  en la posición de bipedestador, características propias de estos equipos que permiten satisfacer las necesidades de las personas en su movilidad.

Del diseño CAD realizado se pudo dar una orientación de la adaptación del mecanismo de bipedestación en una silla normal, mediante el análisis estático realizado se pudo corroborar en los resultados que las nuevas adecuaciones no afectan en nada a la estructura inicial, teniendo una deformación total máxima de 1,26 mm y de 0,50 mm en los tubos de apoya pies que es un punto crítico donde recae el peso de la persona cuando está en estado bipedestador. Además, el registrar un factor de seguridad mínimo de 1,98 en la mayoría de la estructura, dio la certeza basada en criterios de ingeniería de contar con un mecanismo funcional previo al proceso de manufactura del prototipo.

De la adecuada selección de componentes se permitió establecer la materialización de un prototipo funcional a partir de una silla de ruedas estándar, aprovechando la totalidad de componentes de está contribuyendo de esta manera al cuidado del medio ambiente al no generar desperdicios en la transformación de un nuevo producto. Logrando con este el primer prototipo con dimensiones de 68x105x110 cm potenciados con tecnología de control electrónico y monitoreo IoT, adecuado ergonómicamente para personas con una estatura promedio entre 140 a 160 cm y un peso máximo probado de 70 kg.

La plataforma IoT de Udibots seleccionada para incorporar el monitoreo de funcionamiento del prototipo logró un desempeño adecuado en cuanto a la latencia registrando un 100% de eficacia en el tiempo de publicación de los datos, sin embargo, al contar con restricciones de una cuenta gratuita de prueba hace necesario que para garantizar el monitoreo durante un mes del dispositivo en estas condiciones se establezca un tiempo de 1 minuto para la actualización de datos. A pesar de este inconveniente la plataforma es amigable para el usuario, permite el registro y almacenamiento de datos logrando así tener un criterio de valoración óptimo de desempeño y así

poder a futuro considerar la adquisición de un sistema de monitoreo con un plan anual o a su vez el desarrollo de un sistema propio.

De las pruebas de funcionamiento se comprobó que el despliegue del prototipo es adecuado, alcanzando en todas las pruebas efectuadas con y sin peso de personas en el prototipo los ángulos de  $163^\circ$  y  $169^\circ$  propias de la biomecánica de bipedestación, gracias a que el actuador realiza de una forma estable el recorrido de 20 cm para cumplir con el diseño. A su vez se determinó que el tiempo de subida considerando un peso de 70 kg es de 21,70 segundos, el de bajada 18,36 segundos logrando un tiempo promedio de ciclo de 40,06 segundos tiempo que tienen variaciones mínimas acorde a la variación del peso de la persona, logrando establecer de esta manera el ciclo de trabajo promedio del prototipo, validando su funcionamiento con pruebas reales.

## 6.2 Recomendaciones

Desarrollar nuevos modelos de sillas bipedestadoras a partir de sillas ya fabricadas permitiendo establecer modelos que se adecuen al tamaño de la persona o a su vez un modelo para niños, bajo la misma metodología de construcción detallada en el presente trabajo, mediante el análisis de los requerimientos necesarios para poder adecuar un sistema de bipedestación.

En el caso del desarrollo de futuros trabajos que parten desde un modelo de silla ya materializado se recomienda efectuar un análisis estático estructural previo a la implementación de los componentes para su potenciación, de esta manera lograr determinar que el modelo sea el adecuado y realizar una segunda simulación con el peso real de los componentes que han sido elegidos para realizar la bipedestación, de esta manera brindar un nivel más de seguridad para el diseño y la verificación del mismo.

Para realizar la selección del hardware y del software basarse en los requerimientos de diseño y de desempeño del prototipo ya que, si bien la herramienta CAD permite tener un aproximado, la validación completa de los elementos elegidos tiene que ser desarrollada a partir de la dinámica práctica en la cual el usuario interactúa de forma real, de esta manera se podrá validar una mejor manera la adquisición de los prototipos, así como posibles mejoras de los componentes ya empleados.

De acuerdo con los resultados alcanzados, si bien la plataforma IoT tuvo un desempeño correcto para el monitoreo de la silla, se recomienda ejecutar como un trabajo complementario el desarrollo de una interfaz IoT propia de esta manera dando una línea de negocio para el desarrollo de monitoreos de sillas bipedestadoras de este tipo, de esta manera se tendría una seguridad más y poder en tratamiento de los datos que estas adquieren para poder generar una línea de producción empresarial.

A partir de las pruebas realizadas se recomienda desarrollar un trabajo enfocado en lo que es el sistema energético ya que, en las pruebas realizadas debido a los costos, se emplearon un tipo de baterías que permitieron evidenciar la funcionalidad del prototipo, sin embargo, para obtener un mayor rendimiento se puede realizar pruebas con otro tipo de baterías, que si bien su costo es más elevado puede dotar de un mayor número de horas de autonomía de funcionamiento al prototipo.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1. ÁLVAREZ NÚÑEZ, Kevin Humberto.** Construcción de un bipedestor para rehabilitación y estimulación de caminata pasiva para niños parapléjicos de 2 a 3 años. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 17. [Consulta: 20 de octubre 2023]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13628/1/85T00566.pdf>.
- 2. AYALA ROJAS, Luis Eduardo.** Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 10-19. [Consulta: 21 de octubre 2023]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14692>.
- 3. BARRIO, Andrés Moisés.** *Internet de las Cosas*. [En línea]. Madrid-España: Reus, 2018. [Consulta: 25 de octubre 2023]. Disponible en:  
[https://www.editorialreus.es/media/pdf/primeraspaginas\\_9788429020380\\_internetdelascosas.pdf](https://www.editorialreus.es/media/pdf/primeraspaginas_9788429020380_internetdelascosas.pdf)
- 4. BATALLAS CÓNDOR, David Alejandro.** Diseño de una silla bipedestadora para terapias de rehabilitación y reeducación física para personas adultos con un peso máximo de 100 kg. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2022. pp. 15-17. [Consulta: 22 de octubre 2023]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16152>
- 5. BONILLA FABELA, Isaias; et al.** Iot, El Internet de las Cosas y la Innovación de sus Aplicaciones [En línea], 2016, (Vinculatégica EFAN) 2(1), p. 13, ISSN 2448-5101. [Consulta: 24 de abril de 2023]. Disponible en:  
<http://www.web.facpya.uanl.mx/Vinculategica/Revistas/R2/2313-2340 - Iot, El Internet De Las Cosas Y La Innovacion De Sus Aplicaciones.pdf>.
- 6. BRIONES QUIÑONES, Magdalena.** Silla de ruedas bipedestadora low-tech que permite el desplazamiento y estimulación muscular en personas con lesiones transitorias o paraplejas. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Pontifica Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 2016. pp. 30-39. [Consulta: 01 de mayo 2023]. Disponible en:  
[https://diseno.uc.cl/memorias/pdf/memoria\\_dno\\_uc\\_2016\\_1\\_BRIONES\\_QUINONES\\_M.pdf](https://diseno.uc.cl/memorias/pdf/memoria_dno_uc_2016_1_BRIONES_QUINONES_M.pdf).

**7. CEU.** *Guía Metodológica TFG de Investigación Documental o Empírica*. [En línea]. Valencia-España: Universidad de San Pablo, 2021. [Consulta: 04 de mayo 2023]. Disponible en: <https://www.uspceu.com/portals/0/docs/centros/FHCC/informacion-academica/info-tfg/GUIA-METODOLOGICA-TFG-INVESTIGACION-21-22.pdf>.

**8. CONADIS.** Estadísticas de Discapacidad. 2022. [En línea]. [Consulta: 21 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-dicapacidad/>.

**9. ESPÍN GUERRERO, Víctor Rodrigo.** Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y la incidencia en su eficiencia energética. [En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2018. p.20. [Consulta: 05 de mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27368>.

**10. FESTO.** *Actuadores Lineales*. [En línea]. 2022. [Consulta: 20 de mayo 2023]. Disponible en: <https://cotransa.net/wp-content/uploads/2021/04/SAC-09.pdf>.

**11. FLORES ZERMEÑO, Francisco J; & COSSIO FRANCO, Edgar G.** Aplicaciones, Enfoques y Tendencias del Internet de las Cosas (IoT): Revisión Sistemática de la Literatura. *Academia Journals* [En línea], 2021, (México) 13(9), pp. 1-4. [Consulta: 10 de mayo 2023]. ISSN 1946-5351. Disponible en: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/543>.

**12. GARRIDO, Rubén.** Estudio plataformas IoT. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Oberta de Catalunya, Barcelona, España. 2015. pp. 5-19. [Consulta: 13 de mayo 2023]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615memoria.pdf>

**13. GUEVARA, Gladys; et al.** 2020. "Metodologías de investigación (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación - acción)". *Reci Mundo* [En línea], 2020, (Ecuador) 1(1), p. 166. [Consulta: 20 de junio 2023]. DOI 10.6018/eglobal.441711. Disponible en: <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>.

**14. HALLADO MEDINA, Pablo.** Internet de la cosas. Aplicaciones, tecnologías y seguridad. [En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Oberta de Catalunya, Barcelona, España. 2019. p. 21. [Consulta: 15 de junio 2023]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/107446/6/phalladoTFM1219memoria.pdf>

**15. HERRERA CAICEDO, Mario A.** Diseño y simulación de una silla de ruedas bipedestadora para personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejia o con problemas de movilidad de uso en interiores. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 13-20. [Consulta: 25 de junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15141>

**16. HIWIN.** *Linear Actuator*. 2015. [En línea]. [Consulta: 29 de junio 2023]. Disponible en: [www.hiwin.cz](http://www.hiwin.cz).

**17. LOZANO, J.** *Andador- Bipedestador dinámico*. 2019. [En línea]. [Consulta: 01 de julio 2023]. Disponible en: [http://www.crmfalbacete.org/recursosbajocoste/catalogo/Andador-Bipedestador\\_dinamico.pdf](http://www.crmfalbacete.org/recursosbajocoste/catalogo/Andador-Bipedestador_dinamico.pdf).

**18. LUENGAS, L; et al.**, 2013. Estudio de los rangos articulares en la bipedestación estática en personas normales vs . Amputados transtibiales. [En línea], 2013, (Tecnura) 2(17), p. 61. [Consulta: 03 de julio 2023]. DOI <https://doi.org/10.14483/22487638.7223>. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/7223/8873>

**19. MINSAL, Santiago.** *Orientaciones 2017 Ayudas Técnicas: Definición, Clasificación Y Especificaciones*. [En línea]. Arequipa-Chile.: Ministerio de Salud, 2017. [Consulta: 19 de julio 2023]. Disponible en: [https://diprece.minsal.cl/wrdprss\\_minsal/wp-content/uploads/2017/12/OT-AYUDAS-TÉCNICAS-DEFINICIÓN.pdf](https://diprece.minsal.cl/wrdprss_minsal/wp-content/uploads/2017/12/OT-AYUDAS-TÉCNICAS-DEFINICIÓN.pdf).

**20. PARKER HANNIFIN CORPORATION.** Actuadores Giratorios Neumáticos. 2018. [En línea]. Disponible en: [https://www.parker.com/literature/Pneumatics\\_Division\\_Europe/PDE-Documents/PRO-PRN\\_Technical\\_Catalogue-ES.pdf](https://www.parker.com/literature/Pneumatics_Division_Europe/PDE-Documents/PRO-PRN_Technical_Catalogue-ES.pdf).

**21. PARREÑO, J; et al.** Diseño de un bipedestador semiautomático reajutable para el desplazamiento de personas con paraplejia [En línea], 2021, (Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas) 40(2), pp. 1-6. ISSN 1561-3011. Disponible en: <http://www.revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/941>.

**22. ROJAS JURADO, Y.** *LIBRO Jurado Yolanda - Tecnicas De Investigacion Documental*. [En línea]. México-México: International Thomson Editores, 2005. [Consulta: 25 de julio 2023]. Disponible en: [https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/LIBROJurado\\_Yolanda\\_-\\_Tecnica\\_De\\_Investigacion\\_Documental.pdf](https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/LIBROJurado_Yolanda_-_Tecnica_De_Investigacion_Documental.pdf).

**23. ROSERO CORDOBA, Henry Gabriel.** Diseño de una silla de ruedas postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular para niños con parálisis cerebral. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. p. 18. [Consulta: 02 de agosto 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15574>.

**24. SAAVEDRA, R; et al.** "Diseño de un equipo de bipedestación". *Revista INGENIERÍA UC* [En línea], 2013, (Ecuador) 20(1), p. 25. [Consulta: 05 de agosto 2023]. ISSN 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732640004.pdf>

**25. SALAZAR, Jordi; & SILVESTRE, Santiago.** *Internet de las cosas* [En línea]. Barcelona-España: Erasmus, 2022. [Consulta: 10 de agosto 2023]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf).

**26. SALGADO CABALLERO, U.** Uso de programas de bipedestación como parte del tratamiento de la displasia de cadera en la parálisis cerebral infantil (PCI). Revisión bibliográfica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Valladolid, Valladolid, España. 2016. p. 14. [Consulta: 15 de agosto 2023]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/15827>.

**27. SÁNCHEZ CRIOLLO, Luis Roberto.** Sistema de automatización y control para una silla bipedestadora en el centro de rehabilitación física. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2020. pp. 16-23. [Consulta: 05 de mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31983>

**28. SENADIS.** *Elementos de posicionamiento, transferencia y rehabilitacion.* 2019. [En línea], Disponible en: <https://www.senadis.gob.cl/descarga/i/5984>.

**29. VÉLEZ IÑIGUEZ, Fernando Patricio.** Desarrollo de una plataforma basada en internet de las cosas para el monitoreo y registro de información de dispositivos industriales. [En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2022. pp. 27-29. [Consulta: 29 de septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22300>

**30. ZAPATA, G.** "Guía de Orientación - Corrección postural, prevención de la inmovilidad y fomento de la actividad física". *Instituto de Mayores y Servicios Sociales (IMSERSO)*. [En línea], 2014, (España) 4(3), p. 14. [Consulta: 01 octubre 2023]. ISSN 686-14-022-7. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/294899400\\_Correccion\\_postural\\_prevenccion\\_de\\_la\\_inmovilidad\\_y\\_fomento\\_de\\_la\\_actividad\\_fisica\\_en\\_personas\\_mayores\\_con\\_demencia](https://www.researchgate.net/publication/294899400_Correccion_postural_prevenccion_de_la_inmovilidad_y_fomento_de_la_actividad_fisica_en_personas_mayores_con_demencia)



DIRECCION DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACION  
 Ingrid D'Amato MBEA  
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

## ANEXOS

### ANEXO A: TABLA DE TALLA Y PESOS PROMEDIO SEGÚN EDAD 9 a 18 AÑOS

| EDAD    | TALLA     | PESO     |
|---------|-----------|----------|
| 9 años  | 127,50 cm | 28,00 kg |
| 10 años | 132,00 cm | 32,00 kg |
| 11 años | 137,00 cm | 35,00 kg |
| 12 años | 142,50 cm | 39,00 kg |
| 13 años | 148,00 cm | 43,00 kg |
| 14 años | 154,00 cm | 48,00 kg |
| 15 años | 160,00 cm | 53,00 kg |
| 16 años | 164,50 cm | 56,00 kg |
| 17 años | 166,00 cm | 58,00 kg |
| 18 años | 166,50 cm | 60,00 kg |

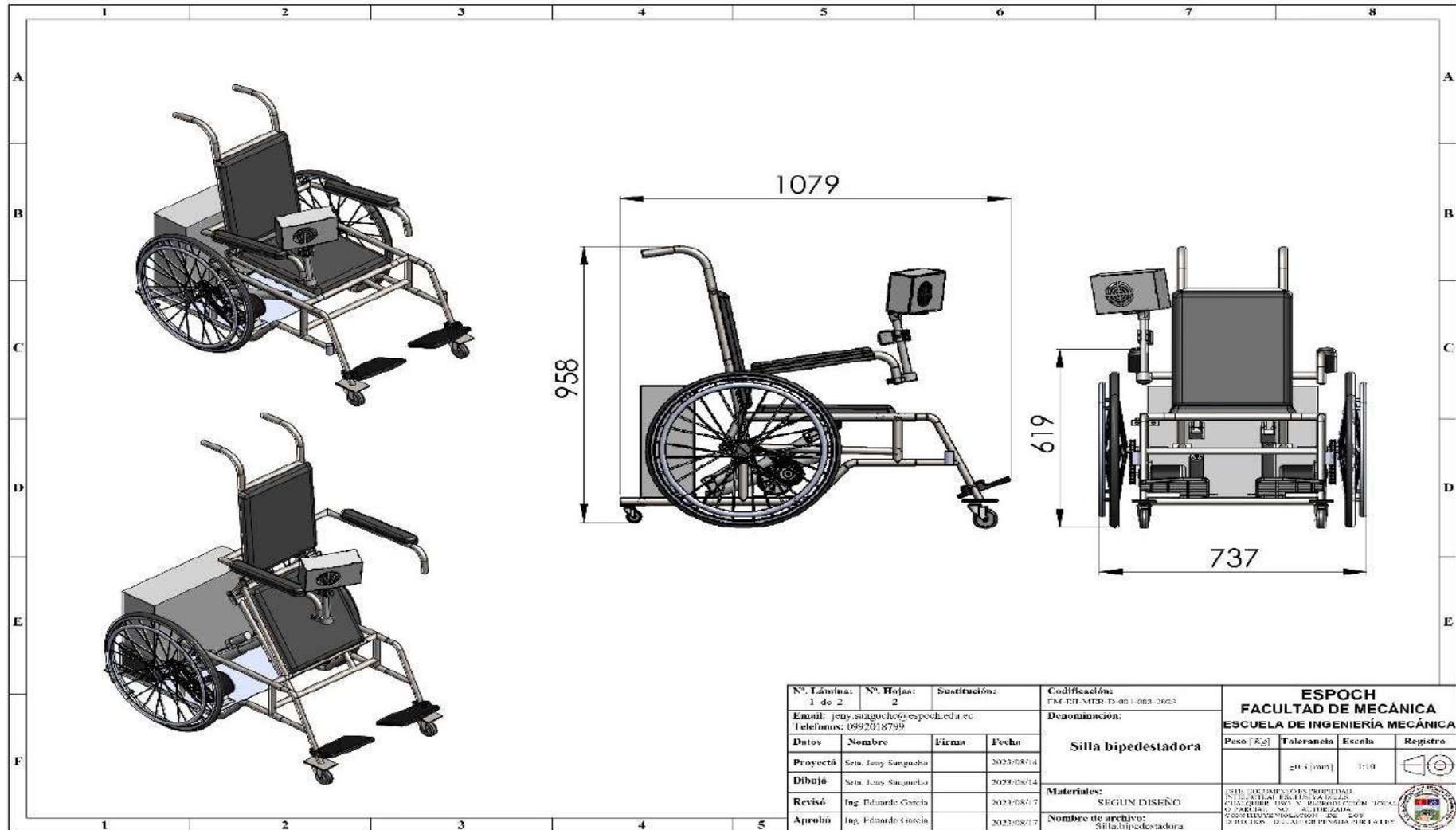
Fuente: (noripc.com)

### ANEXO B: TABLA DE PESOS RECOMENDADOS DE ACUERDO A LA ESTATURA

| MUJERES      |            | HOMBRES      |            |
|--------------|------------|--------------|------------|
| TALLA        | PESO       | TALLA        | PESO       |
| 144 – 147 cm | 49 – 55 kg | 156 – 157 cm | 59 – 64 kg |
| 148 – 150 cm | 50 – 56 kg | 158 – 160 cm | 60 – 65 kg |
| 150 – 152 cm | 51 – 57 kg | 161 – 163 cm | 61 – 65 kg |
| 153 – 155 cm | 52 – 59 kg | 164 – 165 cm | 62 – 67 kg |
| 156 – 157 cm | 54 – 60 kg | 166 – 168 cm | 63 – 68 kg |
| 158 – 160 cm | 55 – 61 kg | 169 – 170 cm | 64 – 70 kg |

Fuente: (norfipc.com)

# ANEXO C: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN



|  |                     |              |   |
|--|---------------------|--------------|---|
| Nº. Lámina:<br>1 de 2                                      | Nº. Hojas:<br>2     | Sustitución: | Codificación:<br>FM-FI-MTR-D-001-003-2023   |
| Email: jeny.sangucho@esPOCH.edu.ec<br>Teléfono: 0992018799 |                     |              | Denominación:<br><b>Silla bipedestadora</b> |
| <b>Datos</b>   | <b>Nombre</b>       | <b>Firma</b> | <b>Fecha</b>                                |
| <b>Proyectó</b>  | Sra. Jeny Sangucho  |              | 2023-08-14                                  |
| <b>Dibujó</b>  | Sra. Jeny Sangucho  |              | 2023-08-14                                  |
| <b>Revisó</b>  | Ing. Eduardo García |              | 2023-08-17                                  |
| <b>Aprobó</b>  | Ing. Eduardo García |              | 2023-08-17                                  |
| <b>Materiales:</b><br>SEGUN DISEÑO                         |                     |              |   |
| <b>Nombre de archivo:</b><br>Silla_bipedestadora           |                     |              |   |

**ESPOCH**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

|                  |                   |               |                 |
|------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| <b>Peso</b> [Kg] | <b>Tolerancia</b> | <b>Escala</b> | <b>Registro</b> |
|                  | ±0.4 (mm)         | 1:10          |                 |

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD  
INTELLECTUAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL CANTÓN DE LOS RIOS. QUITANDA. CANTÓN DE LOS RIOS. PUEBLA NUEVA. GUAYAS. ECUADOR. CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA. 2023. SE PROHIBEN REPRODUCIRSE SIN EL CONSENTIMIENTO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.



| No. De pieza | Denominación    | No. De norma /dibujo | Material        | No. De orden | No. Del modelo / semiproducto | Peso kg/pieza | Observaciones      |
|--------------|-----------------|----------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|---------------|--------------------|
| 1            | Brazo lateral   | INEN 2415            | ASTM A36        | 12           |                               | 1,4           | Corte y soldadura  |
| 2            | Rueda delantera |                      | Acero y caucho  | 11           | KD Premium                    | 1,5           | Catálogo K&I       |
| 2            | Apoya pies      |                      | ABS             | 10           | KD Premium                    | 0,4           | Catálogo K&I       |
| 1            | Estructura      | INEN 2415            | ASTM A36        | 9            |                               | 5             | Corte y soldadura  |
| 2            | Motor 350 W     |                      |                 | 8            | MY101623                      |               | Catálogo LUNYFF    |
| 2            | Cadena          |                      | Acero           | 7            | CHG40                         |               | Catálogo Shimano   |
| 2            | Rueda trasera   |                      | Acero y caucho  | 6            | KD Premium                    | 4             | Catálogo K&I       |
| 1            | Asiento         | INEN 2415            | ASTM A36        | 5            |                               | 1,7           | Corte y soldadura  |
| 1            | Apoya brazos    |                      | España, cuerina | 4            | KD Premium                    | 0,5           | Catálogo K&I       |
| 1            | Espaldar        | INEN 2415            | ASTM A36        | 3            |                               | 3             | Corte y soldadura  |
| 2            | Actuador lineal |                      | Aluminio        | 2            | NW-1500-12                    | 2             | Catálogo Ecoworthy |
| 2            | Batería         |                      |                 | 1            | 42hp - 60Amp                  | 40            | Catálogo Kaiser    |

|                                    |                      |                     |              |                                       |  |  |  |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------|---------------------------------------|--|--|--|
| N°. Lámina: 2 de 2                 |                      | N°. Hojas: 2        |              | Sustitución:                          |  | Codificación: FM-EH-MER-D-001-003-2023 |  |
| Email: jeny.sangucho@espoeh.edu.ec |                      |                     |              | Denominación:                         |  |  |  |
| Teléfono: 0992018799               |                      |                     |              | <b>Silla bipedestadora</b>            |  |  |  |
| <b>Datos</b>                       | <b>Nombre</b>        | <b>Firma</b>        | <b>Fecha</b> |                                       |  |  |  |
| Proyectó                           | Sra. Jeny Sangucho   |                     | 2023/08/14   |                                       |  |  |  |
| Dibujó                             | Sra. Jeny Sangucho   |                     | 2023/08/14   |                                       |  |  |  |
| Revisó                             | Ing. Eduardo García  |                     | 2023/08/17   |                                       |  |  |  |
| Aprobó                             | Ing. Fernando García |                     | 2023/08/17   |                                       |  |  |  |
| <b>Materiales:</b>                 |                      | SEGUN DISEÑO        |              |                                       |  |  |  |
| <b>Nombre de archivo:</b>          |                      | Silla.bipedestadora |              |                                       |  |  |  |
|                                    |                      |                     |              | <b>ESPOCH</b>                         |  | <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>            |  |
|                                    |                      |                     |              | <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |  |  |
|                                    |                      |                     |              | Peso (Kg)                             |  | Escala                                 |  |
|                                    |                      |                     |              | ±0,3 (mm)                             |  | 1:10                                   |  |
|                                    |                      |                     |              |                                       |  |  |  |

## ANEXO D: MANUAL DE USUARIO

### SILLA BIPEDESTADORA ESTÁNDAR

#### Características

**Tipo:** Automática.

**Dimensiones:** 958 x 1079 x 619 cm

#### Sistema de bipedestación:

Actuador Eléctrico

**Voltaje de operación:** 24 VDC

**Consumo máximo de corriente:** 8 A

**Modelo:** JS 1

#### Tipo de control:

- Manual por Joystick.
- Por pantalla HMI.

#### Sensores:

- Temperatura y humedad.
- Giroscopio.
- Nivel de batería.

**HMI:** Pantalla TFT 5”.



#### Consideraciones de uso:

Señor usuario considere que el modelo es ergonómico para personas de:

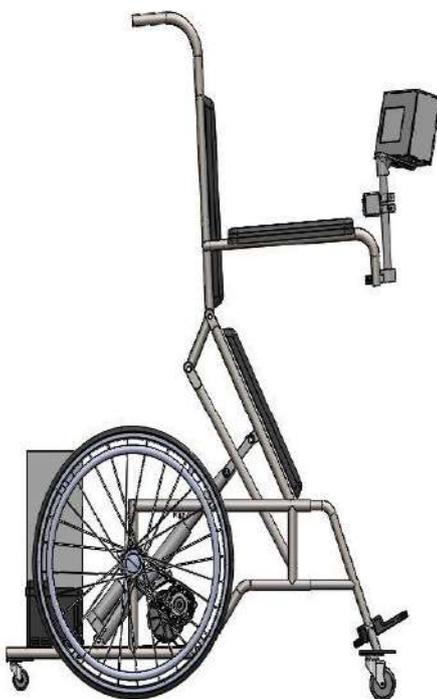
- Estatura entre 140 a 155 cm.
- Peso: 70 Kg.

Previo a su uso se debe leer el presente manual.

Utilizar los medios de sujeción instalados en la silla a fin de tener una operación segura.

#### Operación:

1. Encender la silla accionando el botón de encendido.
2. Una vez encendida ingresar y ejecutar el programa de control de la silla.
3. Para activar el modo bipedestador se puede hacer empleo en forma manual del interruptor de 2 posiciones, o a su vez de los botones de SUBIR y BAJAR de la interfaz.
4. El movimiento es comandado por el joystick o a su vez los botones del interfaz HMI.
5. Apagar el equipo cuando no esté en uso.





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 22/ 01/ 2024

|  |
|--|
| <b>INFORMACIÓN DE LA AUTORA</b>  |
| <b>Nombres – Apellidos:</b> JENY MARIBEL SANGUCHO SAQUINGA   |
| <b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>   |
| <b>Facultad:</b> MECÁNICA  |
| <b>Carrera:</b> INGENIERÍA INDUSTRIAL  |
| <b>Título a optar:</b> INGENIERA INDUSTRIAL  |
| <br>Ing. Eduardo Francisco García Cabezas<br><b>Firma del Director del Trabajo de Integración Curricular</b> |
| <br>Ing. Julio César Moyano Alulema<br><b>Firma del Asesor del Trabajo de Integración Curricular</b>          |