



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ÓRTESIS AUTOMATIZADA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA, EN LOS PACIENTES DEL PATRONATO MUNICIPAL DE AMPARO SOCIAL DE LA CIUDAD DE LATACUNGA .

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

AUTORES:

JUAN SEBASTIAN VASQUEZ ALVAREZ

PAUL FERNANDO JEREZ VILLACRES

DIRECTOR:

ING. VICENTE HALLO CARRASCO

INTRODUCCIÓN

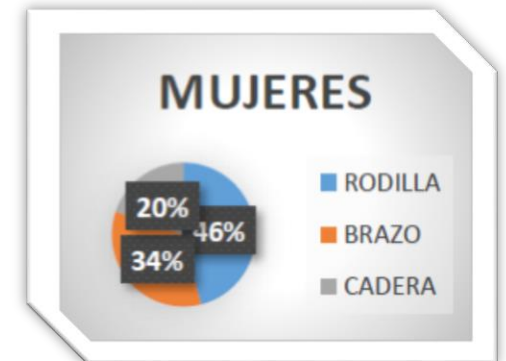
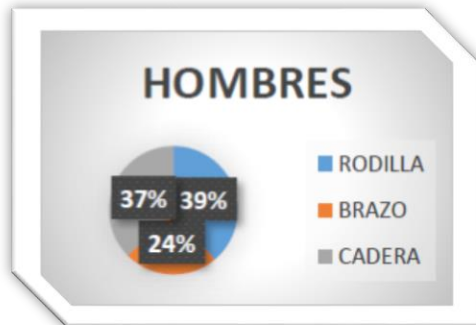
El Patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga (2014), atendió una cifra considerable de 8. 423 pacientes a partir del Mes de Junio a Diciembre que padecían lesión física y necesitaron el apoyo del centro de rehabilitación existente.

Tabla 1

Atención a pacientes en el Centro de Rehabilitación

	RODILLA	BRAZO	CADERA
HOMBRES	1425	863	1369
MUJERES	2199	1625	942

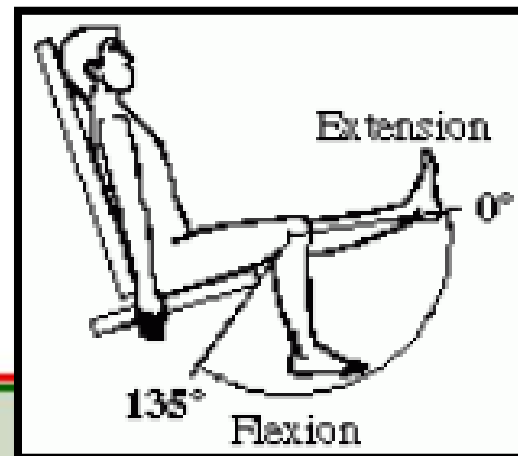
Fuente: Patronato Municipal de Latacunga



ANTECEDENTES

Son varios los antecedentes que se presentan respecto al tratamiento de la articulación de la extremidad inferior, ya sea debido que el problema puede ser provocado a partir de algún golpe, una artritis de rodilla o un movimiento brusco.

También por uso o desgaste de sus partes, o una cirugía causada talvez en algún tipo de actividad deportiva, estas son diferentes causales para que se realice algún tipo de rehabilitación que se le puede suministrar a un paciente que presente dolencias en esta articulación, incluyendo problemas más graves como una rotura de dicha articulación lo que llevaría a una práctica de cirugía y por consiguiente a una rehabilitación más exigida





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Largos tiempos de recuperación.
- Continuas sesiones de rehabilitación asistidas.
- Desgaste físico del fisioterapeuta a lo largo del tiempo

Nuestro planteamiento es como contribuir en disminuir el numero de sesiones, pero que tengan la misma eficacia en cuanto a la rehabilitación de esta articulación.



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente proyecto es un prototipo con una funcionalidad adecuada a las necesidades de la rehabilitación, por su forma de diseño y variables controladas

La importancia radica en beneficios como los siguientes:

- Los ejercicios se efectúan de forma programada y de fácil manipulación.
- La extremidad inferior del paciente será guiada por un mecanismo que favorezca a la rehabilitación de rodilla.
- Reproducir los movimientos que manualmente hace el terapeuta a través de la órtesis, el cual permite flexionar y extender la rodilla además de contar con un elemento que otorgue resistencia al paciente y poder medir su grado de fuerza en el musculo.



OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar y construir una órtesis automatizada para la rehabilitación de la articulación de la rodilla, en los pacientes del patronato municipal de amparo social de la ciudad de Latacunga .

ESPECÍFICOS

Desarrollar una órtesis automatizada para la rehabilitación de rodilla del Patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga .

Analizar y seleccionar alternativas adecuadas para los diferentes sistemas tanto mecánicos, eléctricos y de control de la órtesis automatizada para la rehabilitación de rodilla .

Dimensionar y Seleccionar los parámetros de control para el correcto funcionamiento requerido en cuanto a la parte mecánica como electrónica .

Elaborar el manual de operación .



PARÁMETROS DE DISEÑO

MECÁNICO

- Capacidad máxima de carga (F_a): 1200 N (800 N del paciente y 400 N del asiento con arnés)
- Dimensiones máximas de la maquina (1200 x 1500 x1000) mm
- Amplitud de movimiento: A partir de la posición fija, la amplitud máxima de rotación es 90°
- Rango de torque para rehabilitación y fortalecimiento del paciente: 134 Nm - 343 Nm
- Rango de velocidad de rotación de la palanca giratoria: $60^\circ/\text{seg}$ - $300^\circ/\text{seg}$
- Mecanismo de seguridad para evitar lesiones del paciente: Desacoplamiento del sistema de transmisión mediante un limitador de par
- Factor de seguridad mínimo requerido (FS): 2,5

ELECTRÓNICO

- Desplazamiento: accionado mediante control de un encoder el cual nos permitirá tener los grados con una apreciación exacta
- Detección de Oposición de Movimientos controlados por un limitador de par.
- Control de Revoluciones del motor a través de un Variador de Frecuencia.
- Elemento de control mini PLC que permitirá entregar y recibir señales para la operación
- Rango de Recuperación de Arco $0^\circ - 90^\circ$ Ascendente / Descendente
- Actuadores: eléctricos/electrónicos.



IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS

Sistema Mecánico

- Estructura Base.
- Brazo deslizante.
- Base Asiento.
- Tornillo Sin Fin.
- Brazo giratorio.
- Asiento Confortable.
- Limitador Torque.
- Pines de Sujeción

Sistema Eléctrico y Electrónico

- Motoreductor Trifásico.
- Variador Frecuencia.
- Encoder.
- PLC Unitronics.
- Finales de Carrera.
- Protecciones de seguridad

Sistema de Control

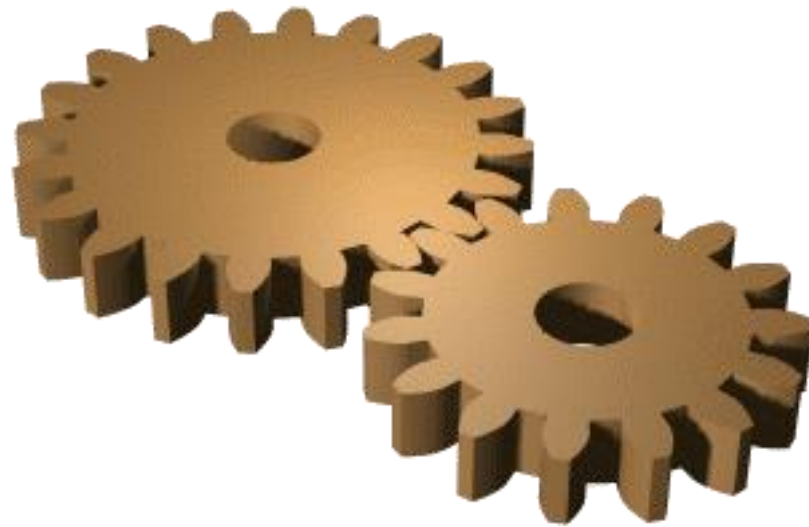
- Software VisiLogic 9.8.31 para la elaboración del programa Leader y posterior implementación en el Mini PLC.
- Elaboración de una interfaz amigable HMI



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

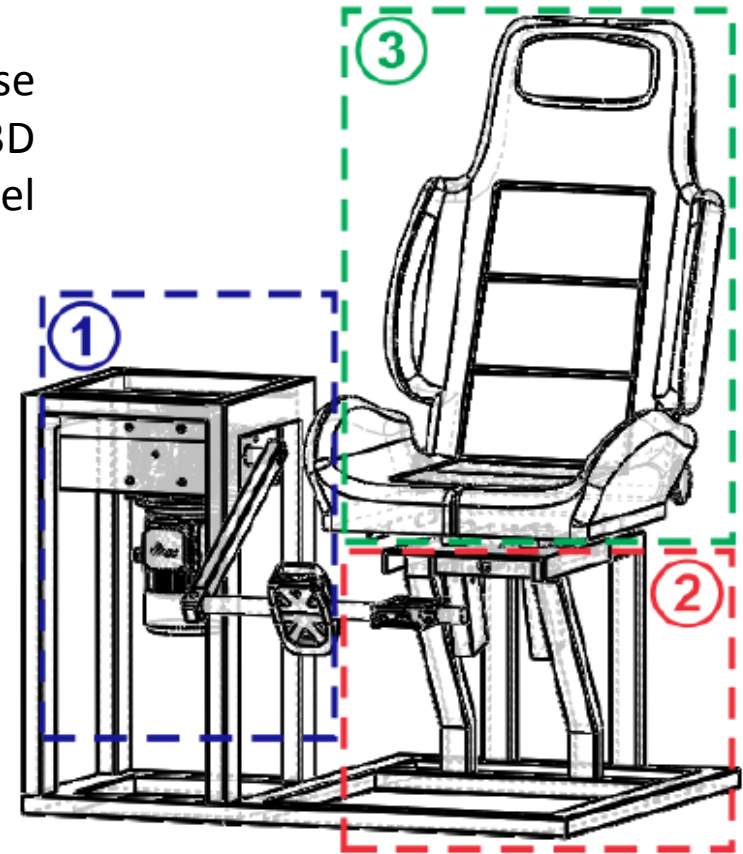


DISEÑO MECÁNICO

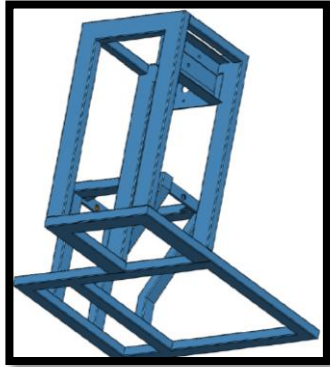


Se determinan sus principales sistemas, luego se calculan las cargas que se generan bajo condiciones críticas de funcionamiento, se modelan en 3D los diferentes componentes y se analizan mediante simulaciones por el método de elementos finitos.

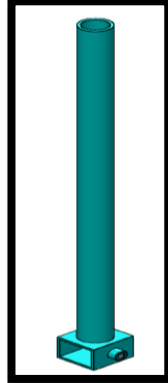
- Sistema de transmisión variable
- Soporte regulable
- Asiento con arnés



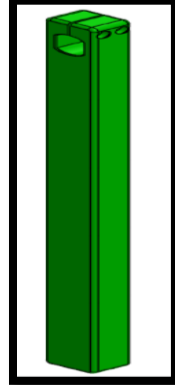
MODELADO 3D



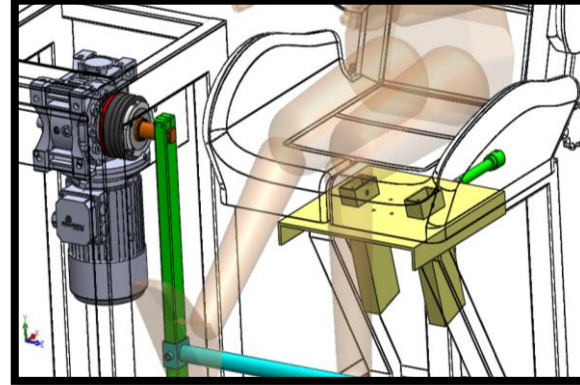
**ESTRUCTURA
BASE**



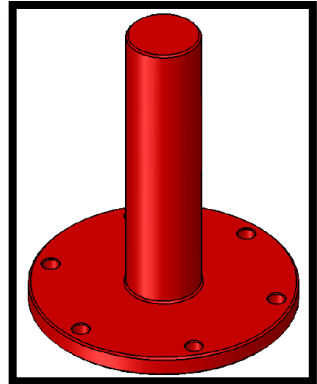
**BRAZO
DESLIZANTE**



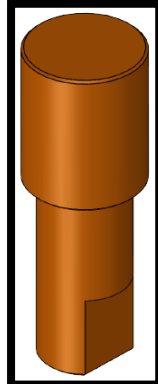
**BRAZO
GIRATORIO**



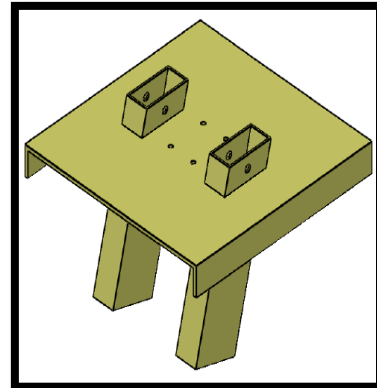
**SISTEMA
MECANICO**



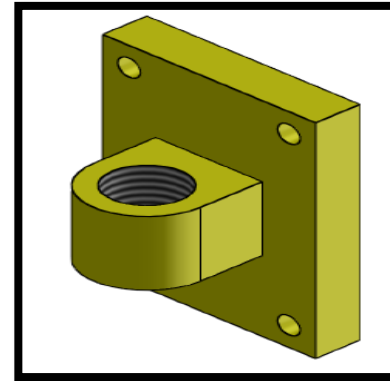
**EJE
MOTOREDUCTOR**



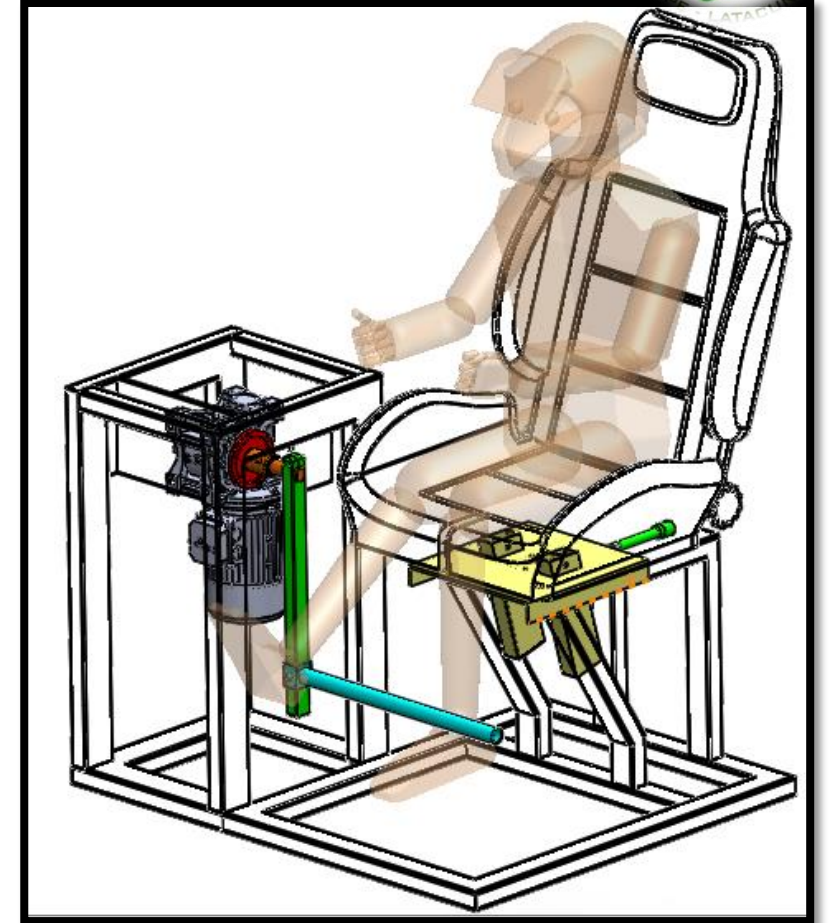
**EJE SALIDA
LIMITADOR**



**SOPORTE DEL
ASIENTO**

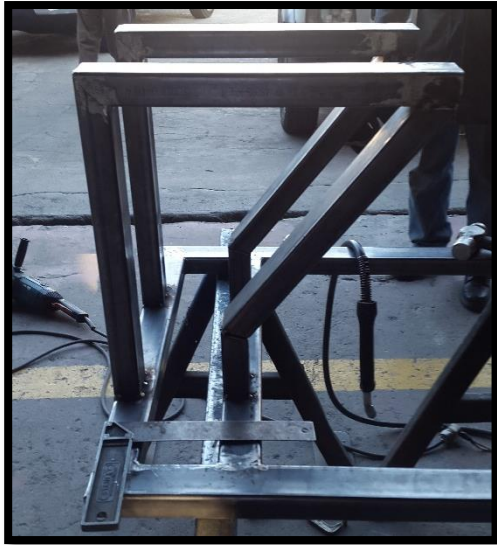


**TUERCA DE AVANCE
DE ASIENTO**



**PROTOTIPO
MODELADO**

IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA



ESTRUCTURA



**BASE ASIENTO Y
TUERCA DE
AVANCE DE
TORNILLO**



**JUNTA LIMITADOR
TORQUE**



ASIENTO



IMPLEMENTACIÓN



DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR

Debido que en los ejercicios de rehabilitación los torques máximos de trabajo se alcanzan en las velocidades de giro más bajas, y los torques mínimos se aplican a las velocidades más altas, para determinar la potencia requerida en el motor, se utiliza el valor medio del rango de torque requerido para rehabilitación y fortalecimiento del paciente (T_m)

Para alcanzar la velocidad de giro máxima requerida ($W_{max} = 300^\circ/\text{seg}$), se utilizará un reductor de velocidad de engranajes, y para obtener las velocidades de giro más bajas se empleará un variador electrónico de frecuencia, el mismo que reduce las rpm del motor sin aumentar su torque. (P_m)

Considerando una eficiencia total del sistema de transmisión del ($\eta T = 70\%$) con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, así como los diferentes tipos de pérdidas en el moto-reductor, la potencia efectiva requerida en el motor es (PM)

Para obtener la velocidad de giro de $300^\circ/\text{seg}$, la relación de transmisión (i_{red}) requerida en el reductor de velocidad es (I_{red})

Donde:

T_m = Torque medio requerido en rehabilitación.

W_{max} = Velocidad de rotación máxima requerida de la palanca giratoria = $300^\circ/\text{seg} = 5,236 \text{ rad/s} = 50 \text{ rpm}$

P_m = Potencia media requerida del motor.

PM = Potencia media efectiva requerida del motor = 70%

i_{red} = Relación de transmisión requerida en el reductor de velocidad

ω_{mot} = Velocidad máxima nominal del motor = 1710 rpm

$$T_m = \frac{(134+343)Nm}{2}$$

$$T_m = 238,5 \text{ Nm}$$

$$P_m = T_m * W_{max}$$

$$P_m = 238,5 \text{ Nm} * 5,236 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_m = 1248,8 \text{ W}$$

$$PM = \frac{P_m}{\eta T}$$

$$PM = \frac{1248,8 \text{ W}}{0,7}$$

$$PM = 1783,9 \text{ W} = 1,784 \text{ kW}$$

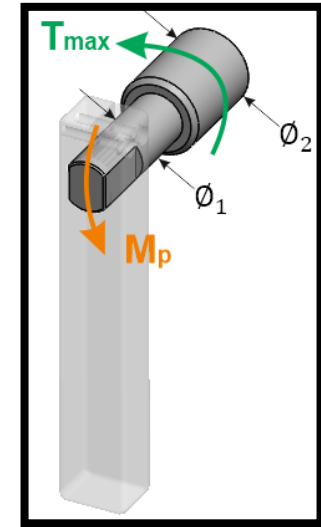
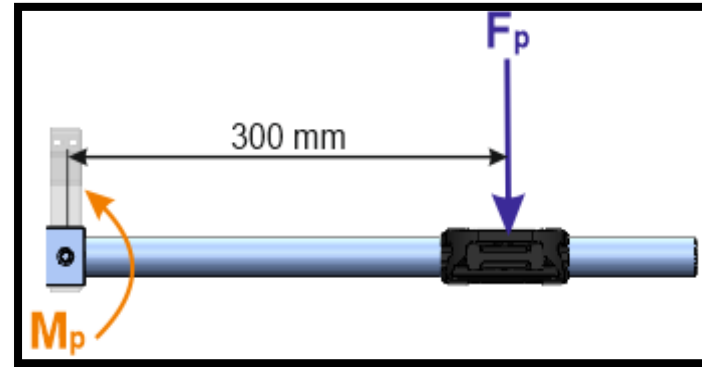
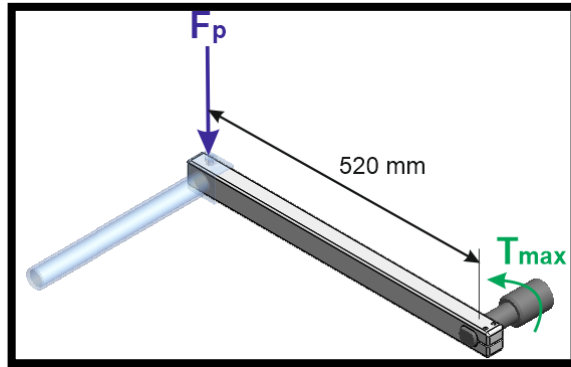
$$i_{red} = \frac{\omega_{mot}}{\omega_{max}}$$

$$i_{red} = \frac{1710 \text{ rpm}}{50 \text{ rpm}}$$

$$i_{red} = 34,2$$

ω_{max} = Máxima velocidad de rotación de la palanca giratoria = $5,236 \text{ rad/s} = 50 \text{ rpm}$

DIMENSIONAMIENTO BRAZOS



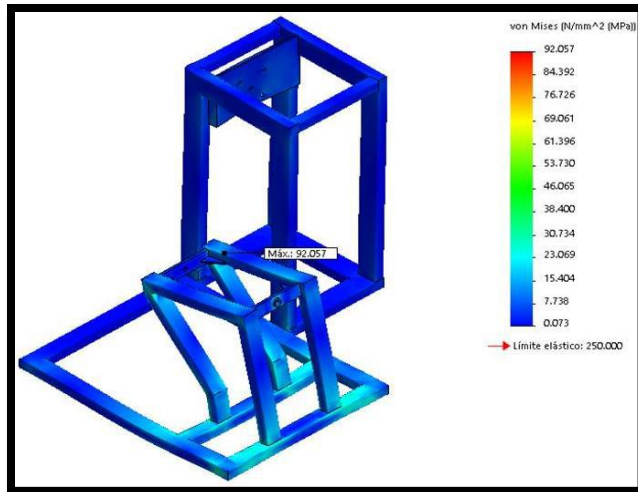
TEORIA DE LA DISTORCION PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIAMETROS DE EJES Y VIGAS

$$\varnothing_{sop} = \left[\frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left(M_p^2 + \frac{3}{4} T^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

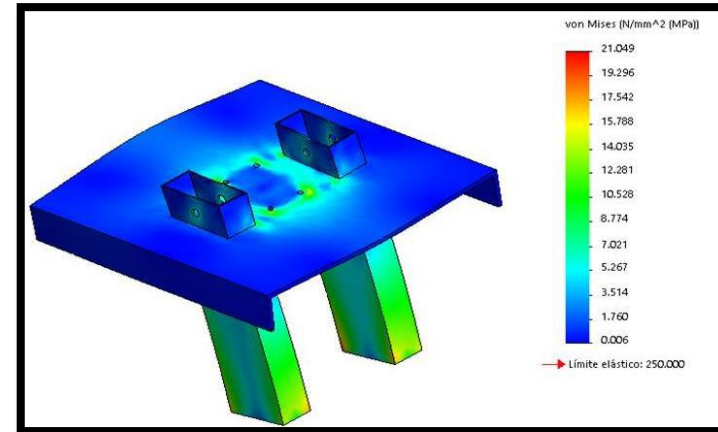
$$\frac{S_y}{FS} \geq \frac{M_{max}}{\frac{b \cdot h_b^2}{6}}$$

$$h_b = \sqrt{\frac{6 \cdot FS \cdot M_{max}}{b \cdot S_y}}$$

SIMULACIÓN SOFTWARE

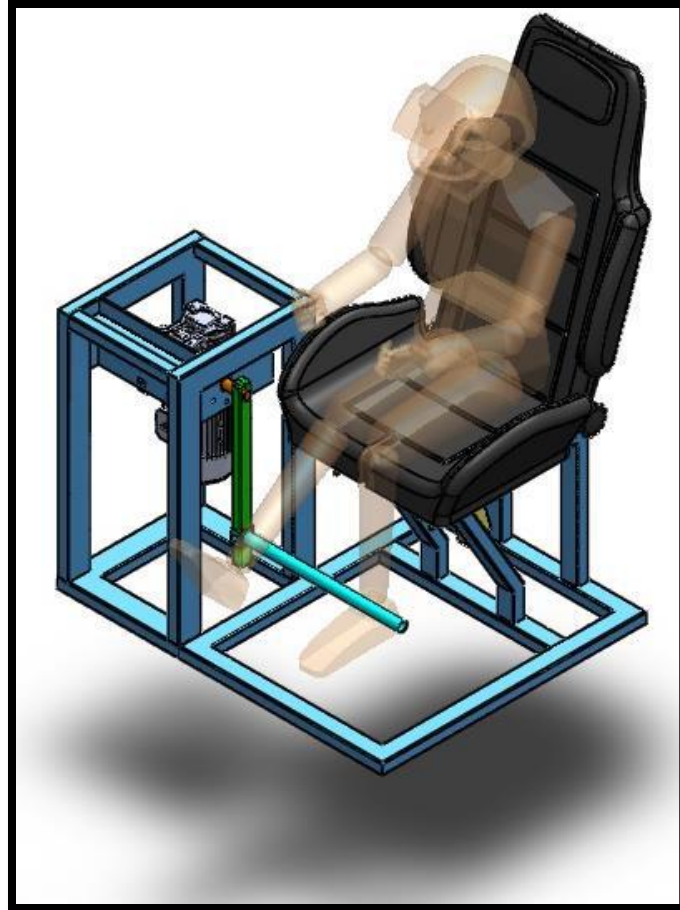


Tomando en cuenta los cálculos procesados en el programa Solidworks basados en la estructura del prototipo podemos observar que, de acuerdo a la Teoría de Von Mises obtenemos un Límite Elástico máximo de $22.069\text{N/mm}^2(\text{Mpa})$



En conclusión de acuerdo a la realización de estudio de cuerpos finitos de Solidworks en el soporte del asiento que podemos observar en la Figura, de acuerdo a la Teoría de Von Mises obtenemos un Límite Elástico máximo de $5.267\text{N/mm}^2(\text{Mpa})$

MODELO CONCEPTUAL - REAL



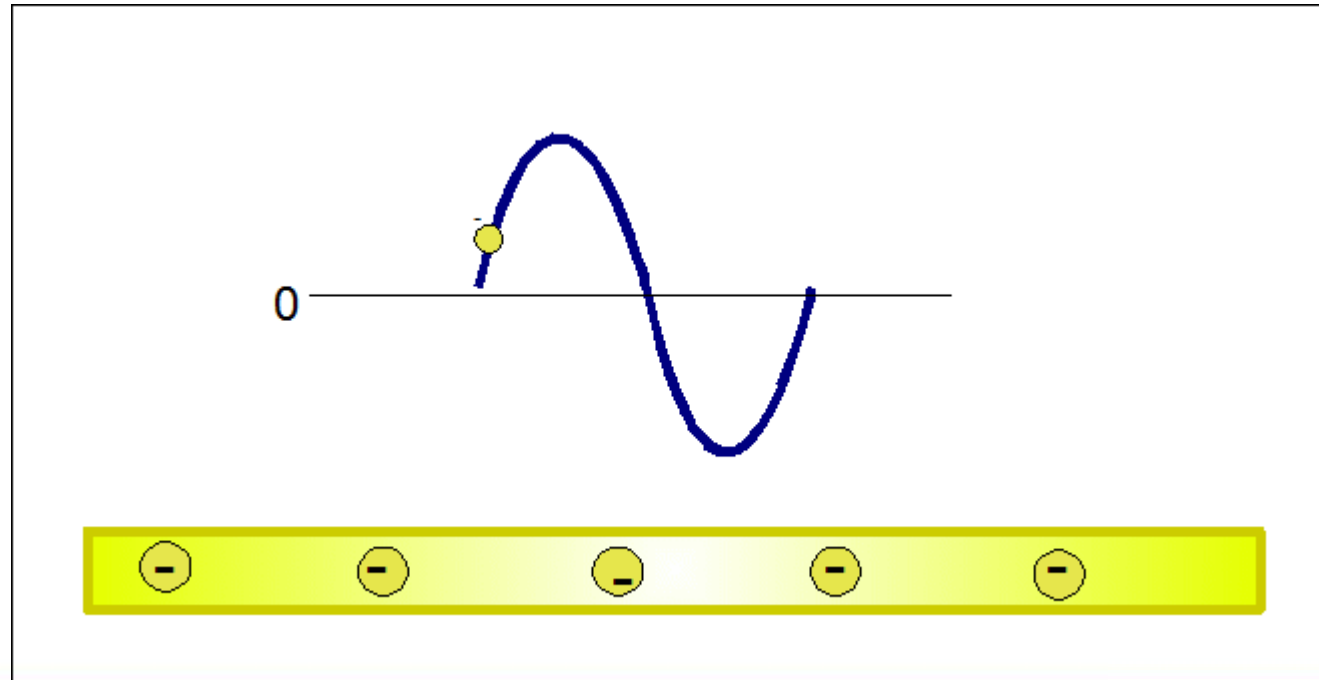


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO



SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Encoder Incremental REC80 - B

De acuerdo a los pulsos necesarios para tener una precisión de 1° y por características de fábrica del encoder incremental se seleccionó el encoder **Rounds REC80-B**

Características:



PLC UNITRONICS

Se selecciona un mini **PLC de la marca UNITRONICS** el cual permitirá la facilidad de conexión con los componentes y a su vez un software mixto (Leader – Orientado a Objetos) además nos permite un LCD incluido al PLC



SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Variador de Frecuencia

Se Selecciona un variador de Frecuencia de la marca INVT por facilidad de instalación, cumplimiento de parámetros de diseño y marca competitiva en el mercado industrial



Final de Carrera CHINT

Se adquirió el final de carrera de la Marca CHINT debido a la flexibilidad que proporciona en la instalación y en la regulación



SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

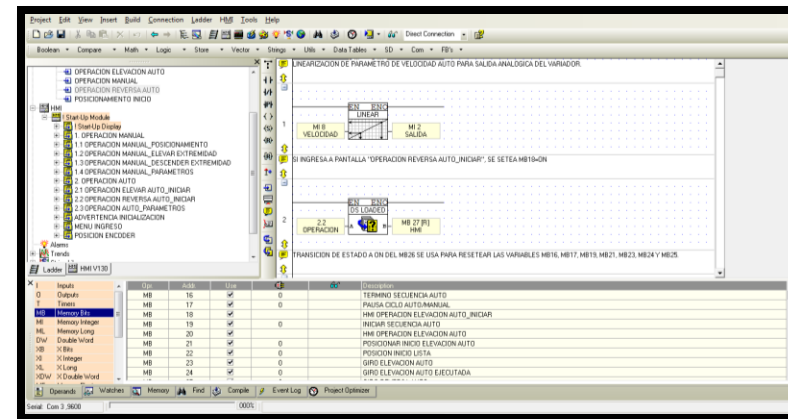
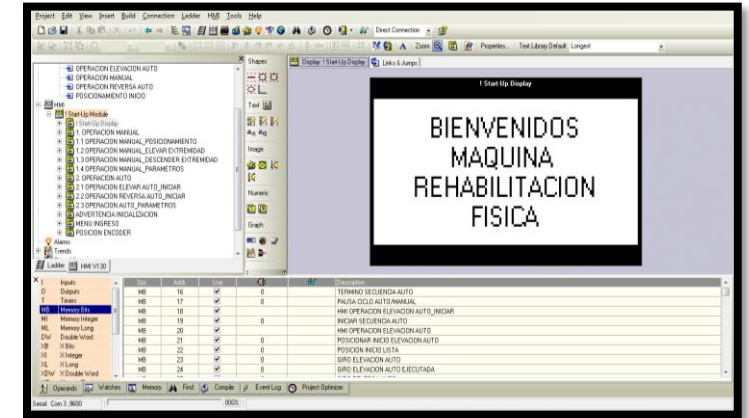
Fuente de Alimentación

Se Selecciona un variador de Frecuencia de la marca INVT por facilidad de instalación, cumplimiento de parámetros de diseño y marca competitiva en el mercado industrial





PROGRAMACIÓN LADDER



MODO DE PROGRAMACIÓN

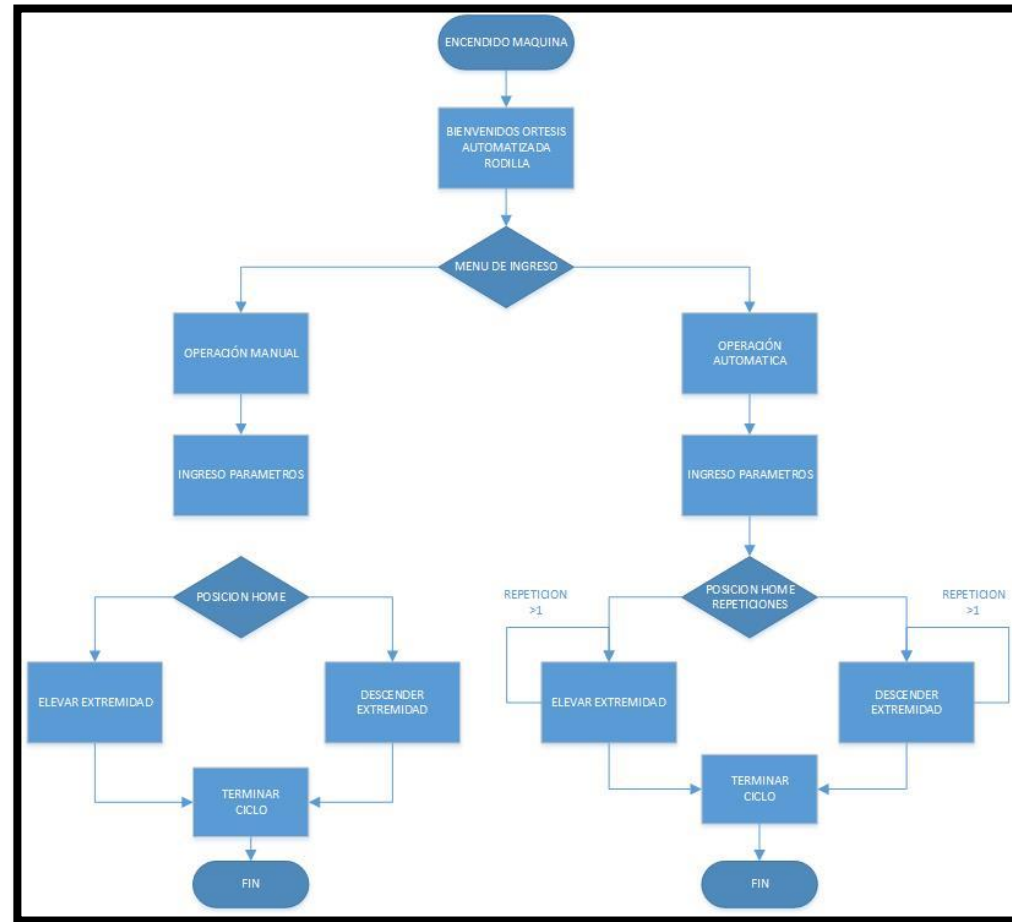


DIAGRAMA FLUJO PROGRAMACIÓN

Programación Bimodal

Modo Automático

Modo Manual

DISEÑO HMI

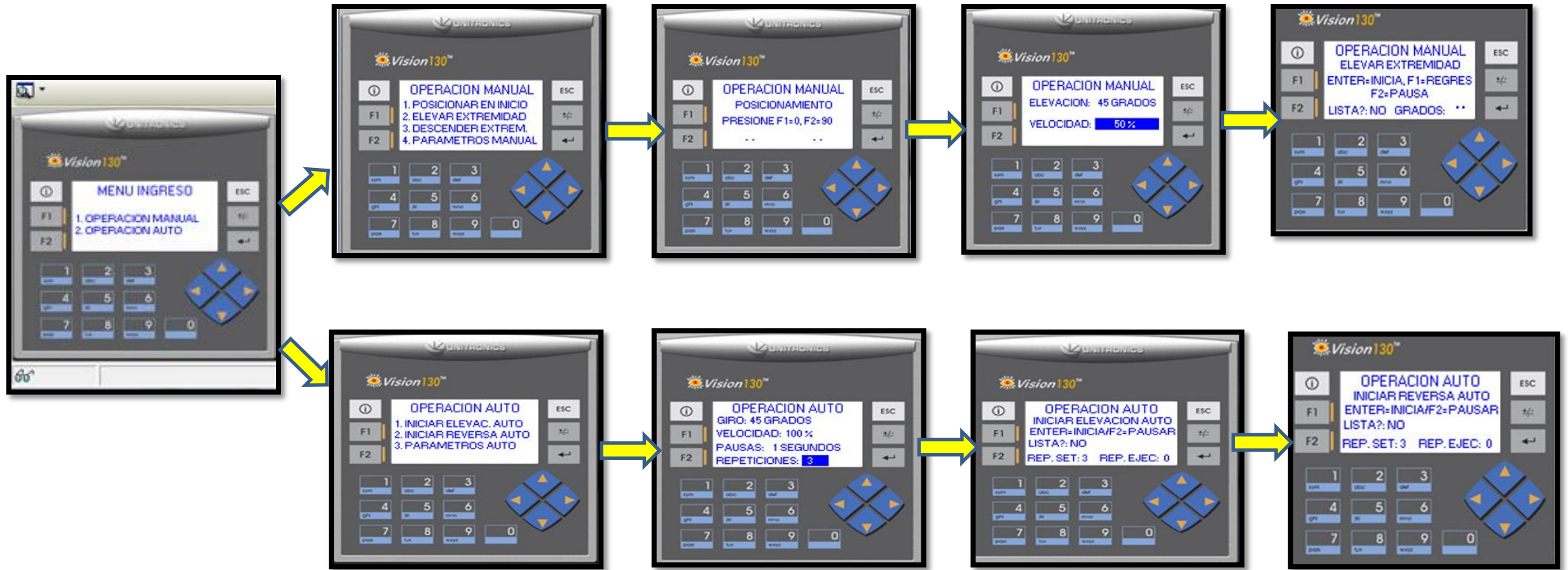


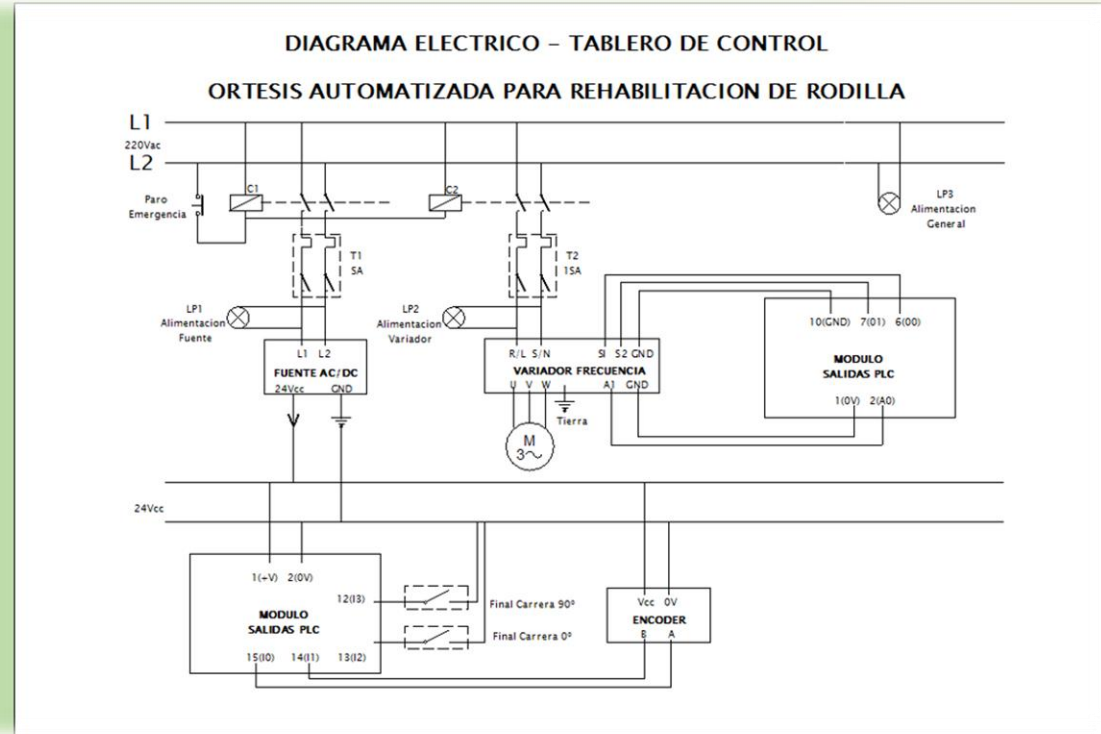
DIAGRAMA ELÉCTRICO

DIAGRAMA ELECTRICO TABLERO CONTROL

Dimensionamiento Protecciones

Control de Corriente

Puesta a Tierra



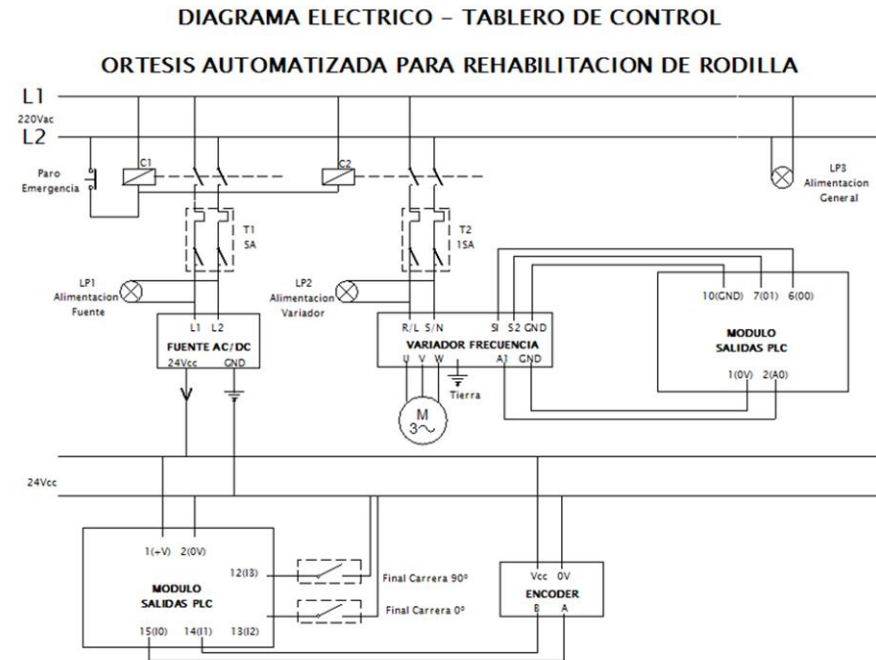
PROTECCIONES Y SEGURIDADES

DIAGRAMA ELECTRICO TABLERO CONTROL

Dimensionamiento Protecciones

Control de Corriente

Puesta a Tierra





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



PRUEBAS Y RESULTADOS



PRUEBAS EN PACIENTES Y FISIOTERAPISTAS

De acuerdo a los parámetros establecidos en el diseño se procede a la prueba de funcionamiento de la órtesis, al contar con una persona ejerciendo fuerza en el eslabón motriz, a criterio del fisioterapeuta se puede medir el grado de fuerza aplicado, así como también en pacientes que vienen con un reducido arco de movilidad poco a poco mediante sesiones programadas se recupera la flexión y extensión en la articulación



FUNCIONAMIENTO REHABILITACIÓN

En lo referente al funcionamiento de rehabilitación de rodilla se ha implementado un sistema que consta de dos tipos: Recuperación de Arco de movimiento y a su vez pruebas de resistencia Grado 5.

Recuperación de Arco de Movimiento: para poder recuperar el arco de movimiento nuestra órtesis automatizada de rodilla se basó en la siguiente tabla

Sesiones	GRADOS DE RECUPERACION	
	Fisioterapista	Ortesis
1	15	15
2	25	40
3	35	60
4	50	80
5	75	90
6	90	90



Cabe recalcar que al realizar estos ejercicios en forma manual el fisioterapeuta recurre a posiciones incómodas y genera desgaste físico, no obstante la Órtesis automatizada de rodilla contribuye al bienestar del fisioterapeuta

FUNCIONAMIENTO RESISTENCIA GRADO 5

Una vez obtenido la recuperación del arco de movimiento el procedimiento para evaluar el avance de un paciente es realizando pruebas de resistencia en la cual nos permita conocer cómo se encuentran desarrollados y ejercitados los músculos isquiotibiales, por lo que se considera la siguientes pruebas

	Resistencia Grado 5	
Sesiones	Fisioterapeuta	Órtesis
1	20%	40%
2	50%	80%
3	80%	90%



Como podemos observar la órtesis automatizada nos genera un mejor avance en cuanto a porcentaje de recuperación debido a su precisión, en cuanto al fisioterapeuta observamos que obtiene un porcentaje aceptable pero de la misma manera que la rehabilitación, también facilita el trabajo del fisioterapeuta



RESULTADOS OBTENIDOS



De acuerdo a la prueba realizada por el Encoder Incremental se obtiene como resultado que la apreciación del dispositivo es de 1° por lo que se restringe a un rango máximo de $0^\circ - 90^\circ$ pretendiendo así precautelar la integridad del paciente

Mediante el Variador de frecuencia utilizado para monitorear el motoreductor nos permite obtener revoluciones que no son muy altas y por ende nos permite el correcto funcionamiento del Sensor mecánico (Limitador de par) para que pueda actuar en cualquier momento.

Al obtener la prueba del software Leader VisiLogic se concluye que por su aspecto físico de obtener pantalla LCD incluida y tener una programación parcial en base a objetos facilita notablemente la programación y el control de variables al ejecutar el programa.

Una vez concluido y probada la Órtesis automatizada para rehabilitación de rodilla en sus 2 modos (Automático, Manual), se da la apertura para realizar una prueba a tiempo prolongado permitiendo a los diferentes pacientes del Patronato Municipal de Amparo Social para que puedan tener una rehabilitación a corto plazo y con un mejor resultado fisioterapéutico ya que permite obtener repeticiones constantes y de la misma intensidad, además se cuenta con un informe validado por un fisioterapeuta calificado que daría fe del correcto funcionamiento de la órtesis automatizada de rodilla



CONCLUSIONES

- El equipo construido cumple con el objetivo planteado que se orienta a la rehabilitación efectiva de rodilla y sobre todo a corto plazo de tal manera que al utilizar esta órtesis automatizada se pueda contribuir al desarrollo del país y por ende a mejorar el estilo de vida de todas las personas que conforman nuestro país.
- Algo muy importante que se obtiene de realizar este prototipo es que a través de la investigación y el conocimiento técnico adquirido en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga se puede formar ese criterio de diseño que se torna tan complicado en los estudiantes y elaborando este tipo de equipos se lo podrá fortalecer.
- Las dimensiones del sistema mecatrónico se basó básicamente en la comodidad y confortabilidad del usuario para que de esta manera obtenga el mejor servicio a través del Profesional.



RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los criterios de diseño del prototipo, la órtesis automatizada para rehabilitación de rodilla está diseñada para todas las personas de carácter normal y con un peso dentro del rango de operación, ya que si no se cumple los rangos preestablecidos, puede bajar la vida útil de la máquina y por ende afectar su funcionamiento.
- Al ser una máquina de rehabilitación se debe operar a través de un profesional correspondiente a la rama de la Fisioterapia, ya que ellos tienen el suficiente conocimiento para poder establecer las rutinas de rehabilitación de acuerdo al grado de movimiento que tenga cada paciente.
- Se sugiere de la manera más comedida seguir exactamente el manual de operación del usuario correspondiente en el Anexo indicado, para de esta manera evitar daños tanto de los elementos eléctricos como mecánicos y de esta manera contribuir a mejorar la vida útil del sistema mecatrónico.
- El tipo de proyectos como el presente, que presentan una facilidad social ya que está orientado a la Fisioterapia, contribuye a la implementación de nuevas tecnologías en la rama Médica con la finalidad de contribuir a mejorar los tratamientos de los diferentes pacientes, aportar al desarrollo a nivel nacional e incentivar a los mercados industriales a realizar prototipos semejantes.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



GRACIAS

