

**PROTOTIPO DE EXOESQUELETO CON ESTIMULACIÓN
ELECTROMAGNÉTICA PARA APOYO EN LA REHABILITACIÓN DE
LESIÓN DE MENISCOS**

AUTOR
JEAN KARLO SUTA RUEDA

REALIZADO CON LA DIRECCIÓN DE:
ING. FIS. JUAN CARLOS LIZARAZO ESP. MSC

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NOVIEMBRE 2020

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA EQUIPOS MEDICOS

**PROTOTIPO DE EXOESQUELETO CON ESTIMULACIÓN
ELECTROMAGNÉTICA PARA APOYO EN LA REHABILITACIÓN DE LESIÓN DE
MENISCOS.**

AUTOR
JEAN KARLO SUTA RUEDA

REALIZADO CON LA DIRECCIÓN DE:
ING. FIS. JUAN CARLOS LIZARAZO ESP. MSC

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi director de grado, el Ing. Juan Carlos Lizarazo por su guía en la elaboración de este proyecto, en la construcción y en los consejos para poder llevarlo a cabo.

De igual manera agradezco al centro de rehabilitación AVANT por su apoyo en este trabajo de grado y darme las pautas para poder realizarlo. A la Fisioterapeuta Kelly Vásquez Gamboa por brindarme la confianza para el desarrollo de mi documento, sin eso no podría haber llegado al final de todo esto.

Por último, quiero agradecer a mi familia, amigos y compañeros, en especial a mi madre y padre, quien me dio todo el apoyo moral para poder llegar a este punto, también a mis amigos Angie Morales y Ricardo Zorro que fueron los que me ayudaron a llegar hasta este punto, a cada uno de ellos por ser mi soporte y mi motivación.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

El proyecto de grado que se muestra en el documento tiene como objetivo lograr apoyar la recuperación de lesión de meniscos, donde presenta problemas en los tiempos de recuperación en el centro de rehabilitación AVANT, se realiza el diseño e implementación de un exoesqueleto con CEM para poder lograr los tiempos establecidos bajo parámetros de movimientos y frecuencias, de aquí se logra que el prototipo funcione con todos los requerimientos propuestos haciendo que sea óptimo tanto en peso como en diseño electrónico.

Palabras Clave: Exoesqueleto, Campos electromagnéticos, PID, Control proporcional, bobinas, rehabilitación, lesión de meniscos.

ABSTRACT

The degree project shown in the document aims to support the recovery of meniscus injury, where it presents problems in recovery times in the AVANT rehabilitation center, the design and implementation of an exoskeleton with CEM is carried out to be able to To achieve the times established under the parameters of movements and frequencies, from here it is possible that the prototype works with all the proposed requirements, making it optimal both in weight and in electronic design.

Key Words: Exoskeleton, Electromagnetic fields, PID, Proportional control, coils, rehabilitation, meniscus injury.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
2.1. Contexto	2
2.2. Manifestación	2
2.3. Causas	2
2.4. Efectos	3
2.5. Aspectos a solucionar	3
2.6. Justificación del proyecto	3
2.7. Propuesta de solución	3
3. OBJETIVO	3
3.1. General:	3
3.2. Específicos:	3
4. REQUERIMIENTOS	4
4.1. Funcionales	4
4.2. Calidad	5
4.3. Restrictivos	6
5. PLAN DE PRUEBAS FUNCIONALES	7
5.1. Plan de pruebas de componentes	11
5.2. Plan de pruebas de subsistema	11
5.3. Plan de pruebas de integración	11
5.4. Plan de pruebas del sistema	11
6. METODOLOGÍA	11
6.1. Proyecto 1	11
6.2. Proyecto 2	12
7. RECURSOS NECESARIOS	13
7.1. Recursos de tiempo	13
7.2. Recursos humanos	13
7.3. Recursos técnicos	13
7.4. Recursos materiales	13
7.5. Recursos de financiación	14

8. ESTADO DEL ARTE	14
8.1. Bases teóricas.....	14
8.1.1. Batería de ejercicios	14
8.1.2. Desgarre meniscos.....	16
8.1.3. Sensores	17
8.2. Tecnología.....	17
8.2.1. Exoesqueletos Toyota	17
8.2.2. Exo-H2:.....	18
8.2.3. Equipo de terapia Magnet:	19
8.2.4. Magneto terapia, equipo generador de campo magnético:	21
8.2.5. Magnetoterapia de 150 Gauss Micro 5 Home con 2 bobinas planas y 1 cilindro: 22	
8.2.6. Minimag:.....	23
8.2.7. Glosario de términos.....	25
9. DISEÑO FUNCIONAL.....	25
9.1. Diseño funcional 1	26
9.2. Diseño funcional 1	27
10. DISEÑO DETALLADO.....	29
10.1. Subsistema A exoesqueleto.....	29
10.1.1. Requerimientos del subsistema A exoesqueleto	29
10.1.2. Funciones, entradas y salidas	30
10.1.3. Diseño del subsistema A exoesqueleto.....	31
10.1.4. Esquematicos del subsistema A exoesqueleto.....	42
10.1.5. Simulación del subsistema A exoesqueleto.....	44
10.1.6. Plan de pruebas del subsistema A.....	46
10.2. Subsistema B Campos electromagnéticos.....	46
10.2.1. Requerimientos del subsistema B.....	47
10.2.2. Funciones, entradas y salidas del subsistema	47
10.2.3. Diseño del subsistema B.....	48
10.2.4. Esquemáticos del sistema.....	60
10.2.5. Simulaciones del subsistema B	62
10.2.6. Plan de pruebas del subsistema B.....	63
10.3. Esquemático del sistema.....	64

10.3.1.	Simulación del sistema.....	65
11.	PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA.....	66
11.1.	Plan de pruebas de componentes	66
11.2.	Plan de pruebas del subsistema.....	68
11.2.1.	Subsistema A Exoesqueleto.....	68
11.2.2.	Subsistema B Campos electromagnéticos.....	70
11.3.	Plan de pruebas de integración.....	71
11.4.	Plan de pruebas del sistema.....	72
12.	DISEÑO INDUSTRIAL.....	73
12.1.	Descripción del contexto:	73
12.2.	Casos de uso.....	73
12.3.	Requerimientos de producción.....	75
12.4.	Requerimientos de producción.....	76
12.5.	Materiales, procesos y normativas	76
12.6.	Planificación de producción:.....	77
12.7.	Diseño detallado.....	78
12.8.	Selección de materiales.....	79
12.9.	Diseño industrial final.....	82
13.	IMPLEMENTACIÓN.....	91
13.1.	Subsistema A Exoesqueleto.....	91
13.2.	Subsistema B Campos electromagnéticos.....	93
13.3.	Sistema completo.....	96
14.	PRUEBAS DEL SISTEMA.....	97
15.	AJUSTES.....	109
16.	MANUALES.....	110
17.	RESULTADOS.....	110
18.	DISCUSIÓN.....	112
19.	CONCLUSIONES.....	116
20.	REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	117
20.1.	Bibliografía.....	117
21.	ANEXOS.....	119
	Anexo 1 Código de programación de Matlab para control en simulink.....	119
	Anexo 2 programación con encoder y PWM.....	120

Anexo 3 calculo integral de la bobina	125
Anexo 4 Código de programación para frecuencia	127
Anexo 5 Datasheet 7805	129
Anexo 6	130
Anexo 7 BC547	131
Anexo 8 BD135	132
Anexo 9 Manual de usuario	133
Anexo 10 Manual de mantenimiento (prevención y corrección)	142

Lista de Figuras

Figura 1. Planificación proyecto 1	12
Figura 2. Planificación proyecto 2	12
Figura 3 anatomía rodilla normal [2]	16
Figura 4 magnet [8]	19
Figura 5 Accesorio/solenoides túnel [8]	20
Figura 6 Equipo generador de campo magnético. [9]	21
Figura 7 Equipo de magnetoterapia minimag. [11]	24
Figura 8 Propuesta de diseño A	26
Figura 9 Segundo diseño Propuesto	27
Figura 10 Subsistema A (Exoesqueleto)	29
Figura 11 diseño de componentes de exoesqueleto	30
Figura 12 Sistema dinámico en bloques	31
Figura 13 Plano de fuerzas de sistema dinámico de exoesqueleto	32
Figura 14 modelo dinámico Denavit	34
Figura 15 Muestra de PID	37
Figura 16 Umbral de voltaje de 6.44	38
Figura 17 diagrama de flujo del sistema de control	42
Figura 18 Arduino	42
Figura 19 control del exoesqueleto	43
Figura 20 ANSYS exoesqueleto	44
Figura 21 salida sin la realimentación	45
Figura 22 Salida con realimentación	45
Figura 23 subsistema B (Campos Electromagnéticos)	47
Figura 24 Diseño de componentes subsistema B	48
Figura 25 plano de embobinado	51
Figura 26 circuito interno Lm555	57
Figura 27 circuito en thevenin	58
Figura 28 conexión transistores con bobina y diodo de descarga	59
Figura 29 fuente de voltaje	60
Figura 30 diseño PCB fuente de voltaje	60
Figura 31 diseño del sistema de campos variables	61

Figura 32 PCB del circuito forma física	61
Figura 33 impresión en PCB del circuito.....	62
Figura 34 simulación del circuito de campos en proteus.....	62
Figura 35 Esquemático del sistema	65
Figura 36 diseño del subsistema	65
Figura 37 vista lateral del primer diseño del exoesqueleto.....	77
Figura 38 segundo diseño del exoesqueleto.....	78
Figura 39 exoesqueleto en inventor	80
Figura 40 plano exoesqueleto.....	80
Figura 41 extension superior e inferior	81
Figura 42 componente de rotación en la rodilla.....	81
Figura 43 base inferior para soporte de la pierna	81
Figura 44 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto	82
Figura 45 Simulación de un soporte del exoesqueleto.....	83
Figura 46 Planos de soporte de exoesqueleto	83
Figura 47 Caja contenedora de las tarjetas programadoras y salidas de las bobinas.....	83
Figura 48 Plano de caja de tarjetas programadoras.....	84
Figura 49 Implementación de los soportes laterales con caja de tarjetas programadoras.....	84
Figura 50 planos Implementación de los soportes laterales con caja de tarjetas programadoras	84
Figura 51 Prototipo terminado con bandas sujetadoras.....	85
Figura 52 Planos prototipo final con bandas sujetadoras.....	85
Figura 53 Soporte de bobinas (1)	85
Figura 54 Soporte de bobinas terminado	86
Figura 55 soporte derecho del exoesqueleto parte externa	86
Figura 56 soporte derecho del exoesqueleto parte interna	86
Figura 57 soporte izquierdo del exoesqueleto parte externa.....	87
Figura 58 soporte izquierdo del exoesqueleto parte interna.....	87
Figura 59 Base ajustable inferior del exoesqueleto	87
Figura 60 base ajustable superior del exoesqueleto.....	88
Figura 61 base ajustable inferior del exoesqueleto parte interna.....	88
Figura 62 base ajustable inferior del exoesqueleto estirada.....	88
Figura 63 base ajustable superior del exoesqueleto parte interna	89
Figura 64 base ajustable superior del exoesqueleto estirada	89

Figura 65 Exoesqueleto totalmente montado	89
Figura 66 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto	90
Figura 67 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto	90
Figura 68 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto	90
Figura 69 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto	91
Figura 70. Librerías para PID arduino.....	92
Figura 71 montaje exoesqueleto.....	93
Figura 72 librerías ara subsistema B.....	93
Figura 73 Circuito oscilador 555.....	94
Figura 74 conexión arduino con pulsadores y pantalla	95
Figura 75 etapa 3 de subsistema B con conexión de bobinas	95
Figura 76 circuito final montado	96
Figura 77 Implementación final	97
Figura 78 prueba de tarjeta de programación	99
Figura 79 prueba de funcionamiento de motor con L298	99
Figura 80 prueba de tarjeta de programación	101
Figura 81 Ángulos de pruebas de 0° a 40°	104
Figura 82 Ángulos de pruebas de 60° a 120°	105
Figura 83 prueba de tarjeta de programación	107
Figura 84 frecuencia de muestreo.....	108
Figura 85 Pruebas multímetro en resistencia.....	108
Figura 86 Prueba multímetro en voltaje.....	108
Figura 87 error calculado en las pruebas	113
Figura 88 Comparación entre valor estimado y valor real frecuencia campos electromagnéticos	113
Figura 89 Error de todos los valores calculados.....	115
Figura 90 Error en valores finales entre las pruebas	115

Lista de Tablas

Tabla 1. Plan de pruebas seminario	7
Tabla 2. Especificaciones técnicas.....	24
Tabla 3 selección de componentes programables	38
Tabla 4 selección de componentes programables	40
Tabla 5. Datos comprobados por observación.....	46
Tabla 6. Pruebas según tamaño de pierna.....	63
Tabla 7 plan de pruebas de campos electromagnéticos	64
Tabla 8 prueba de componentes de los subsistemas	67
Tabla 9 plan de pruebas de componentes	68
Tabla 10 plan de pruebas subsistema A	69
Tabla 11 tareas a realizar subsistema A	70
Tabla 12 Plan de pruebas de subsistema B.....	71
Tabla 13. Plan de pruebas del sistema	72
Tabla 14. Plan de pruebas del sistema- observaciones.....	72
Tabla 16. Tabla de pruebas de motor con error de ángulo sin peso	99
Tabla 17. Tabla de pruebas de subsistema B campos electromagnéticos.....	100
Tabla 18. Tabla de pruebas de subsistema B campos electromagnéticos.....	102
Tabla 19. Tabla de estabilidad y accesibilidad del subsistema A.....	103
Tabla 20. Tabla de pruebas de subsistema B campos electromagnéticos.....	103
Tabla 21. Tabla de estabilidad y accesibilidad del subsistema B.....	104
Tabla 22. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado	104
Tabla 23. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 1 ..	105
Tabla 24. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 2 ..	105
Tabla 25. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 3 ..	105
Tabla 26. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 4 ..	105
Tabla 27. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 5 ..	106
Tabla 28. Pruebas de frecuencias visualizadas en pantalla LCD	107
Tabla 29. Tabla de frecuencias con cálculo de error	107
Tabla 30. Pruebas finales del prototipo completo	109
Tabla 31. Resultados en comparación a los requerimientos.....	111

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo principal el desarrollo tanto teórico como físico de un exoesqueleto con CEM en donde se aplicarán diferentes métodos para determinar todas las variables de diseño, además de tener en cuenta todos los procesos mediante los cuales se realiza todo el prototipo.

Se tiene presente la información suministrada por el centro de rehabilitación AVANT en donde indica un margen por encima de lo normal en los tiempos de recuperación. La fisioterapeuta encargada indica que este supera un 70% y equivale a un promedio de entre 20 y 45 días, generando sobre costos. Varios de estos casos se dan en deportistas y en personas de la tercera edad.

La importancia de tener toda esta información, en particular sobre la cantidad de pacientes, radica en que las consecuencias se pueden evitar con el desarrollo del prototipo, ya que este genera un apoyo en todo el proceso de rehabilitación de cada uno de los pacientes en los cuales se pueda usar.

Este trabajo de grado se centra en el desarrollo del prototipo, para ayudar a cumplir los tiempos de terapia que se están estableciendo y evitar los sobrecostos que ha indicado la fisioterapeuta, por eso se hacen modelos de diseño, construcción y pruebas de funcionamiento. Sin embargo, por temas de la contingencia del COVID-19 se tienen que hacer diferentes ajustes: Se modifican las pruebas que se realizaran a todo el prototipo, además de algunas adaptaciones y reemplazos de componentes.

Cada uno de los capítulos (como requerimientos, diseño, diseño industrial, implementación, pruebas y resultados) son indispensables para poder determinar y completar a total cabalidad el prototipo, por ende, cada una de las palabras se tendrá en cuenta para poder lograr el 100% de su desarrollo.

Una vez lograda la implementación total el prototipo es completamente funcional, adicional a eso cumple con su trabajo de apoyar la rehabilitación, siendo ligero y practico en su uso.

2. PROBLEMA

2.1. Contexto

En la ciudad de Bogotá se encuentra el Centro de Rehabilitación Integral y Servicios Terapéuticos AVANT, ubicado en la calle 159 #21ª-22. En este centro se atienden diferentes especialidades entre psicología, terapia de lenguaje, neuropsicología, y fisioterapia. Tienen alrededor de 140 pacientes en todas las especialidades. El centro de atención está conformado por 9 especialistas de todas sus áreas; en el área de fisioterapia se atienden personas de diferentes edades y con diferentes tipos de problemas. Se atienden alrededor de 60 personas por mes, tanto en el sitio de las terapias, como a domicilio. El consultorio está equipado con diferentes instrumentos de rehabilitación como ultrasonido, corriente, terapias convencionales y terapias de frío/caliente.

Una de las problemáticas de más prevalencia en el centro de servicios son los factores que retrasan el tiempo de recuperación de los pacientes.

2.2. Manifestación

El centro de rehabilitación AVANT indica que hay un incremento del 70% en los periodos de rehabilitación del tratamiento de la lesión de meniscos, normalmente el tiempo estimado es de 5 meses. El tiempo estimado se está viendo superado de 20 a 45 días promedio lo que ocasiona retraso en la atención a los demás pacientes y sobrecostos.

2.3. Causas

- Dependiendo de la gravedad de la lesión de meniscos es tratada de manera diferente, ya sea quirúrgica o con terapia tradicional(frío/caliente).
- Las terapias que se realizan para la lesión de meniscos están demorando más tiempo del esperado ocasionando que la recuperación se alargue del tiempo estipulado.
- Durante las primeras 2 semanas de realizar el procedimiento quirúrgico la rehabilitación es más dolorosa.
- Debido al dolor que genera la rehabilitación, varios pacientes no hacen los movimientos como se solicitan.
- Cuando los pacientes no van a la terapia, hacen que los efectos de la lesión aumenten y tengan que ser intervenidos quirúrgicamente de nuevo.

2.4. Efectos

- Después de la cirugía y con el comienzo de la rehabilitación el paciente sufre de grandes dolores lo cual hace más difícil generar los movimientos en el momento de la terapia.
- Luego de la cirugía se inmoviliza la rodilla generando que la pierna pierda fuerza durante las primeras 4 semanas.
- El dolor generado en la rehabilitación hace que los pacientes no vayan de manera constante a las terapias haciendo que la lesión se prolongue y en algunos casos se afecta más.
- La lesión empeora o tarda en mejorar cuando no se hacen los procedimientos indicados debido al dolor de la rehabilitación.

2.5. Aspectos a solucionar

Las terapias que se realizan para la lesión de meniscos están demorando más tiempo del esperado ocasionando que la recuperación se alargue del tiempo estipulado.

2.6. Justificación del proyecto

El prototipo realizará apoyo en la terapia para rehabilitar los meniscos y lograr obtener la recuperación en el tiempo establecido dado por el médico especialista.

2.7. Propuesta de solución

El exoesqueleto con estimulación electromagnética apoyará la recuperación en la lesión de meniscos para poder lograr la recuperación en el tiempo estimado.

3. OBJETIVO

3.1. General:

Diseñar, implementar y probar de forma controlada en laboratorio el prototipo de exoesqueleto con estimulación electromagnética para apoyo en la recuperación de una intervención de lesión de meniscos (no incluye pruebas en pacientes).

3.2. Específicos:

- Diseñar prototipo de exoesqueleto con control de grados y un posicionamiento angular para el apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos.
- Diseñar un sistema de control para el uso de campos electromagnéticos variables para el apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos.

- Diseñar bobina para la estimulación electromagnética para lograr el valor de la frecuencia e intensidad para el apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos.
- Simulación de alcance de los campos electromagnéticos donde se vean sus puntos mínimos y máximos para evitar ionización en los pacientes.
- Simulación de movimiento del exoesqueleto en los grados dados por la fisioterapeuta.
- Implementación de prototipo de exoesqueleto y campos electromagnéticos para apoyo en rehabilitación de lesión de meniscos.
- Plan de pruebas para verificar funcionamiento de los efectos de los campos electromagnéticos en la recuperación de la lesión de meniscos.
- Plan de pruebas para el exoesqueleto verificando su movilidad en los ángulos acordados para su funcionamiento.
- Manual de usuario para manejo del especialista.
- Manual de mantenimiento del prototipo de exoesqueleto con estimulación electromagnético.

4. REQUERIMIENTOS

4.1. Funcionales

1. El prototipo se probará en un ambiente de laboratorio controlado.
2. En esta etapa del proyecto no se realizará pruebas en humanos.
3. El prototipo no deberá ser pesado para evitar aumentar la lesión o provocar una nueva.
4. El prototipo trabajara durante el tiempo de recuperación que está estimado en 3 meses.
5. El exoesqueleto presentará medidas ajustables tanto en el ancho de la pierna, con el fin de adaptarlo a la medida del paciente.
6. El sistema apoyará la rehabilitación de lesión de meniscos a través de exoesqueleto y campos electromagnéticos y se usará según las indicaciones del médico especialista.
7. Se realizará apoyo en la rehabilitación para poder cumplir los tiempos establecidos de la terapia.
8. Las características complementarias del producto es que el sistema entrega un prototipo que apoya la rehabilitación de lesión de meniscos en la cual en la salida del sistema se incluirá un exosqueleto y campos electromagnéticos.

9. El prototipo garantizara el uso de los campos de las señales generadas por debajo de los limites especificados en la norma IEC CISPR 11, Grupo 2, clase A.

10. El prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-2 para asegurar inmunidad en el equipo para las descargas electroestáticas.

11. El prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-3 para asegurar la inmunidad del equipo cuando es sometido a un campo electromagnético.

12. El prototipo del exoesqueleto funcionara de 0 a 120° en el plano sagital en movimiento de flexión y sus ángulos podrán ser observados en una pantalla para verificar su correcto movimiento.

13. El prototipo de exoesqueleto con estimulación electromagnética se manejará a través de un enlace computador-prototipo.

14. El prototipo de exoesqueleto y campos electromagnéticos funcionaran de manera simultánea para que sus efectos funcionen mejor, tanto en movimiento como efecto analgésico en el paciente.

15. El exoesqueleto funcionara de manera continua a una baja velocidad para que el paciente pueda hacer la terapia en el tiempo establecido sin ser lastimado y sufrir dolores en gran magnitud.

16. El prototipo de campo electromagnético tendrá dos bobinas tipo solenoide cada una con una señal de salida independiente, pero con funcionamiento paralelo al momento de realizar la terapia.

4.2. Calidad

17. El prototipo no tendrá un temporizador el cual controlará el tiempo de uso por paciente, teniendo en cuenta el avance de la lesión.

18. El sistema tendrá un uso máximo de 30 horas por semana para evitar daño en las funciones del exoesqueleto y el campo electromagnético.

19. La frecuencia manejada entre 1 y 100 Hz tendrá un error de aproximadamente el 7%. [12]

20. La intensidad manejada entre 1 y 100 gauss tendrá un margen de error entre el 5% y 7% [12]

21. La señal generada por el prototipo de campos electromagnéticos será una señal pulsada cuadrada, dependiendo de la necesidad del paciente.

22. El sistema de campos electromagnéticos manejará una señal pulsante y su señal tendrá una duración por pulso de 1 segundo con un descanso de 2 segundos para evitar quemaduras en la piel del paciente.

23. Se variará la potencia del sistema a través de un control para variar el campo electromagnético.

24. El exoesqueleto maneja diferentes ángulos de movimiento definidos por la fisioterapeuta que van de 0 a 120 en el plano sagital y con movimiento de flexión, cada uno de los movimientos tendrá una tolerancia del 8%. [13]

25. EL prototipo de exoesqueleto con campos electromagnético tendrá rutinas asignadas por el fisioterapeuta y adicional desde la computadora podrá ingresar para modificar las rutinas si así lo desea.

26. El exoesqueleto manejará un torque entre los 45N y 60N que será su máxima capacidad. [14]

27. El prototipo estará conectado de manera inalámbrica o alámbrica y se podrá visualizar funcionamiento del exoesqueleto y campos electromagnéticos desde el computador y se podrá variar tanto ángulos como frecuencias desde el mismo.

4.3. Restrictivos

28. El prototipo de exoesqueleto solo podrá ser usado en pacientes de edad superior a los 18 años.

29. El uso del exoesqueleto con estimulación electromagnética tendrá un límite de uso de 30 minutos por terapia.

30. El prototipo solo podrá ser usado por el médico especializado o fisioterapeuta del centro de rehabilitación.

31. El prototipo no podrá ser usado con otros dispositivos que generen radiofrecuencias para evitar quemaduras en los pacientes.

32. El control de posición del exoesqueleto tendrá variables donde no permita que se sobre pase los ángulos asignados por terapia para evitar lastimar aún más el paciente.

33. Se tendrá en cuenta la norma técnica colombiana NTC-TEC 60601-1-1 para la parte eléctrica y de alimentación del prototipo.

34. Para apoyo en la rehabilitación se tendrá en cuenta la norma según la resolución 2003 del 2014 del ministerio de salud y protección social.

35. El dispositivo no podrá ser usados por mujeres en estado de embarazo, por personas con marcapasos o algún implante metálico que posean en el cuerpo.

36. El sistema de campos electromagnéticos estará a una distancia de entre 1 y 2 cm de la rodilla para evitar quemaduras.

37. Se tendrá en cuenta la norma IEC CISPR 11 para la emisión electromagnética radiada [30MHz a 1000MHz]; emisión electromagnética conducida [150KHz a 30 MHz].

5. PLAN DE PRUEBAS FUNCIONALES

Para los requerimientos del prototipo se plantean primero una serie de plana de pruebas para cada uno de ellos, de esto se empleará lo más justo y necesario posible para lograr que funcione de la manera adecuada, la tabla 1 muestra los requerimientos y las pruebas propuestas durante el curso de seminario de investigación sin embargo no serán las pruebas definitivas.

Tabla 1. Plan de pruebas seminario

N°	Requerimiento	Prueba	Tiempo	Personas
1	El prototipo trabajara según las recomendaciones de tiempo dadas por el fisioterapeuta.	El sistema debe cumplir con los tiempos establecidos de la terapia por paciente para que los requerimientos sean acordes a la batería de rehabilitación.	1 día	1 persona
2	La batería de rehabilitación se controlará para obtener el prototipo de la salida.	Se probará a través de comparación con la batería de rehabilitación, para el caso de exoesqueleto y campos electromagnéticos:	3 días	1 persona

		osciloscopio (medir frecuencia y fuerza)		
3	El exoesqueleto presentara medidas ajustables tanto en el ancho de la pierna, como el largo, para, adaptarlo a la medida del paciente.	El exoesqueleto se podrá modificar para adaptar al cuerpo del paciente y quede a la medida para que la terapia sea más efectiva.	2 días	1 persona
4	El sistema apoyará la rehabilitación de lesión de meniscos a través de exoesqueleto y campos electromagnéticos y se usará según las indicaciones del médico especialista.	El prototipo podrá ser controlado de tal manera que el médico especialista o fisioterapeuta pueda manejarlo según los parámetros que el establezca.	4 días	1 persona
5	Se realizará apoyo en la rehabilitación para poder cumplir los tiempos establecidos de la terapia.	Se probará la batería de rehabilitación en diferentes tiempos de uso para ser definido según la lesión del paciente.	2 días	3 personas
6	Las características complementarias del producto es que el sistema entrega un prototipo que apoya la rehabilitación de lesión de meniscos en la cual en la salida del sistema se incluirá un exoesqueleto y campos electromagnéticos.	Se tendrá en cuenta variación de los campos electromagnéticos y adaptación del exoesqueleto para que funcionen de manera simultánea.	4 días	1 persona
7	El prototipo garantizara el uso de los campos de las señales generadas por debajo de los limites especificados en la norma IEC CISPR 11, Grupo 2, clase A.	Para verificar el funcionamiento del prototipo se verificará la señal establecida por la norma para el uso del campo electromagnético en las respectivas pruebas.	1 día	1 persona
8	El prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-2 para asegurar inmunidad en el equipo para las descargas electroestáticas.	Se realizarán pruebas de seguridad para todos los componentes del prototipo según lo establecido por la norma.	1 día	1 persona
9	El prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-3 para asegurar la inmunidad del equipo cuando es sometido a un campo electromagnético.	Se harán pruebas para verificar seguridad del equipo ante campos electromagnéticos externos.	1 día	1 persona
10	El prototipo del exoesqueleto funcionara de 0 a 120° en el plano sagital en movimiento de flexión y sus ángulos podrán ser observados en una pantalla para verificar su correcto movimiento.	Con el sistema de posicionamiento y el visualizador en el pc se verificará la precisión y exactitud del movimiento generado y establecido por el exoesqueleto.	1 día	1 persona
11	El prototipo de exoesqueleto con estimulación electromagnética se manejará a través de un enlace computador-prototipo	Se harán pruebas para verificar que el campo electromagnético establecido sea el correcto y no haya variaciones sin pedirlo.	1 día	1 persona
12	El prototipo de exoesqueleto y campos electromagnéticos funcionaran de manera	Se probará funcionamiento de	2 días	1 personas

	simultánea para que sus efectos funcionen mejor, tanto en movimiento como efecto analgésico en el paciente	manera simultánea del exoesqueleto y de los campos electromagnéticos.		
13	El exoesqueleto funcionara de manera continua a una baja velocidad para que el paciente pueda hacer la terapia en el tiempo establecido sin ser lastimado y sufrir dolores en gran magnitud	Se verificará funcionamiento de los campos electromagnéticos para que los pulsos funcionen a los segundos establecidos y se observara a través de un osciloscopio su respectiva frecuencia y pulsos dados.	1 día	1 persona
14	El prototipo de campo electromagnético tendrá dos bobinas tipo solenoide cada una con una señal de salida independiente, pero con funcionamiento paralelo al momento de realizar la terapia.	Se realizarán cálculos del tamaño de la bobina solicitada para obtener la frecuencia e intensidad establecida y se observara su funcionamiento por un osciloscopio, su corriente desde un multímetro.	1 día	1 persona
15	El prototipo tendrá un temporizador el cual controlará el tiempo de uso por paciente, teniendo en cuenta el avance de la lesión	Se verificará el temporizador a través de la función de conexión H-M	1 día	1 persona
16	El sistema tendrá un uso máximo de 30 horas por semana para evitar daño en las funciones del exoesqueleto y el campo electromagnético	Se establecerá y verificará un tiempo de uso semanal del prototipo para evitar daños de los instrumentos	5 días	1 persona
17	La frecuencia manejada entre 1 y 100 Hz tendrá un error de aproximadamente el 7%. [1]	Se verificará la frecuencia a través de un osciloscopio.	1 día	1 persona
18	La intensidad manejada entre 1 y 100 gauss tendrá un margen de error entre el 5% y 7% [1]	Se verificará la intensidad del prototipo con el equipo para verificar el campo que está arrojando el sistema.	1 día	1 persona
19	La señal generada por el prototipo de campos electromagnéticos será una señal pulsada sinusoidal y cuadrada, dependiendo de la necesidad del paciente.	Se verificará la salida de la señal y su variación desde un osciloscopio.	1 día	1 persona
20	El sistema de campos electromagnéticos manejará una señal pulsante y su señal tendrá una duración por pulso de 1 segundo con un descanso de 3 segundos para evitar quemaduras en la piel del paciente.	La señal se podrá observar desde un osciloscopio.	1 día	1 persona
21	Se variará la potencia del sistema a través de un control para variar el campo electromagnético.	Se verificará control de variación de los campos electromagnéticos a través de un pc	1 día	1 persona
22	El exoesqueleto maneja diferentes ángulos de movimiento definidos por la fisioterapeuta que van de 0 a 30; 31 a 70 y 71 a 120 en el plano sagital y con	A través del sensor angula se podrá observar los grados de movimiento del	1 día	1 persona

	movimiento de flexión, cada uno de los movimientos tendrá una tolerancia del 8%. [2]	exoesqueleto en el plano requerido.		
23	EL prototipo de exoesqueleto con campos electromagnético tendrá rutinas asignadas por el fisioterapeuta y adicional desde la computadora podrá ingresar para modificar las rutinas si así lo desea.	Se establecerán criterios de uso por el fisioterapeuta	1 día	1 persona
24	El exoesqueleto manejará un torque entre los 45N y 60N que será su máxima capacidad		1 día	1 persona
25	El prototipo estará conectado de manera inalámbrica y se podrá visualizar funcionamiento del exoesqueleto y campos electromagnéticos desde el computador y se podrá variar tanto ángulos como frecuencias desde el mismo.	Se verificará conexión en tiempo real del prototipo al computador.	2 días	1 persona
26	El prototipo de exoesqueleto solo podrá ser usado en pacientes de edad superior a los 18 años	Se tendrá en cuenta la edad del paciente para uso del prototipo.	1 día	4 personas
27	El uso del exoesqueleto con estimulación electromagnética tendrá un límite de uso de 30 minutos por terapia	Se verificará tiempo de uso del prototipo para evitar daños a los elementos.	1 día	1 persona
28	El prototipo solo podrá ser usado por el médico especializado o fisioterapeuta del centro de rehabilitación	Se verificará un uso único para el médico especialista.	1 día	1 persona
29	El prototipo no podrá ser usado con otros dispositivos que generen radiofrecuencias para evitar quemaduras en los pacientes.	Se verificará que los instrumentos usados durante la terapia no generen afectaciones al paciente con los campos electromagnéticos.	1 día	1 persona
30	El control de posición del exoesqueleto tendrá variables donde no permita que se sobre pase los ángulos asignados por terapia para evitar lastimar aún más el paciente.	El control de posición tendrá pruebas de movimiento para obtener los graos solicitados por el fisioterapeuta.	1 día	1 persona
31	Se tendrá en cuenta la norma técnica colombiana NTC-TEC 60601-1-1 para la parte eléctrica y de alimentación del prototipo.	Se verificará que el prototipo este adecuadamente establecido para evitar daños.	1 día	1 persona
32	Para apoyo en la rehabilitación se tendrá en cuenta la norma según la resolución 2003 del 2014 del ministerio de salud y protección social.	Se tendrá en cuenta la resolución de equipo médico para terapias	1 día	1 persona
33	El dispositivo no podrá ser usados por mujeres en estado de embarazo, por personas con marcapasos o algún implante metálico que posean en el cuerpo.	Se verificará que los pacientes en terapias no posean elementos metálicos o conductores o estén en estado de embarazo para evitar complicaciones	3 días	4 personas
34	El sistema de campos electromagnéticos estará a una distancia de entre 1 y 2 cm de la rodilla para evitar quemaduras.	SE comprobará la distancia del dispositivo	1 día	3 personas

		para evitar quemaduras en la piel de los pacientes		
35	Se tendrá en cuenta la norma IEC CISPR 11 para la emisión electromagnética radiada [30MHz a 1000MHz]; emisión electromagnética conducida [150KHz a 30 MHz	Se verificará la frecuencia generada por el dispositivo para establecer parámetro según la norma, estas señales se podrán ver por medio de un osciloscopio.	1 día	1 persona

Para los campos electromagnéticos se tendrá en cuenta variación de la frecuencia que va de entre 1 y 100 Hz y en la salida tendrá una salida unidireccional, se podrá observar la señal a través de un osciloscopio.

5.1. Plan de pruebas de componentes

Cada componente tendrá pruebas mediante un multímetro o el instrumento indicado para su verificación.

5.2. Plan de pruebas de subsistema

Cada subsistema maneja pruebas de manera independiente, las pruebas se deben hacer para asegurar que al momento de poner todo el sistema este completo y sin fallas, sus instrumentos serán necesarios para esto y una vez comprobado cada uno se hará montaje final en el cual no presente errores.

5.3. Plan de pruebas de integración

Para la integración de todos los componentes deberán estar listos, montados y con las pruebas básicas de encendido y apagado para poder unificarlos.

5.4. Plan de pruebas del sistema

El sistema se probará tal como se hizo en cada uno de los subsistemas, pero en conjunto completo esta vez para asegurarse de que el prototipo funciona bien.

6. METODOLOGÍA

6.1. Proyecto 1

Durante el curso de proyecto 1 se dispuso a plantear cada uno de los subsistemas que tiene, sus ecuaciones, simulaciones y cada una de las especificaciones que se esperaba o se

espera realizar durante el curso de proyecto 2, la primera propuesta de cómo se desarrolló el curso de proyecto 1 se observa en la figura 1

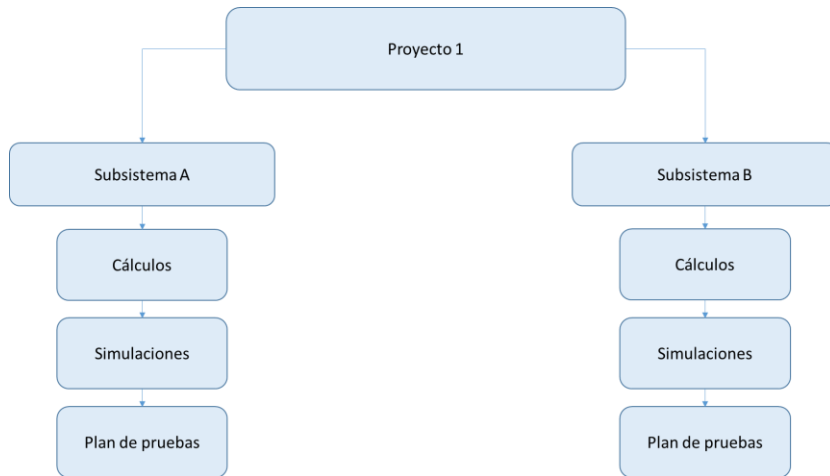


Figura 1. Planificación proyecto 1

6.2. Proyecto 2

Durante el curso de proyecto 2, en la etapa final del proyecto se presenta todo el diseño montado y probado, para esto se unirán los dos subsistemas, pero de igual manera de harán las pruebas para cada uno de ellos, se mostrará un plano de la siguiente manera, el plan de desarrollo de la parte final del prototipo se observa en la figura 2

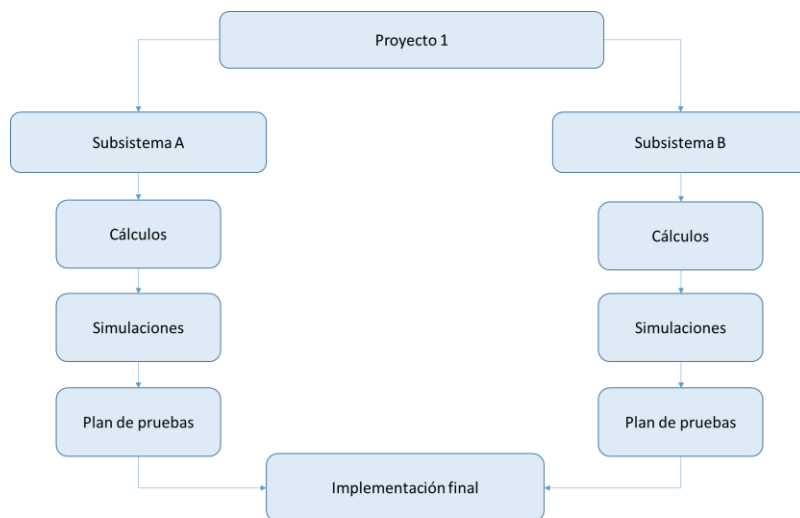


Figura 2. Planificación proyecto 2

7. RECURSOS NECESARIOS

7.1. Recursos de tiempo

El sistema entregará un prototipo que apoyará las terapias para la rehabilitación de lesión de meniscos el cual será desarrollado en dos etapas, en la cual cada una de ellas durará un semestre académico.

Durante la primera etapa se desarrollará el diseño del prototipo durante curso de proyecto 1 donde se darán los parámetros para lograr hacer su función de implementación durante la segunda etapa.

En la segunda etapa se desarrollará la cual se realiza en el curso de proyecto 2 donde se realiza toda la implementación y pruebas para comprobar su totalidad como proyecto.

7.2. Recursos humanos

Para llevar a cabo el proyecto que se encuentra en desarrollo por el estudiante Jean Karlo Suta, se contará con el acompañamiento de:

- Asesor metodológico: Juan Carlos Lizarazo
- director de proyecto: Juan Carlo Lizarazo
- Fisioterapeuta: Kelly Johanna Vásquez Gamboa

7.3. Recursos técnicos

- Computador
- Equipos de laboratorio
- Circuitos impresos
- Libros de robótica
- Bibliografía electrónica de control

7.4. Recursos materiales

- Biblioteca Juan Roa Vásquez

7.5. Recursos de financiación

El desarrollo del prototipo podrá variar con respecto a costos de materiales y su calidad de diseño físico, el cual tendrá un costo estimado de 5'000.000 de pesos, donde se tendrán en cuenta materiales electrónicos, costos de traslado y gastos de papelería.

8. ESTADO DEL ARTE

A través de diferentes estudios se ha podido observar que las personas que sufren de la lesión de meniscos han realizado movimientos bruscos o movimientos mal realizados.

Las lesiones de meniscos pueden afectar a cualquier persona, sin embargo, los más afectados son personas de la tercera edad y jugadores, tanto aficionados como profesionales.

8.1. Bases teóricas

8.1.1. Batería de ejercicios

La recuperación postoperatoria se realiza en 5 fases diferentes donde cada una tiene un intervalo de intervención con diferentes tipos de ejercicios para ayudar a recuperar la fuerza del menisco, la primera fase inicia antes de darse el alta hospitalaria, además después de dar de alta seguirá con una serie de ejercicios, esta dura entre 0 y 2 semanas.

- Extensión completa precoz evitando extensión activa entre los 0 y 60° para limitar tensiones en la plastia.

- Carga precoz con ayuda de dos muletas.
- Se iniciarán ejercicios de flexión activa hasta los 90°.
- Movilización activa de tobillo en flexo extensión para mejorar bombeo en la sangre.

Después de dar alta al paciente se solicita una serie de terapias por los primeros meses sin embargo en esta se sigue en la primera etapa.

- Ortesis y muletas
- Carga precoz: bipedestación en 24 horas y deambulación en 48 horas.
- Control del dolor e inflamación: AINES, crioterapia, TENS.
- Rango de movilidad articular: Activo y activo asistido de 0° a 90°.
- Movilización patelar y de cicatriz.
- Potenciación de cuádriceps.

- PROPIOCEPCION: se inicia de manera precoz en la 1 semana aprovechando el inicio del apoyo.

Fase 2 (3-8 semanas)

- Se retira Ortesis y muletas
- Trabajo de CORE
- Ejercicios en cadena cinética cerrada
- En cadena abierta: para cuádriceps se restringe el movimiento en extensión en 30 y 40° durante las primeras 6 semanas.
- Movilización en la paleta y se continua con la flexión.
- PROPIOCEPCION: apoyo unipodal y bipolar en plano inestable.

Fase 3 (8-12 semanas)

- Rango de movilidad articular activos en flexión y extensión sin apoyo.
- Movilización patelar
- Potenciación muscular
- Trabajo de CORE

Fase 4 (después de 12 semanas)

- Rango de movilidad articula sin restricciones
- Potenciación muscular en cadena abierta
- Ejercicios de agilidad
- Inicio progresivo de deporte

Fase 5 (5 meses)

- Retorno a las actividades normales

Durante las terapias se debe hacer entre 15 y 20 minutos de hielo tras completar todos los ejercicios, además d analgésicos post sesión cuando esta sea necesaria; el paso de una fase a otra dependerá de la progresión del paciente y este paso será dado por el traumatólogo o fisioterapeuta. [1]

8.1.2. Desgarre meniscos

Los desgarros de los meniscos están entre las lesiones de rodilla más comunes. Los atletas, en especial quienes juegan deportes de contacto, tienen riesgo de sufrir desgarros de los meniscos. Sin embargo, cualquier persona a cualquier edad puede desgarrarse un menisco. Cuando la gente habla de un cartílago roto en la rodilla, por lo general se refiere a meniscos desgarrados. [2]

Tres huesos se unen para formar la articulación de su rodilla: el hueso del muslo (fémur), la espinilla (tibia) y la choquezuela (rótula). Dos porciones de cartílago en forma de cuña actúan como "absorbedores de impacto" entre su fémur y tibia. Estos se llaman meniscos. Son fuertes y elásticos para ayudar a acolchar la articulación y mantenerla estable.



Figura 3 anatomía rodilla normal [2]

Las personas mayores tienen más probabilidad de tener desgarros degenerativos de meniscos. El cartílago se debilita y se desgasta, afinándose con el tiempo. El tejido desgastado y añoso tiene más tendencia a los desgarros. Solo tornearse bruscamente al levantarse de una silla podría ser causa suficiente de un desgarro si los meniscos se han debilitado con la edad. [3]

En el mercado existen diferentes tipos de equipos terapéuticos con campos electromagnéticos para la rehabilitación, existen desde dispositivos pequeños y muy portátiles; otros de un tamaño incluso mayor, pero con una frecuencia más alta, ya depende de lo que necesite el médico especialista, se mostrara una lista de los componentes que son más vendidos al mercado de este dispositivo y son los más usados a manera portátil.

8.1.3. Sensores

Para el control de posición angular se tienen diferentes componentes los cuales nos brindan un valor exacto del ángulo que se está estableciendo, de este depende que tan exacto, que tan preciso llegue a ser.

Un sensor de ángulo magnético o sensor de posición angular magnético está pensado para la medida de posición angular mediante tecnología magnética. Es decir, contamos con dos elementos un detector y un emisor, el emisor es principalmente un imán que, al variar su posición, también lo harán sus polos. Por este principio de funcionamiento, contamos con un sensor de ángulo absoluto.

El detector interpreta la posición del emisor y calcula el ángulo de forma absoluta. Este principio de funcionamiento aporta diferentes ventajas, una de ellas es que se pueden medir giros completos de 360°, que con un potenciómetro o RVDT no sería posible. Otra de sus ventajas es que no tiene rozamiento, ya que no hay contacto ni desgaste entre el emisor y el detector. [4]

8.2. Tecnología

A continuación, se mostrarán los diferentes tipos de terapia, tanto campos electromagnéticos, como exoesqueleto.

8.2.1. Exoesqueletos Toyota

Este exoesqueleto está compuesto por un motor que está ubicado en la rodilla para poder proporcionar la ayuda justa al generar el movimiento, además, tiene como bases sujetadores y válvulas compresoras para poder mejorar el movimiento, tiene sensores que detectan el grado de movimiento realizado.

Este exoesqueleto es desarrollado por Toyota para ayudar en la rehabilitación de personas con problemas o discapacidad en la rodilla [5].

Para el control de posición angular del exoesqueleto se usa normalmente un giróscopo para poder medir la velocidad angular en el movimiento de las articulaciones, La parte electrónica del exoesqueleto está conformada principalmente por un microcontrolador rabbit 3400 que se utiliza como cerebro del sistema, este procesa las señales de entrada que provienen de un sensor de posición lineal MLT 0R5N0750 F5C, un enconder óptico 600EN-128-

CBL que mide la posición angular y un giróscopo LPR510AL que mide la velocidad angular. Cada articulación utiliza estos 3 sensores, la señal de salida es de tipo PWM y se amplifica por medio de un Driver MD03 que proporciona la cantidad de voltaje suficiente para operar a los motores de los actuadores.

El diseño del exoesqueleto se debe tener en cuenta cada una de las funciones de control en la parte electrónica para que los actuadores, sensores y giróscopo funcionen de tal manera ayuden a rehabilitar al paciente. [6]

En el mercado existen diferentes tipos de equipos para terapias que usan campos electromagnéticos, con diferentes diseños y especificaciones técnicas donde se ve implicado el uso de las diferentes normas que existen.

8.2.2. Exo-H2:

El **Exo-H2** puede emular completamente el acto de andar de una persona con parálisis total o parcial de las piernas. De este modo, el paralítico, con el **exoesqueleto** puesto y la ayuda de un bastón o similar y/o de una persona especializada, puede andar con sus piernas.

El **Exo-H2** también está indicado para asistir en la marcha a personas que han perdido parcialmente la capacidad de andar o para aquellas personas que requieran "*volver a aprender a andar*" después de un accidente o enfermedad neurológica, tales como lesiones medulares, accidentes cerebrovasculares y en general daño cerebral adquirido, limitando la capacidad de andar. [7]

Es también muy útil para tonificar las piernas y activar la circulación en personas que han perdido movilidad de las piernas o tienen debilidad muscular.

Característica:

- Dimensiones: – Altura 1.180 mm – Longitud 150 mm (vista latera) – Anchura 230 mm (vista frontal)

- Peso: Aprox. 11 Kg.
- Materiales principales en la estructura: acero inoxidable aluminio del tipo 7005
- Fuente de alimentación: Batería LiFePO4 (22,4 VDC @ 12 Ah)
- Cargador: 100 – 240 V AC / 50-60 Hz (AC toma de corriente)
- Tiempo de trabajo (23 ± 3°C): Hasta 6 horas

- Fácil sustitución de baterías para mejorar el tiempo de trabajo.
- Comunicación CAN
- Wifi
- Bluetooth®
- De posición en las articulaciones
- De par en las articulaciones
- De presión en los pies (talón y punta)
- 6 grados de libertad en el plano sagital
- 6 motores (caderas, rodillas y tobillos)
- 6 transmisiones de tipo Harmonic Drive [7]

8.2.3. Equipo de terapia Magnet:

Descripción del Equipo:

- 4 canales de salida, lo que permite trabajar en forma simultánea en distintas zonas del cuerpo del paciente, o en distintos pacientes al mismo tiempo.
- Temporizador de 60 minutos, para control de la sesión.
- 50 programas preestablecidos para seleccionar por afección y la posibilidad de configurar su propio protocolo mediante la elección entre 19 opciones de frecuencias, y optar por un barrido de frecuencia, la modalidad continua o pulsante, la intensidad del campo y el tiempo, brindando así una amplia gama de modalidades de trabajo. [8]



Figura 4 magnet [8]



Figura 5 Accesorio/solenoides túnel [8]

Especificaciones Técnicas:

- Marca: ECAM
- Modelo: Magnet
- Tipo de onda: campo magnético, pulsos de baja frecuencia
- Canales: salidas para 2 bobinas planas y 2 túneles.
- Temporización: de 1 a 60 minutos. Resolución 1 min.
- Frecuencia: de 10 a 100 Hz. Resolución 5 Hz
- Intensidad máxima de salida: 200 Gauss (pico). Resolución 10 G
- Fusible: T 800 mA / 250 V-(5 x 20 mm).
- Peso equipo: 3,4 kg.
- Peso túnel: 4,5 kg
- Peso 2 bobinas planas: 1 kg
- Normas: Aparato conforme a normas IEC - 60601- 1.
- Clasificación del equipo/aparato: Clase II, Tipo BF.
- Temperatura de funcionamiento: Entre 5` y 30 grados Celsius
- Humedad de funcionamiento: entre 20% y 80% (Humedad Relativa sin condensación)
- Rango de presión de funcionamiento: entre 700 a 1060 HPa.
- Línea: 220V / 50 Hz.
- Consumo máximo: 100W.
- Modo de funcionamiento: continuo o pulsado.
- Grado de protección contra la penetración de líquidos: IPX0. [8]

8.2.4. Magneto terapia, equipo generador de campo magnético:

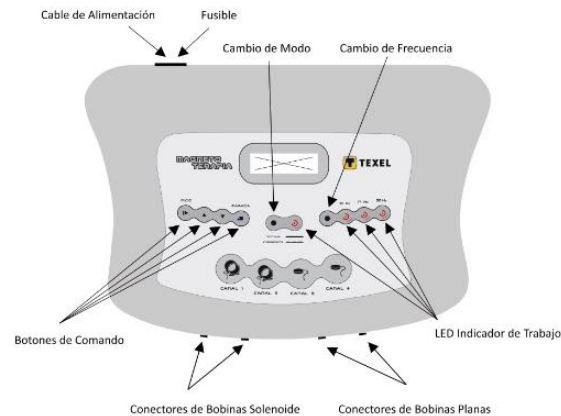


Figura 6 Equipo generador de campo magnético. [9]

Las bobinas planas o bobinas solenoides, (Campo envolvente), se conectan al equipo a través de los conectores que están en el frente. Las bobinas pueden conectarse de a una, cualquiera de ellas o todas simultáneamente.

Las bobinas solenoide se conectan en los dos conectores de la izquierda y las bobinas planas en los conectores de la derecha. Para evitar posibles errores los conectores de las bobinas planas y de las bobinas solenoides, son distintos, o sea que, aunque se intente, no se podrá conectar en la posición que no corresponde.

Tanto las bobinas planas como los solenoides son simétricas o sea que el campo magnético es igual en ambas caras de las bobinas planas, y para los solenoides la distribución de campo interno es igual a ambos lados del centro geométrico de las bobinas. [9]

Especificaciones técnicas:

Eléctricas:

- Alimentación: 220 VCA 50/60 Hz.
- Consumo promedio: 100 Vatios.

Canales de aplicación:

- Dos bobinas Planas.
- Dos bobinas Solenoide.
- Trabajo Simultáneo.

Frecuencias de ráfagas:

- 10 Hz.
- 17 Hz.
- 50 Hz.

Tiempo de sesión:

- 1 a 60 minutos.

Modos de trabajo:

- Monofásico.
- Bifásico.
- Continuo.
- Intermitente. (Pulsante) Duración del Pulso: 1 Segundo.

Dimensiones:

- Ancho: 45 cm.
- Alto: 18 cm.
- Profundidad: 28 cm.
- Peso del Equipo: 8,600 Kg. (con dos bobinas planas)
- Peso de las Bobinas Solenoides: 6 Kg. c/u
- Dimensiones de las Bobinas Solenoides: 40 x 30 x 30 cm. c/u
- Peso del Embalaje: 7,400 Kg.

Accesorios:

- Dos bobinas Planas.
- Dos bobinas Solenoide.
- Cable de Alimentación [9]

8.2.5. Magnetoterapia de 150 Gauss Micro 5 Home con 2 bobinas planas y 1 cilindro:

El modelo Micro 5 Home es un equipo de magnetoterapia de 150 Gauss con emisión en alta y baja frecuencia con valores fijos de 5, 10, 50, y 100 Hz en forma pulsante. El equipo

incluye tiempos de trabajo prefijados permitiendo el uso manual o seleccionar entre 10, 15 o 30 minutos.

Funciones y características:

- 2 salidas. Permite conectar cilindros o bobinas planas en simultáneo (2 bobinas por cada salida).
- 150 gauss. Permite elegir manejar el flujo magnético manualmente.
- Alta y baja frecuencia. Posee 4 valores fijos disponibles (5, 10, 50, y 100 Hz), en modo pulsante.
- Programación manual. Permite seleccionar manualmente la frecuencia y tiempo de emisión.
- Timer digital incorporado. Permite elegir el tiempo de trabajo entre 10, 15 o 30 minutos o utilizar el modo Manual.
- Señal sonora. De inicio y fin de emisión. [10]

Las bobinas planas del modelo Micro 5 Home son acolchadas y se encuentran cubiertas en cuero ecológico. Las mismas tienen su polaridad identificada y la emisión prevista para ambas bobinas en contacto y en el centro de las mismas es de 150 Gauss, el modelo Micro 5 Home cuenta con 2 salidas estándar para bobinas o cilindros. [10]

8.2.6. Minimag:

Generador de magnetoterapia, es un equipo de baja frecuencia y con potencia de salida de 0 a 150 Gauss por canal (independientes entre sí), tanto en modo continuo como pulsátil. Se provee con 2 solenoides planos que pueden emplearse de forma individual o conjunta. Cuenta con pantalla LCD 3 pulsadas, 8 programas preestablecidos y la posibilidad de regular manualmente todos sus parámetros. Minimag asegura al profesional máximas prestaciones y todas las bondades de la magnetoterapia para el tratamiento de sus pacientes. [11]



Figura 7 Equipo de magnetoterapia minimag. [11]

El dispositivo está compuesto por una pantalla LCD, dos solenoides, dos canales independientes, 4 niveles de frecuencia y una potencia de gauss por canal independiente, este dispositivo tiene como nombre minimag [11].

Especificaciones técnicas:

Tabla 2. Especificaciones técnicas

Gabinete	Tipo maletín
Pantalla	LCD Gráfica 3"
Campo emitido	Baja frecuencia
Alimentación	220 V (50Hz - 60Hz) 120 V (50Hz - 60Hz)
Rango de operación	240-180 VCA.
Consumo a máxima potencia	Aproximadamente 15VA
Intensidad	De 0 a 150 Gauss, en modo continuo y pulsátil.
Frecuencia	5Hz - 25Hz -70Hz -100Hz
Emisores	Dos planos. Tipo difusor de campo magnético
Programas preestablecidos	8
Temperatura de funcionamiento	De 15°C a 30°C
Humedad de funcionamiento	20 a 80% (HR sin condensación).
Normas	IEC 60601.1 clase 1
Clase	II, tipo BF
Grado de protección contra la penetración de líquidos	IPX0
Peso	3,86 Kg. (embalado)
Fusibles	2x tipo Slow Blow de 500mA (220V) - 1A (120V).
Medidas en milímetros	Según figura.

8.2.7. Glosario de términos

Bobinas: Un inductor, bobina o reactor es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

Exoesqueleto mecanico: Exoesqueleto mecánico, exoesqueleto de potencia, exoesqueleto robótico, también conocido como servoarmadura, exomarco o exotraje, es una máquina móvil consistente primariamente en un armazón externo (comparable al exoesqueleto de un insecto) que lleva puesto una persona y un sistema de potencia de motores o hidráulicos que proporciona al menos parte de la energía para el movimiento de los miembros. Ayuda a moverse a su portador y a realizar cierto tipo de actividades, como lo es el cargar peso.

Magnetoterapia: es una práctica de medicina alternativa pseudocientífica que implica el uso de campos magnéticos estáticos o variables generados por diferentes dispositivos y herramientas para lograr su amplificación.

Meniscos: Lámina cartilaginosa situada entre los huesos de ciertas articulaciones; especialmente, la de la rodilla

Solenoides: Un solenoide es cualquier dispositivo físico capaz de crear un campo magnético sumamente uniforme e intenso en su interior, y muy débil en el exterior. Un ejemplo teórico es el de una bobina de hilo conductor aislado y enrollado helicoidalmente, de longitud indeterminada

9. DISEÑO FUNCIONAL

Para el diseño funcional se tendrá en cuenta que en la entrada ingresará una rodilla después de ser operada y a su salida entregará una rodilla con apoyo en la rehabilitación, el sistema de manera interna estará compuesta por subsistemas.

Estos subsistemas llevaran a cabo el proceso de apoyo en la rehabilitación de la lesión de meniscos cuando es posoperatorio, se tendrá en cuenta que el exoesqueleto y la estimulación electromagnética serán los subsistemas del diseño.

9.1. Diseño funcional 1

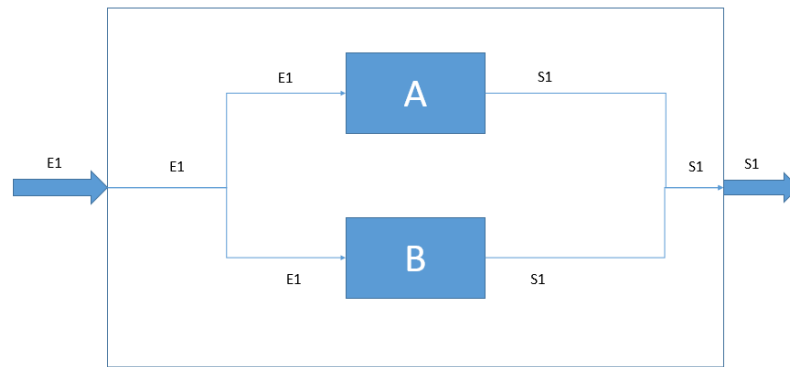


Figura 8 Propuesta de diseño A

A continuación, se muestran los requerimientos del primer diseño funcional:

E1: Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.

S1: Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos el cual será apoyada con el exoesqueleto y este será modificable para adaptarse a la pierna del paciente.

A: Subsistema compuesto por un exoesqueleto. Las entradas y salidas del subsistema A están dadas en términos de requerimientos:

E1: Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.

S1: Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos. Este subsistema apoyara el movimiento de la rodilla en el plano sagital y entre 0° grados y 120° grados.

Subsistema A: El exoesqueleto funcionara en diferentes rangos de movimiento, pero el movimiento general será de 0° a 120° en el plano sagital en extensión, este será ajustable a la pierna del paciente y maneja un torque de entre 45N a 60N.

B: Subsistema donde se realiza estimulación magnética.

E1: Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.

S1: Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos. Este subsistema apoyará con campos electromagnéticos los cuales funcionaran de 0 a 100 gauss en intensidad.

Subsistema B: Los campos electromagnéticos funcionaran con dos bobinas tipo solenoides e irradiara pulsos durante el tiempo establecido por el médico especialista el cual tendrá un

intervalo de 2 segundos por pulso y 1 segundo de descanso para evitar lesionar al paciente, además funcionara a una intensidad de 0 a 100 Gauss la cual será graduable a la necesidad de la terapia, se tendrán en cuenta las etapas de corriente y frecuencia las cuales llegaran a los solenoides para poder emitir los campos electromagnéticos al paciente.

El sistema tendrá una entrada E1 la cual entrará una rodilla lesionada y una salida S1 la cual será la misma rodilla en rehabilitación, dentro del sistema se tendrán dos subsistemas. El subsistema A será el exosqueleto el cual será controlado en diferentes grados de movimiento en el plano sagital con flexión y extensión, este estará conectado de manera paralela con el subsistema B el cual será el que genere los campos electromagnéticos, estos funcionaran de manera independiente o al mismo tiempo, dependiendo de lo solicitado por el médico especializado o fisioterapeuta.

9.2. Diseño funcional 1

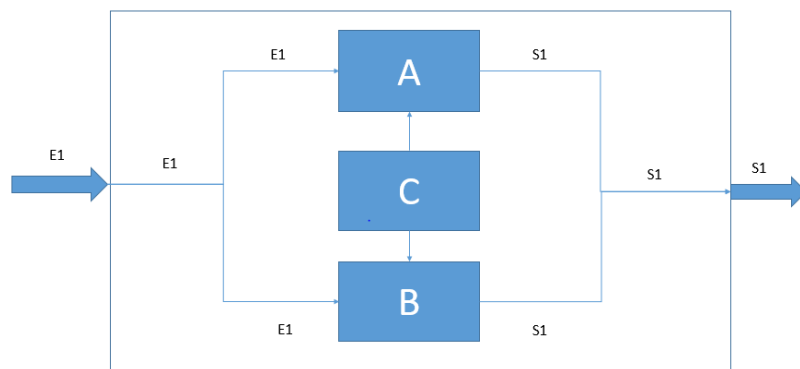


Figura 9 Segundo diseño Propuesto

A continuación, se muestran los requerimientos del segundo diseño funcional:

- E1 = Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.
- S1 = Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos.

A: Subsistema compuesto por un exoesqueleto. Las entradas y salidas del subsistema A están dadas en términos de requerimientos:

E1: Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.

S1: Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos. Este subsistema apoyara el movimiento de la rodilla en el plano sagital y entre 0° grados y 120°.

Subsistema A: El exoesqueleto funcionara en diferentes rangos de movimiento, pero el movimiento general será de 0° a 120° en el plano sagital, este será ajustable a la pierna del paciente y maneja un torque de entre 45N a 60N.

B: Subsistema donde se realiza estimulación electromagnética.

E1: Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.

S1: Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos. Este subsistema apoyara con campos electromagnéticos los cuales funcionaran de 0 a 100 Hz gauss en intensidad.

Subsistema B: Los campos electromagnéticos funcionaran con dos bobinas tipo solenoides e irradiara pulsos durante 30 minutos con un intervalo de 2 segundos por pulso y 1 de descanso para evitar quemar al paciente, además funcionara a una intensidad de 0 a 100 gauss la cual será graduable a la necesidad de la terapia, se tendrán en cuenta las etapas de corriente y frecuencia las cuales llegaran a los solenoides para poder emitir los campos electromagnéticos al paciente.

C: Temporizador de uso de prototipo.

E1: Entra una rodilla después de una intervención quirúrgica de rotura de meniscos.

S1: Sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos. Este subsistema controlara el funcionamiento de los subsistemas a y b de manera independiente.

Subsistema C: Este es un temporizador que limita el tiempo de uso del prototipo el cual no establece el fisioterapeuta.

El sistema tendrá una entrada E1 la cual entrará una rodilla lesionada y una salida S1 la cual será la misma rodilla en rehabilitación, dentro del sistema se tendrán tres subsistemas, Cada uno de los subsistemas estará conectado al subsistema C el cual será un temporizador simultaneo el cual estará entre A y B para apagar el prototipo en un intervalo de 15 minutos.

Para el desarrollo del prototipo se tendrá en cuenta la propuesta 1 teniendo presente que esta funciona sin un tiempo límite de uso, ese se podrá configurar de manera manual para que la terapia dure el tiempo establecido por paciente, cada subsistema de la propuesta 1 tendrá

su respectivo control el cual favorecerá su uso y su implementación en el paciente, además de la comodidad del fisioterapeuta para poder programar sus terapias.

10. DISEÑO DETALLADO

Para el diseño detallado del sistema se tendrá en cuenta los dos subsistemas mencionados, subsistema A exoesqueleto y subsistema B, el sistema está compuesto de la siguiente manera en donde la entrada E1 del sistema ingresará una rodilla después de una intervención quirúrgica de lesión de meniscos, donde esta será nuestra instrucción principal. En la S1 sale una rodilla con apoyo en la rehabilitación de lesión de meniscos donde será nuestra instrucción final, en este sistema detallado se mostrará los dos subsistemas los cuales tendrán sus respectivas ecuaciones y sus respectivos desarrollos para poder hacer la integración de estos y obtener el prototipo como se desea.

10.1. Subsistema A exoesqueleto

El exoesqueleto manejará movimientos en flexión de 0° a 120° graduables según lo solicitado por el médico especialista y funcionará con un torque en la rodilla de 45 N a 60 N. Donde el subsistema A tendrá un porcentaje de variación del 2% y será controlada de manera remota ya sea desde el pc o por medio de bluetooth o wifi, se brindan estas tres alternativas para poder obtener un mejor uso de este, constara de dos partes las cuales serán el diseño dinámico del proyecto donde se mostrarán las ecuaciones básicas con modelamiento del actuador y segundo sus matrices mecánicas las cuales tendrán su respectiva representación del diseño y se mostrara en Matlab.

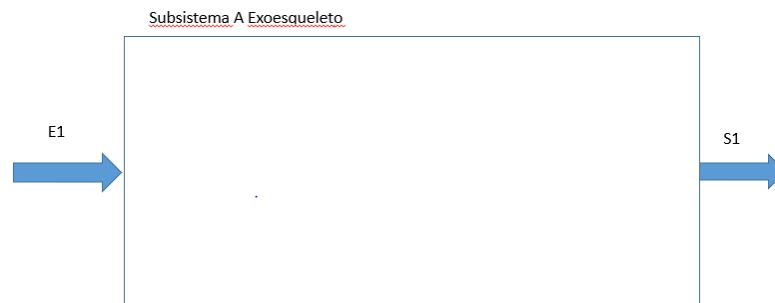


Figura 10 Subsistema A (Exoesqueleto)

10.1.1. Requerimientos del subsistema A exoesqueleto Funcionales:

- El exoesqueleto funcionará de 0° a 120° y tendrá un rango de error de entre 3° y 4° al generar el movimiento
- Funcionará con un voltaje de entra de 120V y se reducirá a 12v-24v de manera nominal para el funcionamiento del motor.
- El exoesqueleto no maneja un temporizador ya que funcionara bajo los tiempos del fisioterapeuta

Calidad:

- El exoesqueleto maneja diferentes ángulos de movimiento definidos por la fisioterapeuta que van de 0 a 30; 31 a 70 y 71 a 120 en el plano sagital y con movimiento de flexión, cada uno de los movimientos tendrá una tolerancia del 6%.
- Se tendrá un torque del motor de 45N a 60N siendo lo básico para mover la rodilla.
- El exoesqueleto no maneja un temporizador ya que funcionara bajo los tiempos del fisioterapeuta
- El motor maneja una fuerza de torque de entre 30 Kg.cm a 45 kg.cm

Restricción:

- La edad mínima de uso del exoesqueleto será de 18 años
- Se tendrá en cuenta la norma técnica colombiana NTC-TEC 60601-1-1 para la parte eléctrica y de alimentación del prototipo.

10.1.2. Funciones, entradas y salidas

Subsistema A Exoesqueleto

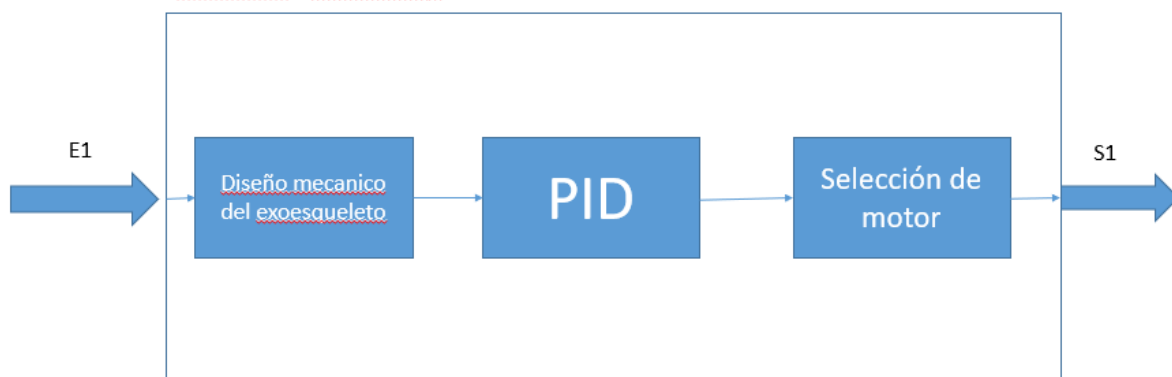


Figura 11 diseño de componentes de exoesqueleto

E1 = Entra una orden de movimiento de 0° a 120° en el plano sagital
 S1= Sale un movimiento del motor en función a la orden dada de 0° a 120° en el plano sagital

el cual estará funcionando a un torque de entre 45N y 60N. Tecnología = Se usará un motor para mandar la orden de movimiento y ajustar los ángulos respectivos solicitados.

10.1.3. Diseño del subsistema A exoesqueleto

El subsistema A estará compuesto por una serie de ecuaciones las cuales tendrán varios puntos entre los cuales se distribuirán en diseño dinámico, matrices del sistema y sus respectivas simulaciones para poder definir nuestro primer subsistema, se mostrarán simulaciones las cuales mostrarán el movimiento de cada una de ellas.

El subsistema A estará compuesto por dos componentes para que el diseño del exoesqueleto funcione de manera correcta se deberá tener en cuenta que el diseño estará controlado para poder enviar las ordenes de movimiento en el motor para generar los movimientos en los gados correspondientes en flexión y extensión, estos serán de 0° a 120° .

Para el diseño del subsistema A se tendrán en cuenta varios factores de la rodilla para no afectar su movimiento al momento de realizar la terapia con el prototipo, para esto se presentará un diseño mecánico el cual mostrara las fuerzas establecidas, ya que esto es un proceso de rehabilitación se tiene en cuenta los cartílagos, los huesos y el menisco el cual fue operador para poder caminar de nuevo.

Diseño dinámico del exoesqueleto

Es importante tener en cuenta que para el desarrollo del exoesqueleto se debe desarrollar el diseño o sistema dinámicos de este mismo obteniendo sus respectivas ecuaciones para tener en cuenta sus movimientos y fuerzas.

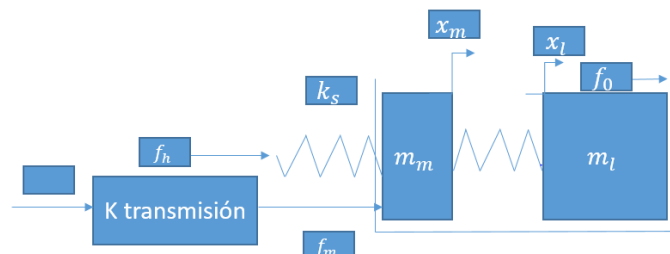


Figura 12 Sistema dinámico en bloques

El actuador tendrá una serie de ecuaciones las cuales serán un punto de partida para poder saber cómo será su funcionamiento:

$$f_m - b_m \ddot{x}_m - f_a = m_m \ddot{x}_m$$

$$\ddot{x}_l = \frac{f_a}{m_l}$$

$$\dot{f}_a \frac{m_m}{k_s} + \dot{f}_a \frac{b_m}{k_s} + f_a \left(1 + \frac{m_m}{k_s}\right) = f_m - \dot{x} b_m$$

$$b_m \ll 1$$

$$\dot{f}_a \frac{m_m}{k_s} + f_a \left(1 + \frac{m_m}{m_c}\right) = f_m$$

El sistema dinámico se representará de la siguiente manera basado en un diseño ya preestablecido para varios exoesqueletos que se encuentran en el mercado, adicional a eso de varios ejemplos ya preestablecidos en diferentes libros de mecánica y robótica, donde se tiene presente.

Modelo dinámico del exoesqueleto [17]

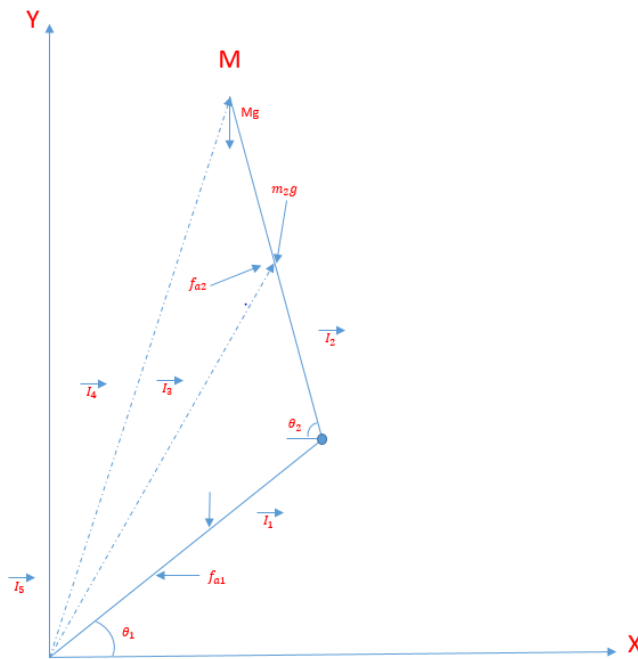


Figura 13 Plano de fuerzas de sistema dinámico de exoesqueleto

Las ecuaciones del modelo dinámico del exoesqueleto que se presentan, pero más adelante se muestran por medio de matrices las cuales darán su respectiva parada para el desarrollo.

$$l_1 = l_1 \cos \theta_1 \hat{i} + l_1 \sin \theta_1 \hat{j}$$

$$\begin{aligned}
l_2 &= l_2 \cos\theta_u \hat{i} + l_2 \sin\theta_2 \hat{j} \\
l_3 &= (l_1 \cos\theta_1 - \frac{1}{2} l_2 \cos\theta_2) \hat{i} + (l_1 \sin\theta_1 + \frac{1}{2} l_2 \cos\theta_2) \hat{j} \\
l_4 &= (l_1 \cos\theta_1 - l_2 \cos\theta_2) \hat{i} + (l_1 \sin\theta_1 + l_2 \sin\theta_2) \hat{j} \\
l_5 &= l_5 \hat{i} \\
J_1 \ddot{\theta}_1 &= -\frac{1}{2} l_1 x (m_1 g) k - l_3 x (m_2 g) k - l_4 x (M g) k - T_1 \\
J_2 \ddot{\theta}_2 &= -\frac{1}{2} l_2 x (m_2 g) k - l_2 x (M g) k + T_2
\end{aligned}$$

Donde \hat{k} es un vector unitario asociado al eje z. En donde la entrada T_1 es la suma de los torques producidos por las fuerzas de los actuadores f_{a1} y f_{a2} adicionalmente existe un torque producido por la fuerza humana T_{h1} que compensa una porción de la gravedad que afecta a la pierna.

$$T_1 = -\vec{l}_3 x f_{a2} + \vec{l}_5 x f_{a1} + T_{h1}$$

El torque T_2 en la ecuación de la rodilla es la suma del torque producido por la fuerza resultante del actuador f_{a2} y el torque producido por la fuerza humana T_{h2} que compensa una porción de la gravedad que afecta a la pierna alta.

$$T_2 = \frac{1}{2} \vec{l}_2 x f_{a2} + T_{h2}$$

Se observa que en f_{a1} y f_{a2} están multiplicando únicamente por las longitudes l_5 y l_2 , respectivamente. [17]

Es importante mencionar que para el desarrollo del exoesqueleto se visualizara según los avances efectuados, los cuales podrían generar cambios de software para mejorar el desempeño del movimiento de los motores para el correcto funcionamiento del prototipo.

Cada uno de los aspectos que se mencionan se usan para cuando el exoesqueleto usara sistemas de compresión para apoyar el movimiento del exoesqueleto

Diseño mecánico del exoesqueleto:

Adicionalmente se tiene en cuenta el modelamiento dinámico y estático del sistema usando ANSYS para su respectivo desarrollo y visualización, además se mostrará su modelamiento con matrices en el programa de Matlab donde podremos ver sus movimientos y podremos verlo efectuado respectivamente en el simulador.

Usando ANSYS visualizaremos el movimiento del exoesqueleto respectivamente y se tendrán como manera principal el uso de las matrices que se desarrollarán.

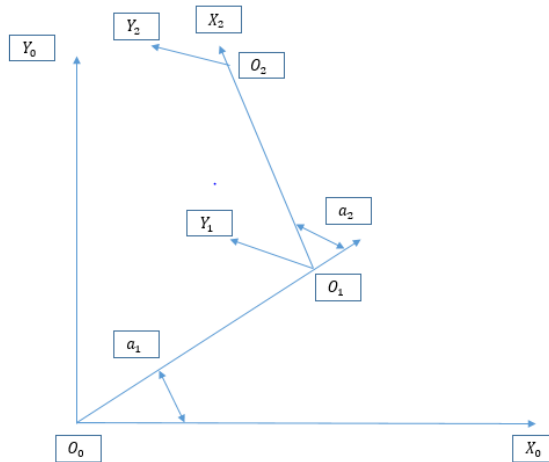


Figura 14 modelo dinámico Denavit

Teniendo en cuenta los siguientes parámetros se procede a realizar la validación de este mismo a través del método ya mencionado anteriormente.

Punto 0= Referencia

Punto 1= Enlace 1, extremo distal

Punto 2= Enlace 2, extremo distal

Longitud de extremo= a_1

Longitud de extremo= a_2

Buscando el punto final ${}^0d_{02}$

$$\begin{aligned} {}^0d_{02} &= {}^0d_{01} + {}^0d_{12} \\ {}^0d_{02} &= a_1 {}^0x_1 + a_2 {}^0x_2 \\ {}^0d_{02} &= a_1 {}^0R_1^1 x_1 + a_2 {}^0R_2^2 x_2 \\ {}^0d_{02} &= a_1 \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \\ \text{sen } \theta_1 \end{bmatrix} + a_2 \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \text{sen}(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Ahora se tendrá en cuenta una transformación homogénea en un plano donde:

$${}^0P_0 = {}^0d_{01} + {}^0R_1 P_1$$

Combina las rotaciones traslacionales donde una forma $P = [P_1 P_2]^T$ se debe tener en cuenta las siguientes coordenadas homogéneas $P = \begin{bmatrix} P \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ 1 \end{bmatrix}$ Entonces procedemos a hacer lo siguiente.

$$\begin{bmatrix} {}^{\circ}P_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^{\circ}R_1 P_1 + {}^{\circ}P_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^{\circ}R_1 & -{}^{\circ}d_{01} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

La notación homogénea sería ${}^{\circ}P = {}^{\circ}T_1 P$ cuando ${}^{\circ}T_1$ es 3-3, la connotación homogénea sería para la línea 1 y para la línea 0.

$$\text{Adelante} = {}^{\circ}T_2 = {}^{\circ}T_1 T_2$$

$$\text{Inversa} = {}^{\circ}P = ({}^{\circ}T_1)^{-1} {}^{\circ}P$$

$$({}^{\circ}T_1)^{-1} = \begin{bmatrix} {}^{\circ}R_1^T & -{}^{\circ}R_1^T d_{01} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = T_0$$

La línea 1 se desplaza sobre la línea 0 en una rotación de 100° y una traslación de $(1,1)$, la línea 2 se desplaza sobre la línea 1 en una rotación de 10° y una traslación de $(1/2, \sqrt{3}/2)$.

$$R_{(100^\circ)} = \begin{bmatrix} \cos 100^\circ & -\text{sen} 100^\circ \\ \text{sen} 100^\circ & \cos 100^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad {}^{\circ}d_{01} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{\circ}T_1 = \begin{bmatrix} R_{(100^\circ)} & {}^{\circ}d_{01} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_{(10^\circ)} = \begin{bmatrix} \cos 10^\circ & -\text{sen} 10^\circ \\ \text{sen} 10^\circ & \cos 10^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad {}^{\circ}d_{12} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 2 \end{bmatrix}$$

$${}^{\circ}T_2 = \begin{bmatrix} R_{(10^\circ)} & {}^{\circ}d_{12} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{\circ}d_{12} = {}^{\circ}R_{(100^\circ)} d_{12} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= R_{(10)}^2 P_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\sqrt{3})}{2} \\ \frac{1}{2} + \sqrt{3} \end{bmatrix} \\
 P_1 &= d_{12} + P_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{(1+\sqrt{3})}{2} \\ \frac{(1-\sqrt{3})}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\sqrt{3})}{2} \\ \frac{1}{2} + \sqrt{3} \end{bmatrix} \\
 {}^o P_1 &= {}^o R_{(100^\circ)} + P_1 = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{(1-\sqrt{3})}{2} \\ \frac{1}{2} + \sqrt{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \end{bmatrix} \\
 {}^o P_1 {}^o d_{01} + {}^o P_1 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ -2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Se realizará dos ecuaciones las cuales serán operadores traslacionales y rotacionales los cuales estarán compuestos por matrices:

$$\begin{aligned}
 Tran &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & v1 \\ 0 & 1 & v2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & v \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \\
 rot(\theta_1) &= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(\theta) & 0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^o T_1 &= trans({}^o d_{01}) rot(\theta_1) = \begin{bmatrix} 1 & {}^o d_{01} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(\theta_1) & 0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(\theta_1) & {}^o d_{01} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Control PID de motor:

Una vez se hace el proceso de las matrices para determinar el movimiento del sistema se procede a visualizar y a realizar el control digital de este para poder realizar el control de la velocidad del sistema y el posicionamiento angular del mismo.

$$L \frac{di}{dt} + R_i + K_{cw} = V_{in}, \quad j \frac{dw}{dt} + K_{fw} = K_{Ti} + Ti$$

L= inductancia

R= resistencia

J= inercia del rotor

Kf= coeficiente de viscosidad

Kc= constante de fuerza electromotriz

Vin= voltaje de alimentación

T_i = carga del motor

I = corriente

W = velocidad del rotor

Se tiene en cuenta la relación lineal donde $T_m = K_{Tc}$ y la dinámica de la corriente a través del embobinado será

Se tendrá en cuenta los siguientes parámetros para la creación del PID del prototipo el cual será indispensable para su desarrollo.

En la figura 15 se muestra el control desarrollado para el movimiento de grados y el PWM del motor que manejará el exoesqueleto, se tendrá en cuenta desde la programación que se hace en Matlab como la verificación y manejo externo que se está dando desde el sistema de Arduino el cual trae las variables definidas con pines de entrada y de salida. Se variará la ganancia del control para poder variar la velocidad del motor y se tendrá en cuenta que será un motorreductor el cual maneja con más precisión el PWM y la fuerza que se necesita para poder moverlo.

Los valores serán aún más estables para ángulos superiores a 40° , los valores de K_p , K_i y K_d se tendrán en cuenta desde los valores del motor y el driver de motor, se plantea un tiempo de estabilización del 0.001s.

K_p "proporcional": 3.5

K_i "integrador": 0.4

K_d "Derivativo": 0.5

ST: 0.001s

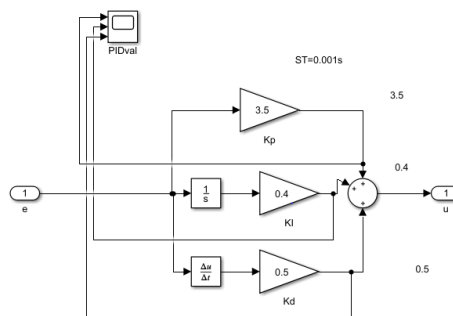


Figura 15 Muestra de PID

Para los parámetros de la constante se tiene en cuenta de nuevo el valor de muestreo del motor el cual nos indica que su constante será de 6.44

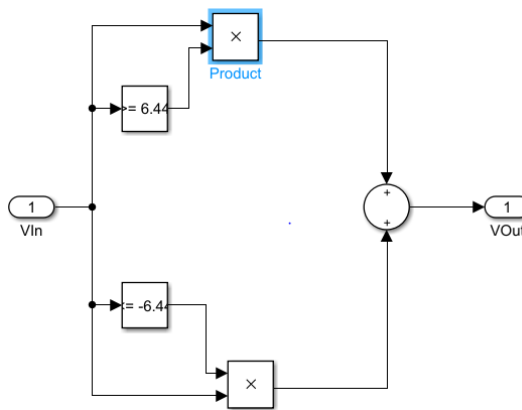


Figura 16 Umbral de voltaje de 6.44

Para la selección de motores se debe tener en cuenta que el motor debe funcionar a una capacidad máxima de 45 kg.cm para mover varios pesos al cual se someterá la pierna en proceso de rehabilitación, debe funcionar a una tensión de entre 12V y 24V, se tiene en cuenta la potencia, torque y los RPM para poder generar un movimiento controlado y se seleccionaron los siguientes tipos de motores para poder tener un respectivo control del movimiento de los ángulos en flexión y extensión en el plano sagital.

Se tendrán en cuenta los siguientes datos para poder escoger el motor adecuado para obtener los movimientos de la manera más proporcional posible.

Tabla 3 selección de componentes programables

SELECCION DE COMPONENTES						
Entradas	VALOR DE REQUERIMIENTO					
	Requerimiento levantado	Requerimiento de componente 1	Requerimiento de componente 2	Requerimiento de componente 3	Requerimiento de componente 4	Requerimiento de componente 5
E1	Motor capaz de levantar peso de entre 5 kg y 40 kg con control de velocidad, funcional entre 12V y 24V, entre 150 y 300 rpm y que funcione de 0.8 mA a 1.5A	Motor Síncrono 8/10 Rpm Cw/ccw Tyd-50 Ac 110v 3w	50ktyz 110v 60hz 2.5 Rpm Cw/ccw 6-10w	Motor Paso Nema 17 Bipolar Torque 45 N.cm	Motor Alto Torque 110v 0.8-1 Rpm 50/60hz Ac 4w Síncrono Lent	Motorreductor con Caja Reductora 4632 12V 6RPM 30Kg.cm

Salidas	Requerimiento levantado	Requerimiento de componente 1	Requerimiento de componente 2	Requerimiento de componente 3	Requerimiento de componente 4	Requerimiento de componente 5
S1	Motor capaz de levantar peso de entre 5 kg y 40 kg con control de velocidad, funcional entre 12V y 24V, entre 150 y 300 rpm y que funcione de 0.8 mA a 1.5A	Motores sincronos 8/10 RPM Gama de voltaje de: AC 100-130V Frecuencia: 50/60Hz Potencia: 3,5W Diámetro del eje: 7mm Longitud del eje: 16mm	Motores sincronos 8/10 RPM Gama de voltaje de: AC 100-130V Frecuencia: 50/60Hz Potencia: 3,5W Diámetro del eje: 7mm Longitud del eje: 16mm	59Ncm(83.6oz.in) que par NEMA 17 bipolar 1,65" x1.65"x1.85"4-wire construir con Cable de 1m y 0.1" conector de la echada clasificado 2.0A actual y resistencia 1.4ohms	Voltaje: CA 100-127V Frecuencia: 50 / 60Hz Potencia nominal: 4W Velocidad de rotación: 0.8-1RPM Peso: 95 g (aprox.)	Tensión de Trabajo 12V Corriente sin carga 50mA Velocidad Sin Carga 6 RPM Relación Piñones 1:1019 Torque Con Carga 30Kg.cm Potencia 3W Torque con Motor Bloqueado 219Kg.cm Corrientes con Motor Bloqueado 1.8A

Teniendo en cuenta la selección de los diferentes motores y la compatibilidad para el programador, se tendrá en cuenta que este debe funcionar a buenas revoluciones y obtener la suficiente fuerza para levantar tanto el peso del exoesqueleto como el peso de la pierna, para un claro movimiento hay dos motores que pueden soportar esto, un motorreductor el cual es más preciso en la fuerza y con el manejo del driver de motor se genera un control en la velocidad de movimiento, en cambio un servomotor maneja ángulo de 0 a 180° pero no es tan preciso en velocidad, por lo tanto el motor a usar será un motorreductor el cual se tendrá una programación del control de este en la parte de abajo.

Como se mencionaba el motorreductor es mucho más preciso tanto en velocidad como en control de grados haciendo que sea el motor que se necesita para poder establecer mejor el prototipo, se usaran dos de estos conectados a un PWM y un driver de motor para poder tener una mejor eficiencia en el movimiento al momento de realizar el trabajo por el paciente.

Para poder observar tanto el programador como el motor a usar se realiza una programación donde se puede ver el efecto deseado y se tendrá en cuenta que este deberá

tener una orden de paso a paso para poder llevar el motor al ángulo deseado sin lastimar al paciente.

Se realiza una primera simulación con el Arduino escogido, con un motor y el L298 para verificar su conexión, además de eso se realiza una primera programación para validar su correcto funcionamiento.

Tarjeta programadora

Para el desarrollo de la parte física del exoesqueleto se tendrá en cuenta la tarjeta programadora, los motores y los sensores con los cuales se hará todo el planteamiento de fuerza, velocidad y movimiento angular del proyecto, en este caso se empezará con las tarjetas programadoras y se hará un análisis para poder escoger cual es la correcta o la más adecuada para el uso del proyecto, teniendo en cuenta la comodidad, interfaz y capacidad de procesamiento de la información.

Se mostrarán unas opciones y se dispondrá a escoger cual es la más adecuada para el funcionamiento del exoesqueleto.

Tabla 4 selección de componentes programables

SELECCION DE COMPONENTES					
Entradas	VALOR DE REQUERIMIENTO				
	Requerimiento levantado	Requerimiento de componente 1	Requerimiento de componente 2	Requerimiento de componente 3	Requerimiento de componente 4
E1	Voltaje operativo de mínimo 5V, disponible con entradas analógicas y digitales, frecuencia de 16MHz, resolución de 10 bits	Arduino nano	Arduino MEGA	Arduino Uno	Tiva
Salidas	Requerimiento levantado	Requerimiento de componente 1	Requerimiento de componente 2	Requerimiento de componente 3	Requerimiento de componente 4

	Voltaje operativo de mínimo 5V, disponible con entadas análogas y digitales, frecuencia de 16MHz, resolución de 10 bits	Microcontrolador: Atmel ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores) Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V. Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V. Tensión de Entrada (límites): 6-20 V. Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM).	Microcontrolador: ATmega2560. Voltaje Operativo: 5V. Voltaje de Entrada: 7-12V. Voltaje de Entrada(límites): 6-20V. Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM) Pines análogos de entrada: 16. Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA	Microcontrolador: ATmega328. Voltaje Operativo: 5v. Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v. Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) Pines de Entradas Análogas: 6. Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader. SRAM: 2 KB (ATmega328)	Microcontrolador Tiva C Series TM4C123GH6 Conector Micro USB AB Configuración predeterminada del modo de dispositivo Host/OTG modes supportable LED RGB Dos interruptores de usuario (<i>application/wake</i>) Interfaz de depuración (ICDI) Fuentes de alimentación seleccionables: <i>ICDI USB device</i> Interruptor de reinicio Aplicación de prueba con Led RGB precargada
--	---	---	--	--	---

Mostrando las características de las tarjetas programadoras en la tabla 1 se muestra su funcionamiento básico y su capacidad de procesamiento de la información que se mostrara y como se dispondrá en cada una de ellas, en este caso se usó y se eligió el Arduino UNO ya que nos provee una memoria programable y mejor interfaz de desarrollo, teniendo en cuenta que sus librerías son más fáciles y tiene las salidas digitales y con PWM que se está solicitando para hacer la respectiva programación, básicamente por comodidad se escoge esta tarjeta ya que en comparación las 4 son muy parecidas, sin embargo se escoge el Arduino uno por comodidad.

Como se muestra en las características de dispositivos, el Arduino funciona a 12 V y este es un valor que arrojará nuestra fuente que se estará diseñando en el subsistema B, se presenta un buen manejo de PWM que nos servirá para el manejo de los dos motores que soportara el exoesqueleto y nos permitirá un control de manera más prolongada para el movimiento esperado, también se presenta que el exoesqueleto no solo tendrá los motores sino también tendrá a su disposición un controlador la velocidad de funcionamiento, un giroscopio para controlar los ángulos y el driver de motores que será el que ayude a controlar toda la velocidad de estos.

Teniendo en cuenta el dispositivo de programación que vamos a usar se buscaran opciones para el uso de los motores de fuerza o servomotores o motores de paso para el movimiento del exoesqueleto.

10.1.4. Esquematicos del subsistema A exoesqueleto

Para realizar el Sistema de control digital del exoesqueleto se planteará una programación en Arduino uno, el cual fue nuestra tarjeta de programación escogida, se mostrará en el diagrama de flujo cómo será el planteamiento de la programación y como se hará el respectivo muestreo de la información y se tiene presente cada uno de los componentes.

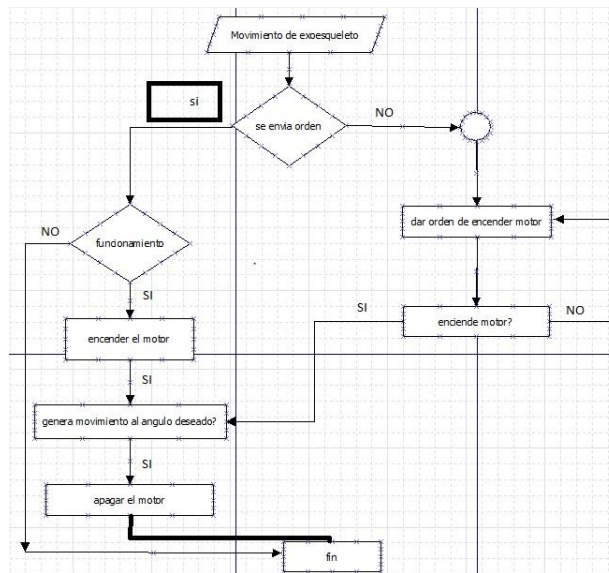


Figura 17 diagrama de flujo del sistema de control

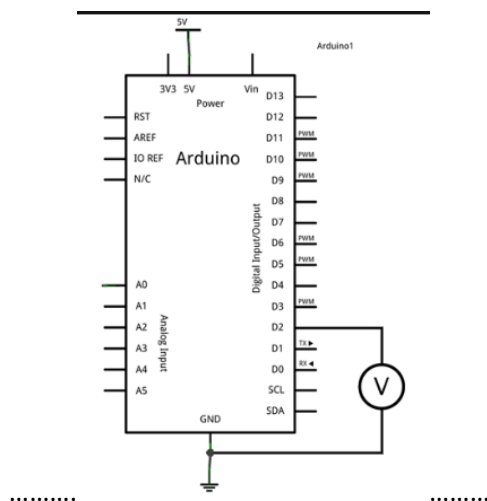


Figura 18 Arduino

El PID digital que se realice en conjunto con la programación en Arduino funcionará para que el Sistema se pueda controlar por medio de la velocidad modificando las ganancias en Simulink y para el control de grados se hará desde la interfaz de Arduino para mover los grados del exoesqueleto, este tendrá un margen de error de 2 grados hasta los 40° y cuando incrementa será de 1°

Teniendo en cuenta el modelo del motor en el PID se ingresan los valores de la siguiente manera donde su condición inicial es la siguiente $[0 \ -1.6926 \ *3 \ *0]$.

Finalmente teniendo nuestros valores definidos se procede a hacer el control PID en su totalidad el cual estará dispuesto en Matlab y será controlado desde este, de manera digital, por lo tanto, solo se necesitará de manera física el Arduino, el drive de motor y el motorreductor.

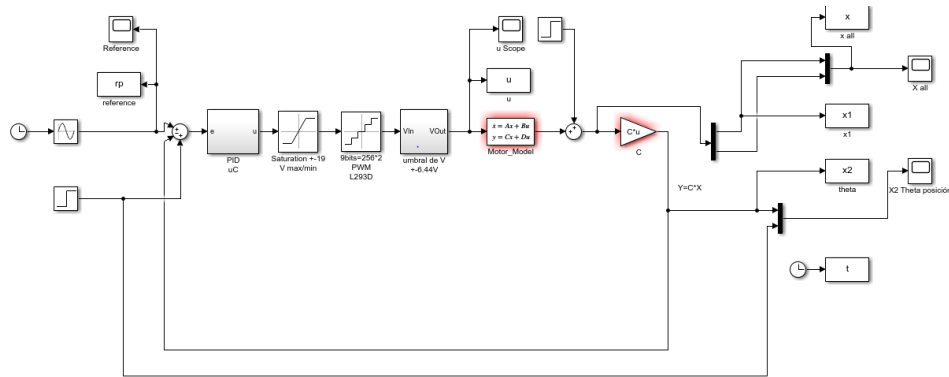


Figura 19 control del exoesqueleto

Como se muestra en el control del exoesqueleto se tendrán variables modificables directamente desde simulink y este tendrá una conexión directa con Arduino para poder manejar la cantidad de grados que se moverán, en este caso el mayor movimiento será de 120° y se está usando la ganancia como el control de la velocidad la cual se modifica según las necesidades, en las salidas de los sistemas.

Teniendo presente que el exoesqueleto se manejara a diferentes velocidades, tendrá un bloqueo automático si este supera cierta velocidad para evitar que se lesione al paciente, donde está el umbral y el PWM se tendrán en cuenta el bloqueo para limitar la velocidad.

10.1.5. Simulación del subsistema A exoesqueleto

Teniendo en cuenta lo anterior se realizará una simulación con la opción de GUI de Matlab para poder demostrar el movimiento del sistema y como se moverá en ciertos grados los cuales se mostrarán de la siguiente manera.

Para esto se realizó la base grafica la cual mostrar nuestro plano a mover y se pasara a realizar la respectiva programación teniendo presente una matriz diseñada en el programa para poder mostrar.

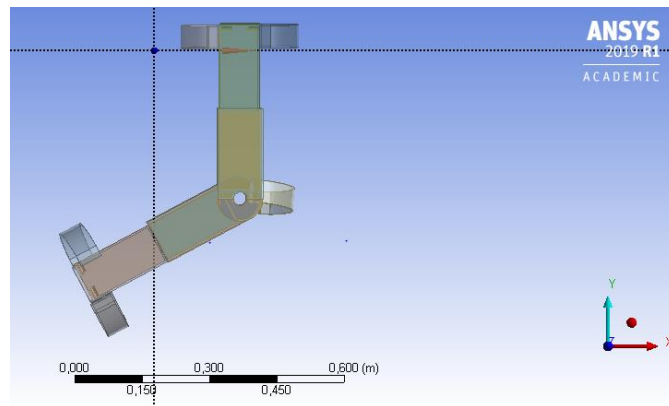


Figura 20 ANSYS exoesqueleto

En la simulación de ANSYS se tiene presente las fuerzas ejercidas donde entre el color este más rojo más fuerza estar ejerciendo, en tal caso no se ve ninguna franja roja en la simulación indicando que las fuerzas en su mayoría están siendo bien distribuidas.

Se mostrarán dos de los resultados de las salidas del motor, uno de ellos con la salida realimentada y la otra antes de ella, donde se mostrarán los cambios y el tiempo de estabilización que tendrá cada uno de ellos

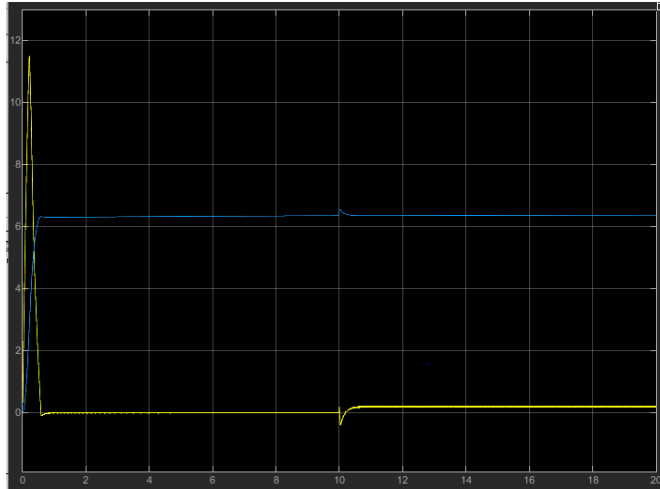


Figura 21 salida sin la realimentación

En la primera salida se ve como el PID del motor se muestra sin la realimentación y su punto de quiebre o punto límite de los 6.4V no está cuadrado, se genera una estabilidad, pero esta es un punto casi 0 donde el movimiento es mínimo, casi nulo

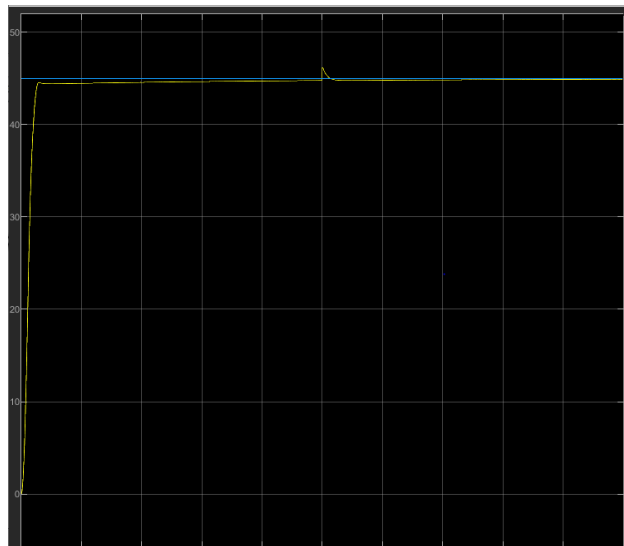


Figura 22 Salida con realimentación

En la segunda grafica se tiene presente que ya se está usando la realimentación en el PID desarrollado se puede ver la señal y su salida con modificación y casi que totalmente estables salvo por un pico que se está teniendo, sin embargo, este se ha tenido presente como un margen de error por lo cual será de un % muy bajo, lo suficiente para no lastimar al momento de la terapia

10.1.6. Plan de pruebas del subsistema A

- Medición de velocidad del motor y visualización

Objetivos de la prueba:

El sistema debe mediar la velocidad y el ángulo con el cual se efectuará el movimiento del motor, se debe tener en cuenta la velocidad con la cual va a funcionar para evitar lesiones.

Requerimientos a comparar:

- Se debe medir la velocidad del motor
- El ángulo con el cual se mueve la extremidad se debe verificar de dos maneras, por medio de un visualizador digital y manual.
- El acoplamiento del motor ayudara a la medición exacta a la hora de efectuar el movimiento.

Tabla 5. Datos comprobados por observación

<i>Tarea a realizar</i>	<i>Medida</i>			
	Mala <=2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5
El sistema debe medir ángulos de movimiento de la extremidad inferior de una persona durante el ciclo de marcha				x
Desde la visualización del ángulo se comprobará que sea el correcto con el menor grado de error posible.			x	
El ciclo de velocidad deberá estar presente en todo momento para que no se exceda en movimiento.			x	
Se probarán todos los componentes del subsistema A (Arduino, Motor, Driver de motor)				x

10.2. Subsistema B Campos electromagnéticos

El subsistema B será usado con campos electromagnéticos en los cuales se tiene en cuenta que maneja una frecuencia de 0 a 100Hz y maneja una intensidad de 0 a 100 Gauss, donde funcionara de manera variable dependiendo de la fuerza que se esté necesitando.

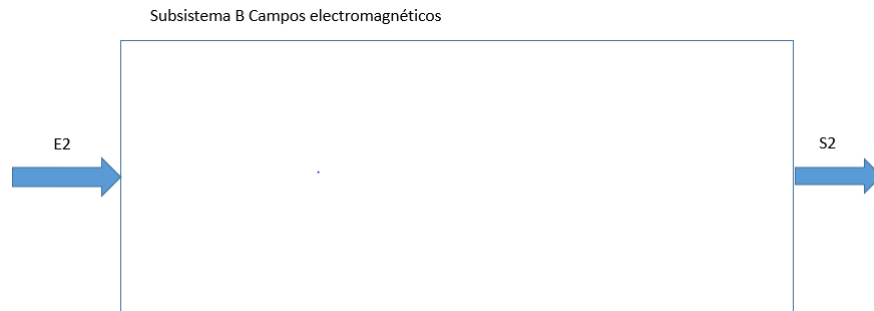


Figura 23 subsistema B (Campos Electromagnéticos)

10.2.1. Requerimientos del subsistema B

Funcionales:

- El subsistema estará sujeto bajo la norma IEC 61000-4-2 para asegurar inmunidad en el equipo para las descargas electrostáticas, se tendrá en cuenta para las descargas con respecto a fallas de conexión que hallan para evitar un corto.
- En principio el sistema de campos electromagnéticos funcionara con una interfaz maquina/computador o de manera manual en la máquina.
- Las bobinas/solenoides estarán hechas bajo los requerimientos de intensidad de campo que se están solicitando (0 a 100 Gauss).

Calidad:

- Los campos electromagnéticos funcionarán con una onda senoidal con pulsos que tendrán una duración por pulso de 1 segundo con un descanso de 2 segundos.
- La frecuencia variable tendrá un uso de 0 a 100 Hz.
- La intensidad de campo será de 0 a 100 Gauss

Restrictivos:

- Los campos no podrán ser usados en personas con implantes metálicos o en estado de embarazo
- La edad mínima de uso será de 18 años

10.2.2. Funciones, entradas y salidas del subsistema

El sistema va a funcionar de manera paralela o independiente, esto va según las necesidades del fisioterapeuta ya que puede usar primero un proceso o ambos al mismo tiempo, en el caso del subsistema A será el exoesqueleto y en el subsistema B los campos

electromagnéticos, los cuales serán manejados a través de un controlador en una interfaz de manera remota para el uso del médico especialista o fisioterapeuta.

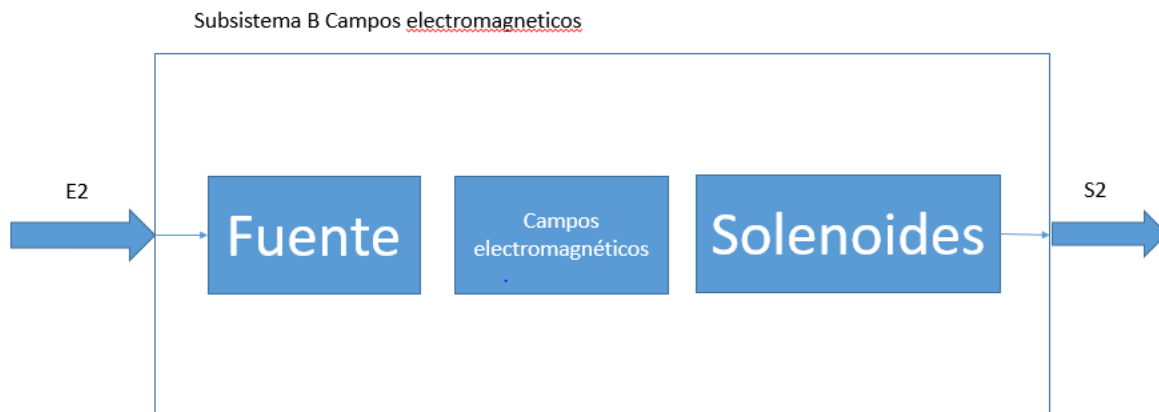


Figura 24 Diseño de componentes subsistema B

E2 = Entra la orden de variación de frecuencia de 0 a 100 Hz y una intensidad de 0 a 100 Gauss para los campos electromagnéticos

S2 = Sale un sistema con la ejecución de la frecuencia de los campos electromagnéticos
tecnología = se usará componentes como Arduino y circuitos integrados además de amplificadores operacionales para su desarrollo.

El subsistema B será el manejo respectivo de los campos electromagnéticos donde se debe tener en cuenta que estas funcionaran de manera variable con una frecuencia variable de 0 a 100 Hz y una intensidad de campo de 0 a 100 Gauss, se realizara de manera en que se realice el cálculo de las bobinas con su respectivo centro y diseño físico de esta misma.

Los requerimientos del subsistema B se tiene en cuenta la generación de los campos electromagnéticos el cual será variable de entre los 0 a 100 Hz y una intensidad variable de 0 a 100 Gauss.

10.2.3. Diseño del subsistema B

Para el desarrollo de los componentes del subsistema b que son los campos electromagnéticos se tiene presente tres etapas de desarrollo, la primera que se realiza para poder obtener los dos valores siguientes es el cálculo de las bobinas o solenoides las cuales se muestran de la siguiente manera con su diseño físico y la cantidad de vueltas que debe tener para que la intensidad de campo sea la adecuada para el prototipo, en nuestra segunda etapa

se hace aclaración de la fuente en dos caso respectivos pero se centra en uno principalmente, que sería la fuente de alimentación de 120 V o en el mayor de los casos a 220V, por último la tercera esta se compone de dos en específico las cuales son la parte de generación de frecuencias la cual estará compuesta por tres señales que se pueden obtener a la salida, de las cuales se usaran dos que son las mencionadas en los requerimientos y adicional una etapa de corriente que funcionara a máximo 1A que es el valor solicitado por las bobinas y que se hará aclaración en las siguientes ecuaciones.

Para obtener el tamaño de la bobina se tendrá que sacar los respectivos cálculos y simulaciones, donde. [17]

$$H = \frac{I * N}{L}$$

H= intensidad del campo electromagnético

I= intensidad de corriente

N= número de espiras de la bobina

L= longitud de la bobina en metros

También para su interior

$$H = \frac{I * N * \mu}{L}$$

H= intensidad del campo electromagnético en amperios/metro

I= intensidad de corriente en amperios

N= número de espiras de la bobina

L=Longitud de la bobina

μ =permeabilidad magnética

Para realizar el diseño de la bobina o solenoides se deben tener en cuenta diferentes aspectos de construcción, un principio de esto sería la inducción magnética en donde debemos tener en cuenta las leyes de Maxwell y las siguientes variables para su construcción.

B= inducción magnética

H = intensidad de campo electromagnético

μ = permeabilidad magnética

M_x = Maxwell

W_b = Weber

T = Tesla

B = Densidad de flujo magnético

S = Area escogida

$$\begin{aligned}
 B &= \mu H \\
 1 \text{ Gauss} &= \frac{M_x}{cm^2} \\
 1 \frac{W_b}{m^2} &= \frac{1 V \cdot s}{m^2} \\
 1T &= \frac{1W_b}{m^2} = 10Kgs
 \end{aligned}$$

Donde H depende de las corrientes para poder realizar los respectivos cálculos.

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \oint_s B \cdot ds \\
 1W_b &= 1V \cdot s \\
 \Phi &= B \cdot s
 \end{aligned}$$

Ya que la corriente que se usará para el equipo de campos electromagnéticos tendrá una variación en la cual la corriente de las bobinas se verá afectada, el cálculo que se procede a hacer es la del electro bobinas o solenoides.

¿ N =?

$$\beta = \frac{\mu_0 NI}{2(R_2 - R_1)} \left\{ \left[\ln \frac{(R_2 + \sqrt{L^2 + R_2^2})}{(R_1 + \sqrt{L^2 + R_1^2})} \right] \right\} [17]$$

Dado que R_1, R_2 y L son constantes del valor del alambre, entonces.

$$\begin{aligned}
 \left\{ \left[\ln \frac{(R_2 + \sqrt{L^2 + R_2^2})}{(R_1 + \sqrt{L^2 + R_1^2})} \right] \right\} &= c \\
 \beta &= \frac{\mu_0 NI}{2(R_2 - R_1)} c
 \end{aligned}$$

$$2\beta(R_2 - R_1) = \mu_0 N I c$$

$$N = \frac{2\beta(R_2 - R_1)}{\mu_0 I c}$$

L= longitud de la bobina (0.030 m)

R_1 = Radio interior (0.025 m)

R_2 = Radio exterior (0.006 m)

μ_0 = Permeabilidad del aire ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

I= Corriente que circula por la bobina (1 A)

B= Densidad del campo electromagnético (0.015 T)

c= 0.958343889

$$N = \frac{2(0.030)(0.025 - 0.006)}{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 0.958343889}$$

$$N = \frac{1.14 \times 10^{-3}}{1.20 \times 10^{-6}} = 950$$

Por lo tanto, se necesitan de 950 espiras para obtener una densidad de campos electromagnético de aproximadamente 120 Gauss, se realiza el plano del dispositivo que tendrá el alambre para poder usarlo.

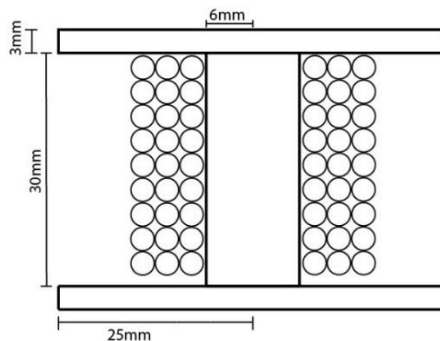
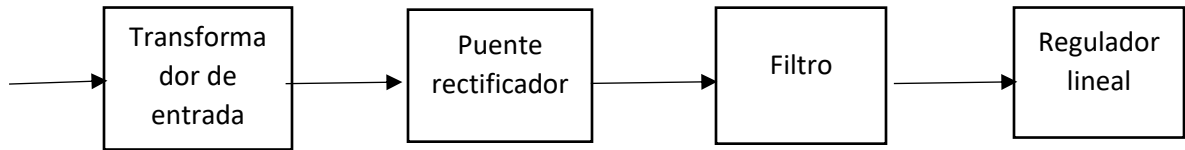


Figura 25 plano de embobinado

Para el diseño de la fuente se tendrá presente que funcionara a 120V de entrada y arrojará 12 V de salida para uso del exoesqueleto y campos electromagnéticos:



Para el diseño de la fuente se deben tener en cuenta todas las características del sistema, se tendrá presente el estabilizador de tensión 7809, los capacitores, el puente rectificador y el transformador que se usará desde el principio para lograr.

Teniendo en cuenta el regulador 7809 se muestra la siguiente table para tener en cuenta su tensión y corriente máxima, ver anexo 5 para el datasheet

N_1 y N_2 numero de espiras del devanado primario y secundario

$$V_1 = V_2 * \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

Un transformador de 120v a 12v para conocer su relación de espiras.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{120}{12} = 10$$

La tensión que nos dará el transformador si se conecta a 120V y no a 220V

$$120 = V_2 * 10$$

$$V_2 = \frac{120}{10} = 12V$$

Para el primario y secundario pasan corrientes distintas.

$$I_2 = I_1 * \frac{N_1}{N_2}$$

Se toma un valor de 0.4A, donde la corriente máxima del devanado secundario I_2 , pero se desea obtener de igual manera la corriente del devanado primario.

$$I_2 = I_1 * \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

$$0.4 = I_1 * 10$$

$$I_1 = \frac{0.4}{10} = 40mA$$

La corriente que circula por el devanado primario induce un flujo magnético que circula por el núcleo del devanado secundario.

$$V_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$V_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Como el flujo es igual al devanado, se divide con respecto a la primera ecuación.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = r$$

Esta ecuación nos dice la relación entre la tensión de entrada y salida, viene por la relación de numero de espiras que tengan los devanados.

Potencia del devanado primario y secundario.

$$P_1 = P_2 = V_1 * I_1 = V_2 * I_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \text{ intensidad nominal del fusible}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = I_1 = I_2 \frac{V_2}{V_1} = I_1 = 1A * \frac{9V}{120V} = 0.075A$$

Se tendría que usar un fusible mayor a 75mA para soportar la intensidad en el devanado secundario. Entonces un transformador de 120V/12V a 1A donde la tensión eficaz es igual a.

$$V_{ef} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}}$$

Para el rectificador se tendrá en cuenta los siguientes valores al momento de obtener su valor comercial y poder adquirirlo.

$$12V \ 1A = 30\%$$

$$1,3A \text{ y } 15,6V$$

Para el filtro se tiene en cuenta el condensador y sus diferentes variables donde podemos ver efectuado el valor que debemos obtener para su construcción.

$$C = \frac{Q}{V_{maz} - V_{min}} = \frac{I_{max}T}{V_{max} - V_{min}}$$

V_{max} = Valor máximo de la tensión de entrada que equivale al valor pico del devanado secundario del transformador.

V_{min} = Tensión mínima que se desea obtener en la entrada.

I_{max} = intensidad máxima del devanado secundario.

C = Capacidad del condensador

T = Para un rectificador de onda completa que vale 10 ms

$I_{max} = 0.5A$ intensidad máxima

$V_{max} = 9V$ Ac el valor máximo cuando $V_{max} = 9 * \sqrt{2} = 12.72$

$V_{min} = 9V$ como margen de seguridad

$C = 0.001344 F = 1344\mu F$ aproximando a un valor comercial sería de $2200\mu F$

Para el regulador se tendrá en cuenta los cálculos anteriormente hechos para poder escogerlo, entre las referencias comerciales se escogerá el L7805 ya que va de 5V a 0.5A.

Para la potencia se deberá tener en cuenta la siguiente fórmula y obtener su valor en vatios.

$$V_{reg} = (V_{max} - V_{diodo} - V_{salida}) * I_{max} = 7.02 * 0.5 = 3.51W$$

Entonces la potencia disipada sería la siguiente teniendo en cuenta que por cada vatio la temperatura será de $50^{\circ}C$. [20]

$P = 3.51W * 50^{\circ} \frac{C}{W} = 175.5^{\circ}C$ con esto se indica que por obligación se debe poner un disipador a la fuente ya que su máxima temperatura es de $150^{\circ}C$ y nuestra potencia está sobrepasando ese valor. [20]

$$V = IR; T = P_{R_{th}}$$

$$T_{union} = P_{R_{thj-case}} + P_{R_{disipada}} + T_{Ambiente}$$

T_{union} = temperatura máxima para la unión del integrado

$T_{Ambiente}$ =Temperatura media de 25°C

$R_{thj-case}$ = Resistencia térmica entre la unión y el encapsulado.

Campos electromagnéticos:

Teniendo en cuenta el desarrollo de lo que se está necesitando para el prototipo se hará referencia el uso de un diagrama y circuito que se está planteado con el cual se desarrollará parte de este subsistema.

Para los campos electromagnéticos se tendrá en cuenta los valores y la fabricación del circuito el cual estará planteado bajo otro proyecto el cual estará dando la pauta de desarrollo y planteamiento de este mismo, por lo tanto, quedará de la siguiente manera.

La primera etapa de desarrollo será para poder hacer los tiempos y periodos de oscilación además de obtener el valor de las resistencias, condensadores, bobinas y transistores a usar, empezando el Lm555 está compuesto por diferentes componentes dentro de el para poder tener en cuenta la construcción del circuito.

Los tiempos dados por las siguientes expresiones determinaran el desarrollo.

$$T_1 = (R_1 + R_2)C_1 \ln 2 \quad (1)$$

$$T_1 = 0.693(R_1 + R_2)C_1 \quad (1)$$

$$T_2 = R_c C_1 \ln 2 \quad (2)$$

$$T_2 = 0.693R_2 C_1 \quad (2)$$

Por lo tanto, el tiempo de permanencia en estado alto es mayor que el estado de permanencia en estado bajo.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + R_2)C_1}$$

Teniendo en cuenta el número de patas que tiene el componente Lm555 se procederá para tener en cuenta los valores de las resistencias y condensadores, se comenzara desde la para #5 la cual no tiene un propósito como tal, sin embargo, se pone un condensador de 100nf para evitar el ruido, las salidas 2 y 6 se va a fijar un condensador de 1 µf por la frecuencia que puede llegar a manejar que es de 120Hz, ver datasheet en el anexo 6

Para garantizar la carga de la bobina se define el tiempo τ , por lo tanto.

$$t = 4x\tau \quad T_1 > T_2$$

$T_2 = 4\tau$ Tiempo necesario para garantizar la carga en 4ª pico (I_0); $T_1 =$ se modificará su periodo, de tal manera:

$$T_2 = 4\tau = 11.7ms = T_2 = 12ms$$

La frecuencia mínima se establecería $F_{min} = 5Hz$ $T_{max} = 200ms$

$$T_{max} - T_2 = 200ms - 12ms = 188ms = 200ms$$

Ahora teniendo en cuenta la información anterior se obtendrán los valores de R1 y R2 respectivamente para el circuito del Lm555.

$$T_2 = R_2 C_1 \ln 2 \quad R_2 = \frac{T_2}{10^{-6} x \ln 2} = 17.312 \Omega = 18k$$

Tomando el valor de R2=T2

$$T_2 = R_2 C_1 \ln 2 = (18x10^3)x(10^6)x \ln 2 = 12.47ms$$

$$T_{1max} = (R_1 + R_2) C_1 \ln 2 \quad 0,2 = (R_1 + 18x10^3)x10^{-6}x \ln 2$$

$$R = 270.539 = 270K$$

$$T_1 = (R_1 + R_2) C_1 \ln 2 = (270x10^3 + 18x10^3)x10^{-6}x \ln 2 \quad T_{1max} = 199.6ms$$

Para el periodo total máximo se presentará de la siguiente manera:

$$T_{max} = 0.693(R_1 + R_2) C_1 = 199.6ms$$

$$T_{max} = T_{1max} + T_2 = 212.07ms$$

$$f_{min} = 5Hz$$

$$T_{1min} = 0.693(R_1 + R_2) C_1 = 12,47ms$$

$$T_{min} = T_{1min} + T_2 = 24,94ms$$

La frecuencia a la que va a operar la bobina en serie va a varia de 5Hz a 40Hz, el potenciómetro de 270k se conecta en serie a una R de 560 Ω ya que en una de las entradas del Lm555 se ubica un transistor (ver figura 26).

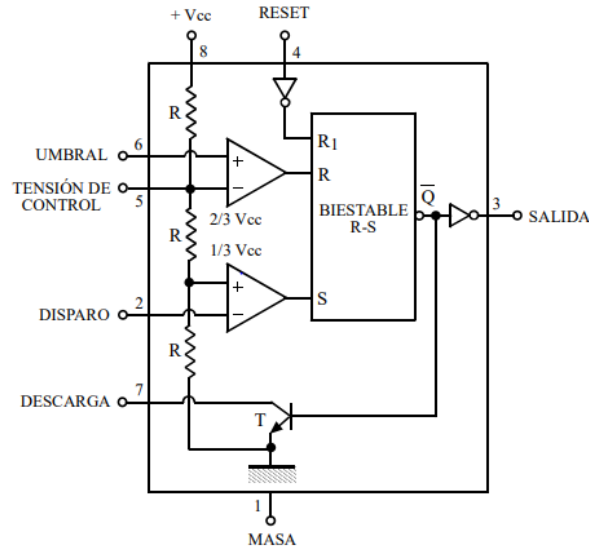


Figura 26 circuito interno Lm555

Para el periodo total máximo y mínimo quedarían $T_{1max} = 0.693(R_1 + R_2)C_1 = 199.9ms$ $T_{max} = T_{1max} + T_2 = 212.44ms$ y $T_{1min} = 0.693(R_1 + R_2)C_1 = 12.86ms$ $T_{min} = T_{1min} + T_2 = 25.33ms$

Se debe tener en cuenta que la señal de salida del Lm555 se producirá una señal cuadrada la cual será nuestro primer punto en la creación del circuito final, para esto se procederá con la parte de la visualización y de escoger a los transistores.

Los transistores están trabajando en modo de conmutación, teniendo en cuenta de que trabajan a una tensión nominal de 0.7V, se realiza el circuito para que sea inmune a la entrada de ruido electromagnético para que a su salida salgan campos sin el mayor ruido posible.

$$0.7 = U_E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad U_E = 0.7 \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Si $R_1 = R_2$ el nivel de ruido de la entrada deberá alcanzar 1.4V para que en la base haya 0.7V, ya teniendo presente esto se puede acoplar a la salida del Lm555 para poder continuar con el desarrollo del circuito de campos.

Se realiza una comprobación de corriente para obtener la tensión de entrada.

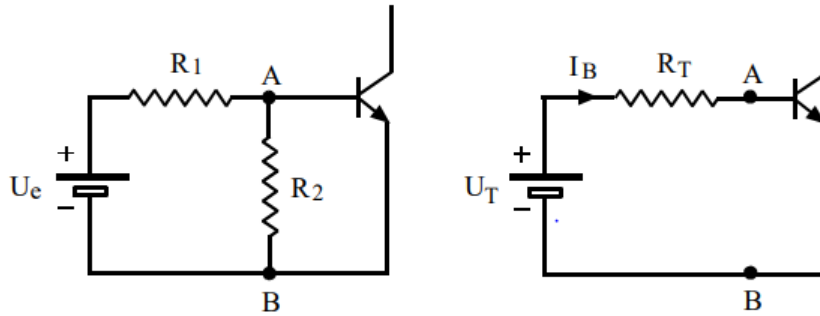


Figura 27 circuito en thevenin

Teniendo en cuenta para hacer pruebas se toma el valor inicial de 9V el cual alimentara el Lm555 y nuestro circuito en general, entonces cuando calculamos con 9v quedaría demostrado de la siguiente manera.

$$U_T = U_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 9 \cdot \frac{10 \times 10^3}{20 \times 10^3} = 4.5V$$

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5k\Omega$$

$$I_B = \frac{U_T - U_{BE}}{R_T} = \frac{4.5 - 0.7}{5 \times 10^3} = 0.76mA$$

$$V_{CE_{SAT}} = -0.5 + 0.7 = 0.2 \quad I_c = \frac{9 - 0.2}{10 \times 10^3} = 0.88mA$$

Se opta por usar un transistor BC547 el cual es un NPN de baja potencia, se muestra en la tabla toda su descripción, se observa la capacidad de corriente y tensión que logra soportar, temperaturas y las diferentes relaciones que tiene con respecto al emisor, base, colector, ver anexo 7 para el datasheet.

Para la conexión de la bobina, diodo antiparalelo de la bobina, se presentará la conexión de la bobina, resistencia y el diodo los cuales estarán en el mismo nodo con respecto a los transistores que se calcularon anteriormente, el diodo hará una función de descarga, esta será demostrada en la figura 28 donde se ve parte del esquema del circuito de campos electromagnéticos.

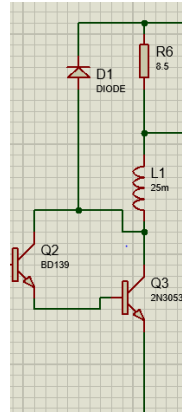


Figura 28 conexión transistores con bobina y diodo de descarga

El objetivo de esto es lograr controlar corrientes elevadas mediante corrientes de control bajas (controladas) haciéndolo trabajar en función de montaje en el caso de conmutación para el corte y la saturación, la ganancia de dicho conjunto es aproximadamente igual al producto de las ganancias individuales de ambos transistores, eligiendo una ganancia de T1 de $g_f=63$ (ya que para la elección del T1 se elegirá el BD139, en el cual su g o ganancia de corriente para estar comprendida entre 63 y 110.

Para el T2 una ganancia $g_f=20$ y se tendrá en cuenta el 2N3055 el cual su g está comprendida entre 20 y 70;

$$g = g_1 g_2 + g_1 + g_2 = g_1 g_2 = 1260$$

Para la tensión base emisor corresponde a la caída de tensión del umbral directa de ambos transistores.

$$U_{EB} = U_{EB1} + U_{EB2} = 0.7 + 0.7 = 1.4V$$

Y de la misma forma para la saturación de la tensión colector-emisor

$$U_{CE} = U_{CE1} + U_{CE2} = 0.2 + 0.7 = 0.9V$$

Se tendrá presente que cuando está en corte la corriente de su base será 0 y el transistor estará en corte, cuando se encuentre en saturación la corriente circulara por la bobina alcanzara un corriente pico de 4A por lo tanto esa será la corriente que circulara por ella.

$$I_{max} = I_0 = I_c = \frac{24\sqrt{2V} - 0.9}{8.5\Omega} = 3.8871 = 4A; I_B = \frac{9 - 1.4}{10 \times 10^3} = 3.1746mA$$

$$I_c \leq \beta_f I_B \quad I_B \geq \frac{I_c}{\beta_f} = \frac{4A}{1260} = 3.1746mA$$

Para el uso del transistor se tendrá en cuenta el transistor NPN BD139 el cual tiene la potencia media de 12.5W y admite una corriente de colector de hasta 1.5A y una ganancia comprendida entre 63 y 160, ver anexo 7 para el datasheet

Teniendo en cuenta la información anterior se procede a hacer la simulación del proyecto para verificar su respectivo funcionamiento, se mostrará a través de proteus sus señales y se explicará cómo será su función.

10.2.4. Esquemáticos del sistema

Una vez con las ecuaciones de la fuente se hará el diseño de la fuente de alimentación la cual estará en proteus simulada y tendrá su respectivo PCB, se representa todo el circuito y se tiene en cuenta todos los componentes con los cuales se hará la fuente y funcione y nos suministre la corriente que deseamos, el regulador 7805 posee una capacidad de manejar hasta 1A siempre y cuando su disipador soporte la temperatura para que no se dañe en el proceso de uso, véase la figura 29 y 30.

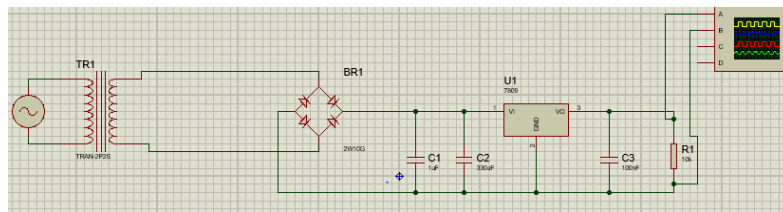


Figura 29 fuente de voltaje

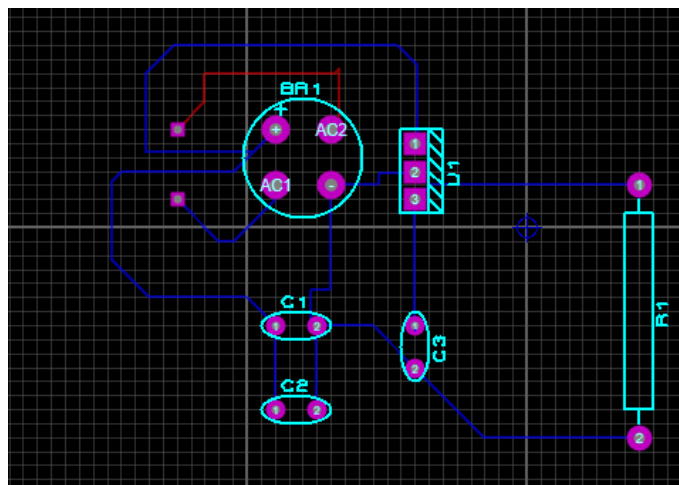


Figura 30 diseño PCB fuente de voltaje

Se tiene en cuenta que nuestro valor principal de uso ya sea en el centro de rehabilitación AVANT se usara la conexión de 120V y este será de uso efectivo para cuando se mueva o se lleve a domicilio.

En la salida de los campos electromagnéticos se tendrá en cuenta lo siguiente para poder usar el componente y verificar su respectivo funcionamiento, constara con dos salidas las cuales serán para la bobina que se planteó anteriormente.

Este estará conectado a una fuente de 120V para lograr obtener la corriente deseada para que las bobinas funcionen a la intensidad deseada

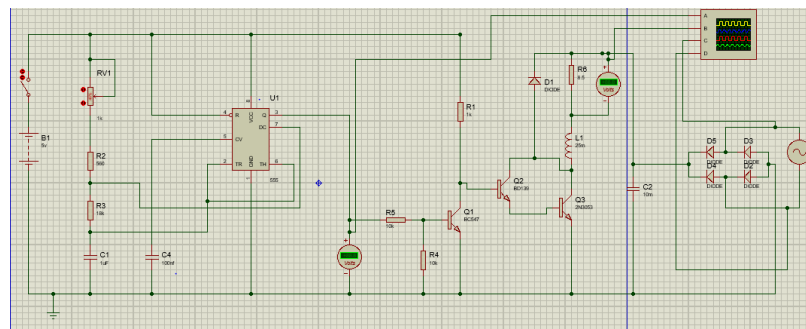


Figura 31 diseño del sistema de campos variables

El circuito tendrá un control de on /off a la entrada para que el circuito no inicie de una al momento de conectarlo a la fuente de alimentación.

Adicional los dos voltímetros están siendo ubicados un a la salida del 555 (pin 3) y el segundo está siendo ubicado en paralelo a la resistencia de 10 Ω . Véase figura 35

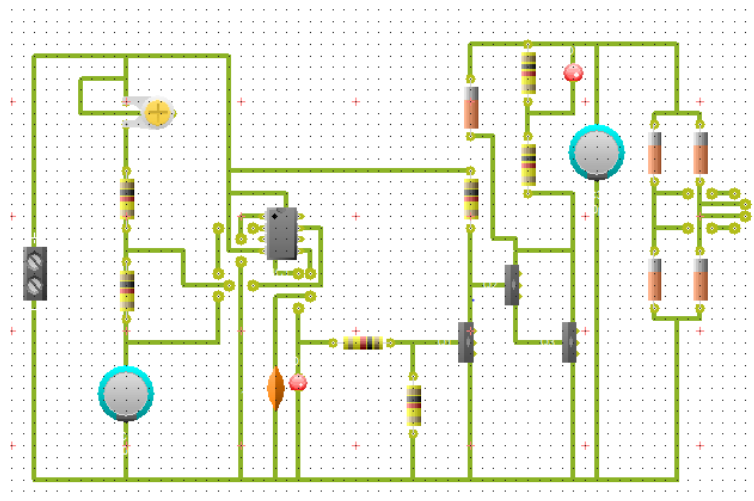


Figura 32 PCB del circuito forma física

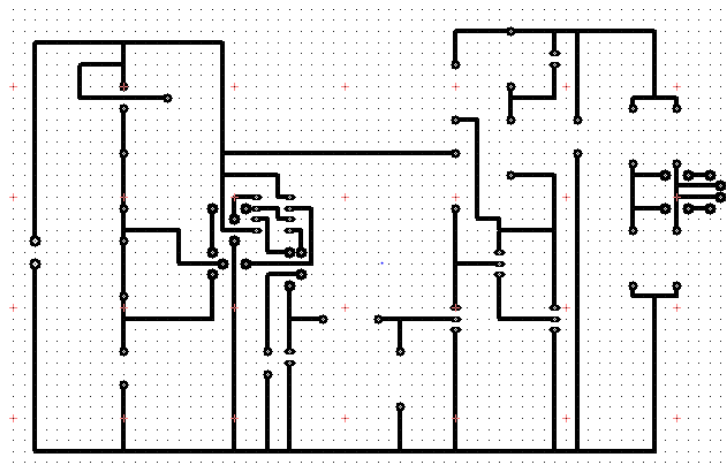


Figura 33 impresión en PCB del circuito

10.2.5. Simulaciones del subsistema B

Se realiza simulación del sistema que manejara todo el proceso de los campos electromagnéticos (Figura 34) teniendo en cuenta que se están ubicando dos voltímetros y adicional se mostrara la salida de la señal para las bobinas, desde la primera señal que se ve cuadrada la cual es el pulso que está enviando el Lm555 y se mostrara con el Voltímetro 1 (salida pin 3 555), para la segunda señal se está observando donde está ubicado el voltímetro 2 (resistencia en paralelo de 10Ω) y las dos últimas señales son la salida donde se ven los diodos (salida del circuito) las cuáles serán las usadas con los solenoides.

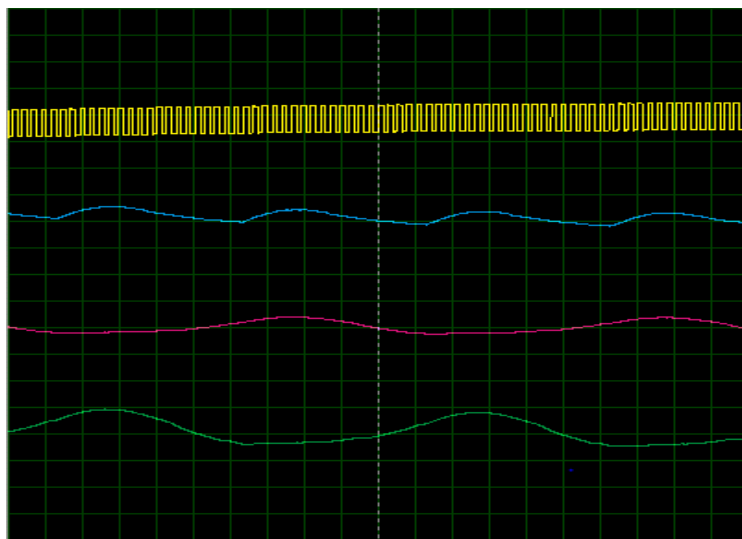


Figura 34 simulación del circuito de campos en proteus

En la gráfica de la simulación se tiene en cuenta 4 señales que están representando las salidas y los voltímetros de prueba que se están poniendo en el sistema, se identifican de la siguiente manera,

- Amarillo: Señal del 555 en la salida del pin 3
- Azul: Señal mostrada del segundo voltímetro después de poner los diodos, transistores y la bobina.
- Morada: señal con variación mínima del circuito
- Verde: modificación de la salida de la señal en incremento de este.

El potenciómetro de entrada que está en el circuito se presentara con alternativas de muestreo y selección de campos electromagnéticos a usar.

Tabla 6. Pruebas según tamaño de pierna

SEÑAL	VARIACION	TIPO DE PIEL
15 Gauss	A	Pierna delgada
30 Gauss	B	Pierna delgada
45 Gauss	C	Pierna con musculo/delgada
60 Gauss	D	Pierna con musculo
70 Gauss	E	Pierna con musculo
80 Gauss	F	Pierna con musculo/sobrepeso
90 Gauss	G	Pierna con sobrepeso
100 Gauss	H	Pierna con sobrepeso

Teniendo presente la anterior tabla se procederá a usar los campos electromagnéticos en el paciente, estos datos pueden variar dependiendo de los solicitado por el médico especialista o fisioterapeuta, se podrá usar entre los rangos de 0 a 100 Gauss, pero bajo recomendaciones se usarán de esta manera para evitar lesiones y tensiones en los músculos de los pacientes.

Se tendrá una pantalla LCD la cual mostrará la variación de la frecuencia que está teniendo el circuito.

10.2.6. Plan de pruebas del subsistema B

- Medición del circuito de los campos electromagnéticos y de la salida de los solenoides para tener en cuenta la intensidad de campo sea la deseada.

Objetivos de la prueba:

Se debe tener presente que, al medir el circuito del subsistema, el principal objetivo será comprobar la salida de la intensidad de los campos electromagnéticos.

Requerimientos a comparar:

- Se debe medir la corriente de salida del circuito variándolo para observar cambios
- Se comprueba la señal enviada por el Lm555 para verificar que funcione la frecuencia que se está pidiendo
- El acoplamiento de las etapas del circuito y los solenoides se medirán con un Gaussímetro comprobando la intensidad de salida.

Tabla 7 plan de pruebas de campos electromagnéticos

	Mala	Regular	Buena	Excelente
	<=2	3	4	5
El subsistema controla los campos electromagnéticos de manera adecuada variándolos según lo necesitado				x
El Lm555 conecta y envía la señal que se solicita a los transistores para lograr a la salida el campo necesitado.			x	
Se verifica los solenoides para lograr la cantidad de campos solicitados			x	
Medición de componentes, se probarán resistencias, condensadores, transistores, diodos, solenoides con sus respectivos componentes (multímetro, amperímetros, gaussímetro)				x

10.3. Esquemático del sistema

El sistema estará compuesto por los dos subsistemas mostrados anteriormente los cuales tendrán los siguientes componentes:

- Arduino
- Driver de motor L298
- Fuente reguladora de 120
- Sistema de campos electromagnéticos
- Salida de motores
- Salida de solenoides

Todo el sistema estará comprendido por el subsistema A y el subsistema B, cada uno manejará un circuito independiente para lograr que el sistema quede pequeño y no ocupe tanto espacio al momento de montarlo. Véase figura 35 y 36

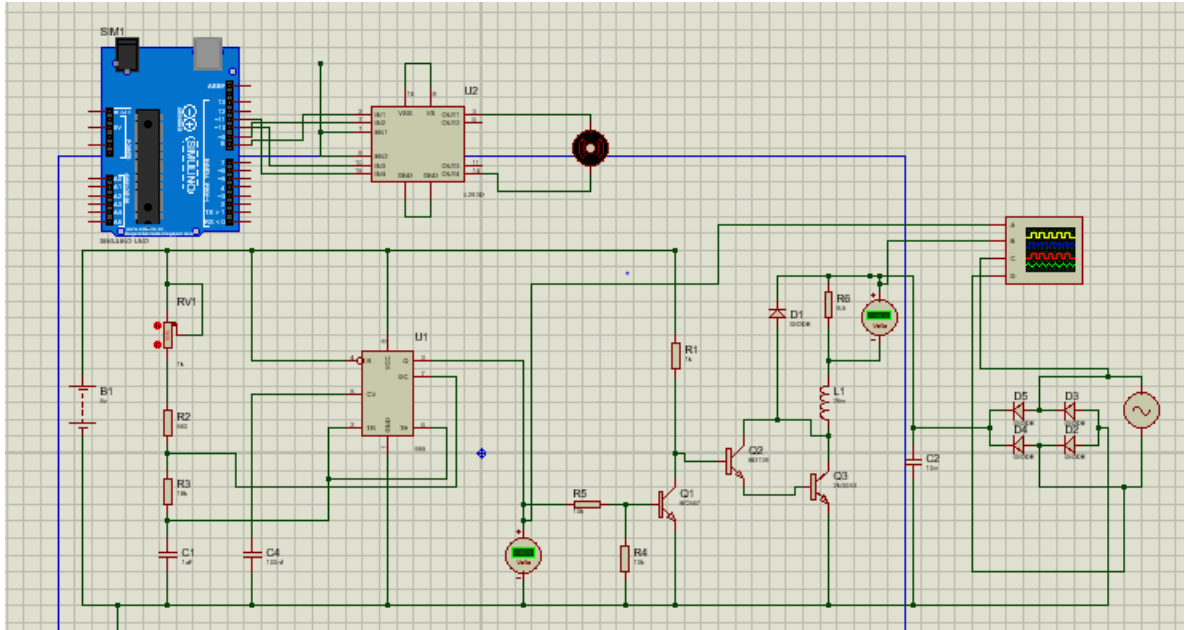


Figura 35 Esquemático del sistema

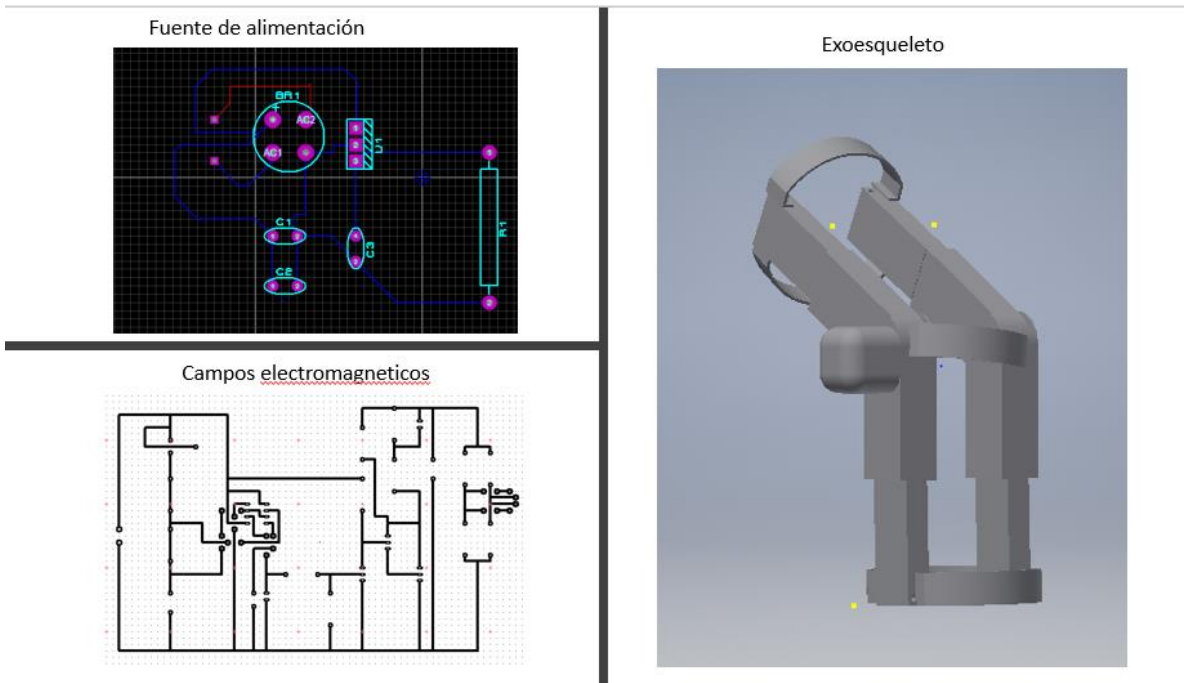


Figura 36 diseño del subsistema

10.3.1. Simulación del sistema

El sistema estará compuesto por dos subsistemas (Exoesqueleto y campos electromagnéticos) el cual tendrá simulaciones de manera independiente, como se mostró

anteriormente cada uno de ellos estará dispuesto a una manera independiente, pero estarán ubicados en el mismo lado para una mejor optimización de espacio.

11. PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

Para que el proyecto tenga continuidad, se enunciarán las pruebas para facilitar el trabajo para poder hacerse en cualquier momento, esto facilitará que cuando se hagan modificaciones o alguna mejora a futuro se puedan hacer nuevas validaciones del proyecto, algunas pruebas se harán de manera manual para garantizar que tanto en los subsistemas como en la implementación final halla un correcto funcionamiento.

Cada uno de los planes de prueba permitirá mitigar los riesgos referentes a los cuales pueda enfrentar el prototipo, ya sea por las condiciones de la ubicación final o de los lugares al cual se vaya a trasladar.

Las pruebas se harán en todo el proceso de implementación por subsistemas de manera que se complete a totalidad, las pruebas se ajustarán a lo que se posee ya que por temas de contingencia no se podrán hacer las pruebas en su totalidad

11.1. Plan de pruebas de componentes

Para la realización de las pruebas se harán de dos maneras, subsistema A Exoesqueleto y subsistema B Campos electromagnéticos.

Se tendrá presente que el plan de pruebas se hará por cada subsistema en el cual en este capítulo se mostrara como se hará por medio de componentes, sin embargo, en las siguientes secciones se tendrán en cuenta el subsistema completo para poder hacerlas.

Se realizarán pruebas para cada uno de ellos con su respectivo componente, desde cada uno de los subsistemas hasta el sistema completo, en este caso se mostrará cómo será por subsistema, como se probarán los componentes y que equipos se usarán para cada uno de ellos.

Tabla 8 prueba de componentes de los subsistemas

SELECCIÓN DE COMPONENTES DE SUBSISTEMAS								
Entradas	VALOR DE SUBSISTEMAS							
	Nombre de prueba	Componentes	Cantidad de ensayos para pruebas de componentes	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento de medición	Datos simulados o ficha técnica	Dato medido en banco de prueba	% frente al requerimiento
E1	Control de exoesqueleto	Motor	3	3 minutos	Inclinómetro	Según datos movimiento	NA	NA
		Driver de motor	3	5 minutos	Multímetro	VAQLOR	NA	NA
E2	Campos electromagnéticos	Fuente regulada	3	10 minutos	Multímetro	VAQLOR	NA	NA
		Equipo de magnetoterapia	3	10 minutos	Multímetro, osciloscopio	VAQLOR	NA	NA
		Bobinas o Solenoides	3	10 minutos	osciloscopio	VAQLOR	NA	NA
Salidas	VALOR DE REQUERIMIENTOS							
S1	Control de exoesqueleto	Motor	3	3 minutos	Inclinómetro	Según datos de movimiento	NA	NA
		Driver de motor	3	5 minutos	multímetro	VAQLOR	NA	NA
S2	Campos electromagnéticos	Fuente regulada	3	10 minutos	Multímetro	VAQLOR	NA	NA
		Equipo de magnetoterapia	3	10 minutos	Multímetro, osciloscopio	VAQLOR	NA	NA
		Bobinas o solenoides	3	10 minutos	osciloscopio	VAQLOR	NA	NA

Para realizar las pruebas de funcionamiento de los sistemas se tendrá en cuenta que estas no se realizarán en humanos, para esto se usarán diferentes dispositivos los cuales serán de vital importancia para controlar tanto la velocidad del dispositivo, fuerza y control de ángulos, en los cuales se harán una serie de pruebas consecutivas y por tiempos para verificar su buen funcionamiento.

Para la parte de los campos electromagnéticos se tendrá en cuenta los procesos desde la fuente hasta las bobinas o solenoides que transmitirán la intensidad de campo electromagnético, se realizaran diversas pruebas en donde se adaptaran las pruebas debido a la contingencia que atraviesa el país.

Se realizarán diferentes parámetros para realizar el plan de pruebas de cada subsistema, que tipo de tablas manejaran y adicional con que instrumentos se usaran en cada uno de ellos.

Algunas pruebas de componentes se basarán en la mediad y comparación de componentes sencillos como las resistencias y los transistores, para esto se usará el multímetro y el valor de tabla de colores de las resistencias. En la tabla 9 se mostrará cómo se harán las pruebas de estos además de la identificación de todos los componentes que lleva el prototipo para comprobar que funcionen adecuadamente.

Tabla 9 plan de pruebas de componentes

Valor de Resistencia según lo mostrado en el prototipo	Valor de resistencia comprado	Valor medido de resistencia	% de diferencia entre el valor de la table VS el valor real

11.2. Plan de pruebas del subsistema.

11.2.1. Subsistema A Exoesqueleto

Las pruebas del subsistema A el cual está compuesto por la parte del exoesqueleto se deben tener presente los componentes que se van a usar, en este caso se maneja los dos motores, el L298 el cual es el driver, el Arduino y el bluetooth, con estos 4 componentes ya implementados se hacen pruebas de movimientos angulares del exoesqueleto en donde se confirmaran de dos maneras, una de ella es análoga y la otra con un dispositivo digital el cual es el inclinómetro, se realizara una tabla en donde se compruebe que funciones de la manera adecuada y bajo los parámetros que se dieron en los requerimientos

Como se muestra en el diseño detallado, cada subsistema tiene un respectivo plan de pruebas. Se probará el movimiento del exoesqueleto con el inclinómetro teniendo en presente cada uno los movimientos establecidos en los requerimientos (0° a 120°) del proyecto (plano sagital en extensión y flexión) y además usando el control que se realiza a través de la

programación para generar los movimientos en los ángulos deseados sin afectar la pierna del paciente.

Las pruebas con los motores se harán de manera independiente antes de montar para confirmar el movimiento y velocidad que se está generando con la caja reductora y a través de la programación realizada se realicen los grados tal y como indica al momento de dar la instrucción.

Para el subsistema A el cual se necesita saber con certeza el ángulo con el cual se hacen los movimientos, se usará un inclinómetro digital en donde se compruebe el ángulo con respecto a lo que se envía en la interfaz.

Objetivos de la prueba:

Las pruebas que se realizaran para el subsistema A será desde la comprobación de funcionamiento de los componentes, una vez hecho se harán pruebas de ángulos de dos maneras, con un inclinómetro se comprobaran que lo que se envía a través del dispositivo bluetooth coincida con los movimientos que se están haciendo físicamente en el proyecto.

Conforme a lo mencionado anteriormente las pruebas de movimiento angular se realizarán tanto en el subsistema como en la integración.

- El ángulo con el cual se mueve la extremidad se debe verificar de dos maneras, por medio de un visualizador digital y manual.
- El acoplamiento del motor ayudara a la medición exacta a la hora de efectuar el movimiento.

La tabla deberá estar compuesta de la siguiente manera para demostrar que el movimiento angular se dé la manera correspondiente.

Tabla 10 plan de pruebas subsistema A

Valor a medir	Valor visto en Arduino	Valor real
10°		
20°		
40°		
50°		
70°		
90°		
110°		

En la tabla 10 se muestra un plan de pruebas el cual mostrara la estabilidad y accesibilidad del prototipo para poder desarrollarlo, hay unas métricas específicas para así lograr que el prototipo sea lo más exacto o preciso posible.

Tabla 11 tareas a realizar subsistema A

<i>Tarea a realizar</i>	<i>Estabilidad</i>				<i>Accesibilidad</i>			
	Mala <=2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5	Inestable <= 2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5
El exoesqueleto genera los ángulos fácilmente								
El subsistema puede adecuarse y moverse en cualquier parte								
El subsistema debe encontrarse en un área libre de humedad								
El subsistema mostrara buen funcionamiento desde la interfaz								
El subsistema debe tener el correcto acceso la red eléctrica								

11.2.2. Subsistema B Campos electromagnéticos

Para el plan de pruebas del subsistema b el cual son los campos electromagnéticos se realizará pruebas de ubicación, frecuencias y adaptaciones en las cuales se podrá observar y ajustar dependiendo de la necesidad que tenga el paciente.

- Medición del circuito de los campos electromagnéticos y de la salida de los solenoides para tener en cuenta la intensidad de campo sea la deseada.

Objetivos de la prueba:

Se debe tener presente que, al medir el circuito del subsistema, el principal objetivo será comprobar la salida de la intensidad de los campos electromagnéticos.

Requerimientos a comparar:

- Se debe medir la corriente de salida del circuito variándolo para observar cambios
- Se comprueba la señal enviada por el Lm555 para verificar que funcione la frecuencia que se está pidiendo
- Se adaptará la manera de observar las frecuencias del circuito para que se puedan observar a través de una pantalla LCD en la cual se vea el cambio y se compruebe que funciona el 555.

En la tabla 11 y tabla 12 se propone un plan de pruebas en el cual se realice de manera clara y concisa como se mostrará los resultados y como se ajustaron por las limitaciones que se encuentran durante este año.

Tabla 12 Plan de pruebas de subsistema B

<i>Tarea a realizar</i>	<i>Estabilidad</i>				<i>Accesibilidad</i>			
	Mala <=2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5	Inestable <= 2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5
El circuito 555 funciona y variara las frecuencias								
El subsistema puede variar la frecuencia según se desee								
El subsistema debe encontrarse en un área libre de humedad								
El subsistema mostrara buen funcionamiento desde la interfaz								
El subsistema debe tener el correcto acceso la red eléctrica								

11.3. Plan de pruebas de integración.

La integración total del prototipo se tendrá en cuenta las pruebas ya realizadas de ambos subsistemas y adicional de eso se realizarán nuevas pruebas en donde se implementará todo de tal manera que se pueda usar en cualquier momento.

- Probar los diferentes tamaños y movimientos del exoesqueleto para que se ajuste a la pierna del paciente, teniendo en cuenta las medidas de la pierna y ajuste al momento de colocarla para que el movimiento sea el adecuado y evite alguna lesión aún más grave.
- Además, de probar que los estándares de seguridad, teniendo en cuenta que este siempre debe estar activo y debe seguir las respectivas normas de corriente y fisioterapia para el correcto uso por el médico especialista.
- El prototipo realizara movimientos de manera controlada para que no haya algún paso abrupto durante la terapia y provoque una lesión aún mayor en el paciente.
- Se probará la interfaz guía del control para que el paciente pueda realizar la terapia, verificando movimiento, intensidad y frecuencias en el prototipo.
- Probar que el sistema encienda y apague correctamente, iniciando el sistema no deberá generar ni moverse sin orden previa y además que se encuentre bien acoplado al paciente.

11.4. Plan de pruebas del sistema.

Se realizaran pruebas del funcionamiento completo del sistema para poder observar funcionamiento independiente del exoesqueleto y campos electromagnéticos o de manera simultánea, además se verificará movimientos del exoesqueleto e intensidad de los campos electromagnéticos usando sus respectivos instrumentos de medida, se realizarán diferentes pruebas con diferentes ángulos, tamaños y pesos para verificar que el motor funcione de manera correcta según las ordenes indicadas desde la entrada hasta la salida del sistema.

Tabla 13. Plan de pruebas del sistema

SELECCIÓN DE PRUEBAS DEL SISTEMA							
Entradas	VALOR DE REQUERIMIENTO						
	Nombre de prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento de medición	Datos simulados o ficha técnica	Dato medido en banco de prueba	% frente al requerimiento
E1	Control de exoesqueleto	3	3 minutos	Inclinómetro	Según datos movimiento	NA	NA
E2	Campos electromagnéticos	3	5 minutos	Multímetro, osciloscopio	VAQLOR	NA	NA
Salidas	VALOR DE REQUERIMIENTOS						
S1	Control de exoesqueleto	3	3 minutos	Inclinómetro	Según datos de movimiento	NA	NA
S2	Campos electromagnéticos	3	5 minutos	Multímetro, osciloscopio	VAQLOR	NA	NA

Tabla 14. Plan de pruebas del sistema- observaciones

Pruebas	Comentarios
Ubicación	La ubicación del prototipo estará totalmente aislada de humedad y de cualquier problema externo en el cual se vea afectado el prototipo
Adecuación	El sistema debe contar con una red eléctrica adecuada y una señal constante de conexión a la red
Red Eléctrica	El sistema debe tener una conexión estable para evitar daños en los instrumentos
Ambiente	El sistema estará libre de cualquier posibilidad de daño por temas de humedad
Interfaz	El dispositivo de uso deberá ser totalmente estable para el uso de la fisioterapeuta

A partir de los resultados que generan las pruebas se proceden las respectivas correcciones con el fin de ejecutar nuevamente las mismas pruebas sin fallos para dar solución a la parte final antes de la implementación final.

Se tendrán en cuenta tipos de pruebas de funcionalidad, peso y diseño, seguridad de uso y rendimiento.

12. DISEÑO INDUSTRIAL.

12.1. Descripción del contexto:

Para el diseño del prototipo se tendrá en cuenta la implementación de dos tecnologías, exoesqueleto y campos electromagnéticos, los cuales serán usados en la pierna de la dolencia y el cual será controlado de forma remota desde el cual se enviarán todas las instrucciones para su respectivo uso.

Para que el prototipo funcione en condiciones óptimas no debe estar cerca de fuentes hídricas o lugares con abundante humedad para evitar cortos en el dispositivo de rehabilitación, este debe ponerse directamente en la pierna del paciente, pero no debe tener ningún accesorio metálico, tampoco debe tener marcapaso o estar en estado de embarazo.

12.2. Casos de uso

Caso de uso típico:

El exoesqueleto será ajustable al tamaño de la pierna del paciente, para poder usarlo se debe abrir las correas del exoesqueleto y luego poner la pierna con cuidado, una vez este puesto, se vuelven a poner las correas para ajustarlo y evitar que este se mueva o se caiga en el proceso de la rehabilitación.

Una vez se encuentre el dispositivo puesto en la pierna, este será controlado de manera inalámbrica para poder ejercer los movimientos establecidos y generar los campos electromagnéticos para ayudar en el apoyo de la rehabilitación, este tendrá un tiempo preestablecido para la terapia y una vez acabada, se quitarán las correas y el paciente sacará la pierna.

Caso de uso atípico.

- En caso de que las correas del exoesqueleto no ajusten como se debe, se deberá cambiar las correas o el dispositivo ajustable.

- En caso de que el sistema de campos electromagnéticos empiece a generar molestia en las piernas por error en la intensidad botada, se deberá dejar de usar y enviar al técnico encargado o proveedor del producto para el respectivo arreglo.

- En caso de que haya humedad en el dispositivo no se podrá usar hasta que se compruebe que este no está siendo afectado generando cortos, si ese es el caso deberá llevarse al proveedor o técnico para realizar la respectiva limpieza y prevención.

- En caso de que el motor que maneja la posición del exoesqueleto deje de funcionar o funcione como no se debe, no se usara hasta generar el cambio correspondiente del motor o hacer el arreglo de este.

Requerimientos industriales

De uso y función:

- El exoesqueleto tendrá almohadillas para evitar que el paciente tenga roce directo con el dispositivo y genere incomodidad al usarlo.

- El prototipo se usará de manera inalámbrica para poder tener facilidad en el manejo de este mismo.

- Todos los cables estarán escondidos de tal manera que no afecten la terapia o el uso del fisioterapeuta.

- El prototipo se podrá usar de manera portátil para ayudar a las terapias ya sean en el lugar del centro de rehabilitación o a domicilio.

- El prototipo no tendrá un peso muy grande para evitar dolencias por el uso de este.

De estructura y producción.

- Las dos tecnologías implementadas serán controladas de manera inalámbrica ya sea de manera independiente o de forma paralela para evitar cables físicos de conexión.

- Se realizará el exoesqueleto liviano para que el paciente tenga facilidad al levantarlo

- Se tiene en cuenta la normatividad de quipos médicos para el uso del dispositivo

- Se tiene en cuenta las normas eléctricas para el manejo de cables con sus respectivos colores de identificación.

- El prototipo tendrá un presupuesto aproximado de 5'000.000 para el desarrollo funcional de este.

De estética e identificación.

- El dispositivo se entregará de manera física, bajo estándares en los cuales sea cómodo, tenga presentación y sea liviano.

Materiales.

- Cables de conexión (su calibre varía dependiendo de lo que conecte)
- Plástico
- Elementos metálicos para funcionamiento del exoesqueleto

12.3. Requerimientos de producción

De estructura:

- Número de componentes:
- Carcasa: plástico y metal
- Unión: arduino, tiva
- Centro de gravedad: como esta usado en dos partes, para este se tendrán en cuenta 3 partes, muslo, rodilla y gemelos
 - Estructurabilidad: su estructura será sólida y resistente a golpes y flexible para el movimiento

Técnico productivo:

- Para lesiones u operaciones de ligamentos cruzados y/o colaterales.
- Excelente estabilización lateral por medio de férulas para prevenir desviaciones varus o valgus.
 - Fácilmente ajustable a diferentes contornos de pierna por medio de gancho y velcro.
 - Longitud ajustable desde 19" hasta 27".
 - Bisagra fácil de configurar.
 - Graduación en extensión de 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°.
 - Graduación en flexión de 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°.
 - Soportes internos acolchados y extraíbles.
 - Importado.

Legales y normativos:

El sistema de campos electromagnético tiene registro internacional de uso bajo diferentes normas

12.4. Requerimientos de producción

- Formales:

El exoesqueleto tendrá un diseño similar a los dispositivos puestos en el estado del estado del arte, sin embargo, este no será autónomo como ellos ya que se necesita ser controlado por medio remoto para verificar los grados adecuados con sus respectivas repeticiones.

- Unidad:

Los componentes no tendrán contacto directo con los pacientes

- Interés:

Rehabilitación

- Superficie:

El prototipo será de color blanco y azul rey ya que estos son los colores estándares de uso en el centro de rehabilitación.

- Ubicación:

El prototipo será usado en la pierna desde el muslo hasta el tobillo

- Información:

Tendrá manual de uso tanto del exoesqueleto como del uso de los campos electromagnéticos.

12.5. Materiales, procesos y normativas

Materiales:

- Aluminio rígido
- Banda elástica tipo malla
- Material plástico para la impresión 3D
- Material hipo alergénico

Normativas:

Los campos electromagnéticos se manejarán bajo las normas especificados en la norma IEC CISPR 11, Grupo 2, clase A, el prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-2 para asegurar inmunidad en el equipo para las descargas electroestáticas, el prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-3 para asegurar la inmunidad del equipo cuando es sometido a un campo electromagnético.

12.6. Planificación de producción:

Opción #1

Se genera una unión de tecnologías en el que se incluye campos electromagnéticos y exoesqueleto de tal manera que se pueda controlar de manera externa para su respectivo funcionamiento, además que podrán funcionar de manera paralela o independiente, se debe tener en cuenta las dimensiones del exoesqueleto y que estas deben ser ajustables al tamaño de la pierna del paciente, se dispone de uno o dos motores para el respectivo diseño, ya que se estará haciendo un movimiento de flexión/extensión para hacerlo de manera síncrona para evitar daños en la rodilla después del postoperatorio.

El o los motores podrán manejar un torque el cual permita soportar el material y la pierna del paciente, la programación del motor será capaz de mostrar los grados que se van a usar a través de la interfaz gráfica para generar el movimiento, este contaría con dos bobinas tipo de solenoides y el exoesqueleto se ajustara por medio de motores.

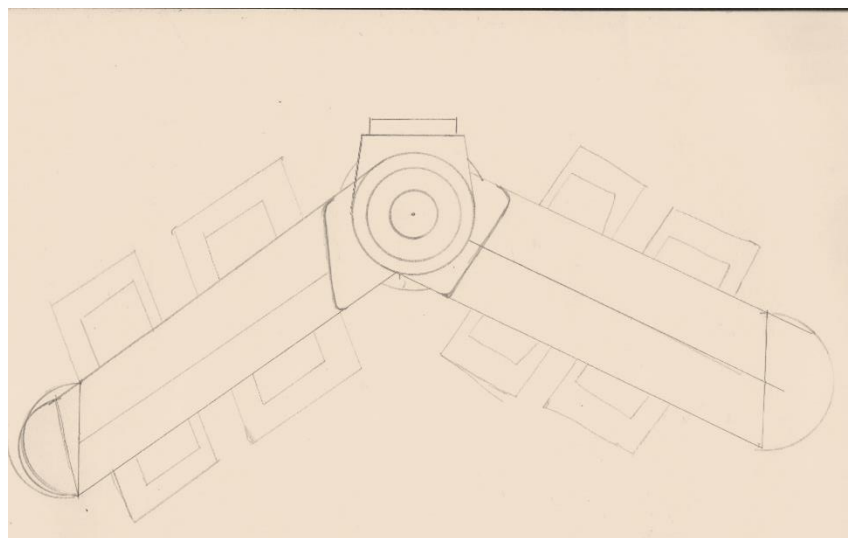


Figura 37 vista lateral del primer diseño del exoesqueleto

Opción #2:

Se tendrán en cuenta también ambas tecnologías, pero con funcionamiento independiente y de manera externa los campos electromagnéticos, se usará primero una de las tecnologías, dependiendo del uso que se esté solicitando para el debido proceso de la terapia, este también contará con dos bobinas tipo solenoides las cuales se podrán controlar de manera remota, además el exoesqueleto tendrá un motor el cual supla la fuerza y tenga un punto de equilibrio para evitar generar un mal movimiento durante la terapia.

Evaluación y presentación de la alternativa a desarrollar.

Se tendrá en cuenta la primera opción que es la que incluye ambas tecnologías en el mismo dispositivo para el apoyo en la rehabilitación de la lesión de meniscos, esta será de una manera más fácil de usar, más amigable con el uso del fisioterapeuta y por comodidad del paciente.

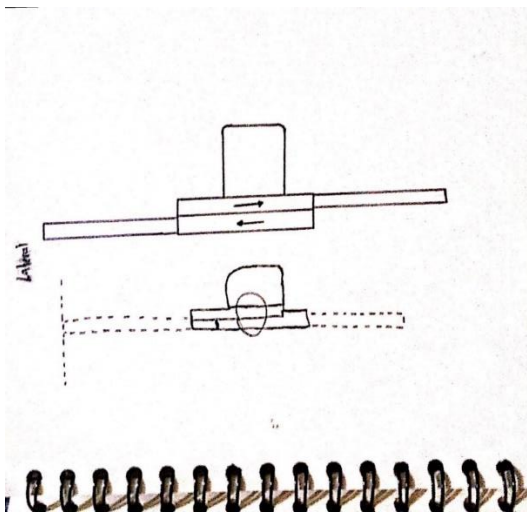


Figura 38 segundo diseño del exoesqueleto

12.7. Diseño detallado

Se tendrán en cuenta las normas internacionales de uso de campos electromagnéticos para el uso en personas, además de la normatividad técnica de equipos médicos de Colombia para que no se vean afectados los huesos y los tejidos de los pacientes.

El diseño del exoesqueleto que se realice se tendrá en cuenta bajo los requerimientos solicitados por la fisioterapeuta.

Los campos electromagnéticos se manejarán bajo las normas especificados en la norma IEC CISPR 11, Grupo 2, clase A, el prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-2 para asegurar inmunidad en el equipo para las descargas electroestáticas, el prototipo funcionara bajo la norma IEC 61000-4-3 para asegurar la inmunidad del equipo cuando es sometido a un campo electromagnético.

12.8. Selección de materiales.

Los materiales escogidos para el prototipo de exoesqueleto son:

- Aluminio rígido
- Banda elástica tipo malla
- Material plástico para la impresión 3D
- Material hipo alergénico

Selección de sistemas mecánicos.

Sera ajustable mediante cierre de material de velcro o cintas ajustables.

Definición de componentes principales.

El prototipo estará compuesto por dos materiales principales para el soporte y cubierta, en este caso sería el aluminio rígido el cual es un componente flexible, lo suficiente para poder establecer una medida de movimiento, además ira acompañado por impresión 3D para una mayor estética y resistencia.

El cableado estará bajo los parámetros de protección eléctrica de la NTC la cual indica los colores por cable, se tiene en cuenta que los colores básicos para positivo son rojo, amarillo o azul; para la tierra es color verde y se debe tener en cuenta que dependiendo de la tensión este puede ser verde con amarillo y para el negativo color negro, café.

Para los componentes, estos estarán divididos en varias partes, en la parte física este estará compuesto por diferentes piezas para unir las entre ellas y generar un soporte lo suficientemente fuerte y que no sea pesado para, ya de manera interna estarán los motores los cuales irán con los dispositivos eléctricos los cuales estarán protegidos de cualquier producto de humedad exterior para no dañar los componentes.

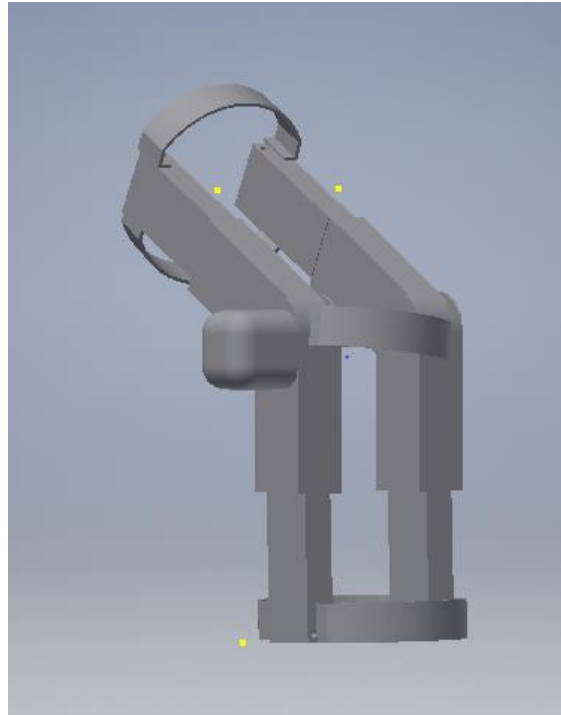


Figura 39 exoesqueleto en inventor

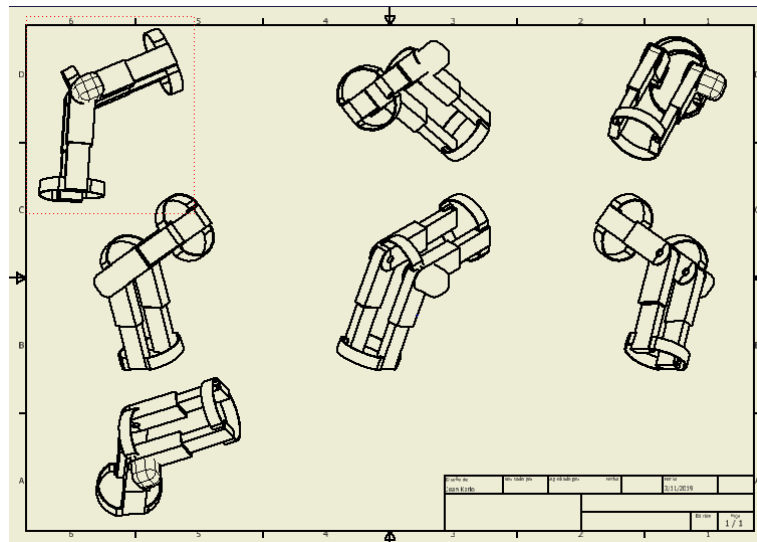


Figura 40 plano exoesqueleto

El prototipo estará compuesto por diferentes partes para obtener como resultado final el exoesqueleto.

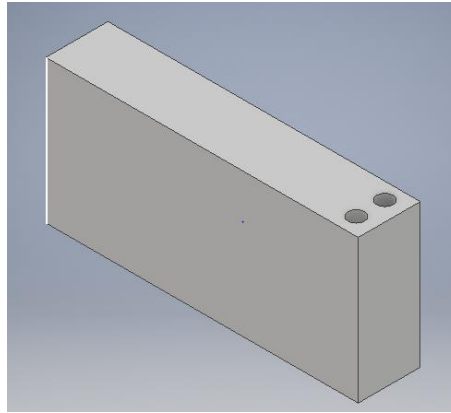


Figura 41 extension superior e inferior

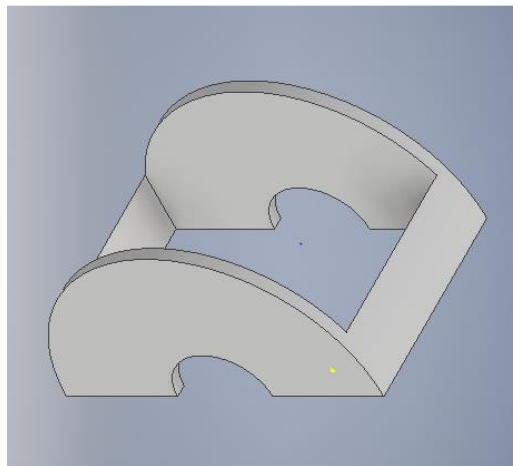


Figura 42 componente de rotación en la rodilla

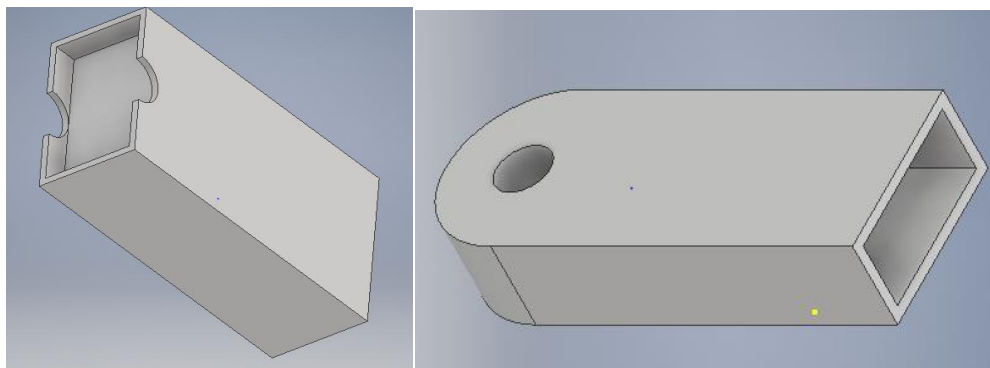


Figura 43 base inferior para soporte de la pierna

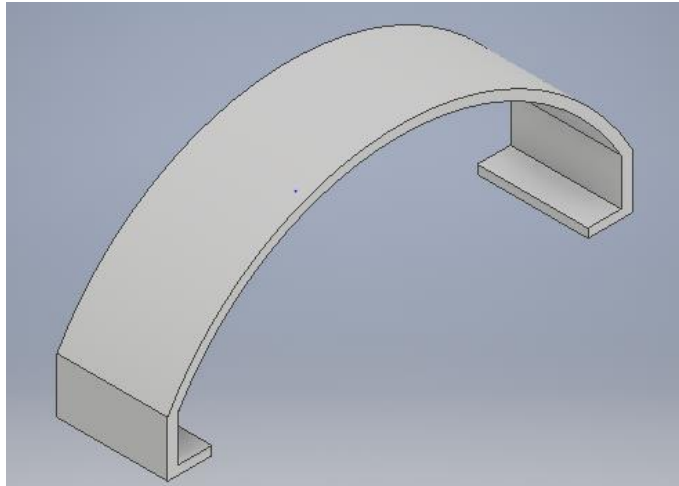


Figura 44 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto

Análisis Ergonómico

El diseño del exoesqueleto no será afectado ni afectará al paciente ya que se diseñará de tal manera esta pueda ser cómoda tanto en uso como en aplicación.

12.9. Diseño industrial final

Para proyecto 2 el diseño del exoesqueleto se plantea de la siguiente manera:

- Esqueleto
- Ergonomía del esqueleto
- Ubicación de motores
- Ubicación de pantalla
- Ubicación de bobinas
- Ubicación de los arduinos
- Fuente de alimentación

Simulación completa del exoesqueleto:

Teniendo presente el primer diseño que se propuso durante proyecto se decide hacer las correspondientes mejoras e incluir la caja en la cual ira montado todo el diseño electrónico del proyecto, tanto motores del exoesqueleto como el circuito de los campos electromagnéticos, el esqueleto base queda de la siguiente manera y sus planos se verán así.

La primera pieza que se tiene presentes es la base del exoesqueleto la cual está compuesta de dos partes y de manera separada, pero mantiene las mismas dimensiones, la parte principal está hecha de acero inoxidable y ligero, no pesa mucho, perfecto para el uso de los pacientes.

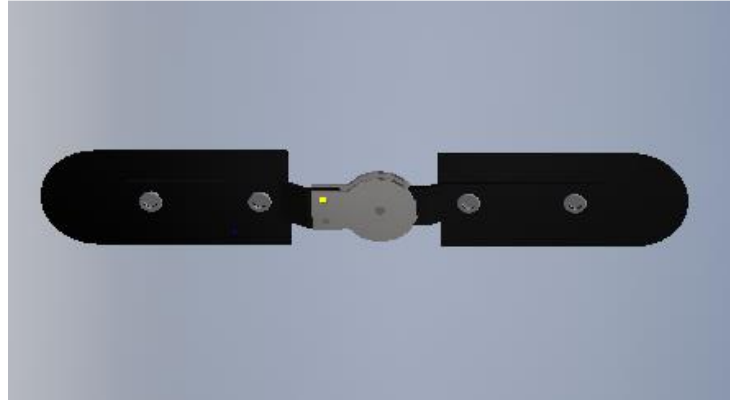


Figura 45 Simulación de un soporte del exoesqueleto

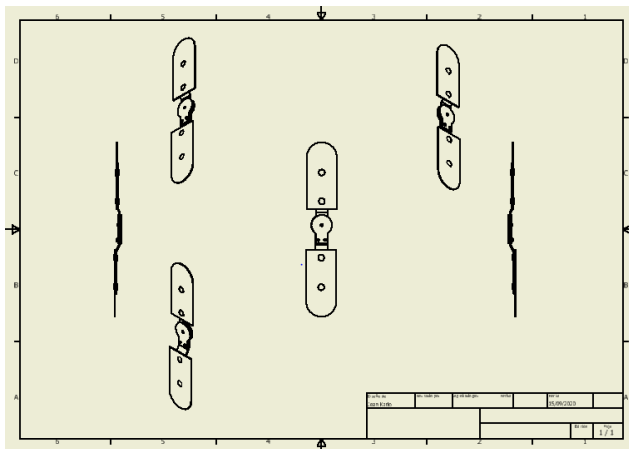


Figura 46 Planos de soporte de exoesqueleto

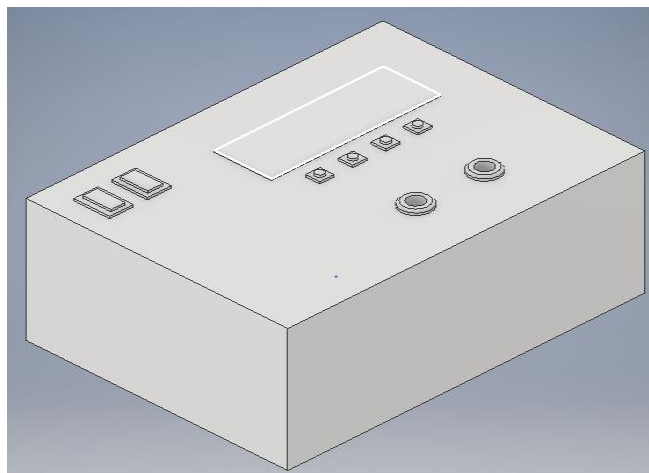


Figura 47 Caja contenedora de las tarjetas programadoras y salidas de las bobinas

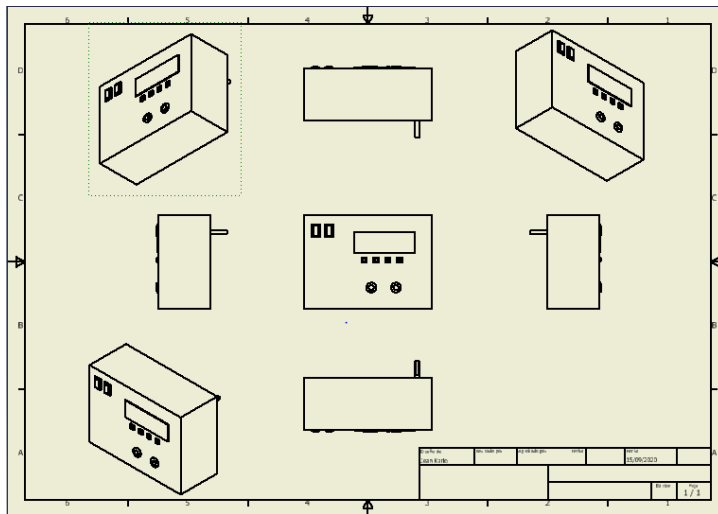


Figura 48 Plano de caja de tarjetas programadoras

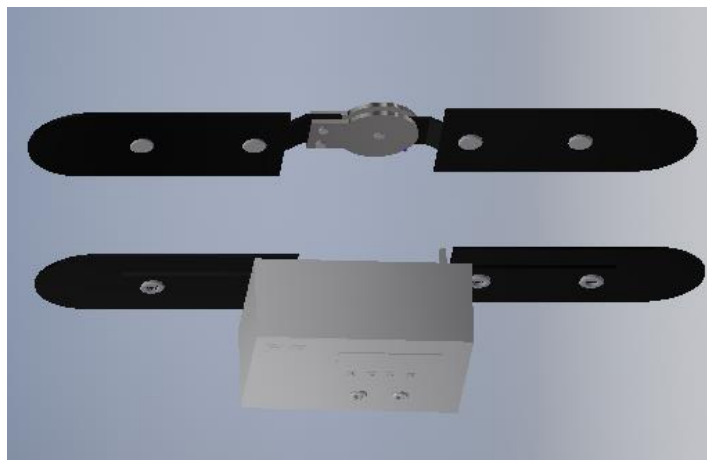


Figura 49 Implementación de los soportes laterales con caja de tarjetas programadoras

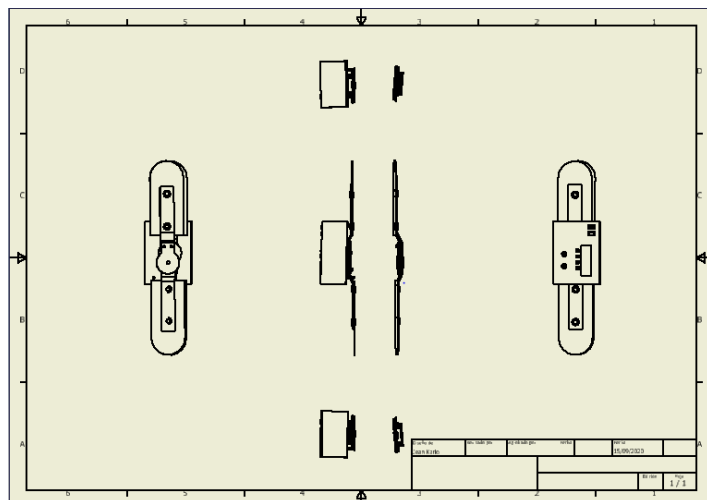


Figura 50 planos Implementación de los soportes laterales con caja de tarjetas programadoras

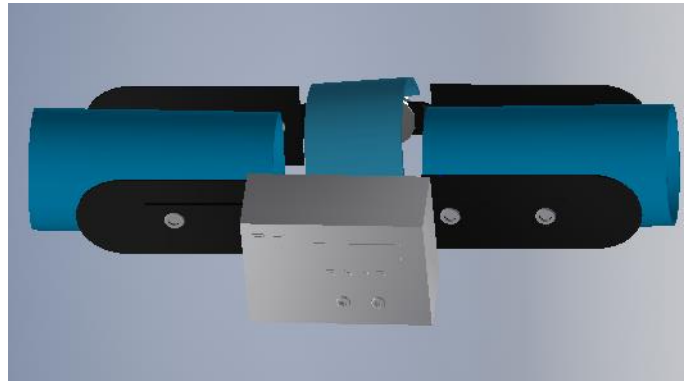


Figura 51 Prototipo terminado con bandas sujetadoras

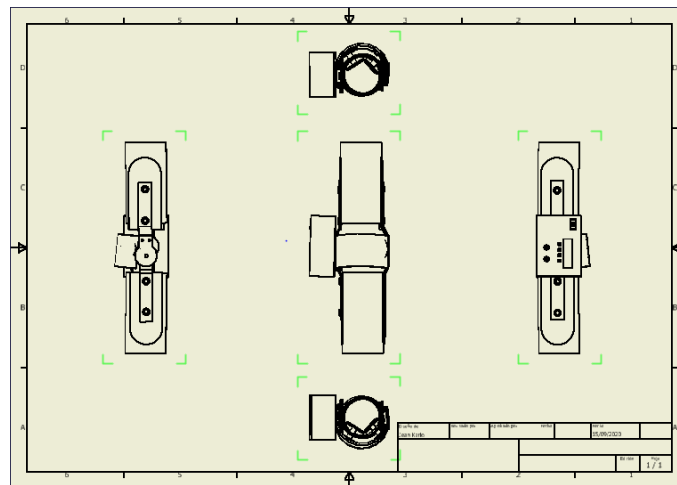


Figura 52 Planos prototipo final con bandas sujetadoras

Simulación de las bobinas:

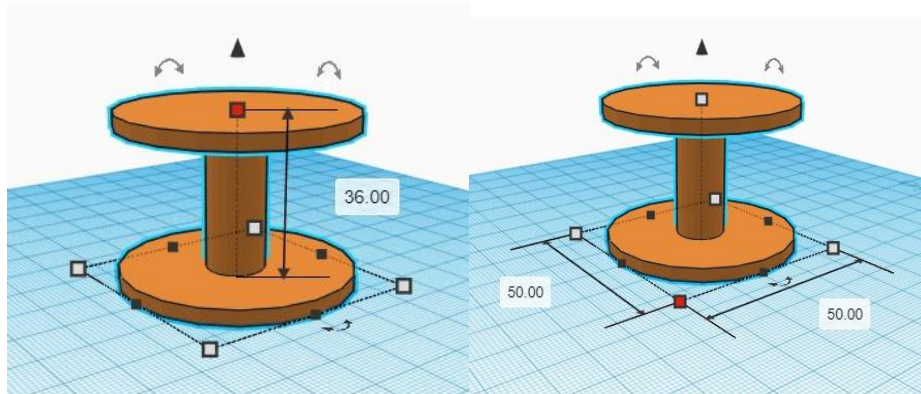


Figura 53 Soporte de bobinas (1)

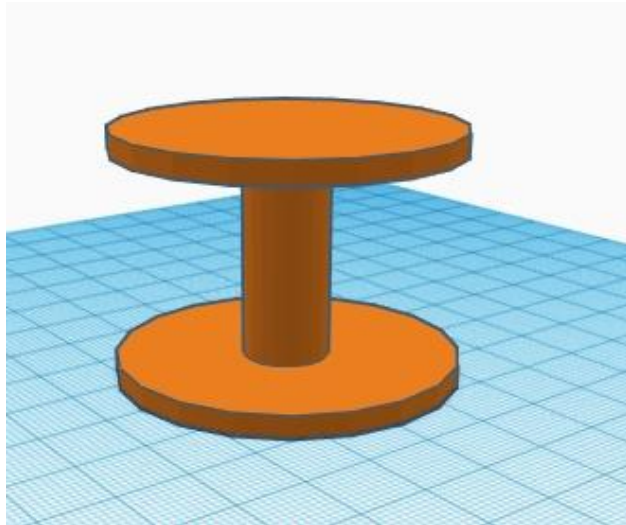


Figura 54 Soporte de bobinas terminado

Primera parte física del exoesqueleto



Figura 55 soporte derecho del exoesqueleto parte externa



Figura 56 soporte derecho del exoesqueleto parte interna



Figura 57 soporte izquierdo del exoesqueleto parte externa



Figura 58 soporte izquierdo del exoesqueleto parte interna



Figura 59 Base ajustable inferior del exoesqueleto



Figura 60 base ajustable superior del exoesqueleto



Figura 61 base ajustable inferior del exoesqueleto parte interna



Figura 62 base ajustable inferior del exoesqueleto estirada



Figura 63 base ajustable superior del exoesqueleto parte interna



Figura 64 base ajustable superior del exoesqueleto estirada



Figura 65 Exoesqueleto totalmente montado



Figura 66 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto



Figura 67 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto



Figura 68 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto

Primera parte de las bobinas:

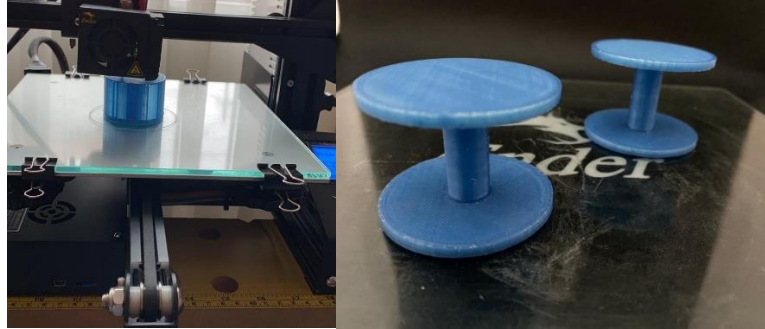


Figura 69 bandas sujetadores parte superior/inferior del exoesqueleto

13. IMPLEMENTACIÓN

Para el diseño del prototipo se tiene presente el capítulo de diseño para poder implementarlo, a partir de esto se toman los subsistemas (subsistema A exoesqueleto y subsistema B CEM). Se explicará paso a paso como se implementó cada subsistema y el sistema completo para poder hacer las pruebas de funcionamiento.

Algo que se debe tener presente es la fuente de alimentación que se esta usando, se usara para ambos subsistemas en donde se alimentara el driver del motor y de la salida del driver de 5V se alimentara el subsistema B, en este caso no se ve afectada la corriente que se esta suministrando, cabe aclarar que la fuente de alimentación función a 100-240V 50/60Hz y a 2.5A y arroja a la salida 12V a 1.5A a 18W.

La fuente genera un consumo por media hora de uso de 0.162 KWH y con una hora de uso 0.540 KWH, sin embargo, cuando se usa desde el driver estos valores cambian ya que se usan 5V a 1A y una potencia de 5W haciendo que su consumo sea de 0.045 KWH por media hora de uso y con una hora dando un consumo de 0.150 KWH.

13.1. Subsistema A Exoesqueleto

Para empezar la implementación del subsistema A se tendrá presente los componentes de diseño, constan de dos soportes de aluminio y acero, dos bandas de tela las cuales se sujetan a las bases, el motor se ubica en el eje que simula la rótula, para poder realizar el montaje total del exoesqueleto se desarrolló una programación (PID) que tiene varios parámetros ya establecidos desde el capítulo de diseño, sin embargo, se hacen ciertos ajustes de interfaz gráfica en donde todo pasara a usarse por medio de bluetooth con la aplicación de Arduino por defecto.

Lo primero que se realiza es la descarga de las librerías que se usarán y serán el parámetro de funcionamiento para controlar el motorreductor y las librerías correspondientes se ve en la figura 70.

```
#include <PID_v1.h>
#include <TimerOne.h>
#define tracking A1 // pin por donde entra el set point
#define sensorP A0 // Pin de entrada de la lectura del sensor
// Control del motor DC en el puerto 1 del L298N
```

Figura 70. Librerías para PID arduino

Para la parte física del subsistema A se debe hacer la instalación de los motores al eje del esqueleto el cual simula a la rótula, para que el prototipo se pueda mover sin ningún tipo de problema de acuerdo a lo que se estableció en el capítulo de diseño, el motor estará conectado al driver el cual se encuentra en la misma caja en donde se encontrara ubicado todo el subsistema B, en este caso la conexión al driver consta de la siguiente manera, se alimenta a 12 V y sus conexiones serán en el pin izquierdo y el pin central, se conecta las salidas del driver de PWM al Arduino como se mencionara más adelante, el Arduino en este caso se dejara de manera interna con su conexión a PC para poder conectarlo respectivamente y así poder ver los ángulos que se están generando.

Una vez hecha la conexión de los motores al esqueleto se conectan directamente al driver el cual como se mencionó estará en la caja donde se encuentra todo el subsistema B, la interfaz de movimiento se hace a través de un software donde se realiza toda la parte del bluetooth.

Para la conexión del Bluetooth el cual se está usando el módulo HC05 se conecta al Arduino en los pines 0 y 1 que son el Tx y Rx respectivamente y se conectará a la alimentación en los pines de GND y 5V, el motor estará conectado con el PWM en los pines digitales 8 y 9, el Arduino estará alimentado desde el pin de entrada Vin y de igual manera a la tierra. Para hacer mover el exoesqueleto, se tuvo en cuenta una programación la cual da la parada en ángulos del prototipo, este código se ve en el anexo 5.

Para hacer el uso de la app para el movimiento a través del bluetooth se muestra de la siguiente manera y se explicara el proceso de conexión en los manuales que se ven el capítulo 16. Véase anexo 9

La conexión del motor en el esqueleto se hace de manera especial, se presenta y se ajusta por medio de una soldadura y un pegamento especial tanto para ayudar a sujetar como para estabilizar el movimiento, el motor se conecta al driver a su salida lateral y de esta manera ya con lo mencionado anteriormente estaría en perfecto estado para usar y hacer pruebas de funcionamiento.



Figura 71 montaje exoesqueleto

13.2. Subsistema B Campos electromagnéticos

Para el subsistema B se tuvieron presente etapas de diseño en donde se agrega programación, se hace la descarga de dos librerías para que se pueda visualizar todo sin problema en la pantalla LCD, esta parte del proyecto será la interfaz gráfica de los campos electromagnéticos.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Figura 72 librerías ara subsistema B

Toda la programación diseñada para poder mostrar la frecuencia del oscilador 555 quedara plasmada en el anexo 6.

Ahora el circuito a montar para este subsistema se dividió en tres partes para llegar al funcionamiento total, la primera es hacer el oscilador separado de las otras dos etapas, la segunda está compuesta por el Arduino el cual está conectado con la pantalla y el pulsador de

las diferentes tareas y por último la tercera la cual es el circuito de rectificación y amplificación de la señal y por donde se conectarán las bobinas para hacer el trabajo final.

En la primera etapa se hace y se monta todo el circuito oscilador el cual consta de tres salidas, GND, VCC y Out, el Out cuenta como la señal de salida de pulsos, el VCC y el GND la alimentación del circuito. Véase figura 73

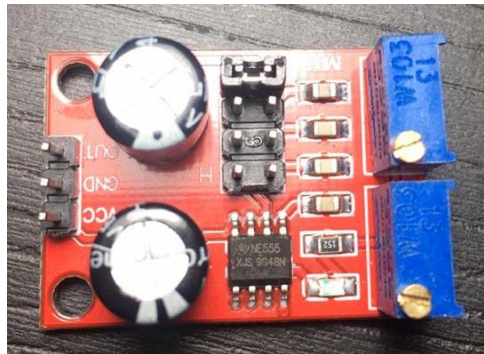


Figura 73 Circuito oscilador 555

Para la segunda etapa la cual está compuesta por el Arduino se tienen diferentes conexiones las cuales van de la siguiente manera, el Arduino nano se conectara a su alimentación desde la entrada Vin y GND (este también se usara para la tierra de la pantalla LCD), una vez alimentado se conecta la pantalla LCD, la conexión va de la siguiente manera desde el I2C, el pin llamado SDA ira conectado al pin 4 análogo del Arduino y el pin llamado SCL ira conectado al pin 5 análogo, la alimentación ira al pin de 5V y la tierra a la tierra del Arduino, en el pin 8 digital entra la señal del oscilador y con la programación ya anteriormente mencionada se puede ver las primeras visualizaciones, para que funcione con las diferentes tareas el pulsador debe ir conectado al pin2 digital del Arduino y deberá ir conectado con una resistencia de 10K para evitar algún tipo de daño a la tarjeta programadora, en la figura 74 se ve como seria la conexión, la figura de la conexión del pulsador que se ve en la parte izquierda muestra cómo se realizara desde el pin 2 conectado a la tierra y una resistencia de 10K.

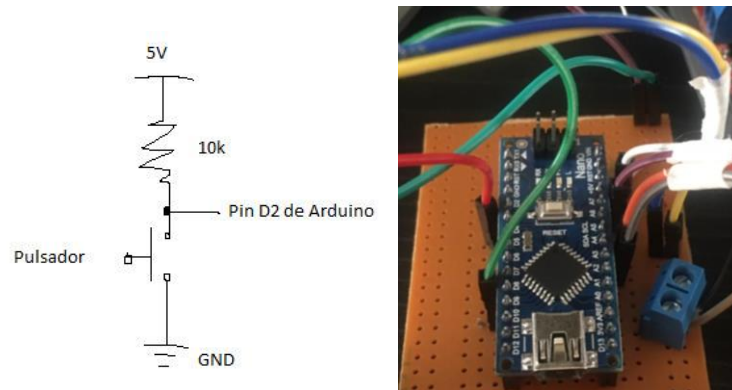


Figura 74 conexión arduino con pulsadores y pantalla

Para la tercera etapa la cual es la de la rectificación y amplificación de la señal esta alimentada a 5V, entrara la señal de la etapa 1 y 2 al circuito de la etapa 3 que se ve de la siguiente manera ya con sus componentes soldados, en esta también se tiene en cuenta que en la salida de los diodos 1n1183 los cuales se muestran como diodos tipo tornillos y entre ellos saldrá todo con lo cual se usaran las bobinas, las conexiones de salida son relevantes para su funcionamiento, todas las conexiones se hacen como se muestra en el circuito del capítulo de diseño.

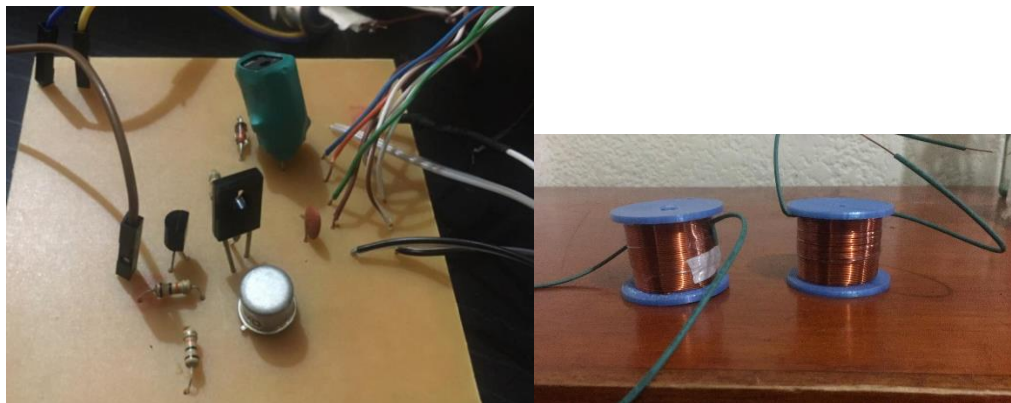


Figura 75 etapa 3 de subsistema B con conexión de bobinas

Uniendo las tres etapas explicadas anteriormente se ubicarán de tal manera en una caja especialmente diseñado y mostrada en el diseño industrial para ubicar todos los componentes, cabe resaltar que todo el circuito esta alimentado a 5V. Se muestra el montaje final en la figura 76

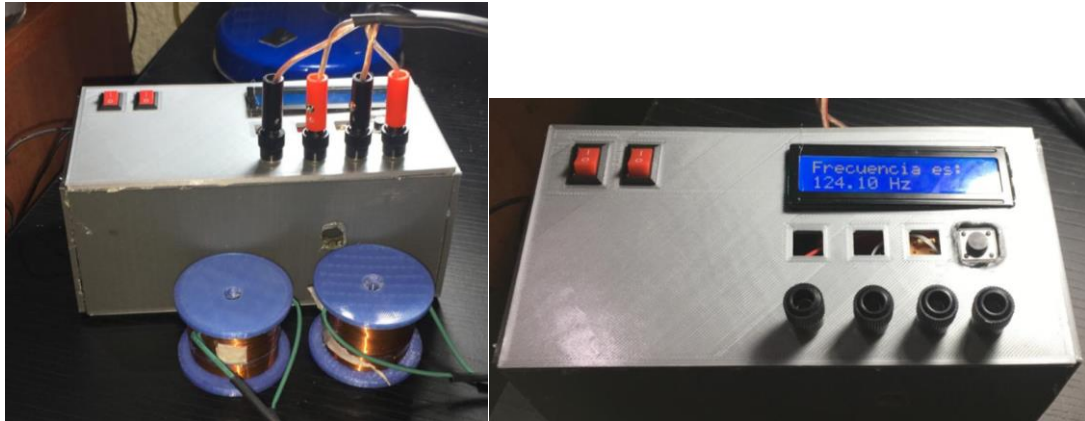


Figura 76 circuito final montado

Las tres etapas del subsistema B se ubican en la caja que se hizo en el diseño industrial como se ve en la figura en la figura 76, esta caja ira en la parte superior de la base del exoesqueleto, la caja que tiene todo el subsistema B y parte del subsistema A podrá ubicarse en cualquier parte ya que en la parte inferior tiene 4 velcros haciendo que sea fácil de ubicar en cualquier parte.

Para las bobinas como se tiene planteado en el diseño industrial estará ubicada en una banda y se ubican de tal manera que su dirección de campo queden de manera adecuada, esta parte se adapta a una de las bases del exoesqueleto y se le ponen dos partes del velcro para poder unirlo al otro extremo, de esta banda salen las conexiones que iran conectadas a la caja de generación de los campos electromagnéticos, cada bobina está compuesta por dos cables y sus terminales son de color rojo y negro cada una.

13.3. Sistema completo

Para hacer la unión de ambos subsistemas (A y B) se tiene presente varios parámetros los cuales son claves para el desarrollo final, el subsistema A físicamente ya cuenta con dos soportes, una con un motor y otra el cual sostiene la banda de las bobinas y el subsistema B que trae la parte de alimentación, conexión de los motores y salida de las bobinas, la caja que tiene el subsistema B y control del Subsistema A, en la parte inferior de la caja gris que se ve en la figura 77, tiene una serie de velcro el cual se pone en la parte inferior para que se sujete la caja y esta sea fácil de trasladar, la fuente esta ya directamente conectada a la caja al igual que el motor.



Figura 77 Implementación final


14. PRUEBAS DEL SISTEMA


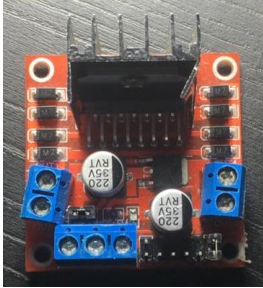
Este capítulo mostrará cada una de las pruebas que se realizaron a los componentes, subsistemas ya montados y todo el prototipo ya funcionando. En general se presentará cada proceso de las pruebas del sistema (subsistema A exoesqueleto y subsistema B CEM), en donde se decide hacer pruebas generales para tener seguridad de su funcionamiento.

Debido a la contingencia de la pandemia no se pudo realizar las pruebas correspondientes con el osciloscopio ya que no se tiene uno disponible, las pruebas de componentes como de subsistemas y sistema completo se modificaron y se tuvo una reducción de las mismas donde, parte de las pruebas se cambian para uso del multímetro únicamente y con lo que se evidencia en las pantallas, además con el inclinómetro digital como instrumento de medida del exoesqueleto.

Se realizarán pruebas de los componentes que conforman el exoesqueleto para verificar que su funcionamiento este en un estado óptimo y así garantizar que no se presenten problemas en un futuro cercano, las pruebas realizadas en los componentes se pueden observar en la tabla 15.

Tabla 15. Pruebas a realizar de componentes

<p>Motor 4632-370-CE 30Kg 6rpm 12V</p> 	<p>Pruebas a realizar</p> <p>Movimiento de motor ya sea de velocidad o angular conectado directamente al Arduino uno, se comprueba velocidad de RPM con pruebas básicas en donde se conecta a la fuente de alimentación, se observa que efectivamente se mueve a los 6 RPM y es controlable con la programación realizada</p>
--	--

<p>Arduino 1 ATMEGA328P</p> 	<p>Pruebas a realizar</p> <p>Las pruebas de funcionamiento que se realizaron se basaron en hacer una programación básica que se tiene en cuenta para el subsistema B con el cual se pudo demostrar que no presenta problemas y esto se observa en la figura 84</p>
<p>L298N</p> 	<p>Pruebas a realizar</p> <p>Al igual que como se hizo con los motores, el driver es conectado para confirmar que funcione adecuadamente, para esto se ponen los motores y la programación de la cual se controlaran para confirmar que no tenga fallo alguno, esto se muestra en la figura 85</p>
<p>Modulo Bluetooth Hc-05</p>	<p>Pruebas a realizar</p> <p>Para comprobar que el módulo bluetooth funcione, se tiene en cuenta la programación y la conexión que se está realizando como una interfaz gráfica para comprobar el movimiento de los motores.</p>

Para poder hacer las pruebas del subsistema A, se hacen primero pruebas de cada uno de los componentes y adicional las pruebas de programación, en la tabla 15 se hacen pruebas para verificar el correcto funcionamiento de todo lo que compone los campos electromagnéticos.

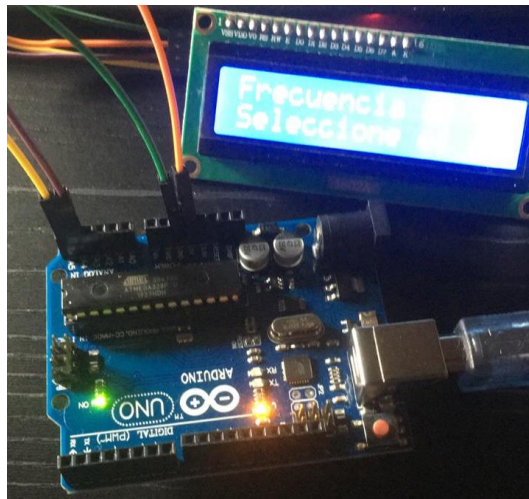
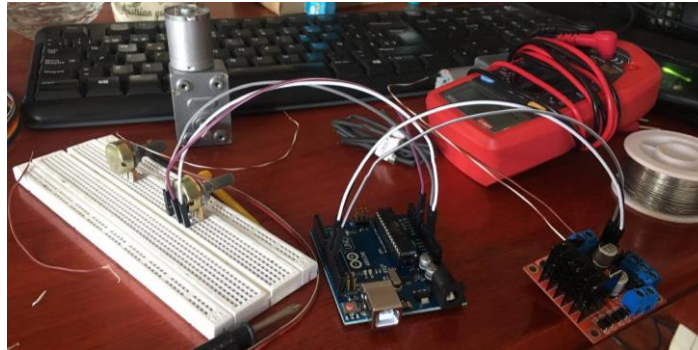


Figura 78 prueba de tarjeta de programación

En la figura 78 se observa la conexión realizada para comprobar el funcionamiento de todos los componentes y se podrá observar los resultados en la tabla 16 donde se ve que el error entra de manera perfecta en los requerimientos del proyecto.

*Figura 79 prueba de funcionamiento de motor con L298*

Como se mencionó igualmente en la tabla 15 las pruebas correspondientes al motor, driver y modulo bluetooth. Las pruebas que se realizaron no tuvieron presente el peso de los componentes en el esqueleto del prototipo, las pruebas realizadas se hacen teniendo en cuenta los ángulos mostrados en monitor serial de Arduino con respecto a los ángulos mostrados en el motor, además en la tabla 16 se muestra el error que hay entre la toma de medidas en la pantalla con respecto a lo que se está mostrando físicamente.

Tabla 16. Tabla de pruebas de motor con error de ángulo sin peso

Grados	Grados vistos en el motor	% de error
10	9.9%	1%
20	20.4%	2%
30	30.6%	2%
40	40.8%	2%
50	52%	4%
60	62.4%	4%
70	73.5%	5%
80	84%	5%
90	94.5%	5%
100	105%	5%
110	115.5%	5%
120	120%	5%

Una vez hechas las pruebas de los componentes del exoesqueleto, se hacen las pruebas de integración en el esqueleto del proyecto teniendo en cuenta los motores puestos y además usando el módulo bluetooth con la interfaz en el celular para los movimientos ya establecidos.

Se realizan pruebas en la implementados del exoesqueleto para verificar que funcione




sin ningún tipo de problema, las nuevas pruebas de integración comprenden verificación de ángulos y manejo de la interfaz con la cual se manejara todo el prototipo.

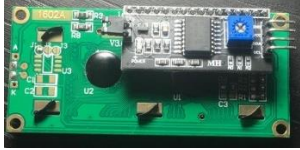
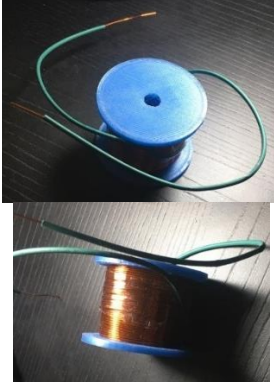
Realizando las pruebas finales del subsistema A el cual es el exoesqueleto, se mostrará la caja de integración de componentes para poder verificar que maneje bien el peso, quede fijo y así se evite que se caiga en un futuro los componentes.

En las pruebas del exoesqueleto se tienen presente 3 limitaciones diferentes en el movimiento para asegurar que el paciente no salga lastimado, la primera se hizo desde el control del prototipo donde se ingresa el valor y desde la programación este valor no va a cambiar, el segundo limitante es la caja reductora del motor en donde este de manera manual no se podrá mover por mas fuerza que se realice, además de encontrarse perfectamente soldado al esqueleto principal. La última limitación trata de dos bloqueos en la base de la rótula las cuales se pueden graduar entre 0° y 120° , se puede variar en cualquier valor y esto genera un bloqueo por si el motor manda de mas la señal de movimiento.

Para los campos electromagnéticos se hacen al igual que con el subsistema A pruebas de componentes para verificar funcionamiento, en la tabla 17 se muestra cómo fue su resultado de muestra.

Tabla 17. Tabla de pruebas de subsistema B campos electromagnéticos

<p>Arduino nano</p> 	<p>Se comprueba funcionamiento con la programación del subsistema y la pantalla LCD con el I2C. se comprueban entradas análogas y digitales tanto con la salida de la señal como con la conexión de la pantalla</p>
<p>NE555N</p> 	<p>Se adaptan las pruebas para verificar la frecuencia del oscilador 555, esta se podrá observar en la programación que se ve en el Arduino nano ya que son complementos nuevos.</p>
<p>LCD 16x2 con convertor I2c</p> 	<p>Muestra de lecturas en la pantalla con palabras de muestra conectada al Arduino nano</p>

	
<p>Bobinas</p> 	<p>Las bobinas tendrán una prueba de verificación de frecuencia a la salida y entrada de estas, teniendo presente el circuito que lo antepone.</p>

Algunas pruebas de componentes que hacen parte del subsistema B se desarrollan de la siguiente manera para hacer el montaje final de esta etapa.



Figura 80 prueba de tarjeta de programación

Las pruebas que se deciden realizar para el sistema por completo se basan en el movimiento angular que se está mostrando en la parte física del proyecto y se toma una nueva tabla muy similar a la tabla 18 para poder hacer las nuevas pruebas de funcionamiento incluyendo el peso del esqueleto.

Tabla 18. Tabla de pruebas de subsistema B campos electromagnéticos

SELECCIÓN DE COMPONENTES DE SUBSISTEMAS								
Entradas	VALOR DE SUBSISTEMAS							
	Nombre de prueba	Componentes	Cantidad de ensayos para pruebas de componentes	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento de medición	Datos simulados o ficha técnica	Dato medido en banco de prueba	% frente al requerimiento
E1	Control de exoesqueleto	Motor	3	3 minutos	Inclinómetro	Variación de 0 a 120 grados	En la table 16 se muestra la prueba realizada	Varia en cada grado, pero se mantiene en los primeros 100 grados por debajo del 5%
		Driver de motor	3	5 minutos	Multímetro	VAQLO R	NA	NA
E2	Campos electromagnéticos	Fuente regulada	3	10 minutos	Multímetro	Voltaje	12V	12V
		Equipo de magnetoterapia	3	10 minutos	Multímetro	Se observa en la figura 87 y 88	Varia la resistencia y voltaje por la señal	NA
		Bobinas o Solenoides	3	10 minutos	N/A	VAQLO R	NA	NA
Salidas	VALOR DE REQUERIMIENTOS							
S1	Control de exoesqueleto	Motor	3	3 minutos	Inclinómetro	Variación de 0 a 120 grados	En la table 16 se muestra la prueba realizada	Varia en cada grado, pero se mantiene en los primeros 100 grados por debajo del 5%
		Driver de motor	3	5 minutos	multímetro	VAQLO R	NA	NA
S2	Campos electromagnéticos	Fuente regulada	3	10 minutos	Multímetro	Voltaje	12V	12V
		Equipo de magnetoterapia	3	10 minutos	Multímetro	Se observa en la	Varia la resistencia y	NA

						figura 87 y 88	voltaje por la señal	
		Bobinas o solenoides	3	10 minutos	N/A	VAQLO R	NA	NA

Como se mencionó en el plan de pruebas se hace las medidas de las resistencias y otros componentes para confirmar su valor real y verificar que este dentro de los parámetros que se hicieron cada uno de los cálculos de diseño.

Tabla 19. Tabla de estabilidad y accesibilidad del subsistema A

Tarea a realizar	Estabilidad				Accesibilidad			
	Mala <=2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5	Inestable <= 2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5
El exoesqueleto genera los ángulos fácilmente			X				X	
El subsistema puede adecuarse y moverse en cualquier parte			X					X
El subsistema debe encontrarse en un área libre de humedad				X				X
El subsistema mostrara buen funcionamiento desde la interfaz				X				X
El subsistema debe tener el correcto acceso la red eléctrica				X				X

Tabla 20. Tabla de pruebas de subsistema B campos electromagnéticos

Valor de Resistencia según lo mostrado en el prototipo	Valor de resistencia comprado	Valor medido de resistencia	% de diferencia entre el valor de la table VS el valor real
560	560	564	0.71428%
10k (3)	10K	9.68K	3.32%
51K	51K	51.1	0.3%
68	68	69	1.4%

La tabla 21 tiene presente una serie de pruebas físicas para el subsistema B en donde se presenta la estabilidad y accesibilidad de este.

Tabla 21. Tabla de estabilidad y accesibilidad del subsistema B

Tarea a realizar	Estabilidad				Accesibilidad			
	Mala <=2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5	Inestable <= 2	Regular 3	Buena 4	Excelente 5
El circuito 555 funciona y variara las frecuencias			x				x	
El subsistema puede variar la frecuencia según se desee			x				x	
El subsistema debe encontrarse en un área libre de humedad			x				x	
El subsistema mostrara buen funcionamiento desde la interfaz			x				x	
El subsistema debe tener el correcto acceso la red eléctrica			x				x	

Se hizo una segunda tabla donde se muestra los grados visualizados con los motores implementados incluyendo el peso del exoesqueleto. Se mostrará el % de error y adicional se comprobará que todo entre bajo los requerimientos que se hicieron, también se anexaran imágenes de las pruebas realizadas. Véase en la tabla 22

Tabla 22. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado

Grados	Grados vistos en el motor	Grados vistos en el inclinómetro
0	0%	0.45%
10	10%	11
20	20%	20.90
30	30%	30.40
40	40%	41.55
60	60%	58.65
80	80%	80.20
100	100%	100.70
120	120%	115.35

Como se observa en la figura 81 y 82 se ven los diferentes resultados mostrados con el instrumento de medición el cual es el inclinómetro.



Figura 81 Ángulos de pruebas de 0° a 40°



Figura 82 Ángulos de pruebas de 60° a 120°

Adicional a la tabla 22 se hacen más pruebas de funcionamiento y se hace el cálculo de los errores con respecto al valor que se ingresa ya sea por medio del PC o de la app el cual es el mismo valor. Se realizan 5 toma de pruebas diferentes y se ven de la tabla 23 a la 27

Tabla 23. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 1

Grados	Grados vistos en el motor	Grados vistos en el inclinómetro	Error
10	10%	11	10%
20	20%	20.90	4.5%
30	30%	30.40	1.3333%
40	40%	41.55	3.875%
60	60%	58.65	2.25%
80	80%	80.20	0.25%
100	100%	100.70	0.7%
120	120%	115.35	3.875%

Tabla 24. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 2

Grados	Grados vistos en el motor	Grados vistos en el inclinómetro	Error
10	10%	10.95	9.5%
20	20%	21.00	5%
30	30%	30.60	2%
40	40%	41.00	2.5%
60	60%	58.00	3.3333%
80	80%	80.20	0.25%
100	100%	101.20	1.2%
120	120%	116.83	2.64%

Tabla 25. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 3

Grados	Grados vistos en el motor	Grados vistos en el inclinómetro	Error
10	10%	10.76	7.6%
20	20%	20.30	1.5%
30	30%	30.15	0.5%
40	40%	40.55	1.375%
60	60%	59.35	1.08%
80	80%	80.90	1.125%
100	100%	100.60	0.6%
120	120%	116.00	3.333%

Tabla 26. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 4

Grados	Grados vistos en el motor	Grados vistos en el inclinómetro	Error
10	10%	10.90	9.0%
20	20%	20.50	2.5%
30	30%	30.36	1.2%
40	40%	40.84	2.1%
60	60%	59.89	0.1833%
80	80%	80.13	0.1625%
100	100%	100.10	0.1%
120	120%	118.90	0.916%

Tabla 27. Pruebas de movimiento del prototipo finalizado y montado con error prueba 5

Grados	Grados vistos en el motor	Grados vistos en el inclinómetro	Error
10	10%	10.250	2.5%
20	20%	20.55	2.75%
30	30%	30.30	1%
40	40%	40.50	1.25%
60	60%	59.95	1.25%
80	80%	80.20	0.25%
100	100%	100.30	0.3%
120	120%	119.20	0.666%

Se hacen 5 pruebas de movimiento diferentes en donde se resaltan los errores de cada una de las medidas, teniendo presente que está por debajo de la tolerancia establecida.

Al momento de realizar las pruebas con el inclinómetro digital este muestra hasta 90° por lo tanto para los valores de 100 y 120 grados se hace un descuento de valor haciendo que por los 100° se mida sobre los 80° en el inclinómetro y los 120° se muestre sobre los 60° del instrumento de medida.

Las pruebas realizadas en todo el sistema se ven reducidas debido a temas de la pandemia, en el caso de los campos electromagnéticos no se podrá medir la intensidad de los campos o las frecuencias con un osciloscopio, sin embargo, se adaptó el subsistema B para mostrar la frecuencia sin problema alguno y de esta manera se sepa cómo se está viendo afectado al momento de variar, por tanto las pruebas que se realizan serán con lo que se ve directamente en la pantalla LCD y las variaciones que se hicieron.

En la tabla 28 se muestra los resultados de las frecuencias que se calcularon con respecto a las que se observaron.

Tabla 28. Pruebas de frecuencias visualizadas en pantalla LCD

Frecuencia enviada por el 555	Valor mostrado con el primer pulso	Valor mostrado con el Segundo pulso	Valor mostrado con el tercer pulso	Valor mostrado con el cuarto pulso
125 Hz	125Hz	62.5Hz	41.6Hz	31.25Hz
Valor mostrado real	Valor mostrado real 1 pulso	Valor mostrado real 2 pulso	Valor mostrado real 3 pulso	Valor mostrado real 4 pulso
126.6 Hz	126.6Hz	62.92Hz	41.84Hz	32.12Hz

Se adjuntan las figuras de las pruebas realizadas en la tabla 29, además del error que se está teniendo entre el valor observado y estimado.

Tabla 29. Tabla de frecuencias con cálculo de error

Frecuencia estimada	Frecuencia observada	Error
125	126.6	1.28%%
62.5	62.92	0.676%
41.6	41.6	0%
31.25	32.12	2.784%

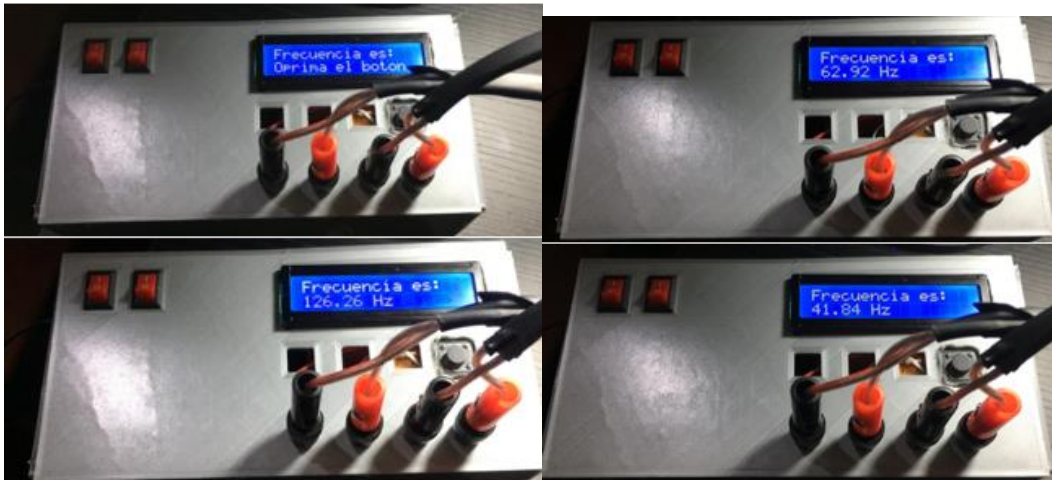


Figura 83 prueba de tarjeta de programación

Se hacen pruebas con un multímetro a la salida de la conexión de las bobinas haciendo pruebas de resistencia (lo que se observa en el multímetro) al igual que voltaje (lo que se observa en el multímetro).

Se toma de referencia una de las frecuencias más altas que tiene el circuito la cual se observa en la figura 84.

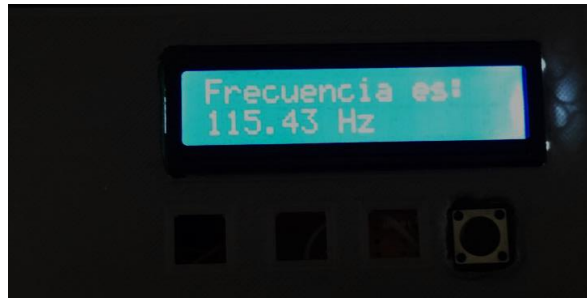


Figura 84 frecuencia de muestreo

Algunas de las pruebas que se hacen con el multímetro muestra como resultado el valor de resistencia y se ve el resultado en la figura 85. Se ubica para realizar la medida en el valor de 20M ohm, el circuito esta alimentado por 5V y adicional entran señales cuadradas y en la salida del circuito arroja los siguientes valores.



Figura 85 Pruebas multímetro en resistencia

Se hace lo mismo como con la toma de medidas de la resistencia, pero en este caso con el voltaje. Sin embargo, como se muestra no es tan alto debido a que se está tomando como un valor RMS y por el consumo de la bobina en el circuito con los diodos tipo tornillo, se ve modificada la salida pero su valor nominal debería verse correctamente a través de un osciloscopio, el resultado de las muestras se ven en la figura 86.



Figura 86 Prueba multímetro en voltaje

Se hacen las pruebas del sistema completo uniendo ya valores de ambos subsistemas.

Tabla 30. Pruebas finales del prototipo completo

SELECCIÓN DE PRUEBAS DEL SISTEMA							
Entradas	VALOR DE REQUERIMIENTO						
	Nombre de prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba	Instrumento de medición	Datos simulados o ficha técnica	Dato medido en banco de prueba	% frente al requerimiento
E1	Control de exoesqueleto	3	3 minutos	Inclinómetro	Según datos movimiento que se observan en la figura 85 y 86	Se observa resultado en la figura 85	NA
E2	Campos electromagnéticos	3	5 minutos	multímetro	En la figura 89 y 90 se observa el valor medido a la salida	NA	NA
Salidas	VALOR DE REQUERIMIENTOS						
S1	Control de exoesqueleto	3	3 minutos	Inclinómetro	Según datos movimiento que se observan en la figura 85 y 86	NA	NA
S2	Campos electromagnéticos	3	5 minutos	multímetro	En la figura 89 y 90 se observa el valor medido a la salida	NA	NA

15. AJUSTES

Los ajustes que se realizaron para el prototipo cambiaron básicamente en las pruebas que se realizan en el capítulo 14, consistieron en los siguientes cambios: se adaptó una pantalla LCD al proyecto para poder visualizar la frecuencia que se está manejando. Para poder comprobar el valor de salida como la intensidad de campo no se puede comprobar ya que no se tiene el instrumento de medida a la mano, de la misma manera sucede con el osciloscopio el cual serviría para comprobar la frecuencia de salida de todo el circuito.

Como se mencionaba los ajustes el prototipo de ambos subsistemas se tendrán en cuenta los cambios físicos que tuvieron.

El subsistema A presente ajustes en la capacidad de movimiento angular ya que este no llega al 100% de los 120° que se tenía propuestos, sin embargo, a manera de programación

se cumple con totalidad, en la implementación física implementación física el modelo de la tela que sostiene queda un poco más grande de lo esperado por lo tanto esto reduce el ángulo en la parte final de movimiento.

El subsistema B presenta modificación física interna del mismo, en este caso se debe tener en cuenta que se agrega una pantalla LCD con una tarjeta programadora la cual es Arduino nano, donde se usa para poder visualizar la frecuencia que se está usando para la señal de los campos electromagnéticos.

Otro ajuste que se realizó fue al circuito interno para la rectificación final de los campos electromagnéticos, se hizo un cambio de los diodos 1N1183 los cuales se debieron reemplazar por uno muy similar al menos en diseño físico, estos diodos los cuales tienen de referencia 1507 tienen un consumo más alto de corriente en el circuito, esto hace que sea superior a lo estimado y haciendo que la impedancia del circuito sea mayor.

16. MANUALES

El manual de usuario se mostrará en los anexos donde será el manual de usuario el que estará disponible con cada una de las respectivas funciones, alertas y prohibiciones de uso, véase el anexo 9.

17. RESULTADOS

Cada una de las pruebas que se hicieron en el capítulo 14 se tienen presente para poder determinar y mostrar los resultados de todo el prototipo, se muestran los requerimientos que se trabajaron para poder hacer la implementación y partir de aquí para obtener una discusión adecuada.

Todo se mostrará en la siguiente tabla de resultados. Véase tabla 31.

Tabla 31. Resultados en comparación a los requerimientos

Requerimiento	Cumple	No cumple	Parcial	Observación
Peso del prototipo completo	x			Hecho de aluminio para reducir peso
Ajusta de Ancho de la pierna	x			Su base es de tela la cual se ajusta a casi que cualquier ancho de pierna
Movimiento del exoesqueleto 0° a 120°	x			Error total de todas las pruebas es de 2.41143%
Interfaz grafica	x			Uso de app para movimiento o conexión a PC
Velocidad lenta de movimiento	x			6 RPM de velocidad, 30 Kg de fuerza
Salida bobinas	x			Salidas independientes para cada una de ellas
Frecuencia de operación 0 a 100 Hz	x			% de error en medidas con lo esperado es del 1.185%
Intensidad de campos de 0 a 100 Gauss				Salida no se hace comprobación de intensidad ya que por temas de pandemia no se tiene los equipos necesarios
Señal cuadrada				El circuito 555 envía la señal, pero no se tiene el instrumento para comprobar que la salida sea la misma
Cambio de velocidad de señal			x	Se genera la señal, pero su comprobación no se puede hacer
Variación de campo electromagnético	x			Se hace control con 4 tareas diferentes
Error por grados en movimiento del exoesqueleto	x			Cada grado muestra su error total y el error general es del 3.65%, se calculan 8 errores diferentes en las medidas
Conexión del prototipo	x			Funciona con conexión desde pc y app
Control de posición del exoesqueleto	x			Con el PID y diseño físico no sobrepasara los ángulos ya establecidos
Adición de tareas para campos electromagnéticos			x	Ya hay 4 trabajos establecidos los cuales no se pueden modificar

18. DISCUSIÓN

Para lograr el cumplimiento del objetivo general que se propuso, se identificaron los requerimientos clave para la construcción del prototipo y así garantizar el desarrollo del exoesqueleto con campos electromagnéticos para el apoyo en la rehabilitación de meniscos, se tuvieron en cuenta los parámetros de diseño físicos, adaptación de componentes electrónicos.

Teniendo en cuenta todas las variables, se logró cumplir a cabalidad los objetivos generales y específicos del prototipo, además de los requerimientos establecidos para el movimiento, frecuencias, estabilidad y diseño físico. Se realizaron pruebas bajo cada uno de los puntos mencionados para demostrar una estabilidad y correcto funcionamiento.

Ahora teniendo presente los requerimientos de diseño físico, se implementaron el uso de materiales livianos como el aluminio y acero inoxidable para la elaboración de la base principal, se agregan por dentro y por fuera dos bases de velcro los cuales sirven para sujetar la base de tela que se ajusta al tamaño de las piernas, adicional un soporte de 4 bandas de velcro que están sujetadas en los laterales de una de las bases, esta ayuda a soportar entre las partes y la pierna para lograr que este firme.

Para los requerimientos que incluyen las normas de campos magnéticos, seguridad y aislamiento de campos, se diseñó una base la cual está hecha de un plástico de impresión 3D, es no es un material conductor por lo tanto lo hace seguro para el uso. Por dentro cada parte está aislada y separada para evitar que entre los mismos componentes haya una sobrecarga estática, de la misma manera la caja se encuentra sellada en los alrededores para evitar ingreso de humedad, para esta parte cada uno de los requerimientos de normas se están cumpliendo a cabalidad haciendo que el dispositivo sea seguro tanto para usar como para trasladar.

También en los requerimientos se establece un tiempo y una simultaneidad en el uso del exoesqueleto y los campos electromagnéticos, los tiempos se establecen por medio del médico especialista y se hace un control básico on / off en donde se separa el uso de ambos subsistemas haciéndolos independientes ya sea para usar solo uno o usar ambos al tiempo, este requerimiento logra cumplirse, sin embargo, se hicieron unas pequeñas modificaciones para que fuera más eficiente para el momento en el que la fisioterapeuta lo deba usar.

Para el requerimiento de frecuencia el cual funciona de 0 a 100 Hz con una tolerancia del 7%, el resultado de la prueba con los trabajos establecidos entrega en pantalla 4 valores diferentes donde sus comparación entre el valor esperado y el valor medido se generan un error el cual está por debajo del esperado, el valor de cada uno es de 1.28%, 0.767%, 0%, 2.784%, se considera que el valor medido llega a lo establecido en los requerimientos de calidad, una vez realizadas las pruebas se obtiene los respectivos errores entre cada una de las medidas y se obtiene un error total el cual es de 1.185% haciendo que cumpla con lo establecido, como se ve en las figuras 87 y 88 se observa el comportamiento que obtuvo y se adjuntan los valores establecidos vs los reales con su respectivo error.

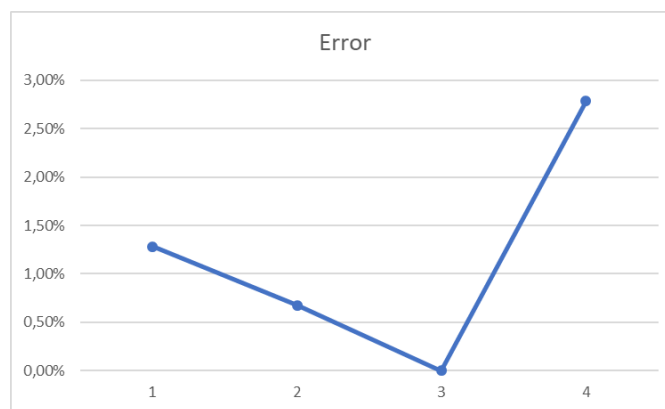


Figura 87 error calculado en las pruebas

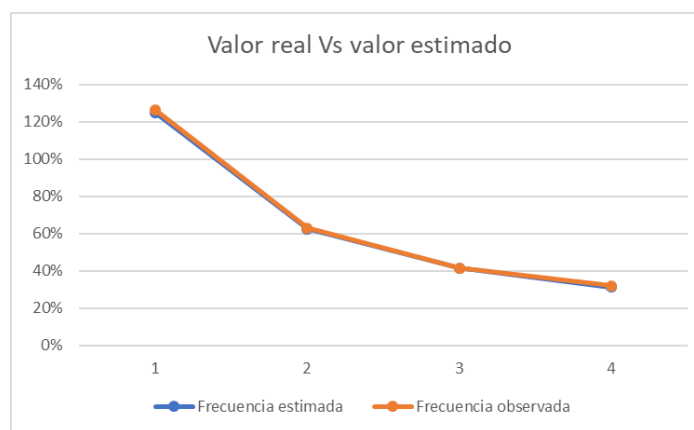


Figura 88 Comparación entre valor estimado y valor real frecuencia campos electromagnéticos

En el resultado de estos errores se tuvo únicamente en cuenta la frecuencia que se genera a partir del oscilador ya que por temas de la pandemia no se hace comprobación con osciloscopio y gaussímetro de la señal que se está generando en las bobinas, para este

requerimiento se cumple en diseño de manera correcta lo establecido, sin embargo, en pruebas no se puede comprobar.

Para el requerimiento de los campos electromagnéticos se realizó todo el circuito como se había planteado para que diera el resultado propuesto en los requerimientos, pero como se mencionó no se tiene los instrumentos de medidas para establecer si se cumple o no este mismo, por lo tanto, no se cumple en total cabalidad por la falta de instrumentos para realizar las correspondientes pruebas, pero el circuito es totalmente funcional.

En el requerimiento de los ángulos en el movimiento del exoesqueleto se establece que sea de 0° a 120° con una tolerancia del 8% en el plano sagital, en cada uno de los resultados y pruebas del sistema se evidencia el error que hay por ángulos. Todas las medidas se cumplen excepto en los primeros 10° "aunque no sucede en todas las pruebas hechas" en donde su error es entre el 2 y 10% aunque su diferencia física es únicamente de 1° . Sin embargo, desde el grado 20° hacia arriba su error es inferior al 8% que se propuso en los requerimientos, las medidas tomadas en 20° , 30° , 40° , 60° , 80° , 100° y 120° cumplen con el requerimiento de calidad haciendo que el error de cada una sea incluso inferior al 4% y el error total de todas las medidas es del 2.41143%. El prototipo se mueve únicamente en el plano sagital como estaba propuesto y adicional se puede realizar el movimiento con una interfaz hombre maquina ya sea desde el PC o desde la app haciendo que los requerimientos funcionales y de calidad se cumplan de manera correcta.

Cada error que se obtuvo en cada una de las tablas se grafica para hacer su respectiva comparación como se muestra en la figura 89 y 90 donde se muestra el error que hay en todas las pruebas realizadas y adicional una gráfica donde se ve el error que hay por tabla para mostrar el comportamiento general que hay entre ellas.

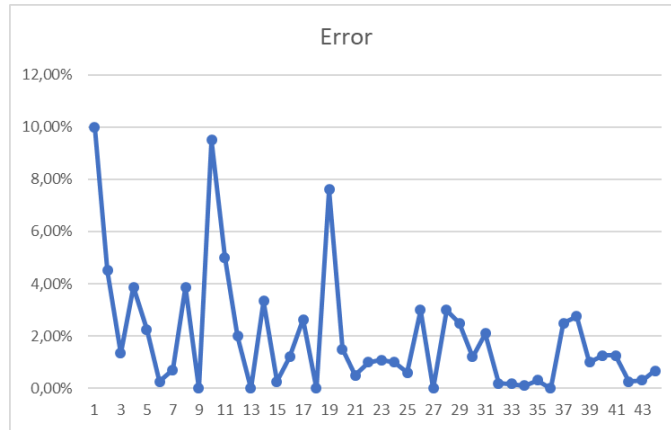


Figura 89 Error de todos los valores calculados

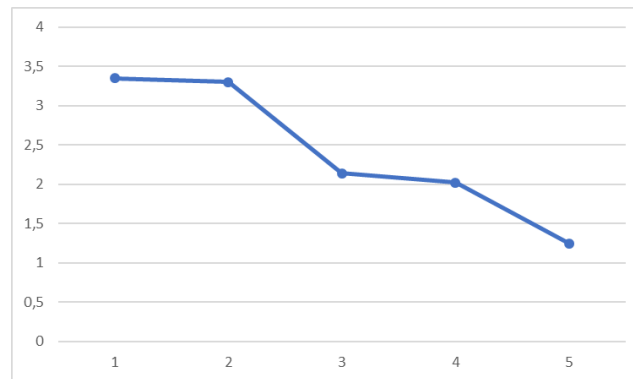


Figura 90 Error en valores finales entre las pruebas

Como se mostró en las figuras correspondientes el requerimiento de la tolerancia y el ángulo se cumple de manera adecuada.

Para los requerimientos de torque y velocidad se adquiere un motor con caja reductora el cual permite tener la fuerza establecida, adicional a esto el motor funciona a una velocidad de 6 RPM asegurándonos que su velocidad nunca será superior, además haciendo que el PID que se realizó funcione bien, esto indica que los requerimientos de calidad se cumplen como se habían establecido.

Para el requerimiento de interfaz gráfica, se cumple ya que se está presentando el uso por medio de dos dispositivos diferentes para el caso del exoesqueleto el cual se puede usar a través desde una conexión al pc o a través de la app para celulares, también teniendo en cuenta la interfaz gráfica para los campos electromagnéticos se pone una pantalla LCD para poder observar el trabajo, la frecuencia y adicional mostrar los cambios que se están obteniendo cuando se cambia la tarea.

19. CONCLUSIONES

Por medio de este proyecto y como se planteó el proceso de implementación, fue posible demostrar que el prototipo es viable para su desarrollo teniendo presente cada uno de los parámetros iniciales, en este caso el exoesqueleto con campos electromagnéticos cumple su función de apoyo para la recuperación.

Mediante la realización del presente trabajo de grado se logró identificar todas las variables que determina tanto el desarrollo físico como electrónico, cada ecuación de diseño que se planteó para el desarrollo tanto para el subsistema A como el subsistema B se tuvieron en cuenta para lograr el objetivo final.

El haber realizado las simulaciones tanto de movimiento del exoesqueleto como del circuito de los CEM ayudo a al proceso de implementación, desde el momento de selección de materiales hasta el momento de la unión de los dos subsistemas.

Dentro del prototipo se tenían establecidas ciertas pruebas, pero no se lograron todas por la situación actual del COVID-19 y las diferentes restricciones de movilidad que se han presentado tanto para adquirir algunos componentes como para hacer las pruebas por instrumentos de medida que no se tenían a la mano.

Este prototipo logro el objetivo de movimiento para ayudar a los pacientes y médicos especialistas al momento de hacer las terapias después de un postoperatorio. El equipo es de fácil traslado, fácil uso y además de que su mantenimiento es poco necesario ya que muchos de los componentes ya se establecen con un mínimo de uso para evitar daños a futuro.

20. REFERENCIAS DOCUMENTALES.

20.1. Bibliografía

- [1] Anonymous "Protocolo de Recuperación ligamento rodilla | ICONICA Servicios Médicos," Available: <https://www.iconicasports.com/protocolo-de-recuperacion-tras-plastia-lca-ligamento-rodilla/>.
- [2]- [3] Anonymous (). *Desgarros de los meniscus (Meniscus Tears) - OrthoInfo - AAOS.* Available: <https://www.orthoinfo.org/es/diseases--conditions/desgarros-de-los-meniscus-meniscus-tears/>.
- [4] Anonymous "Sensores de posición angular," Available: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-angulo-y-rotacion/sensores-de-posicion-angular./>
- [5] A. Martí. (-04-12T20:01:05+00:00). *Con un motor y la ayuda justa: Toyota presenta un exoesqueleto para volver a andar tras una parálisis parcial.* Available: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/con-un-motor-y-la-ayuda-justa-toyota-presenta-un-exoesqueleto-para-volver-a-andar-tras-una-paralisis-parcial>.
- [6] Anonymous "Exoesqueleto Robótico | Technaid - Leading Motion," Available: <https://www.technaid.com/es/productos/robotic-exoskeleton/>.
- [7] R. López *et al*, "Desarrollo de un exoesqueleto para rehabilitación de tobillo y rodilla," *Revista Mexicana De Ingeniería Biomédica*, vol. 35, (1), pp. 13-28, 2014. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-95322014000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- [8] Anonymous "Manual de instrucciones Magnet" Available: <https://www.latidus.com/wp-content/uploads/2018/06/manual-magnetoterapia-25-11-16-1.pdf>
- [9] Anonymous "Manual equipo de magnetoterapia" Available: <http://www.texel.com.ar/manuales/mg.pdf>
- [10] Anonymous "Magnetoterapia de 150 Gauss" Available: <https://www.seakit.com.ar/productos/magnetoterapia-de-150-gauss-micro-5-home/>
- [11] Anonymous "Minimag Magnetoterapia | CEC Equipos de Electromedicina," Available: <https://cec.com.ar/minimag-magnetoterapia/>.
- [12] Martin-Cordero, Jorge E & Garcia Delgado, José A (2016). *Especialistas en primer grado en medicina física y rehabilitación.* Disponible en: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/mednat/efectos_y_aplicaciones_de_la_magnetoterapia.pdf
- [13] Margareta, Nordin. *Biomecánica básica musculoesquelético.* Tercera edición, Madrid-España (2004), McGraw-Hills-interamericana. Capítulo 7.

- [14] López, Ricardo (2014). Desarrollo de un exoesqueleto para rehabilitación de tobillo y rodilla. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322014000100004
- [15] Anonymous "Menisco (anatomía)," 2020. Available: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Menisco_\(anatom%C3%ADa\)&oldid=129928984](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Menisco_(anatom%C3%ADa)&oldid=129928984).
- [16] Anonymous (). *Definición de Exoesqueleto*. Available: <https://www.definicionabc.com/ciencia/exoesqueleto.php>.
- [17] Anonymus "Desarrollo de un exoesqueleto para rehabilitación de tobillo y rodilla" Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322014000100004
- [18] Narváez Espinoza, F. R. (2006). Reingeniería de un equipo electrónico de magnetoterapia para facilitar la circulación y potenciar las defensas inmunológicas en las extremidades de las personas Cuenca: EC-CuVUPS.
- [19] Anonymus "FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES" Disponible en: http://www.mcbtec.com/fuentes_lineales.html
- [20] Matthew N. O. Sadiku, Charles K. Alexander, Fundamentos de circuitos eléctricos, 5 edición.
- [21] Disponible en: Anonymous (). *Ficha técnica ICL8038 (5/10 páginas) INTERSIL | Generador de forma de onda de precisión / Oscilador controlado por voltaje*. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/67443/INTERSIL/ICL8038/1625/5/ICL8038.html>.

21. ANEXOS.

Anexo 1 Código de programación de Matlab para control en simulink

```
clc
num = [ 0          0          56.462491251101589 ];
den = [ 1.0000000000000000  2.794767194634439  5.577706235274729 ];
F = tf (num, den);
% FORMA MODAL OBSERVABLE
A = [ 0  1 ;
      -den ( 3 ) -den ( 2 )];
b = [ 0 ; 1];
c = [num ( 3 ) 0 ];
A = transponer (A);
B = transposición (c);
C = transposición (b);

FF = ss (F);
[A, B, C, D] = ssdata (FF);
UNA
si
C
re
}
```

Anexo 2 programacion con encoder y PWM

CONEXIÓN :::::::::::::::::::::

> Arduino: (USB de 5V)

A0 = Sensor de posición

A1 = Sensor que lee el valor del SetPoint

D8 = IN1 --L298N

D9 = IN2 --L298N

D11 = PWM --L298N

> L298N (5v y 19v)

EN 1

EN 2

En PWM

```
# include < PID_v1.h >
```

```
# include < TimerOne.h >
```

```
# define tracking A1 // pin por donde entra el set point
```

```
# define sensorP A0 // Pin de entrada de la lectura del sensor
```

```
// Control del motor DC en el puerto 1 del L298N
```

```
int IN1;
```

```
int IN2;
```

```
int PWM1;
```

```
int forWARDS = 1 ;
```

```
int backWARDS = 0 ;
```

```
// Almacenamiento temporal de la lectura del sensor
```

```
doble sensor Valor;
```

```
// Definir variables del control PID
```

```

punto de ajuste doble , entrada, salida;

flotar ang;

// Espicífica, los parámetros del PID
// doble Kp = 0.4, Ki = 0.13, Kd = 0.18;
// doble Kp = 1.5, Ki = 0.25, Kd = 0.4; === >>
// doble Kp = 0.7, Ki = 0.22, Kd = 0.35;
doble Kp = 1.2 , Ki = 0.19 , Kd = 0.001 ;
PID myPID (& Input, & Output, & Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

// Acción en la interrupción
flash vacío () {
  myPID. Calcular (); // Calcula la señal de control
  RunMotor (Salida); // Aplica la señal de control hacia el Motor
}

/* ----- */
configuración nula () {
  De serie. comenzar ( 115200 );
  // Iniciando PWM
  IN1 = 9 ;
  IN2 = 8 ;
  PWM1 = 11 ;
  pinMode (IN1, OUTPUT);
  pinMode (IN1, OUTPUT);
  pinMode (PWM1, SALIDA);

  // Iniciando lectura de sensores
  sensorValue = analogRead (sensorP);
  Entrada = - 0.1899 * sensorValue + 102.18 ; // ángulos sexagesimales

```

```
// SP
Punto de ajuste = 60.0 ; // Valor del setpoint en grados sexagesimales - predeterminado

// Activa el PID
myPID. SetMode (AUTOMÁTICO);
// valores máximos y mínimos de salida del controlador
myPID. SetOutputLimits (- 19.0 , 19.0 );
// Tiempo de muestreo milisegundos para el PID
myPID. SetSampleTime ( 3 );

// Inicializando Interrupciones
Temporizador 1. inicializar ( 4000 ); // cada 4ms
Temporizador 1. attachInterrupt (flash); // la funcion flash se acciona en cada INT
}

bucle vacío () {
// Captura el valor de la lectura del sensor para el SP
Punto de ajuste = int ( analogRead (tracking) / 1024.0 * 180 - 90 );

// Pondera el valor de 3 + 1 lecturas del sensor de posición
para ( int i = 1 ; i <= 3 ; i ++ ) {
    sensorValue += analogRead (sensorP);
}
sensorValue = sensorValue / 4 ;

// Constantemente está leyendo el sensor de posición
ang = - 0.1899 * sensorValue + 102.18 ; // Obtenido experimentalmente

// Algoritmo de protección de mecanismos de posición
```



```

si (ang> = 100 ) {
    ejerev (IN1, IN2, PWM1, hacia atrás, 0 );
} else if (ang <= - 100 ) {
    ejerev (IN1, IN2, PWM1, hacia atrás, 0 );
}

// Introducir el angulo para cerrar el lazo de control
Entrada = ang;

// Muestra la lectura del sensor y el SP
De serie. imprimir (ang); De serie. print ( " \ t " ); Serie. println (punto de ajuste );
}
/* ----- */

// Función para accionar el giro del eje del motor
RunMotor nulo ( doble señal) {
    doble pwmS;

    if (Usignal> = 0 ) {
        personas con esclerosis múltiple = Usignal * 10000 / 719 - 9089.0 / 719,0 ;
        shaftrev (IN1, IN2, PWM1, backWARDS, pwmS);
    } más {
        personas con esclerosis múltiple = -Usignal * 10000 / 719 - 9,089.0 / 719,0 ;
        shaftrev (IN1, IN2, PWM1, forWARDS, pwmS);
    }
}

// Función que configura el motor que se quiere controlar
void shaftrev ( int in1, int in2, int PWM, int sentido, int Wpulse) {

```

```
if (sentido == 0 ) { // backWARDS
    digitalWrite ( in2 , HIGH);
    digitalWrite (in1, LOW);
    analogWrite (PWM, Wpulse);
}
if (sentido == 1 ) { // forWARDS
    digitalWrite ( in2 , LOW);
    digitalWrite (in1, HIGH);
    analogWrite (PWM, Wpulse);
```

Anexo 3 calculo integral de la bobina

La fórmula que se observa a continuación se deduce la tesis transcrita del Ing. Fabián Narváez [17]

$$\beta = \frac{\mu_0 I r^2}{2(z^2 + r^2)} a_z$$

Se toma un diferencial de corriente que circula en la bobina.

$$I = \frac{Nl}{h(R_2 - R_1)} dz dr$$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \int_0^h \frac{\mu_0 N I r^2}{2(z^2 + r^2)^{3/2}} a_z$$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \int_0^h \frac{\mu_0 I r^2}{2h[(L-z)^2 + r^2]^{3/2}(R_2 - R_1)} a_z$$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} dr \int_0^h \frac{1}{[(L-z)^2 + r^2]^{3/2}} dz$$

donde $v = L - z$ y $dv = -dz$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} dr \left\{ - \int_0^h \frac{1}{[(v)^2 + r^2]^{1/2}} dv \right\}$$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} dr \left[- \frac{v}{r^2 [(v)^2 + r^2]^{1/2}} \right]$$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} dr \frac{1}{r^2} \left\{ - \left[\frac{L-h}{[(L-h)^2 + r^2]^{1/2}} - \frac{L}{(L^2 + r^2)^{1/2}} \right] \right\}$$

$$\beta = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} \left[\frac{L}{(L^2 + r^2)^{1/2}} - \frac{L-h}{[(L-h)^2 + r^2]^{1/2}} \right] dr$$

$$\beta = \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} \left[\int_{R_1}^{R_2} \frac{L}{(L^2 + r^2)^{1/2}} dr - \int_{R_1}^{R_2} \frac{L-h}{[(L-h)^2 + r^2]^{1/2}} dr \right]$$

$$\beta = \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} \left\{ L \left[\ln \left(r + \sqrt{L^2 + r^2} \right) \right] \Big|_{R_1}^{R_2} - (L-h) \left[\ln \left(r + \sqrt{(L-h)^2 + r^2} \right) \right] \Big|_{R_1}^{R_2} \right\}$$

$$\beta = \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} \left\{ L \left[\ln \left(R_2 + \sqrt{L^2 + R_2^2} \right) - \ln \left(R_1 + \sqrt{L^2 + R_1^2} \right) \right] \right. \\ \left. - (L - h) \left[\ln \left(R_2 + \sqrt{(L - h)^2 + R_2^2} \right) - \ln \left(R_1 + \sqrt{(L - h)^2 + R_1^2} \right) \right] \right\}$$

Si $L = h$

$$\beta = \frac{\mu_0 I r^2}{2h(R_2 - R_1)} \left\{ \ln \frac{(R_2 + \sqrt{L^2 + R_2^2})}{(R_1 + \sqrt{L^2 + R_1^2})} \right\}$$

Anexo 4 Código de programación para frecuencia

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int pulsePin = 8; // Input signal connected to Pin 8 of Arduino

int pulseHigh; // Integer variable to capture High time of the incoming pulse
int pulseLow; // Integer variable to capture Low time of the incoming pulse
float pulseTotal; // Float variable to capture Total time of the incoming pulse
float frequency; // Calculated Frequency

void setup()
{
  Wire.begin();
  lcd.begin(16, 2);

  lcd.clear();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Frecuencia de Campos electromagneticos");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Seleccione el trabajo a realizar");
  pinMode(pulsePin, INPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  delay(10000);
}
```

```
void loop()
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Frecuencia es ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" ");

  pulseHigh = pulseIn(pulsePin,HIGH);
  pulseLow = pulseIn(pulsePin,LOW);

  pulseTotal = pulseHigh + pulseLow; // Time period of the pulse in microseconds
  frequency=1000000/pulseTotal; // Frequency in Hertz (Hz)

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(frequency);
  lcd.print(" Hz");
  delay(350);
}
```

Anexo 5 Datasheet 7805

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L7809C (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 15\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified).


Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.65	9	9.35	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$	8.55	9	9.45	V
$\Delta V_O(^{\circ})$	Line Regulation	$V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$V_I = 12\text{ to }18\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
$\Delta V_O(^{\circ})$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{Hz to }100\text{kHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		70		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 12\text{ to }23\text{ V}$ $f = 120\text{Hz}$	55			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output Resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.40		A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Anexo 6

Item	Performance																								
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C																								
Rated Working Voltage Range	10 to 100V DC																								
Nominal Capacitance Range	0.1 to 22,000µF																								
Capacitance Tolerance	± 20% (at +20°C, 120 Hz)																								
Leakage Current	<p>$I = 0.01CV$ or 3 (µA) Max.</p> <p>Which ever is greater after 3 mins.</p> <p>I : Leakage Current(µA) C : Rated Capacitance(µF) V : Working Voltage(v)</p>																								
Dissipation Factor (tan δ) (120Hz \ +20°C)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Working voltage (V)</th> <th>10</th> <th>16</th> <th>25</th> <th>35</th> <th>50</th> <th>63</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>tan δ Max.</td> <td>0.2</td> <td>0.17</td> <td>0.15</td> <td>0.12</td> <td>0.1</td> <td>0.09</td> <td>0.08</td> </tr> </tbody> </table> <p>Add 0.02 per 1,000 µF for more than 1,000 µF</p>	Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	tan δ Max.	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08								
Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100																		
tan δ Max.	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08																		
Ripple Current	<p>Refer to standard products table (120Hz, +85°C) Correction factor for frequency.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>50 / 60</th> <th>120</th> <th>1 K</th> <th>10 K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Correction Factor (Multiplier)</td> <td>0.7</td> <td>1</td> <td>1.3</td> <td>1.7</td> </tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	50 / 60	120	1 K	10 K	Correction Factor (Multiplier)	0.7	1	1.3	1.7														
Frequency (Hz)	50 / 60	120	1 K	10 K																					
Correction Factor (Multiplier)	0.7	1	1.3	1.7																					
Characteristics at High and Low Temperature (Stability at 120 Hz)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Working voltage (V)</th> <th>10</th> <th>16</th> <th>25</th> <th>35</th> <th>50</th> <th>63</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-25°C / +20°C</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>-40°C / +20°C</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p>For capacitance value > 1,000 µF, Add 0.5 per another 1,000 µF for -25°C / +25°C. Add 1 per another 1,000 µF for -40°C / +20°C.</p>	Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100	-25°C / +20°C	3	2	2	2	2	2	2	-40°C / +20°C	6	4	4	3	3	3	3
Working voltage (V)	10	16	25	35	50	63	100																		
-25°C / +20°C	3	2	2	2	2	2	2																		
-40°C / +20°C	6	4	4	3	3	3	3																		

Anexo 7 BC547

BC546/547/548/549/550							
Switching and Applications							
<ul style="list-style-type: none"> • High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$ • Low Noise: BC549, BC550 • Complement to BC556 ... BC560 							
							
						TO-92	
						1. Collector 2. Base 3. Emitter	
NPN Epitaxial Silicon Transistor							
Absolute Maximum Ratings $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted							
Symbol	Parameter		Value	Units			
V_{CB0}	Collector-Base Voltage : BC546		80	V			
	: BC547/550		50	V			
	: BC548/549		30	V			
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage : BC546		65	V			
	: BC547/550		45	V			
	: BC548/549		30	V			
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage : BC546/547		6	V			
	: BC548/549/550		5	V			
I_C	Collector Current (DC)		100	mA			
P_C	Collector Power Dissipation		500	mW			
T_J	Junction Temperature		150	$^{\circ}C$			
T_{STG}	Storage Temperature		-85 ~ 150	$^{\circ}C$			
Electrical Characteristics $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted							
Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	
I_{CB0}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA	
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV	
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV	
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV	
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV	
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz	
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF	
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF	
NF	Noise Figure	: BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		2	10	dB
		: BC549/550	$f=1KHz, R_G=2K\Omega$		1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$		1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$		1.4	3	dB

Anexo 8 BD135

BD135/137/139**Medium Power Linear and Switching Applications**

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively

**NPN Epitaxial Silicon Transistor****Absolute Maximum Ratings** $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	3.0	A
I_B	Base Current	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_A=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units		
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD135	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	45			V		
	: BD137		60			V		
	: BD139		80			V		
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}, I_E = 0$			0.1	μA		
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$			10	μA		
h_{FE1}	DC Current Gain : ALL DEVICE	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 5\text{mA}$	25					
h_{FE2}			: ALL DEVICE	25				
h_{FE3}			: BD135	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$	40		250	
			: BD137, BD139	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 150\text{mA}$	40		160	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$			0.5	V		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$			1	V		

Anexo 9 Manual de usuario



Exoesqueleto con CEM

MANUAL DE USUARIO

Jean Karlo Suta Rueda | Proyecto de grado | Fecha

Tabla de contenido

Índice	132
INTRODUCCION.....	135
Exoesqueleto	135
Terapia de campos electromagnéticos.....	135
Bases físicas del equipo.	135
Efectos terapéuticos del exoesqueleto y CEM.....	135
Con el equipo se logra	135
Beneficios.....	136
Contradicciones.....	136
Descripción del equipo.....	136
Material provisto	136
Descripcion de controles	136
Exoesqueleto.....	136
Campos electromagnéticos (CEM)	139
Cuidado y limpieza	141
Parametros según la norma	141
Anomalias de funcionamiento.....	141

INTRODUCCION

El presente manual se desarrolla con el fin de brindar información general sobre el equipo, su utilización, indicaciones, contradicciones, precauciones y advertencias. Antes de su uso, el médico especialista o fisioterapeuta debe leer atentamente el manual y familiarizarse con el equipo tanto con los controles como con cada uno de los componentes para su funcionamiento, la correcta utilización permitirá aprovechar al máximo su rendimiento y así prolongar la vida útil.

Todo el contenido del manual está dirigido a todo usuario, sin embargo, se dirige principalmente a todos los médicos y fisioterapeutas, el producto fue hecho con lineamientos de diferentes trabajos para el tratamiento, sencillo de usar y para una buena operación.

Exoesqueleto

Es el soporte mediante el cual se usan fuerzas externas para ayudar al movimiento y resistencia de la persona que lo use con el objetivo de apoyar la recuperación de los pacientes.

Terapia de campos electromagnéticos

Es el método mediante el cual se aplican sobre el cuerpo humano campos electromagnéticos con el objetivo de solucionar determinados problemas que se presentan

Bases físicas del equipo.

Cuando se genera un ángulo de movimiento a través del computador o de la aplicación para ingresar la información y los CEM cuando la corriente eléctrica atraviesa el hilo conductor para que las bobinas generen su campo electromagnético uniforme e intenso en su interior.

Efectos terapéuticos del exoesqueleto y CEM

El exoesqueleto y los campos magnéticos producen efectos musculares, bioquímicos, celulares, tisulares y sistémicos.

- a) Menor fuerza realizada por el paciente al momento de hacer la terapia
- b) Menor esfuerzo y misma actividad muscular.
- c) Desviación de las partículas con carga eléctrica en movimiento.
- d) Producción de corrientes inducidas, intra y extracelulares.
- e) Efecto piezoeléctrico sobre hueso y colágeno.
- f) Aumento de la solubilidad de las distintas sustancias en agua.

Con el equipo se logra

- Reducir el dolor
- Relajar el espasmo
- Lograr obtener efectos antiinflamatorios, con fortalecimiento simultaneo tanto muscular como en las defensas orgánicas.
- Efecto sobre el metabolismo tanto muscular, hueso y sobre el colágeno.
- Liberación de prostaglandina e histamina
- Sedación general

Beneficios

- Reducción de dolores en los músculos, articulaciones.
- Disfunciones circulatorias
- Acelerador de la consolidación ósea
- Nervios lesionados donde se acorta tiempo de recuperación

Contradicciones

- Pacientes embarazadas
- Pacientes con dispositivos electrónicos como marcapasos
- Pacientes con periodo menstrual
- Pacientes con enfermedades graves
- Pacientes con enfermedades víricas y bacteriales
- Enfermedades neurológicas
- Patologías como tumores y cáncer

Descripción del equipo

- Cuenta con 4 salidas lo que permite trabajar de manera más amplia y de manera simultánea en la ubicación predeterminada que tiene que es en la rodilla.
- No presenta restricción de tiempo
- Tiene preestablecido 4 programas para usar en diferentes protocolos de pacientes con 4 frecuencias diferentes cada una con modalidad pulsante en donde se establece la intensidad de campo
- Cuenta con una aplicación y conexión a computador para hacer movimientos de 0° a 120° en plano sagital

Material provisto

- Fuente de alimentación
- Exoesqueleto
- Banda con dos bobinas o solenoides
- Bandas sujetadoras en la base del exoesqueleto
- Caja con equipo de generación de CEM

Descripción de controles

Exoesqueleto

La caja de color gris que viene con todo el equipo estará adecuada para que funcione toda la parte de los campos electromagnéticos, su parte física consta de dos switch (uno para encender el exoesqueleto y el otro los campos).

Boton de
encendido para
motores del
exoesqueleto ←

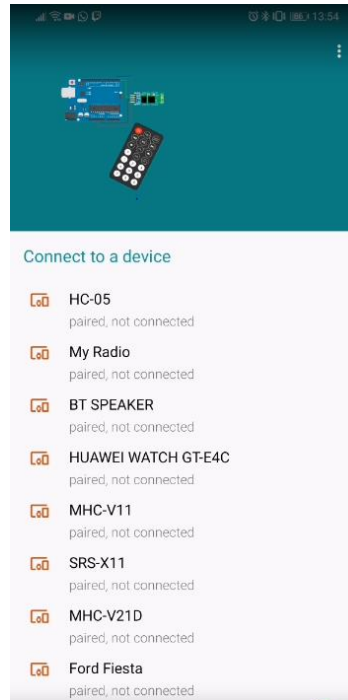


Luego conecte la tarjeta programadora que se encuentra en la cara externa al computador, este funcionara tanto desde el computador como desde el celular. Por defecto el cable ya estará conectado.

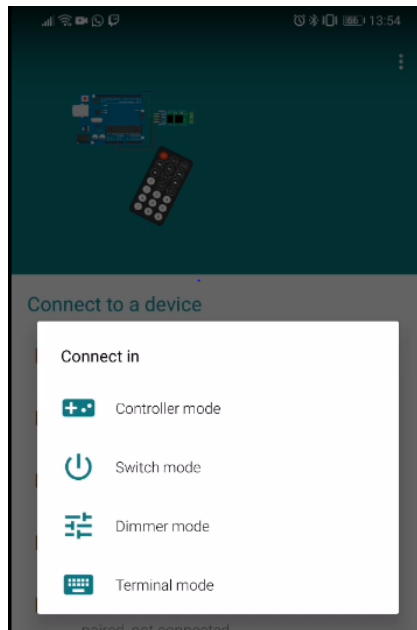


Se debe abrir la aplicación predeterminada que se llama Arduino Bluetooth Controller el cual servirá para mover el equipo, la conexión se hace de la siguiente manera.

1. Conecte el cable del equipo al PC
2. Encienda el primer switch como se muestra anteriormente
3. abra la app Arduino Bluetooth Controller
4. En la aplicación busque el dispositivo bluetooth como se mostrará en las siguientes figuras.



5. Selección HC-05 y luego aparecerá una pantalla en el cual seleccionará Terminal mode



6. Una vez seleccionado ingresara a la pantalla para el ingreso de datos y podrá escribir valores entre 0° y 120° para moverlo de un lado y de -120° hasta 0° para regresar, está en valores libres ya que depende del trabajo que se quiera realizar.



> 50
> 20
> -20



Campos electromagnéticos (CEM)

Para el funcionamiento de CEM tendrá su interfaz la cual funciona desde la caja que se mostró anteriormente, en la siguiente imagen se presentara como está compuesto.

El botón de las tareas funcionara generando 4 pulsos diferentes donde 1 pulso el cual es el inicial la frecuencia total, 2 pulsos la siguiente tarea, 3 pulsos otra tarea y 4 pulsos la última tarea

1. Está compuesto por lo siguiente



La banda de las bobinas estará sujeta en uno de los extremos del exoesqueleto y el otro tendrá un velcro el cual se unirá a la otra mitad para que tenga estabilidad al momento de ponerlo.



La cinta tiene 4 cables dos por cada bobina y estarán unidos, dos por cada salida de la banda y se explica su conexión en la siguiente imagen.



Conexión A
entrada roja de bobina

Conexión B
entrada negra de bobina

Las frecuencias de uso ya establecidas son de 126 Hz la cual es la frecuencia total, su segundo trabajo estará funcionando para heridas menos fuertes y se presentara a los 63 Hz, la tercera tarea de 42 Hz funcionará para una recuperación más avanzada y por último la 4 tarea que se establece a 31.5 Hz será para casi una recuperación total, todo se muestra en la siguiente tabla.

Tarea	Frecuencia	Trabajo	Tiempo
1	126 Hz	Comienzo de terapia	No establecido
2	63 Hz	Mitad de tiempo de terapia	No establecido
3	42 Hz		No establecido

4	31.5 Hz	Final de terapia, depende del avance del paciente	
---	---------	---	--

Cuidado y limpieza

- Limpiar la carcasa con un paño suave, limpiar superficie y evitar la adhesión de partículas de polvo y otros agentes atmosféricos.
- Los soportes de tela deben limpiarse con alcohol para esterilizar y evitar los lugares húmedos
- Se recomienda limpiar los aplicadores, una vez finalizado el tratamiento y antes de comenzar otro, con un paño suave.
- Se recomienda guardar aplicadores limpios y secos

Parametros según la norma

Garantizar que el nivel de las señales generadas por el equipo e irradiados al medio ambiente estén debajo de los límites especificados en la norma IEC CISPR 11, grupo 1, clase B (Emisión radiada).

Garantizar la inmunidad de los equipos a las descargas electrostáticas, por contacto y por el aire, provenientes de la acumulación de cargas eléctricas estáticas adquiridas por el cuerpo, están separadas entre ellas para evitar cargas por campos entre los componentes (Descarga Electrostática - IEC 61000-4-2).

Anomalias de funcionamiento

Anomalia	Posible causa	Solución
No enciende	Falta de corriente eléctrica	Comprobar existencia en corrinete en la salida que se quiere conectar
	Mal conectado	Conectar correctamente
El equipo no emite	Daño en la salida de la emisión	Llamar al productor para que el ingeniero encargado haga la revisión

Anexo 10 Manual de mantenimiento (prevención y corrección)



Exoesqueleto con CEM

Manual técnico (prevención y corrección)

Jean Karlo Suta Rueda | Proyecto de grado | 22/11/2020

INTRODUCCION

El presente manual de mantenimiento se desarrolla para poder establecer puntos tanto preventivos como correctivos del exoesqueleto con CEM, se tendra presente un facil uso para la calibracionreemplazo de componentes.

Todo el contenido del manual esta dirigido al tecnico o ingeniero el cual se encargara de hacer todo el proceso mejora, precision calibracion y llegar a tener una buna operación del prototipo nuevamente.

Exoesqueleto: consta de cuatro compoennetes basicos para el correcto funcionamiento: motor, arduino, driver L298, modulo bluetooth

CEM: consta de oscilador, arduino nano, tarjeta de amplificacion y rectificacion de campos y dos bobinas.

Para la prevencion y correccion de los compoennetes se tendran en cuenta una serie de tablas las cuales daran las pautas para hacer la respectiva prevencion y correccion.

Equipo: fuente de alimentacion			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
1.	Mantenimiento preventivo trimestral	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se realiza limpieza general del equipo. 2. Revision interna de los componentes y contactos. 3. Revision de soldaduras. 4. Revisar estado de cables. 5. Comprobacion de la salida de voltajes y corrientes. 	Tecnico o ingeniero encargado

Equipo: fuente de alimentacion			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
1.	Mantenimiento correctivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. En caso de que un componente se encuentre dañado, comprobar referencia de la fuente y buscar el reemplazo. 2. En caso de cables dañados, cortar y hacer un empalme de 	Tecnico o ingeniero encargado

		seguridad para lograr el ajuste.	
--	--	----------------------------------	--

Equipo: Arduino (uno y nano)			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
2.	Mantenimiento preventivo trimestral	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar que encienda. 2. Verificar voltaje de entrada del arduino (5V) 	Tecnico o ingeniero encargado

Equipo: Arduino (uno y nano)			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
2.	Mantenimiento correctivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reprogramar la tarjeta para recalibrar de nuevo las frecuencias (solicitar programacion al fabricante para hacer la calibracion) 	Tecnico o ingeniero encargado

Equipo: Circuito oscilador			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
3.	Mantenimiento preventivo trimestral	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se realiza limpieza general del equipo. 2. Revision interna de los componentes y contactos. 3. Revision de soldaduras. 4. Revisar estado de cables. 5. Comprobacion de la salida de voltajes y corrientes. 6. Comprobar salida de la señal de frecuencia (osciloscopio) 	Tecnico o ingeniero encargado

Equipo: Circuito oscilador			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
3.	Mantenimiento correctivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calibracion de los potenciometros (tener en cuenta pantalla LCD y osciloscopio) 2. Cambiar cable de conexión de salida de la señal 	Tecnico o ingeniero encargado

Equipo: Bobinas			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
4.	Mantenimiento preventivo trimestral	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobacion de las entradas de las bobinas 2. Limpieza del termoencogible de la bobina 3. Verificacion de estado del alambre de la bobina 	Tecnico o ingeniero encargado

Equipo: Bobinas			
Numero	Actividad	Descripcion	Responsable
4.	Mantenimiento correctivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar linea del alambre que no este fisurada, en caso de estalo protegerla, en caso de no lograrlo solicitar una nueva para hacer el reemplazo 	Tecnico o ingeniero encargado