

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA**



**Diseño e Implementación del Sistema Electrónico para una  
prótesis transradial mioeléctrica**

**Tesis para optar por el Título de Ingeniero Electrónico**

Autor:

Alfredo Jesús Llantoy Sánchez

Asesor:

Willy Eduardo Carrera Soria

Lima, noviembre del 2020

## AGRADECIMIENTOS

Primero, agradecerle a Dios por haber culminado con éxito mi etapa universitaria y muy dichoso y bendecido de todo aquello que logré y de todos aquellos momentos que ahora viven en mí. Agradecerles a mis padres Alfredo y Maritza y a mi hermana Pilar por su apoyo y amor incondicional y esencial a lo largo de toda la carrera. Agradecerles a mis tíos Robert y Mirtha por su apoyo y afecto, vital en los últimos ciclos. Agradecerle a mi enamorada Madday por todo el apoyo y cariño que me motivó a seguir adelante. Agradecerles a mis amigos de carrera, del LIBRA, docentes y conocidos (personal del pabellón de Mecánica, Electrónica, entre otros) que de forma directa y/o indirecta aportaron con su granito. Agradecer al proyecto 059-2018 FONDECYT-BM por financiar esta investigación y sobretodo muy agradecido con el grupo de ingeniería del cual fui parte junto a Enzo Romero, Kevin Flores, Rodrigo Vega, Daniel Narváz, Julio Tafur y Dante Elías. Agradecerle a mi asesor Willy Carrera por su valioso tiempo y dedicación en el asesoramiento de esta tesis, y que, junto a los profesores y jurados en los cursos de tesis fuimos puliendo esta obra.

Quedo muy agradecido con cada una de estas personas y ha sido un orgullo para mí haber compartido todas aquellas vivencias con ellas.

“La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero es la [Ingeniería](#) la que cambia el mundo”

*Isaac Asimov*

## RESUMEN

El desarrollo de prótesis de mano ha ido mejorando en los años recientes. Así, componen a la fecha el estado del arte las prótesis mioeléctricas de miembro superior.

Sin embargo, los usuarios de prótesis presentan dificultad en controlar su prótesis óptimamente. Ello se debe a que los modelos actuales presentes en el ámbito nacional, la mayoría no cuentan con un sistema electrónico para el control (prótesis estéticas no funcionales, de tipo garfio y mecánicas) y los que la presentan (mioeléctricas) son de costo elevado y no poseen retroalimentación háptica que emule la percepción sensitiva de una mano.

En este contexto, el trabajo a desarrollar es el diseño e implementación de un sistema electrónico de bajo costo para una prótesis transradial mioeléctrica que permita al usuario mejorar su efectividad en la ejecución de los gestos deseados en su prótesis de mano.

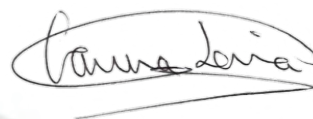
En este documento se describe el sistema electrónico diseñado e implementado. Para ello fueron analizados y escogidos los componentes de hardware a ser empleados y se desarrollaron los algoritmos para el control de apertura y cierre de la mano, así como el de la lógica principal. La electrónica completa fue diseñada para ir embebida dentro del espacio de la palma protésica.

Con el fin de validar el diseño en software y hardware, se desarrollaron ensayos del sistema, en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA), con una primera versión de la prótesis ensamblada para determinar el funcionamiento con objetos de diferentes pesos y geometrías para validar el comportamiento de sujeción con la misma.

Con los resultados satisfactorios obtenidos, se puede concluir que se consigue un diseño e implementación funcional del sistema electrónico para una prótesis transradial mioeléctrica con un costo de S/ 2475,22.

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e Implementación del sistema electrónico para una prótesis transradial mioeléctrica.  
Área : Circuitos y Sistemas  
Asesor : Willy Eduardo Carrera Soria  
Alumno : Alfredo Jesús Llantoy Sánchez  
Código : 20153324  
Fecha : 04/09/20



### Descripción y Objetivos

Actualmente, se estiman 7,500 millones de personas en el mundo, donde 1.5 de cada 1,000, sufren de alguna amputación. El 16% de este total es de miembro superior, de los cuales el 70% es producto de algún accidente sufrido (traumatismo). En el Perú, se estima 11,353 personas con amputación de miembro superior. Asimismo, el Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo reporta un promedio de 40 casos de lesión de mano al mes; y cabe resaltar, que esto sólo representa el 27% del mercado laboral (empresas formales).

En torno a esta problemática, el elevado costo y escasa funcionalidad de las prótesis que se encuentran en el mercado peruano, el grupo GIRAB, a través del proyecto PUCP DGI ID 681, Contrato N° 059-2018-FONDECYT, está desarrollando una prótesis transradial mioeléctrica personalizable con retroalimentación háptica y empleando tecnologías de fabricación digital dirigido principalmente a reinsertar al mercado laboral a personas de bajos recursos.

En consecuencia, el Objetivo General de esta tesis es: "Diseñar e Implementar el subsistema electrónico de una prótesis transradial mioeléctrica". Siendo los objetivos específicos:

- 1) Cubrir el requerimiento de bajo costo del proyecto
- 2) Diseñar e Implementar el Hardware en una tarjeta teniendo en cuenta las dimensiones de la palma de una mano.
- 3) Diseñar e Implementar el algoritmo principal y los algoritmos de apertura y cierre de la mano.
- 4) Probar el funcionamiento del sistema electrónico con tiempos de apertura y cierre comparables al de las prótesis comerciales actuales (menor a 2s).



## **TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Título : Diseño e Implementación del sistema electrónico para una prótesis transradial mioeléctrica

### **Índice**

Introducción

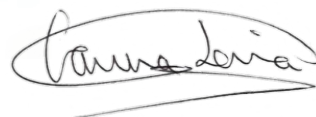
1. Amputación de Miembro Superior y las prótesis como solución
2. Análisis de dispositivos electrónicos a requerir
3. Diseño e Implementación del Hardware y Software
4. Ensayos del Sistema Electrónico con una Protésis de mano

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



# Índice

Índice.....	ii
Índice de Figuras .....	v
Índice de Tablas.....	vii
1. Amputación de Miembro Superior y las Prótesis como solución.....	1
1.1 Problemática .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Estado del Arte.....	2
1.3.1 Prótesis mioeléctricas comerciales.....	3
1.3.2 Prótesis mioeléctricas de fuente abierta .....	3
1.3.3 Prótesis mioeléctricas de investigación .....	4
1.3.4 Tipos de sensores .....	6
1.3.5 Tipos de actuadores .....	7
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
2. Análisis de dispositivos electrónicos a requerir.....	8
2.1 Sensor EMG.....	8
2.2 Sensor de Fuerza .....	12
2.3 Actuator: Motor.....	14
2.4 Sensor de Posición .....	16
2.5 Excitador.....	16

2.6	Convertor DC/DC.....	17
2.7	Batería .....	18
2.8	Unidad de Control .....	19
3.	Diseño e Implementación del Hardware y Software .....	20
3.1	Alcance .....	20
3.2	Diagrama de bloques .....	20
3.3	Planta a controlar .....	21
3.4	Hardware.....	22
3.4.1	Sensor de posición.....	23
3.4.2	Acondicionador del sensor de posición .....	24
3.4.3	Sensor de fuerza.....	24
3.4.4	Acondicionador del sensor de fuerza.....	25
3.4.5	Sensor EMG .....	27
3.4.6	Acondicionador del sensor EMG .....	28
3.4.7	Pulsadores de control.....	29
3.4.8	Leds de control.....	30
3.4.9	Vibrador.....	31
3.4.10	Excitador del vibrador .....	32
3.4.11	Motor DC.....	33
3.4.12	Excitador del motor DC .....	34
3.4.13	Unidad de control.....	35
3.4.14	Sistema de alimentación .....	38
3.4.15	Diagrama de circuito impreso .....	41
3.5	Software .....	41
3.5.1	Algoritmo principal.....	42

3.5.2	Algoritmo de cierre .....	43
3.5.3	Algoritmo de apertura.....	44
3.6	Presupuesto.....	44
4.	Ensayos del Sistema Electrónico con una prótesis de mano .....	46
4.1	Introducción .....	46
4.2	Acondicionamiento del Hardware .....	46
4.3	Acondicionamiento del Software.....	47
4.4	Ensayos con distintos materiales.....	47
4.4.1	Ensayo con objeto de plástico.....	48
4.4.2	Ensayo con objeto de madera.....	49
4.4.3	Ensayo con esponja.....	49
4.4.4	Ensayo con objeto de metal.....	50
4.4.5	Ensayo con objeto de vidrio.....	50
4.5	Análisis de Resultados.....	51
	Conclusiones .....	55
	Recomendaciones .....	56
	Futuros Trabajos .....	57
	Bibliografía .....	58
	Anexos .....	71

## Índice de Figuras

Figura 1. Vincent evolution3 [25].....	3
Figura 2. i-limb quantum [23] .....	3
Figura 3. Michelangelo [24] .....	3
Figura 4. Hackberry [33].....	4
Figura 5. Hero Arm [37].....	4
Figura 6. HIT V Hand [38] .....	4
Figura 7. Electrodo EMG. Imágenes: [130][131][132][133][134][135] .....	9
Figura 8. Ubicación sobre músculos flexores [58] .....	10
Figura 9. Ubicación sobre músculos extensores [64] .....	10
Figura 10. Diseño del FSR [79].....	14
Figura 11. Diseño del FSG [80] .....	14
Figura 12. Diseño del HSFPAR303A [81] .....	14
Figura 13. Modos de Operación de un Puente “H” [89].....	17
Figura 14. Elevador [91] .....	17
Figura 15. Reductor [91] .....	17
Figura 16. Inversor [91].....	17
Figura 17. Diagrama de Bloques del Sistema Completo.....	21
Figura 18. Estructura mecánica de la mano protésica.....	22
Figura 19. Acondicionador del sensor de posición [100].....	24
Figura 20. Imanes para el sensor Hall [102].....	24
Figura 21. Circuito acondicionador recomendado por el fabricante [79] .....	26
Figura 22. Acondicionador del FSR.....	26
Figura 23. Tarjeta transmisora de señal EMG [106] .....	29
Figura 24. Tarjeta de electrodos [106].....	29
Figura 25. Pulsadores “T-6X6-4H5-AZU” y “T-6X6-4H5-RED” [107] .....	30
Figura 26. Acondicionador para pulsador.....	30
Figura 27. Tipos de agarre con la mano [108].....	30
Figura 28. LED RGB cátodo común [109] .....	31

Figura 29. Excitador del led RGB .....	31
Figura 30. Actuador Resonante Lineal C08-001 [110] .....	32
Figura 31. Excitador del Motor Vibrador .....	33
Figura 32. Motor DC Maxon DC-max16S con reductor GPX19 A 172:1.....	34
Figura 33. Diagrama esquemático del excitador “BD65496-MUV” .....	35
Figura 34. Diagrama esquemático del Arduino Nano .....	38
Figura 35. Diagrama esquemático del Sistema de alimentación.....	40
Figura 36. Diagrama de Circuito Impreso .....	41
Figura 37. Diagrama de Flujo del Algoritmo principal .....	42
Figura 38. Diagrama de Flujo del Algoritmo de cierre .....	43
Figura 39. Diagrama de Flujo del Algoritmo de apertura .....	44
Figura 40. Disposición del FSR.....	46
Figura 41. Disposición del sensor Hall.....	46
Figura 42. Objeto de plástico .....	47
Figura 43. Objeto de madera .....	47
Figura 44. Esponja .....	47
Figura 45. Objeto de metal .....	48
Figura 46. Objeto de vidrio .....	48
Figura 47. Ensayo 1: Objeto de plástico (tiempo en ms) .....	48
Figura 48. Ensayo1: Objeto de madera (tiempo en ms) .....	49
Figura 49. Ensayo1: Esponja (tiempo en ms) .....	49
Figura 50. Ensayo1: Objeto de metal (tiempo en ms) .....	50
Figura 51. Ensayo1: Objeto de vidrio (tiempo en ms) .....	50



## Índice de Tablas

Tabla 1. Prótesis Mioeléctricas de Investigación [39][40][41][38][42][43][44].....	5
Tabla 2. Cuadro comparativo de electrodos superficiales [58][60].....	8
Tabla 3. Alternativa tecnológica a elegir.....	12
Tabla 4. Cuadro comparativo de tecnológicas táctiles [76][78] .....	13
Tabla 5. Comparativa entre tecnologías de motores [44][83][84][85].....	15
Tabla 6. Comparativa entre tecnologías de sensores de posición angular [86][87][88] ..	16
Tabla 7. Cuadro comparativo entre Regulador Lineal y Conmutado [94] .....	18
Tabla 8. Comparativa entre baterías más usados en robótica [95][96][97] .....	19
Tabla 9. Alternativas de sensores Hall comerciales [99][100][101] .....	23
Tabla 10. Alternativas de sensores de fuerza comerciales [79][103][81] .....	25
Tabla 11. Alternativas de sensores EMG comerciales [104][72][105].....	28
Tabla 12. Alternativas de excitadores comerciales [111][112][113] .....	35
Tabla 13. Conexiones a la Unidad de control.....	36
Tabla 14. Alternativas de microcontroladores comerciales [115][116][117].....	37
Tabla 15. Alternativas comerciales de elevadores a 5V [119][120][121] .....	38
Tabla 16. Alternativas comerciales de elevadores a 6V [122][123][124] .....	39
Tabla 17. Alternativas comerciales de baterías [125][126][127].....	40
Tabla 18. Presupuesto.....	45
Tabla 19. Ensayos con objeto de plástico .....	51
Tabla 20. Ensayos con objeto madera .....	52
Tabla 21. Ensayos con esponja.....	52
Tabla 22. Ensayos con objeto de metal .....	53
Tabla 23. Ensayos con objeto de vidrio.....	53

## Introducción

Actualmente se estima que existen 7500 millones de personas en el mundo [1], donde 1.5 de cada 1000, sufren de alguna amputación [2]. El 16% de este total es de miembro superior, de los cuales, el 70% es producto de algún accidente sufrido (traumatismo) [2].

En el Perú, se estima que existen 11353 personas con amputación de miembro superior [3]. Asimismo, el Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo (MTPE) reporta un promedio de 40 casos de lesión de mano al mes; y cabe resaltar, que esto sólo representa el 27% del mercado laboral (empresas formales) [4]. Por otro lado, en el 2015, un estudio más completo del Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo (SCTR) registró un promedio de 34 accidentes de miembro superior al día con mayor incidencia en los sectores de manufactura (27.25%) y construcción (13.63%); teniendo así a final de año 174 casos de amputación, de los cuales, 55 se dieron por encima de la muñeca y los 119 restantes fueron amputación parcial o total de manos o dedos [5]. Además, complementando el estudio anterior, de [6] es válido estimar que el 59% de esos 174 casos llegan a ser una amputación transradial.

En torno a esta problemática, al elevado costo y escasa funcionalidad de las prótesis que se encuentran en el mercado peruano [4], el Grupo de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (GIRAB), a través del proyecto PUCP DGI ID 681, Contrato N° 059-2018-FONDECYT, está desarrollando una prótesis transradial (más frecuente en miembro superior) mioeléctrica personalizable (dimensionada a cada usuario) con retroalimentación háptica (emulando las sensaciones vibro táctiles que las prótesis comerciales actuales no ofrecen) y empleando tecnologías de fabricación digital (escaneo e impresión 3D, diseño CAD-CAM) dirigido principalmente a reinsertar al mercado laboral a personas de bajos recursos [7].

# 1. Amputación de Miembro Superior y las Prótesis como solución

Este capítulo aborda la problemática de la amputación de miembro superior y la deficiencia en la oferta de prótesis en Perú para satisfacer la demanda; con esto se podrá determinar la justificación del proyecto realizado por el Grupo de Investigación de Robótica Aplicada y Biomecánica en la PUCP (GIRAB), financiado por CONCYTEC, y, por ende, la labor en el sistema electrónico.

A continuación, se presenta el estado del arte sobre las prótesis mioeléctricas de mano y se elabora un análisis del sistema electrónico y del producto como tal; con ello, se puede determinar los componentes electrónicos en un sistema para una prótesis de este tipo y se realiza una breve descripción al respecto.

Finalmente, se expone el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis.

## 1.1 Problemática

Actualmente se estima 7500 millones de personas en el mundo [1], donde 1.5 de cada 1000 personas, sufren de alguna amputación; el 16% de estas personas son afectadas con amputación del miembro superior, de las cuales, el 70% tienen como causa de amputación alguna lesión o accidente sufrido (traumática); mientras que, un 18% padecen esta condición de nacimiento (congénita) [2].

Aproximadamente 2.4 millones de personas presentan amputación de miembro superior en los países en vías de desarrollo [4]; y, gracias a un estudio de mercado hecho por la PUCP en 2017, se estimó un mínimo de 11353 personas afectadas en el Perú [3]. Además, el Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo (MTPE) reporta un promedio de 40 casos de lesión de mano al mes [4]; por ejemplo, destaca el caso del año 2015 donde se registraron 34 accidentes al día, de los cuales, 174 casos terminaron en una amputación parcial (119) o total (55) de la mano [5]; a su vez, de este total, se estima que el 59% son amputaciones por debajo del codo (transradial) [6]. Sin embargo, cabe resaltar que estos datos sólo corresponden al 27% del mercado laboral; ya que el otro 73% se ubica en la informalidad, sector predominante que no se puede estimar [4].

Por otro lado, las características por las que una persona elige una prótesis, según diversos autores, son: la funcionalidad, el costo y que sea de fácil uso al usuario [8][9][10].

Asimismo, en el mercado peruano, las prótesis tipo garfio cuestan entre 4000 a 5000 soles ofreciendo una baja funcionalidad, aunque de fácil uso, y las prótesis tipo maniquí cuestan entre 5000 a 6000 soles, ofreciendo una buena apariencia, pero sin funcionalidad alguna. Finalmente, las prótesis mioeléctricas están alrededor de 25000 soles ofreciendo buena funcionalidad (a costa de un precio inaccesible) y un uso para aquellas personas que representan al sector más grande de amputados, es decir, personas con amputación traumática producto de accidentes laborales y con escasos recursos [4].

## 1.2 Justificación

El GIRAB ha venido realizando diversos proyectos relacionados a prótesis mioeléctricas [11][12][13] cuyo fin, esencialmente, se sintetiza en el último proyecto que están realizando, y que tiene como objetivo: “Diseñar, desarrollar e implementar prótesis personalizadas de mano mioeléctricas con retroalimentación háptica de bajo costo empleando tecnologías de fabricación digital orientadas a insertar o reinsertar a las personas de bajos recursos al mercado laboral e integradas en un programa que cubre los servicios pre y post protésico”.

Los sistemas protésicos pueden clasificarse por el tipo de mando: señales neuronales [14], electromiográficas -EMG- [15], movimientos de una parte del cuerpo [16] o mediante un HMI [15]; y por el tipo de actuador: eléctrico [15], mecánico [17] o neumático [18].

Por otro lado, las prótesis mioeléctricas, accionadas por señales EMG, han presentado significativos avances; debido a que, permiten un buen grado de rehabilitación al usuario, en su mayoría ofrecen una buena funcionalidad y estética, y tienen un amplio campo de desarrollo en diversas áreas tecnológicas [19][20][21]; sustentando así, ésta elección.

## 1.3 Estado del Arte

Este bloque inicia con la comparación y resumen de las prótesis mioeléctricas comerciales, de fuente abierta y de investigación de los últimos 6 años; para luego, hacer hincapié en los sensores y actuadores usados en prótesis; ya que estos influyen principalmente en la elección de los demás componentes.

### 1.3.1 Prótesis mioeléctricas comerciales

Algunas prótesis mioeléctricas comerciales son las siguientes: Bebionic 3 [22], i-limb quantum [23], Michelangelo [24], Vincent evolution 3 [25] y la Myo-Arm [26].

Tres de estas tienen cualidades únicas que las diferencian de las demás. La i-limb quantum con su “tecnología i-mo” que le permite un control de gestos personalizados; la Vincent evolution 3 con su concepto “STC” para elegir uno de sus 14 agarres con una sola señal de disparo; o la Michelangelo con su sistema “Axon-bus2”, que es un sistema de transferencia de datos, que genera una alta confiabilidad en la transmisión, y con sus estados “natural” y “rígido” en la muñeca, que se asemejan al de una mano humana.

Por otro lado, con respecto al peso, se aprecia una fuerte dependencia de la talla a adquirir (XS, S, M, L o XL, dependiendo de cada prótesis), y del material de fabricación, por ejemplo, la i-limb quantum en sus diversas tallas resulta ser la prótesis más pesada en gran parte por sus dedos reforzados con titanio.

En la perspectiva de producto, las 4 primeras presentan beneficios como un diseño antropométrico y aplicaciones de aprendizaje y personalización; pero sus costos sobrepasan los 25 000 soles [27]; en general, todas poseen una garantía que ronda entre los 2 a 5 años y accesorios complementarios, como cobertores de piel.

Finalmente, cabe resaltar la i-limb quantum y la Michelangelo: La primera ofrece 36 gestos; y la segunda por sus modos de operación y transferencia de datos.



Figura 1. Vincent evolution3 [25]



Figura 2. i-limb quantum [23]



Figura 3. Michelangelo [24]

### 1.3.2 Prótesis mioeléctricas de fuente abierta

Algunas de estas son las prótesis de Open Bionics: Brunel 2.0 [28], Ada Hand v1.1 [29] y Hero Arm [30]; así como Dextra [31], Inmoov [32] y Hackberry [33].



Todas poseen un costo más bajo respecto a las comerciales por el uso de impresión 3D en su manufactura y componentes electrónicos económicos [34]. Los precios rondan aproximadamente entre los \$200 (Hackberry) y \$1560 (Brunel) y siendo un caso particular la Hero Arm con \$6980 ya que posee el reconocimiento de ser la primera prótesis impresa en 3D clínicamente aprobada y tener como colaborador a Disney [35].

Por otro lado, la esencia de estas prótesis es que son de código abierto, es decir, los archivos de desarrollo son compartidos en un medio para ser editables y existe un manual de ensamblaje; además, gracias a las herramientas de comunicación digital, se comparten experiencias y conocimientos útiles para la fabricación.

Finalmente, cabe mencionar que la calidad tecnológica de este tipo de prótesis (dispositivos electrónicos y materiales usados más comerciales pero con especificaciones más limitadas, algoritmos menos sofisticados, entre otros) todavía no es comparable con las comerciales; sin embargo, los procesos de producción y manufactura de ambas sí que están teniendo resultados cada vez más similares [36].



Figura 4. Hackberry [33]



Figura 5. Hero Arm [37]



Figura 6. HIT V Hand [38]

### 1.3.3 Prótesis mioeléctricas de investigación

La Tabla 1 muestra 7 prótesis investigadas resumiendo características como costo, peso, grados de libertad (DOF), sensores, actuadores, entre otros.



Tabla 1. Prótesis Mioeléctricas de Investigación [39][40][41][38][42][43][44]

Diseño		The Octahand	SSSA-MyHand	HIT V Hand	UOMPro		AstoHand v.1
DOF		6 (mano) 2 (muñeca)	4	6	6	3	5
Peso (g)		950	478	450	432		261
Dimensiones (mm3)		86x40x206 (mano) 96x96x91 (muñeca)	200x84x56	171x80.2x27.4	88x 199		180x85x50
Batería		Lipo 7.4V @ 3.6Ah	12V @ 1Ah		Lipo 12 V	2 Lipo 7.4V @ 1Ah	7.4V @ 2.42Ah
Sensores	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ EMG (myoware AT-04-001) (3 electrodos)</li> <li>_ FSR-402 (fuerza)</li> </ul>	De efecto Hall (posición)	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Sensor de efecto Hall FSR (fuerza)</li> <li>_ Resistencias de derivación (corriente)</li> <li>_ EMG (señales musculares)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Potenciómetro de contacto Galgas</li> <li>_ Extensiométricas (torque)</li> <li>_ Sensor de corriente</li> <li>_ Piezorresistor flexible 3D</li> <li>_ EMG (6 electrodos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Encoder (12 eventos / resolución)</li> <li>_ EMG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Piezorresistor flexible (FlexiForce A201)</li> <li>_ EMG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ EMG</li> <li>_ Potenciómetro (posición)</li> </ul>
Actuadores	Servomotores de 180°	8 motores DC (6mano, 2muñeca)	3 motores DC	6 motores DC	6 motores DC	3 servomotores	5 micro DC motoreductores de metal
Unidad de Control	ATmega328P	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ ATmega32u4 (mano)</li> <li>_ ATmega328P (controlador en cada dedo)</li> </ul>	uC con maquina de estado finita	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ FPGA (mano)</li> <li>_ DSP chip TMS320F28027 (controlador en cada dedo)</li> </ul>	Teensy 3.2 uC	Atmega328	Atmega328P
Materiales	Tecnología de impresión 3D	Tecnología de impresión 3D (ABS)	Protector de Plástico		<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Tecnología de impresión 3D</li> <li>_ Maquinado CNC en aluminio</li> </ul>	Tecnología de impresión 3D (ABS)	Tecnología de impresión 3D (PLA)
Costo		≈ \$2000	< \$3360		< \$850	≈ \$990	

Asimismo, con respecto a detalles generales, se observa características comunes como la impresión 3D y el uso de sensores, actuadores y unidades de control comerciales para el desarrollo de prótesis de bajo costo, punto similar con las prótesis de fuente abierta y que reducen sus costos.

En las prótesis “SSSA-MyHand” y “HIT V Hand”, destaca el uso de una mayor cantidad de sensores respecto a las otras. Además, “SSSA-MyHand” logra 6 gestos con tan solo el uso de 3 motores, debido a su sistema de transmisión innovador; posee el menor tiempo de respuesta (menor a 370 ms) comparado con las prótesis vistas hasta el momento y tiene una fuerza de agarre similar al de las comerciales; luego, en el caso de “HIT V Hand”, se puede decir que resulta la más avanzada tecnológicamente de este rubro, ya que, entre otras cualidades, cuenta con 9 patrones de agarre distintos, uso de un sistema de control modular y posee una habilidad de auto bloqueo.

Por último, otra prótesis a destacar es “The Octahand”, ya que, es la única que proporciona movimiento de muñeca, presenta un diseño hecho por modelado CAD usando un escáner 3D, dispone de un sistema de control modular, al igual que “HIT V Hand”, y posee 6 gestos bien diferenciados; y, pese a que carece de control por señales EMG, sus demás características, enriquecen la investigación en este tipo de prótesis.

### 1.3.4 Tipos de sensores

i) De fuerza: existen 4 categorías según el tipo de transducción [45][46].

- *Piezorresistivos*: aquellos que varían su resistencia eléctrica al ser accionados. Estos a su vez se pueden subdividir por el tipo de conducción en:
  - a) Piezorresistores: variación de la resistividad a la aplicación de esfuerzo [47][48][49].
  - b) Galgas Extensiométricas: resistencia varía dependiendo de la geometría [49][50].
  - c) Dispositivos de Percolación: partículas en un sustrato que, al chocarse, producto de un esfuerzo en el material compuesto, produce una variación en la resistencia [46][50].
  - d) Dispositivos de Túnel Cuántico: Similar a los de compuestos de percolación, con la diferencia que las partículas son puntiagudas y basta con que se acerquen lo suficiente para generar caminos de conducción [47][49].
- *Piezoeléctricos*: aquellos que al aplicarles esfuerzo generan un voltaje [47][48].
- *Capacitivos*: aquellos que al presionarlos varían su capacitancia [47][48].
- *Ópticos*: aquellos que, al deformar el conductor de luz, afectan la intensidad de llegada de está al foto receptor [47][48].

ii) De posición: los más usados en prótesis son los siguientes:

- *De efecto Hall*: variación del voltaje en los terminales de una placa, por acción de un campo magnético externo, que es atravesada por una corriente de extremo a extremo [40][49].
- *De contacto (potenciómetro)*: variación de la resistencia con respecto al movimiento del eje o mecanismo central [38][49].
- *Encoder*: la luz llega al foto receptor en forma de pulsos debido al giro de un disco con ranuras acoplado al eje del motor [42][49].

iii) Electromiográficos (EMG): detectan las señales musculares, entre 5 a 200  $\mu\text{V}$  [19], mediante electrodos; los hay comerciales [51][52], y de investigación y desarrollo

[53][54]. En este punto cabe señalar otra alternativa para detectar señales musculares, la cual está presente en la prótesis Hackberry con su sensor infrarrojo [33].

### 1.3.5 Tipos de actuadores

- i) Motores Eléctricos: Aquí tenemos los motores DC con y sin escobillas [41] [42], los servomotores [39][43] y los micro motores de paso [55][56].
- ii) Actuadores Inteligentes: aleaciones con memoria de forma, ejemplo: nitinol (Ni-Ti) [57], que se contraen o estiran dependiendo de una señal eléctrica que las atraviesa.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

“Diseñar e Implementar el sistema electrónico de una prótesis transradial mioeléctrica”.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Cubrir el requerimiento de bajo costo del proyecto.
- Diseñar e Implementar el Hardware en una tarjeta teniendo en cuenta las dimensiones de la palma de una mano.
- Diseñar e Implementar el algoritmo principal y los algoritmos de apertura y cierre de la mano.
- Probar el funcionamiento del sistema electrónico con tiempos de apertura y cierre comparables al de las prótesis comerciales actuales (menor a 2s).

## 2. Análisis de dispositivos electrónicos a requerir

La adecuada selección de sensores y actuadores es uno de los primeros pasos a seguir para el diseño del subsistema electrónico (control y alimentación) de la prótesis. Esta labor requiere de una rigurosa dedicación, puesto que, estos dispositivos son los que permiten el intercambio de información del sistema, prótesis, con el usuario y el medio. Más aún, una buena elección está antecedida de un claro entendimiento del comportamiento del sistema, y determina, en gran medida, la complejidad del sistema y la lógica de control.

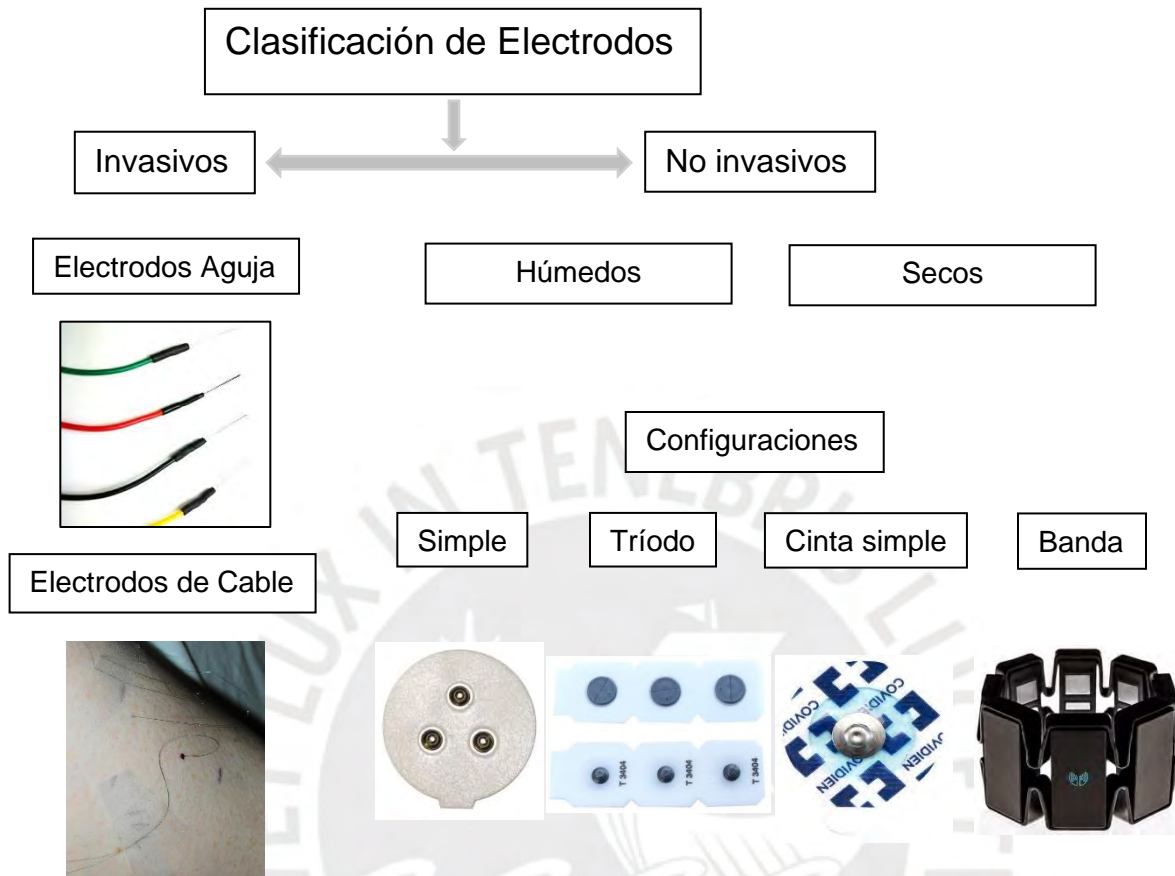
Por ello, en el presente capítulo se realiza un breve resumen de nociones sobre los sensores de electromiografía, fuerza y posición con sus respectivos circuitos de acondicionamiento; posteriormente, se expone concisamente la parte de potencia del subsistema (motor y excitador) y de la unidad de control; y, finalmente, se abordan los dispositivos relacionados al sistema de alimentación de la prótesis en general.

### 2.1 Sensor EMG

- a) **Electromiografía:** medición de potenciales eléctricos que ocurren al contraer los músculos [58].
- b) **Señal electromiográfica:** conjunto de potenciales eléctricos sucesivos producidos por varias unidades motoras (neuronas) hacia las fibras musculares [58].
- c) **Electrodos:** transductores que captan las señales electromiográficas. Se clasifican en: invasivos (adheridos al músculo en medición atravesando la piel) y no invasivos (ubicados superficialmente encima del músculo que se desea evaluar). En Tabla 2 se listan algunas características de los tipos de electrodos no invasivos y en Figura 7 se presenta un esquema general de la clasificación de electrodos [59].

Tabla 2. Cuadro comparativo de electrodos superficiales [58][60]

Secos	Húmedos
De colocación simple	Desechables
Menor costo de mantenimiento	Menor impedancia de contacto
Más cómodos	Más Baratos



*Figura 7. Electroodos EMG. Imágenes: [130][131][132][133][134][135]*

**d) Disposición de los sensores:** la distancia entre sensores y el área de contacto de cada uno de estos juegan un papel importante en la adquisición de las señales.

Por un lado, a mayor área de contacto, el ruido por diafonía se incrementa debido a las fibras musculares vecinas; sin embargo, la impedancia de contacto disminuye favoreciendo la obtención de las señales [58].

Por otro lado, una menor distancia entre electrodos reduce el ruido por diafonía a costa de disminuir la calidad de la señal (la diferencia en las señales de los electrodos disminuye y el ruido común se hace considerable) [58].

Sin embargo, la desventaja de la corta distancia entre sensores se corrige con el uso de un amplificador de alto CMRR y alta ganancia en modo diferencial. Por ello, varios autores optan por abarcar un área considerable de contacto ( $\Phi$ : 1-3 cm aprox.) y ubicar los electrodos lo más cerca posible ( $\leq 2.5$  cm.) [58][61][62][63][64][65].



Con respecto a la ubicación de los sensores, las superficies sobre los músculos extensores y flexores de los 4 dedos no oponibles son bastante escogidos [58][62] [64] [65][66][67]. Por ello se tiene en consideración seguir las ubicaciones sugeridas en las Figuras 8 y 9. También, se prefieren estos lugares por estar cercanos al nivel de amputación del usuario y por ende facilitar su colocación y conexión con la prótesis. En caso de usar electrodo simple de referencia, un lugar adecuado es el codo [58][63].

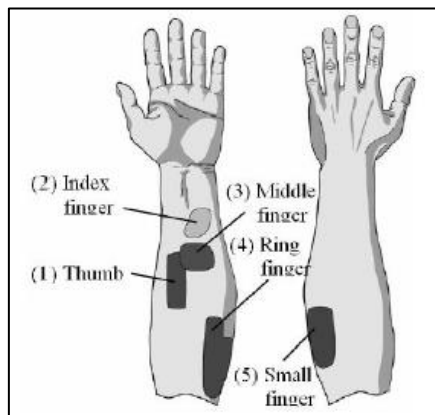


Figura 8. Ubicación sobre músculos flexores [58]

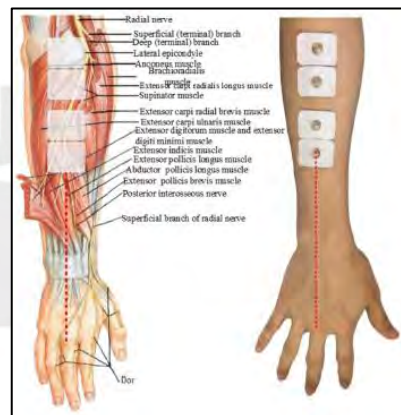


Figura 9. Ubicación sobre músculos extensores [64]

- e) **Métodos para detección de señales:** “Single-Threshold Methods” y “Double-Threshold Methods”. Ambos estiman el tiempo entre el encendido y apagado de la señal muscular localizando un umbral por encima de la potencia media del ruido. Además, el segundo tiene mayor robustez frente a contracciones involuntarias de los músculos que el primero [63].
- f) **Preparación de la piel:** algunos autores aconsejan limpiar la zona donde irá el electrodo con alcohol o un gel abrasivo y un paño suave. También se sugiere retirar el vello de la zona [62][63][67].
- g) **Estándares para EMG:** especificaciones en ciertos parámetros de diseño electrónico para un adecuado registro de la señal EMG. Uno de los más reconocidos es el estándar propuesto por la Sociedad Internacional de kinesiología Electrofisiológica [59].
- h) **Circuito de acondicionamiento:** posee 3 etapas básicas, las cuales son las siguientes:



- **Preamplificador:** recibe las señales de los electrodos y amplifica su diferencia para eliminar, lo mejor posible, el ruido presente en ambos electrodos. Puede usarse un amplificador diferencial [61], doble diferencial [65] o de instrumentación [66].
  - **Filtro Pasa Banda:** define el ancho de banda en el que se capta las señales EMG, atenuando las componentes fuera de este rango. Generalmente el rango de mejor captación de estas señales es [10-500] Hz [58][61][62][66]
  - **Filtro Notch:** atenúa el ruido de la línea eléctrica. En este caso 60 Hz [58][66]
  - **Etapas extras opcionales:** algunos autores optan por rectificar la señal [66] y otros por aplicar un offset de subida [61]. Además, en muchos casos, se utiliza un integrador o filtro suavizador, cuya salida devuelve la envoltura de la señal, para facilitar el procesamiento con un microcontrolador [66][68]. Por último, se hace uso de un inversor si la señal, al final de las etapas previas, sólo toma valores negativos [66].
- i) **Alternativas tecnológicas:** las dos alternativas contempladas, dada la necesidad de obtener sólo una señal EMG diferencial para fines del proyecto, son el uso de electrodos comerciales con un circuito de acondicionamiento, por diseñar, basado en un circuito integrado de entrada analógica frontal (ejemplo: AD8233 [69], MAX3003 [70]) [71]; o, el uso de módulos EMG que incluyen los sensores, circuito de acondicionamiento y accesorios para su colocación y conexión al controlador (ejemplo: Myoware [52], OYMotion [72], Groove [73]) [74].
- j) **Criterios de elección:**

En Tabla 3 se muestra una tabla con los criterios más importantes en la elección de la alternativa tecnológica a escogerse (en este caso la elección de un módulo comercial EMG) y cuantificando los criterios en una escala del uno al cinco, en la cual uno representa la menor afinidad al criterio y cinco la mayor afinidad observada en el análisis de las alternativas.

Tabla 3. Alternativa tecnológica a elegir

Criterio de Evaluación	Pesos	Alternativa de desarrollo	Alternativa comercial
Bajo Coste de Diseño	20%	1	5
Corto Periodo de Pruebas	15%	2	4
Diversidad de sustitutos	15%	3	3
Literatura de Apoyo	10%	3	4
Flexibilidad de optimización	10%	4	2
Accesibilidad en coste	30%	4	2
Resultado:		2.85	3.25

## 2.2 Sensor de Fuerza

- a) **Fuerza:** magnitud vectorial que representa la interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y su entorno. Su unidad en el SI es el newton (N) [75].
- b) **Tipos de fuerza:** pueden ser de contacto (normal, fricción y tensión) o de largo alcance (gravitatoria, magnética) [75].
- c) **Sensorización táctil:** automatismo que recoge propiedades físicas de los cuerpos con los que se entra en contacto con la finalidad de asimilarse al tacto humano [76].
- d) **Mano artificial:** dispositivo similar en función (sensorización táctil) y forma a la mano humana; ejemplo: manos protésicas [76].
- e) **Sensor táctil:** instrumento que es capaz de medir una propiedad (rugosidad, temperatura, rigidez, etc.) de un cuerpo o el contacto físico con este [76].
- **Características físicas deseadas:** suavidad, elasticidad, resistencia mecánica, robustez.
  - **Características técnicas deseadas:** fiabilidad (exactitud y precisión), bajo coste, sensibilidad, libre de ruido, linealidad, no histéresis.
- f) **Tipos de sensores táctiles** [76]:
- **Sensores de presión:** utilizados para identificar la forma superficial del objeto o la distribución de presión en el contacto. Su naturaleza de medición es estática (analizan la variable cuando los cuerpos están estáticos) y son extrínsecos (ubicados sobre la superficie).

- **Sensores de fuerza-par:** miden las tres componentes de fuerza y par, de ser necesario. Encargados de sensar magnitudes netas. De medición estática y son intrínsecos (considerados en la estructura interna del robot).
- **Sensores de dinámica táctil:** sensan las variaciones en las condiciones estáticas de contacto (vibración, estrés). Miden cantidades dinámicas (analizan la variable cuando los cuerpos están en movimiento) y son extrínsecos.
- **Sensores de deflexión:** al deformarse, varían su resistencia y son capaces de medir la posición de la estructura movable de la mano a la que estén adheridas (ejemplo: dedos [77]). De medición estática y son extrínsecos.

g) **Alternativas tecnológicas:** en Tabla 4 se presenta tres de los principios de transducción más usados en estos tipos de sensores y se detallan algunas de sus características.

Tabla 4. Cuadro comparativo de tecnológicas táctiles [76][78]

Piezorresistivo	Capacitivo	Piezoeléctrico
Alta Sensibilidad	Alta Sensibilidad	Alta Sensibilidad
Sensible a la temperatura	Inmune a la temperatura	Sensible a la temperatura
Circuito de acondicionamiento simple	Circuito de acondicionamiento complejo	Circuito de acondicionamiento simple
Sufre de Histéresis	Sufre de Histéresis	Sufre de Histéresis
Sensible al ruido eléctrico	Sensible a EMI	Sensible al ruido eléctrico
Bajo consumo de energía	Muy bajo consumo de energía	Ultra bajo consumo de energía
Gran campo de medida	Campo de medida reducido	Gran campo de medida
Presente en sensores de presión, deflexión y fuerza-par	Presente en sensores de Presión	Presente en sensores de dinámica táctil

h) **Alternativas comerciales:** como se pudo observar en los dos anteriores puntos, la tecnología táctil con mejores prestaciones (salvo en temperatura) es la Piezorresistiva. Por ello se mencionarán algunos tipos de modelos comerciales.

- **Sensores de fuerza resistivos (FSR's):** constituidos por dos membranas rígidas planas separadas por una fina capa de aire, de 0.03 a 0.15mm., sostenida por un anillo espaciador. Una de las membranas posee dos trazas en los bordes, a potenciales distintos, que interconectan dedos que recorren la superficie en línea recta intercalándose uno tras otro. La otra membrana está humedecida con tinta

conductor. Al aplicar fuerza, la tinta crea un camino conductor para los dedos, con lo que la resistencia disminuye.

- **FSS/FSG:** un elemento piezorresistivo micro mecanizado aumenta su resistencia al detectar una fuerza aplicada. La diferencia entre el FSS y el FSG es que el primero utiliza una bola de acero inoxidable para concentrar la fuerza; mientras que, el segundo, un émbolo.
- **HSFPAR:** sobre una base se monta un diafragma que lleva en la cara inferior de su cubierta unos elementos piezorresistivos cuyos comportamientos son semejantes al de los FSS y FSG.

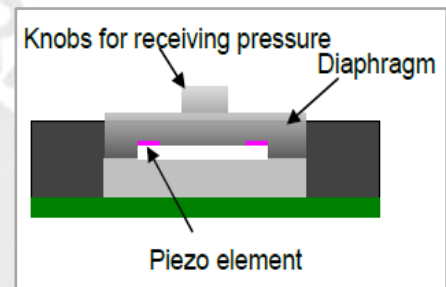
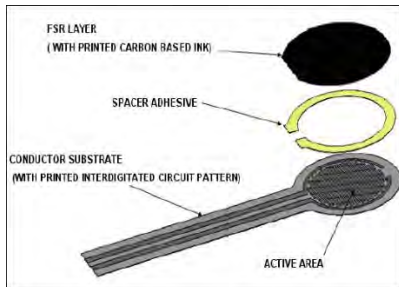


Figura 10. Diseño del FSR [79]

Figura 11. Diseño del FSG [80]

Figura 12. Diseño del HSFPAR303A [81]

- i) **Circuitos de acondicionamiento:** dado que el dispositivo a elegir será uno de estos tres modelos, en las hojas de datos se puede encontrar circuitos recomendados por los fabricantes. Por ejemplo, para los FSR's se tiene un circuito divisor de voltaje, variantes de circuitos accionados por umbral, interface digital de entrada FSR multicanal, conversores de corriente del FSR a voltaje y conversor resistencia a frecuencia [79]. En el caso de los FSS, FSG y HSFPAR, se observa de los diagramas esquemáticos de los tres que sus configuraciones internas son en forma de puente Wheatstone, por lo que un fabricante recomienda usar un amplificador instrumental (ver configuración en hoja de datos) y ajustar a la ganancia necesaria [81].

### 2.3 Actuador: Motor

Los motores eléctricos son ampliamente escogidos debido a que son fácilmente controlables; facilitan la portabilidad del sistema con el uso de baterías y la no

dependencia de fuentes de presión externas; y, son más eficientes que los actuadores hidráulicos y neumáticos. Por otro lado, la principal desventaja que afecta a este tipo de actuador es la necesidad de transmisiones que transforman el bajo torque y alta velocidad a alto torque y baja velocidad, requerido para aplicaciones en prótesis, y sacrificando eficiencia, tamaño, nivel de ruido, costo y funcionalidad en sentido inverso. Sin embargo, el amplio desarrollo tecnológico en la fabricación de estos dispositivos y sus transmisiones ha permitido reducir considerablemente las deficiencias vistas [82].

- a) **Criterios de elección:** en Tabla 5 se muestran los tipos de motor a considerar y los criterios a seguir para una óptima elección. Estos criterios se cuantificaron en una escala del uno al cinco, en la cual uno representa la menor afinidad al criterio y cinco la mayor afinidad observada en el análisis de las alternativas.

Tabla 5. Comparativa entre tecnologías de motores [44][83][84][85]

Criterio de Evaluación	Pesos	Brushed DC	Brushless DC	ServoMotores
Simplicidad del Excitador	5%	3	1	4
Bajo coste	25%	4	2	3
Menor requerimiento de HW externo para control	5%	2	2	4
Tamaño reducido	30%	4	3	4
Versatilidad en el control de posición y velocidad.	25%	3	3	1
Durabilidad / Mantenimiento	5%	3	4	3
Preferencia en la literatura	5%	4	4	2
Resultado:		3.55	2.7	2.85

- b) **Alternativas comerciales:** en la literatura previa se puede observar que los fabricantes de motores brushed DC más conocidos, para este tipo de aplicaciones, son Maxon y Faulhaber. Además, ambas empresas permiten al usuario escoger reductores y sensores de posición, acoplados al motor, que personalizan la compra, y son las empresas escogidas por marcas de prótesis como Bebionic, i-Limb y Otto Bock [85].

Otra alternativa es la empresa Pololu, que vende una gran variedad de micro motores con engranajes predefinidos acoplados a un precio menor a los de las empresas antes mencionadas.

## 2.4 Sensor de Posición

- a) **Criterios de elección:** en Tabla 6 se aprecia una comparativa entre las tecnologías mencionadas en el estado del arte con los criterios más importantes a seguir. Estos criterios se cuantificaron en una escala del uno al cinco, en la cual uno representa la menor afinidad al criterio y cinco la mayor afinidad observada en el análisis de las alternativas.

Tabla 6. Comparativa entre tecnologías de sensores de posición angular [86][87][88]

Criterio de Evaluación	Pesos	Potenciómetro	Encoder (absoluto)	De efecto Hall
Robustez al desgaste	20%	1	4	4
Resolución	10%	4	3	3
Exactitud (linealidad)	10%	4	4	3
Bajo Costo	15%	4	2	3
Robustez en ambientes sucios y húmedos	20%	1	1	4
Disponibilidad en el Mercado	20%	4	2	4
Robustez a EMI	5%	2	5	1
Resultado:		2.7	2.65	3.5

- b) **Elección de tecnología y alternativas comerciales:** dado los requerimientos a seguir y la tabla comparativa de tecnologías, la mejor solución contemplada es el uso de un sensor de efecto Hall. Por ello, empresas como Melexis, Allegro y AMS producen varios modelos de sensor en circuito integrado que cumplen con las características deseadas [85]. Por otro lado, en el mercado existen placas acondicionadoras de estos sensores y con ello la elección entre la fabricación o la compra de la tarjeta acondicionadora se verá en el siguiente capítulo.

## 2.5 Excitador

El uso de excitadores comerciales en módulos y/o circuitos integrados, basados en un circuito puente H, es la elección por defecto en la mayoría de literatura revisada anteriormente. Características como sus bajos costos, amplia disponibilidad en el mercado, diversidad de modelos, fácil integración y diseño sencillo; posibilitan una elección simple y correcta, ahorrando tiempo y costos.



a) **Puente H:** consta de 2 pares de interruptores electrónicos en serie y puestos en paralelo con el motor uniendo los nodos entre interruptores. La aplicación de este circuito es para cambiar el sentido de giro de los motores DC sin necesidad de invertir el voltaje de la fuente [89]. En figura 14 se muestra los estados del modo de operación “Drive/Break”, el más básico en estos dispositivos.

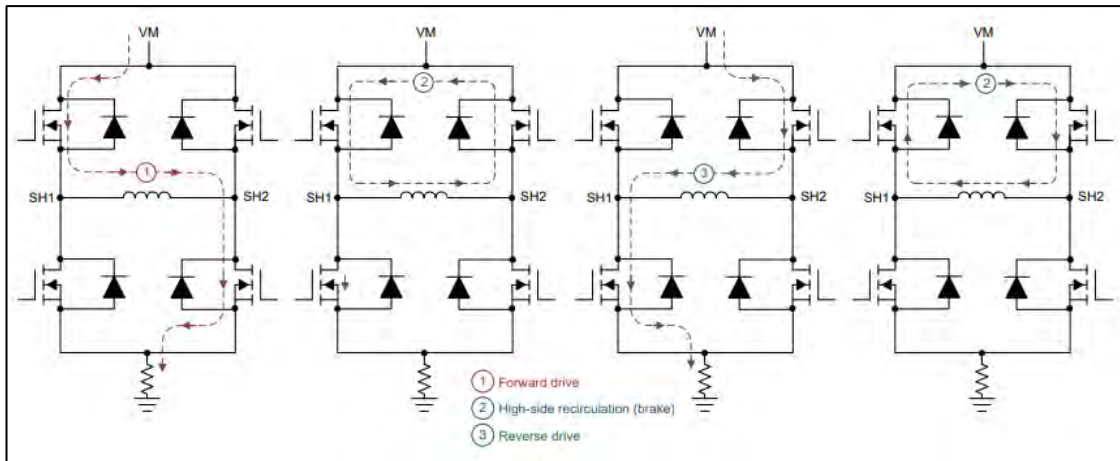


Figura 13. Modos de Operación de un Puente “H” [89]

## 2.6 Conversor DC/DC

a) **Fuente conmutada:** consta básicamente de la concurrencia de 3 elementos: un diodo, una bobina (almacenador de energía) y un conmutador; además en la salida se adiciona un condensador que estabiliza la tensión a la carga [90].

b) **Topologías básicas de una fuente conmutada:**

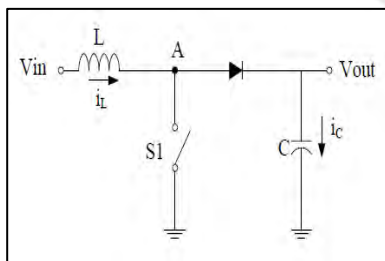


Figura 14. Elevador [91]

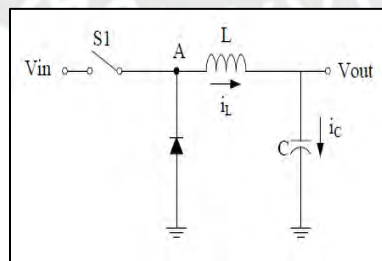


Figura 15. Reductor [91]

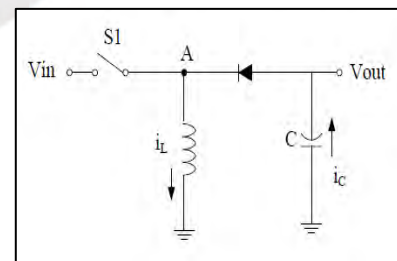


Figura 16. Inversor [91]

c) **Regulador conmutado:** consta de una fuente conmutada, con una topología especificada, que regula la tensión de salida a un valor fijo independiente de las variaciones de la señal de entrada. Esto se logra mediante la realimentación de la

tensión de salida que se compara con el voltaje referencia deseado y, con el error calculado, se determina el ciclo de trabajo de la señal de conmutación [90].

- **Características:** uso de semiconductores como elementos de conmutación (MOSFET, BJT, IGBT, etc.); la frecuencia de trabajo suele ser elevada, de 10 kHz a 300 kHz, para disminuir el rizado y minimizar el tamaño de las bobinas, con el inconveniente menor de aumentar las pérdidas en el conmutador y el núcleo de ferrita en las inductancias; y, en los reguladores comerciales, un circuito RC fija el ciclo de conmutación [90].

d) **Regulador lineal:** consta, principalmente, de un dispositivo activo (ejemplo: mosfet, bjt, jfet) que opera en zona lineal (modelo fuente de corriente) para regular la tensión de salida a un valor fijo. Para ello, se necesita un circuito de realimentación de tensión, cuya topología puede ser serie (usado en la mayoría de circuitos integrados por ser más eficiente) o paralelo [92][93].

Tabla 7. Cuadro comparativo entre Regulador Lineal y Conmutado [94]

Regulador Lineal	Regulador Conmutado
Sólo opera como reductor	Opera como reductor, inversor o elevador
Eficiencia de media a baja	Alta eficiencia
Complejidad de diseño media (se requiere básicamente del regulador y algunos capacitores y resistencias)	Alta complejidad de diseño (requiere de una fuente conmutada y componentes para el circuito de realimentación)
A bajas potencias el tamaño es pequeño, a altas potencias el uso de disipador incrementa el espacio.	A baja potencia el espacio requerido es ligeramente mayor al del regulador lineal; mientras que, a altas potencias el espacio es menos afectado.
Son de bajo costo	Son de costo medio a alto dependiendo de la configuración y componentes
No genera ruido al sistema que alimenta	Genera ruido de conmutación que puede afectar al sistema.

## 2.7 Batería

a) **Alternativas tecnológicas:** algunos tipos de baterías comerciales son: Acido de plomo, Níquel-Cadmio, Níquel-Hidrógeno, Ión-Litio, Polímero de Litio (Lipo) y Níquel-metal hidruro (Ni-MH). De este grupo, los 3 últimos son los que más se pueden apreciar en aplicaciones de robótica [95].

Los tres primeros tipos no se usan mucho debido a la baja relación capacidad por peso, uso de componentes tóxicos en la fabricación (Cadmio) y escaso conocimiento y disponibilidad en el mercado, respectivamente [95].

En Tabla 8 se puede apreciar una comparación entre los tipos más usados de baterías para robótica.

Tabla 8. Comparativa entre baterías más usados en robótica [95][96][97]

<b>Ni-MH</b>	<b>Li-Ion</b>	<b>Lipo</b>
Amplia disponibilidad	Amplia disponibilidad	Disponible en tiendas especializadas de electrónica, RC y robótica
Precio menor por capacidad	Precio medio por capacidad	Precio mayor por capacidad
Muy buena duración (500-2000 ciclos de carga y descarga)	Buena duración (300 a 500 ciclos de carga y descarga)	Buena duración (300 a 500 ciclos de carga y descarga)
Gran capacidad (0.75 a 3.3 Ah)	Gran capacidad (0.75 a 3 Ah)	Muy alta capacidad (1.5 a 10 Ah)
Más fácil de cargar que las Lipo	Más fácil de cargar que las Lipo; requiere un cuidadoso mantenimiento	Requiere un cuidadoso mantenimiento ya que pueden ser explosivas
Peso por celda: 28 gr.	Peso por celda: 43 gr.	Menor peso relativo por celda que la Li-Ion
Celda de 1.2 V, carga a 0.1 o 1C y descarga de 1-30C	Celda de 3.7 V (2.5-4.2V); carga y descarga depende del tipo	Celda de 3.7 V (3.6-4.2V); carga y descarga depende del tipo

## 2.8 Unidad de Control

En el estado del arte visto en el capítulo 1, en la sección de prótesis mioeléctricas de fuente abierta y de investigación, destacan 3 controladores posibles a analizar; los cuales son: ATmega328P, ATmega32U4 y Teensy 3.2.

La razón por la cual se consideran estos microcontroladores es debido a su disponibilidad y reconocimiento en el mercado peruano, siendo el más comercial el ATmega328P (en chip y en placa Arduino Uno, Nano y Pro Mini) seguido del ATmega32U4 (en placas Arduino Micro y Leonardo); mientras que, el Teensy 3.2 ha sido ubicado en un único distribuidor a la fecha (Naylamp Mechatronics) y con un precio muy superior a los anteriores microcontroladores mencionados.

### 3. Diseño e Implementación del Hardware y Software

El tercer capítulo empieza presentando el alcance a cubrir con el sistema propuesto en la tesis. Luego, se presenta el diagrama de bloques del sistema general y se resaltan aquellos bloques a ser desarrollados. Después, se procede a describir la planta general, con lo cual, se busca un entendimiento básico del diseño mecánico. Seguidamente, se desarrolla el Hardware y Software del sistema electrónico y se concluye el capítulo con el presupuesto.

#### 3.1 Alcance

En el presente trabajo de investigación se elabora un prototipo funcional de circuito impreso con restricciones de bajo costo (se estima que la prótesis completa tenga un precio comparable a las prótesis de garfio descritas en el primer capítulo, es decir, de entre 4000 a 5000 soles), de espacio (menor a 7.5cm x 10cm para que encaje en el dorso de la prótesis -descrita más adelante-) y que comprende: el subsistema electrónico que controla la apertura y cierre de la mano (menor a 2s, tiempo comparable al de las prótesis actuales comerciales [98]), el subsistema electrónico de retroalimentación háptica, y, el subsistema de alimentación que involucra tanto el subsistema de la mano como el subsistema mecatrónico de la muñeca.

El desarrollo de los subsistemas electrónicos comprende el diseño de cada circuito para los sensores y actuadores y los algoritmos (subrutinas) en la unidad de control a elegir. Por otro lado, el sistema de alimentación comprende el diseño del circuito de alimentación para la parte de control y potencia del sistema. Por último, cabe mencionar que, el subsistema mecatrónico de muñeca y los subsistemas mecánicos de la mano y de retroalimentación háptica son materia de desarrollo de los demás integrantes del equipo formado para el proyecto PUCP DGI ID681.

#### 3.2 Diagrama de bloques

En Figura 17, se puede observar que el sistema consta de sensores, actuadores, una unidad de control, un sistema de alimentación general y una planta general subdividida en mano y muñeca. Además, los bloques resaltados en **negrita** corresponden

a la porción desarrollada, del sistema electrónico general, en la presente tesis. Por otro lado, el subsistema electrónico de retroalimentación háptica se puede observar en las señales que proporciona y se recibe del usuario.

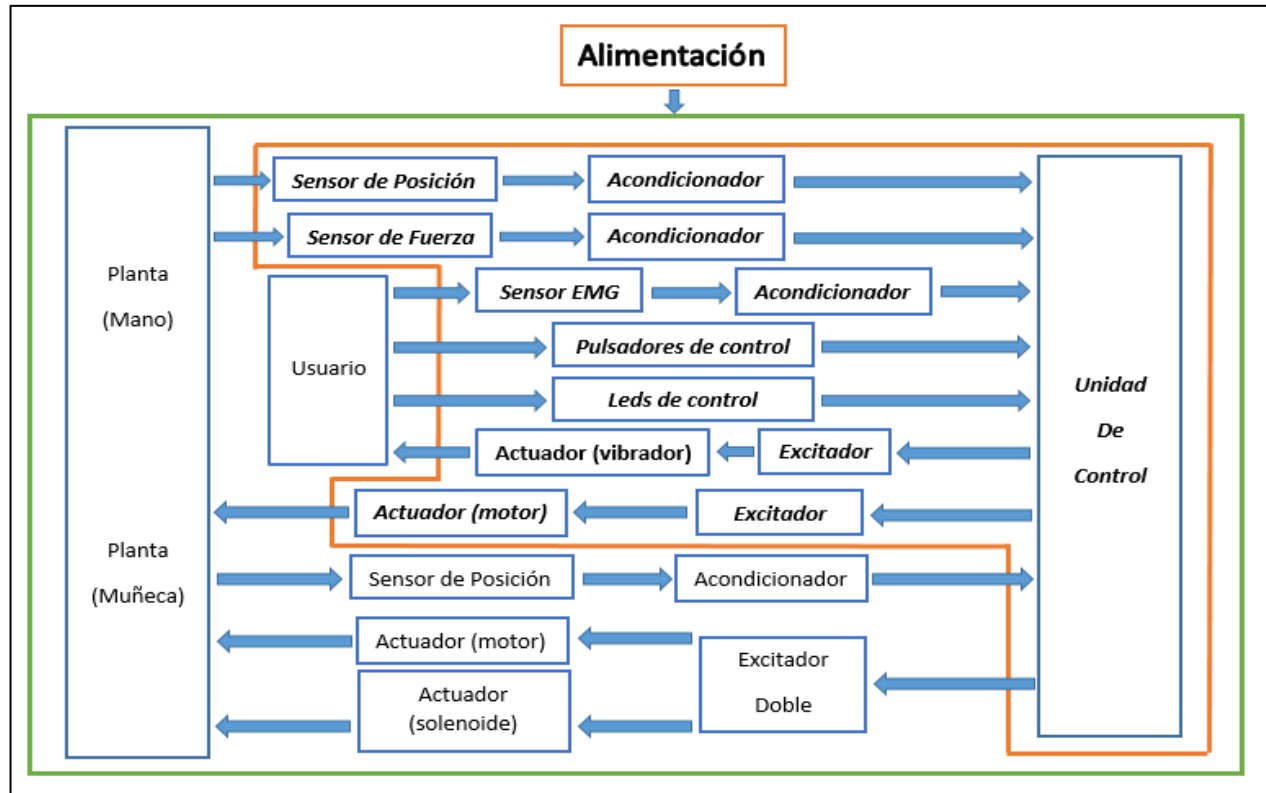


Figura 17. Diagrama de Bloques del Sistema Completo

### 3.3 Planta a controlar

Lo primero a considerar en el diseño del sistema electrónico es un entendimiento básico de la mano protésica; ya que, del diseño mecánico de esta, se determinan algunos requerimientos para la elección de componentes.

La mano protésica, revisar Anexo A, es una estructura diseñada en plástico PLA impreso en 3D con dimensiones de 18.4cm x 7.5cm x 2.8cm. La mano posee un grado de libertad accionado por un motor y otro grado de libertad en el pulgar que el usuario puede mover, mecánicamente, para fijar una posición respecto a la palma.

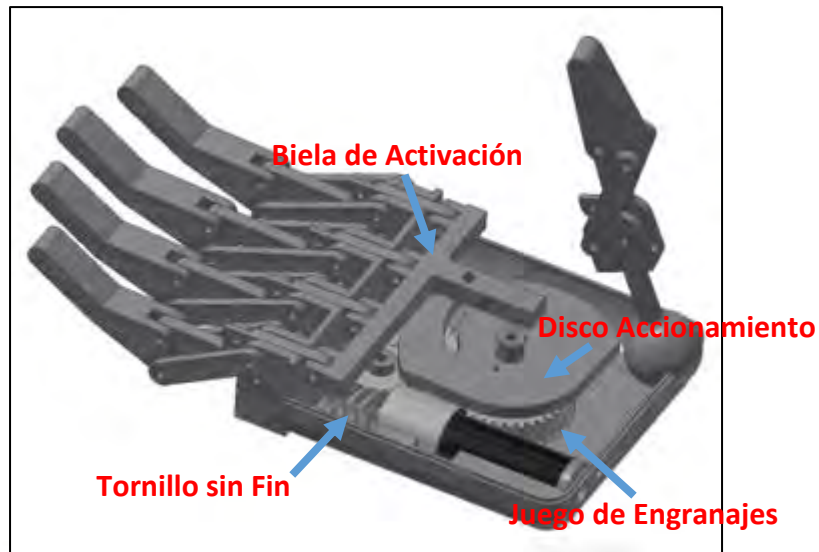


Figura 18. Estructura mecánica de la mano protésica

El actuador (motor) tiene como función la apertura y cierre de los 4 dedos no oponibles y cabe resaltar que el movimiento transmitido del motor a los dedos viene precedido por un mecanismo: tornillo sin fin - juego de engranajes - disco de accionamiento - biela de activación. Este mecanismo reduce la transmisión de velocidad de cuatro a uno y tiene como característica esencial el de ser un mecanismo auto bloqueante (transmisión de movimiento del motor a los dedos y no en viceversa).

Dada esta primera versión del diseño mecánico, se obtienen los requerimientos de espacio para algunos componentes, por ejemplo, se opta por posicionar al sensor de fuerza en el índice de la mano, exactamente en el medio de la yema, al sensor de posición en el centro del disco principal con un cilindro sobresaliente, en el dorso de la palma, de donde se mide la posición rotatoria, y, como se ve en Figura 18, la ubicación del motor es en el lado opuesto al dedo pulgar tomando como eje de referencia la línea que pasa por el medio de la palma y es paralela a los dedos.

### 3.4 Hardware

En esta sección se analiza cada bloque del diagrama de bloques. Para ello, si el bloque a evaluar es sobre un dispositivo visto en el capítulo dos, se inicia exhibiendo los requerimientos en cada caso; se listan mínimo dos alternativas de solución para cada bloque; y, se selecciona una de estas alternativas siguiendo un determinado criterio. Por



otro lado, si el bloque a analizar es de un circuito en sí (pudiendo ser un acondicionador, excitador o los bloques de pulsadores y leds de control) se procede a explicar el diseño de este y se muestra el diagrama esquemático resultante. Asimismo, en el caso del bloque de alimentación, se subdivide el análisis en sus componentes vistos en el anterior capítulo y después se presenta el diagrama esquemático de todo el sistema. Finalmente, se expone el diagrama de circuito impreso del sistema electrónico general.

### 3.4.1 Sensor de posición

#### 3.4.1.1 Requerimientos

Se busca que el dispositivo a elegir, sensor con tecnología Hall como se vio en el anterior capítulo, tenga un voltaje de operación comprendido dentro del rango usual de dispositivos electrónicos comerciales (3.3-5V). Por otro lado, según el desplazamiento a medir dado por el disco principal de accionamiento, se requiere un rango de medición mínimo de 60°. Además, se requiere tener una resolución menor igual a 1° para llegar a obtener una adecuada precisión en el control a realizar.

#### 3.4.1.2 Alternativas

En Tabla 9, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 9. Alternativas de sensores Hall comerciales [99][100][101]

Sensor de Posición	A1335	MLX90316	AS5600
<b>Voltaje de Operación</b>	4.5 - 5.5 V	4.5 - 5.5 V	4.5 - 5.5V
<b>Corriente de Operación</b>	20 mA (máx.)	11 mA (máx.)	6.5 mA (máx.)
<b>Sensibilidad</b>	0 - 360°	11 - 345°	0 - 360°
<b>Resolución</b>	12 bits	12 bits	12 bits
<b>Error de linealidad</b>	±0.5° (máx.)	±1° (máx.)	±1° (máx.)
<b>Tiempo de inicio</b>	40ms (máx.)	15ms (máx.)	10ms (máx.)
<b>Tiempo de respuesta</b>	60 us (typ.)	4 ms (máx.)	2.2 ms (máx.)
<b>Tasa de muestreo</b>	32 us (máx.)	600 us (máx.)	150 us (máx.)
<b>Densidad de Flujo</b>	150 mT (máx.)	20 - 70 mT	30 - 90 mT
<b>Precio unitario</b>	\$5.31	\$5.73	\$3.47

#### 3.4.1.3 Elección y criterios

El modelo a elegir es el MLX90316 debido a que cumple con los requerimientos mencionados. Además, se tiene la ventaja de contar con una buena documentación sobre



su calibración y ensayos con un imán comercial ya seleccionado en antiguos proyectos en el LIBRA (Anexo B).

### 3.4.2 Acondicionador del sensor de posición

El diseño que se sigue es el recomendado por el fabricante, ver diagrama esquemático en Figura 19, cuando se desea operar el sensor en modo salida analógica, básicamente, consta de condensadores que estabilizan los voltajes de entrada y salida frente al ruido que pueda presentarse. Por otro lado, el imán seleccionado se ve en Figura 20, y los criterios en su elección son la geometría de disco capaz de acoplarse a un eje rotatorio y la documentación de su uso en antiguos proyectos en el LIBRA (Anexo B).

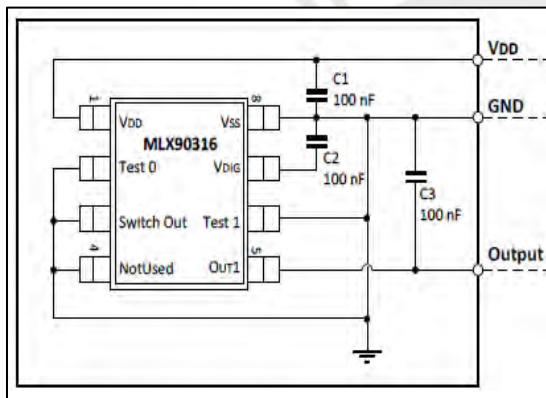


Figura 19. Acondicionador del sensor de posición [100]



Figura 20. Imanes para el sensor Hall [102]

### 3.4.3 Sensor de fuerza

#### 3.4.3.1 Requerimientos

Se busca un rango de voltaje de operación de 3.3 a 5 V como con el sensor de posición. Se necesita un rango de sensibilidad mayor a 1.285N, valor calculado para sujeción de objetos con distinta rugosidad (ver Anexo C). Se requiere que el área de sensado abarque la yema de un dedo (posición elegida del sensor). Se desea una gran durabilidad y un bajo costo (relativo a las opciones a evaluar).

#### 3.4.3.2 Alternativas

En Tabla 10, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 10. Alternativas de sensores de fuerza comerciales  
[79][103][81]

Sensor de Fuerza	FSR400 short	FSS015	HSFPAR303A
V o I de Excitación	1mA/cm <sup>2</sup> máx.	3.3 - 12.5 V	1.5 - 3.6 V
Rango de Sensibilidad	0.2 - 20N	0 - 15N	0.01 - 7N
Dimensiones	7.62mm $\Phi$ y 0.2-1.25 mm de espesor	5.59*13.7*3 mm <sup>3</sup>	4*2.6*2.06 mm <sup>3</sup>
Durabilidad	10*10 <sup>6</sup> ciclos	20*10 <sup>6</sup> ciclos	10 <sup>6</sup> ciclos
Precio	\$10.97	\$80.98	\$8.64

#### 3.4.3.3 Elección y criterios

El sensor a elegir es el FSR400 short dado que cumple de mejor manera con los requerimientos previamente mencionados (siendo la durabilidad, dimensiones y precio los criterios con mayor peso en la elección). Por otro lado, se elige este sensor debido a su mayoritario uso en prótesis de investigación (estado del arte).

#### 3.4.4 Acondicionador del sensor de fuerza

Para el diseño del acondicionador hay tres aspectos a tomar en consideración, estos son: la conversión de la señal resistiva de salida a una señal de voltaje con un rango próximo de 0 a VCC (voltaje de operación); el filtrado del ruido que pueda aparecer durante el sensado; y, la obtención de la mejor linealidad posible para el control a elaborar. Por ello, el diseño del acondicionador, se basa en un circuito con un amplificador operacional (OPAMP) en configuración no inversor recomendado por el fabricante (ver Figura 21). La ventaja de este circuito es su mejor linealidad respecto a un simple divisor resistivo.

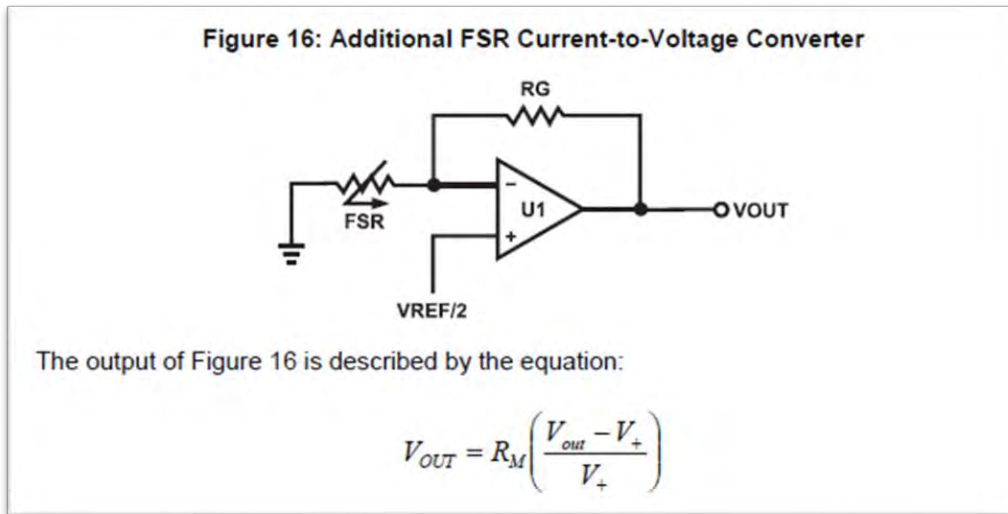


Figura 21. Circuito acondicionador recomendado por el fabricante [79]

En Figura 22 se muestra el diagrama esquemático del diseño del circuito. En este, se observa la elección del OPAMP LMV358M dado cuatro características principales; las cuales son: alimentación asimétrica (permite ser alimentado con una sola fuente), baja corriente de alimentación (máx. 340uA ambos amplificadores), gran rango de oscilación (desde 180mV hasta VCC-100mV) y disponible comercialmente en Perú en versión SMD (8-PIN SOIC), ideal para reducción de espacio.

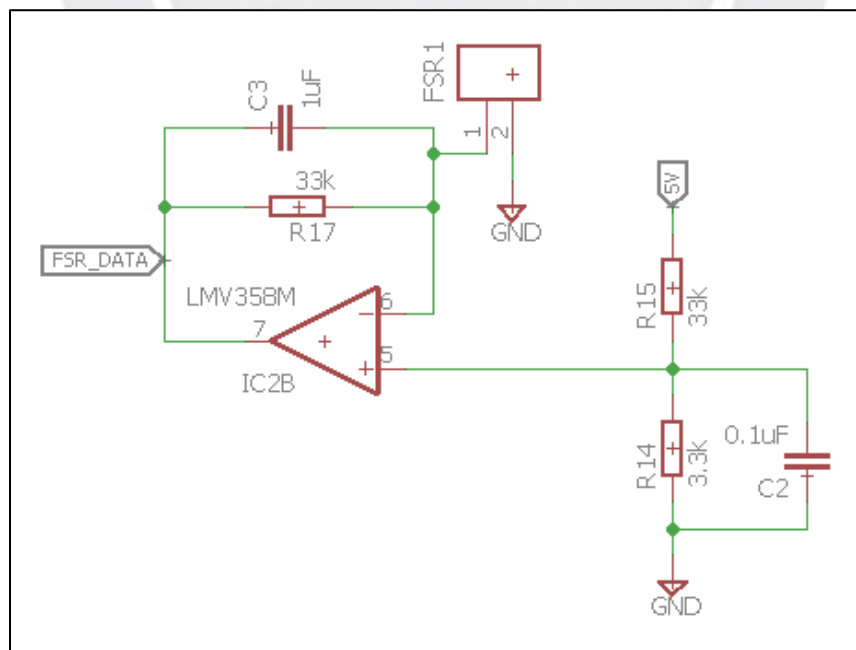


Figura 22. Acondicionador del FSR

Por otro lado, la función transferencia del circuito tiene como entrada la corriente del FSR ( $I_{FSR1}$ ), directamente proporcional a la fuerza aplicada al FSR; y como salida, la diferencia de voltaje entre “FSR\_DATA” y  $V^-$  del OPAMP.

$$\frac{(FSR_{DATA} - V^-)}{I_{FSR1}} = \frac{33k}{1 + s * 33k\Omega * 1\mu F}$$

“FSR\_DATA” es la señal que llega a la unidad de control. “ $V_{in}$ ” (o  $V^+$  del OPAMP) es la señal de entrada que corresponde a un divisor resistivo (R14 y R15) con voltaje constante de 0.45V (estabilizado por “C2”) cuyas funciones son: compensar la señal FSR\_DATA evitando que tenga valores por debajo del límite inferior del rango de oscilación (180mV); y, servir como fuente de voltaje al FSR por medio de  $V^- \approx V^+$ . “FSR1” es la resistencia del FSR (variable a la fuerza) que modifica la entrada de corriente del circuito. Finalmente, “C3” es el condensador que dota al circuito de un carácter de filtro pasa bajos con una frecuencia de corte en 4.82 Hz ( $1/2\pi * 33k\Omega * 1\mu F$ ), suficiente para registrar las variaciones del sensor y eliminar el ruido de alta frecuencia.

### 3.4.5 Sensor EMG

#### 3.4.5.1 Requerimientos

Se busca un rango de voltaje de operación de 3.3 a 5 V al igual que los anteriores sensores. Se precisa que los electrodos sean secos para poder usarse múltiples veces y ahorrar tiempos de instalación. Se necesita un sensor de dimensiones pequeñas, ya que, dependiendo del nivel de amputación la zona donde vaya el electrodo (comprendida entre el muñón y el codo) puede llegar a ser angosta y se trata de incomodar lo menos posible al usuario. Por último, se procura la elección de un sensor de bajo costo (relativo a las opciones)

### 3.4.5.2 Alternativas

En Tabla 11, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 11. Alternativas de sensores EMG comerciales [104][72][105]

Módulo EMG	13E200 Myobock	OYMotion	
Voltaje de Entrada	4.8 – 7.2 V	3.3 - 5.5 V	3.7 - 5 V
Voltaje de Salida	0 – VCC V	0 – 3 V	0 a VCC
Dimensiones superficiales	27*18*9.5 mm <sup>3</sup> (electrodos y circuito transmisor integrado)	35*22 mm <sup>2</sup> x 2 (placa de electrodos y placa de transmisión)	45*18*9 mm <sup>3</sup> (electrodos y circuito transmisor integrado)
Precio	\$400	\$38.63	\$125

### 3.4.5.3 Elección y criterios

El sensor a elegir es el OYMotion dado su precio accesible y amplia disponibilidad en el mercado. Por otra parte, este sensor viene en conjunto con su circuito de acondicionamiento y cables de conexión, y en la parte de software, la empresa “DFRobot”, distribuidor de este sensor, brinda una librería y ejemplos didácticos para su uso con el microcontrolador ATmega328P, pudiendo ser modificada para usarse con otros tipos de microcontroladores.

### 3.4.6 Acondicionador del sensor EMG

En Figura 23 se presenta la tarjeta transmisora de señal que contiene el circuito de acondicionamiento para el sensor EMG. La etapa de acondicionamiento empieza con la llegada de la señal, proveniente de la tarjeta de electrodos (Figura 24), al conector “PJ-342”. Después, el circuito en la tarjeta transmisora se encarga de amplificar la señal mil veces por medio de un amplificador diferencial que también filtra la señal fuera del rango de 20 a 500 Hz y genera un offset de 1.5 V, con lo cual el rango final de la señal es de 0 a 3 V [106]. Entonces, la señal de salida llega al conector PH2.0-3P, el cual, tiene como señales “GND” (tierra), “VDD” (alimentación: 5V) y “OUTPUT” (salida), la cual debe llegar a un pin analógico de la unidad de control.

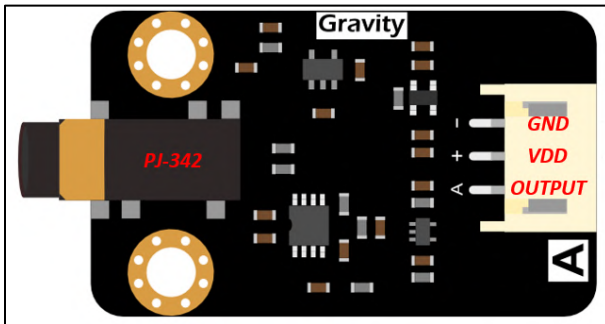


Figura 23. Tarjeta transmisora de señal EMG [106]

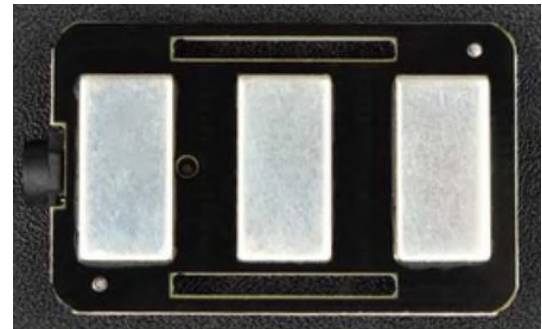


Figura 24. Tarjeta de electrodos [106]

### 3.4.7 Pulsadores de control

Se requieren 2 pulsadores de colores distintos y dimensiones pequeñas. Uno es para elegir el gesto a realizar y el otro es para confirmar el gesto seleccionado (detalles de la lógica del algoritmo se ven en el diseño del Software). Entonces, los pulsadores seleccionados son los “T-6X6-4H5-AZU” y “T-6X6-4H5-RED” (ver Figura 25).

Con respecto al diseño del circuito acondicionador (ver Figura 26), se busca disminuir el “Efecto Rebote” de los pulsadores colocando un condensador en paralelo al pulsador y mediante código en el Software (ver Anexo D). Asimismo, se elige una conexión “pull-up” a las entradas del microcontrolador, ya que, una gran mayoría de microcontroladores integra en sus puertos GPIO el modo “pull-up” para entradas digitales, ahorrando así la implementación de resistencias que limiten la corriente al accionar los pulsadores.



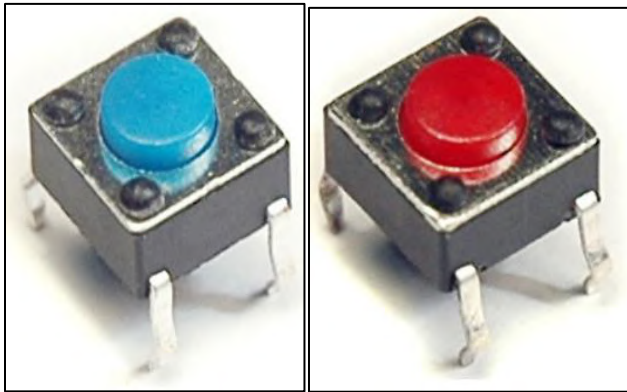


Figura 25. Pulsadores “T-6X6-4H5-AZU” y “T-6X6-4H5-RED” [107]

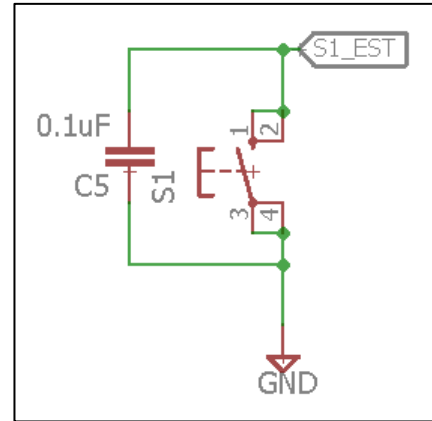


Figura 26. Acondicionador para pulsador

### 3.4.8 Leds de control

Se requieren 3 leds de distintos colores para identificar los tres gestos posibles a realizar con la prótesis (estos son: cilíndrico, gancho y lateral -ver Figura 27-). Por ello, se elige usar un led RGB de cátodo común “LRGB-5-CC-WC” (ver Figura 28).

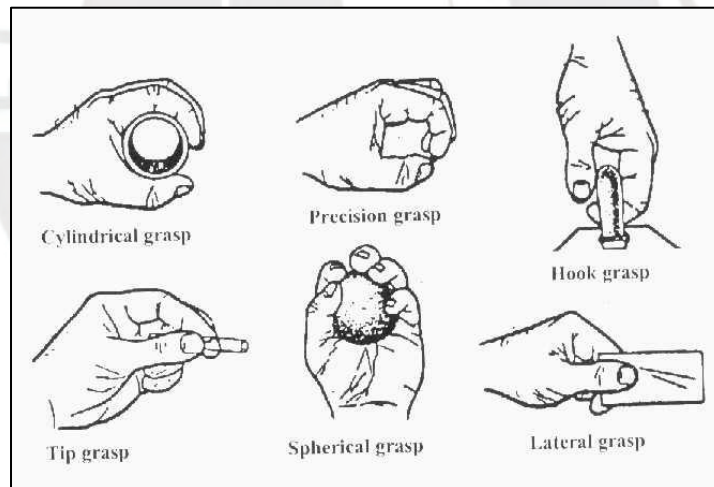


Figura 27. Tipos de agarre con la mano [108]

Con respecto al diseño del circuito excitador de los leds (ver Figura 29), la hoja de datos del fabricante (ver Anexo E) indica un rango de caída de voltaje de 1.9 a 3.5 V (rango que incluye los tres colores) a una corriente de 20mA; y, dado que la luminosidad que se quiere no es mucha, se opta por colocar resistencias de  $510\Omega$  en serie con cada led; además, cada par resistencia-led es alimentado directamente por una salida digital del microcontrolador, y, si tomamos una caída de voltaje promedio en cada led de 2.7V, la corriente que pase por cada led es de 4.5 mA, corriente que puede ser suministrada por puertos de salida sin exigir demasiado al microcontrolador.

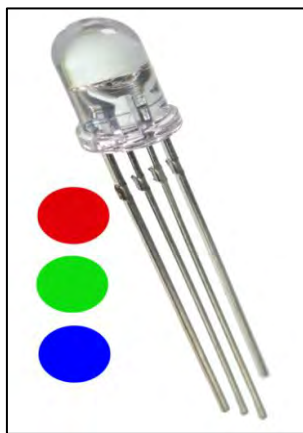


Figura 28. LED RGB cátodo común [109]

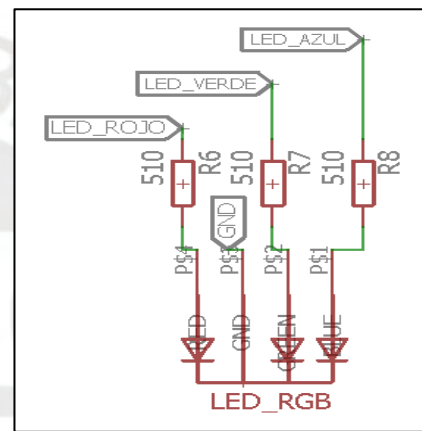


Figura 29. Excitador del led RGB

### 3.4.9 Vibrador

Este componente es parte del sistema de retroalimentación háptica, el cual, es desarrollado por el Ingeniero Enzo Romero; sin embargo, al ser este el único actuador de ese sistema, se prefiere montar la electrónica asociada directo en la placa principal. Por ello, se acuerda con Enzo, el uso del motor vibrador seleccionado en su tesis de licenciatura [12] (ver Figura 30) y a continuación se presenta el diseño del excitador.

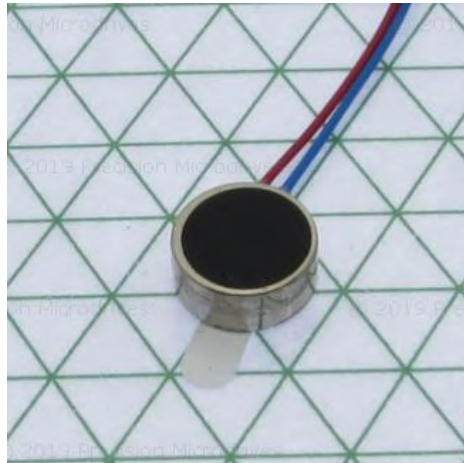


Figura 30. Actuador Resonante Lineal C08-001 [110]

#### 3.4.10 Excitador del vibrador

El diseño del excitador (ver Figura 31) consiste en un mosfet operando como interruptor para enviar una señal PWM que regule la intensidad de vibración. Por ello, el mosfet a elegir es el mosfet canal N “2SK1580”; ya que, es un mosfet “Logic Gate” ( $V_{TH} \leq 3V$ ), característica importante cuando se activa el mosfet mediante los pines de un microcontrolador; y, soporta la corriente de operación nominal (65mA @ 1.8V). Por otro lado, la resistencia de  $100\Omega$  limita la corriente de carga en el instante inicial del capacitor interno al mosfet, en puerta-surtidor, sin afectar de manera considerable el tiempo de conmutación y la resistencia de  $100k$  evita puntos flotantes durante la inicialización de la unidad de control. Asimismo, el diodo de protección que se elige es el diodo Schottky 1N4148WX de rápida conmutación que se encuentra disponible en el LIBRA. Por último, la resistencia de  $180\Omega$  fija un voltaje y corriente de operación en el motor que brinda una percepción de vibración adecuada para esta aplicación.

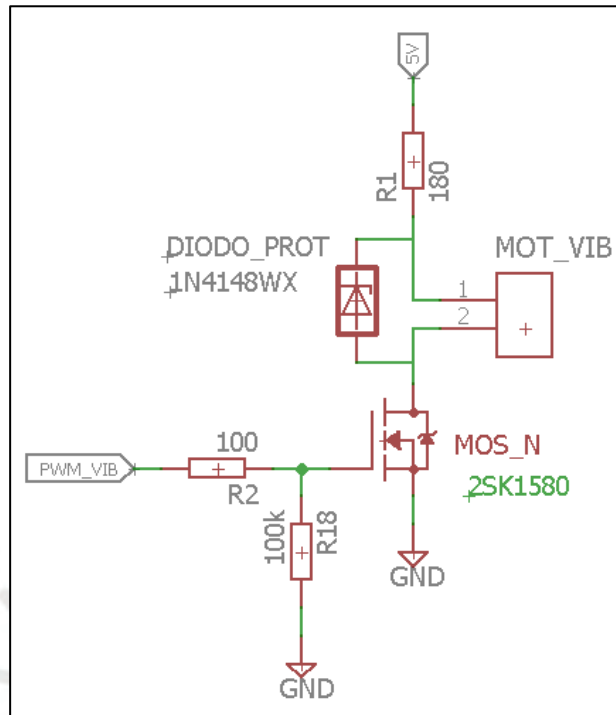


Figura 31. Excitador del Motor Vibrador

### 3.4.11 Motor DC

#### 3.4.11.1 Requerimientos

En la parte mecánica, el torque calculado necesario debe ser mayor a 0.4 Nm con una velocidad de 40 RPM o mayor para que el mecanismo de reducción a diseñar sea de a lo mucho un par de etapas (máximo una reducción de 4 a 1); ya que, el torque máximo necesario en el disco principal es de 1.89 Nm y la reducción de espacio es un punto relevante. Además, se busca un motor de dimensiones pequeñas (máximo de 19 mm de diámetro y 70 mm de largo) para que entre en la palma de la mano (justificación de parámetros mecánicos referirse al Anexo A).

Finalmente, en el aspecto eléctrico, el parámetro crucial a tener en cuenta es la potencia del motor; ya que, la corriente nominal a un cierto voltaje de operación determina en gran medida la capacidad de la batería a usar, por lo que, se busca que el motor sea lo más eficiente posible en cuanto al consumo bajo de energía.

#### 3.4.11.2 Elección y criterios

El motor, escogido por la parte mecánica, es el Maxon DC-max16S debido a que posee los menores valores en parámetros eléctricos, dimensiones, peso y precio. Además,

cabe recalcar que, todas las alternativas necesitan la inclusión de un acople reductor que aproxime al motor a los valores requeridos de torque (mayor a 0.4Nm) y velocidad (mayor a 40RPM), por ello, antes de la elección, se verificó la factibilidad de diseño del acople reductor o su disponibilidad en la misma empresa fabricante del motor (Maxon o Faulhaber).

Una vez elegido el motor, el reductor seleccionado es el GPX19 A 172:1, el cual, al ser acoplado al motor, entrega un torque 0.42 Nm a una velocidad de 40 RPM, valores que cumplen las especificaciones requeridas (hoja de datos del motor más reductor referirse al Anexo E).



*Figura 32. Motor DC Maxon DC-max16S con reductor GPX19 A 172:1*

### 3.4.12 Excitador del motor DC

#### 3.4.12.1 Requerimientos

El excitador debe poseer una alimentación de la parte de control dentro del rango de 3.3 a 5V y una alimentación de la parte de potencia que incluya 6V; debe poder invertir el sentido de giro del motor; y, es necesario que soporte el pico de corriente de Stall del motor y pueda operar con la corriente nominal del motor.

#### 3.4.12.2 Alternativas

En Tabla 12, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 12. Alternativas de excitadores comerciales [111][112][113]

Excitador	MAX14870	DRV8838	BD65496-MUV
Voltaje de la parte de control	3 - 5 V	1.8 - 7 V	2.5 - 5.5 V
Voltaje de la parte de potencia	4.5 - 36 V	0 - 11 V	2 - 16 V
Máx. corriente continua	1.7 A	1.7 A	1.2 A
Máx. corriente de pico	2.5 A	1.8 A	5.0 A
Dimensión Superficial	0.6" x 0.5"	0.4" x 0.5"	0.6" x 0.6"
Precio Unitario	\$5.95	\$3.49	\$4.95

### 3.4.12.3 Elección y criterios

El excitador a elegir es el “BD65496-MUV”; ya que, llega a soportar la corriente de pico, a diferencia del “DRV8838”, y, es de menor costo que el “MAX14870”.

En Figura 33, se muestra el diagrama esquemático con las conexiones necesarias para la operación del excitador.

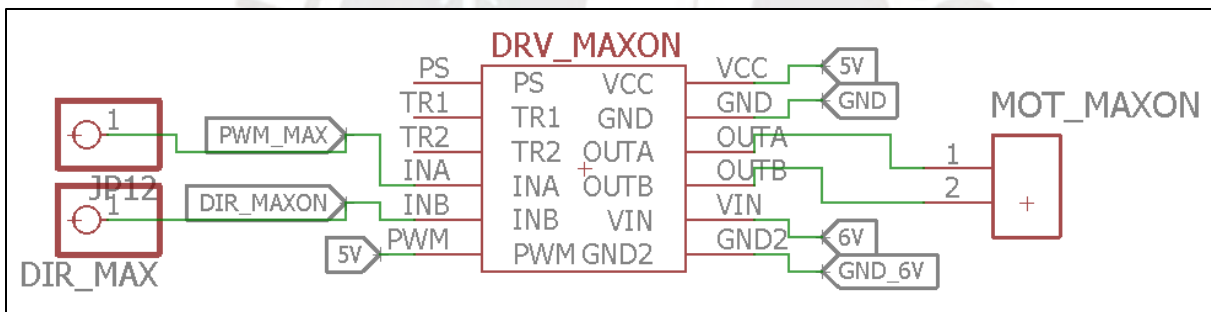


Figura 33. Diagrama esquemático del excitador “BD65496-MUV”

### 3.4.13 Unidad de control

#### 3.4.13.1 Requerimientos

Con respecto a los requerimientos en hardware, en Tabla 13 se listan las señales que entran y salen de la unidad de control; así como, el componente asociado y el tipo de señal.



Tabla 13. Conexiones a la Unidad de control

Subsistema	Componente	Señal	Tipo
Mano	Módulo EMG	Datos	Analógica
	Sensor de Fuerza	Datos	Analógica
	Sensor de Posición	Datos	Analógica
	Excitador	Sentido de giro	Digital (O)
Activación del motor		PWM	
Muñeca	Sensor de Posición	Datos	Analógica
	Fin de carrera 1	1er Límite de giro	Digital (I)
	Fin de carrera 2	2do Límite de giro	Digital (I)
	Excitador	Activación del motor	PWM
		Sentido de giro	Digital (O)
		Activación del Solenoide	PWM
Háptico	Excitador	Activación del motor	PWM
Interfaz de control	LED RGB	Indicador de gestos	Digital (x3) (O)
	LED	Indicador de batería baja	Digital (O)
	Pulsador 1	Selector de gestos	Interrupción
	Pulsador 2	Confirmador de gesto	Digital (I)
Alimentación	Batería	Nivel de Batería	Analógica

Con respecto a los requerimientos en Software, es necesario contar con un “Timer” adicional a los necesitados por las señales PWM para el control posterior a esta tesis de posición-fuerza. Además, en cuanto a la velocidad de procesamiento, se debe asegurar la obtención de las mediciones de los sensores (lectura y procesamiento) en el orden de unos cuantos milisegundos para un adecuado control en tiempo real (tiempo de respuesta menor a 0.3s en prótesis de mano mioeléctricas [114]); por ello, una buena aproximación de la velocidad necesaria por cada instrucción ronda en el orden de unos cuantos microsegundos (frecuencia de operación en Mega Hertz). Por otro lado, en cuanto al espacio de memoria volátil (RAM) y no volátil (guardado de programa en FLASH), para efectos de esta aplicación, las capacidades que brindan la mayoría de microcontroladores comerciales son suficientes.

### 3.4.13.2 Alternativas

En Tabla 14, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 14. Alternativas de microcontroladores comerciales [115][116][117]

Microcontrolador	ATMEGA328P	ATMEGA32U4	SAMD21G18
<b>Voltaje de Operación</b>	2.7 - 5.5 V	2.7 - 5.5 V	1.6 - 3.63 V
<b>GPIO's</b>	23	26	38
<b>Puertos ADC</b>	6 (10 bits)	12 (10 bits)	20 (12 bits)
<b>Puertos PWM</b>	6	14	36
<b>Interrupciones externas ("INT")</b>	2	5	16
<b>Temporizadores</b>	3	4	9
<b>Máx. frecuencia de operación</b>	16 MHz	16 MHz	48 MHz
<b>Modo de bajo consumo</b>	Sí (6 modos)	Sí (6 modos)	Sí (2 modos)
<b>SRAM</b>	2 KB	2.5 KB	32 KB
<b>FLASH</b>	32 KB	32 KB	256 KB
<b>Precio</b>	\$2.14	\$4.2	\$3.22

### 3.4.13.3 Elección y criterios

La elección del microcontrolador a usar es el ATMEGA328P, ya que cubre la cantidad de parámetros en Hardware y Software sin excederse tanto como los otros, lo cual, se ve reflejado en el precio. Además, cabe resaltar que, para facilidad de programación e implementación del sistema, se opta por usar un Arduino Nano (tarjeta que integra el microcontrolador y componentes necesarios para aplicación directa), la cual, es una de las placas comerciales activas más pequeña de la compañía Arduino [118].

A continuación, se muestra el diagrama esquemático con las señales de control vistas en los requerimientos.

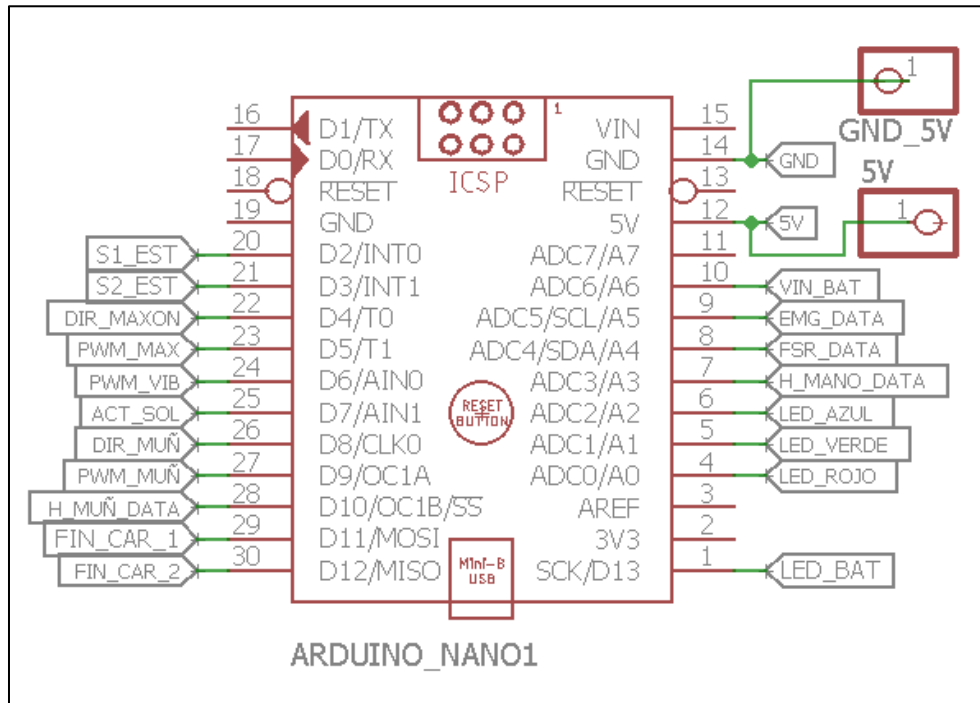


Figura 34. Diagrama esquemático del Arduino Nano

### 3.4.14 Sistema de alimentación

#### 3.4.14.1 Conversor elevador a 5V

##### 3.4.14.1.1 Requerimientos

Se busca un convertor de alta eficiencia (mayor a 80%), que soporte una corriente de **entrada** mayor a un amperio (máximo consumo del convertor en un instante dado, cálculo desarrollado en el Anexo F), que sea de dimensiones pequeñas y de bajo costo.

##### 3.4.14.1.2 Alternativas

En Tabla 15, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 15. Alternativas comerciales de elevadores a 5V [119][120][121]

Convertor DC/DC	U1V10F5	U1V11F5	U3V12F5
<b>Voltaje de Salida</b>	5 V	5 V	5 V
<b>Máxima corriente de entrada</b>	1.2 A	1.2 A	1.4 A
<b>Mínimo Voltaje de entrada</b>	0.5 V	0.5 V	2.5 V
<b>Eficiencia típica</b>	70 - 90 %	70 - 90 %	80 - 90 %
<b>Dimensiones</b>	0.35" x 0.45"	0.45" x 0.6"	0.32" x 0.515"
<b>Precio Unitario</b>	\$4.49	\$4.95	\$3.95

### 3.4.14.1.3 Elección y criterios

El convertor a elegir es el U3V12F5, dado a sus mejores características en su mayoría.

### 3.4.14.2 Convertor elevador a 6V

#### 3.4.14.2.1 Requerimientos

Se busca un convertor de alta eficiencia (mayor a 80%), que soporte una corriente de salida mayor igual a dos amperios (aproximadamente el doble de la corriente nominal del motor, el cual, es el dispositivo que más consume), que sea de dimensiones pequeñas y de bajo costo.

#### 3.4.14.2.2 Alternativas

En Tabla 16, se listan las tres alternativas investigadas.

Tabla 16. Alternativas comerciales de elevadores a 6V [122][123][124]

Convertor DC/DC	U3V70F6	U3V50F6	XL6009
Voltaje de Salida	6 V	6 V	5 – 35 V
Máxima corriente de entrada	8.0 A	5.0 A	4.0 A
Mínimo Voltaje de entrada	2.9 V	2.9 V	3 V
Eficiencia típica	80 - 95 %	80 - 95 %	94 %
Dimensiones	0.6" x 1.6"	0.6" x 1.9"	0.83" x 1.69"
Precio Unitario	\$12.95	\$13.95	s/ 7.8

#### 3.4.14.2.3 Elección y criterios

El convertor a elegir es el XL6009 debido a que cumple con los requerimientos y tiene la ventaja de estar disponible en el mercado local.

### 3.4.14.3 Batería

#### 3.4.14.3.1 Requerimientos

La batería a elegir debe tener una capacidad superior a "3000mAh" (referirse a Anexo F); poseer una capacidad de descarga constante mayor a la energía requerida para alimentar la parte de control y la de potencia; ser de dimensiones pequeñas; y, tener buena duración (ciclos de carga y descarga).

### 3.4.14.3.2 Alternativas

Tabla 17. Alternativas comerciales de baterías [125][126][127]

Batería	INR18650-MH1	INR18650-30Q	NCR18650b
Capacidad	3200 mAh	3000 mAh	3400 mAh
Voltaje nominal	3.67 V	3.6 V	3.6 V
Rango de operación	2.5 – 4.2 V	2.5 – 4.2 V	2.5 – 4.2 V
Máx. capacidad de descarga	10 A	15 A	4.875 A
Max. capacidad de carga	3100 mA	4000 mA	1625 mA
Dimensiones	18mm <sup>2</sup> x650mm	18mm <sup>2</sup> x650mm	18mm <sup>2</sup> x650mm
Ciclos de vida	500	250	300
Precio Unitario	s/ 24	s/ 38	s/ 49

### 3.4.14.3.3 Elección y criterios

La batería a elegir es la NCR18650b, dado que ofrece una mayor capacidad frente a las otras y está disponible en el mercado local con un circuito protector BMS que protege a la batería contra subvoltaje y sobrecorriente [128].

En la Figura 35 se presenta el diagrama esquemático del sistema de alimentación.

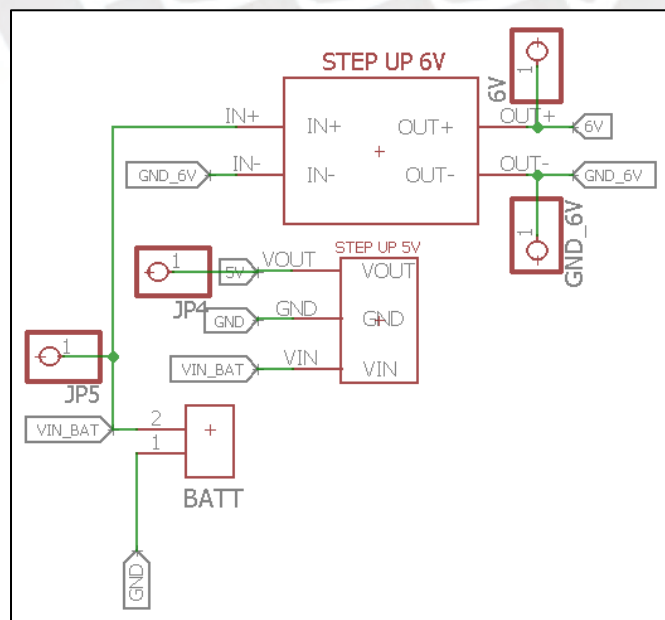


Figura 35. Diagrama esquemático del Sistema de alimentación

### 3.4.15 Diagrama de circuito impreso

Después de haber diseñado el hardware, se procede a realizar el circuito impreso del sistema electrónico (ver Figura 36). Para ello, algunos puntos importantes a tomar en cuenta son: la necesidad de que la tarjeta sea lo más pequeña posible para que calce en el dorso de la palma de la prótesis (según datos antropométricos el ancho de la palma de la mano varía de 8.2 a 9.6 cm y el alto de 10 a 11.8 cm para percentiles entre 5 y 95 [129]) y evitar el acople del ruido de actuadores a la parte de control.

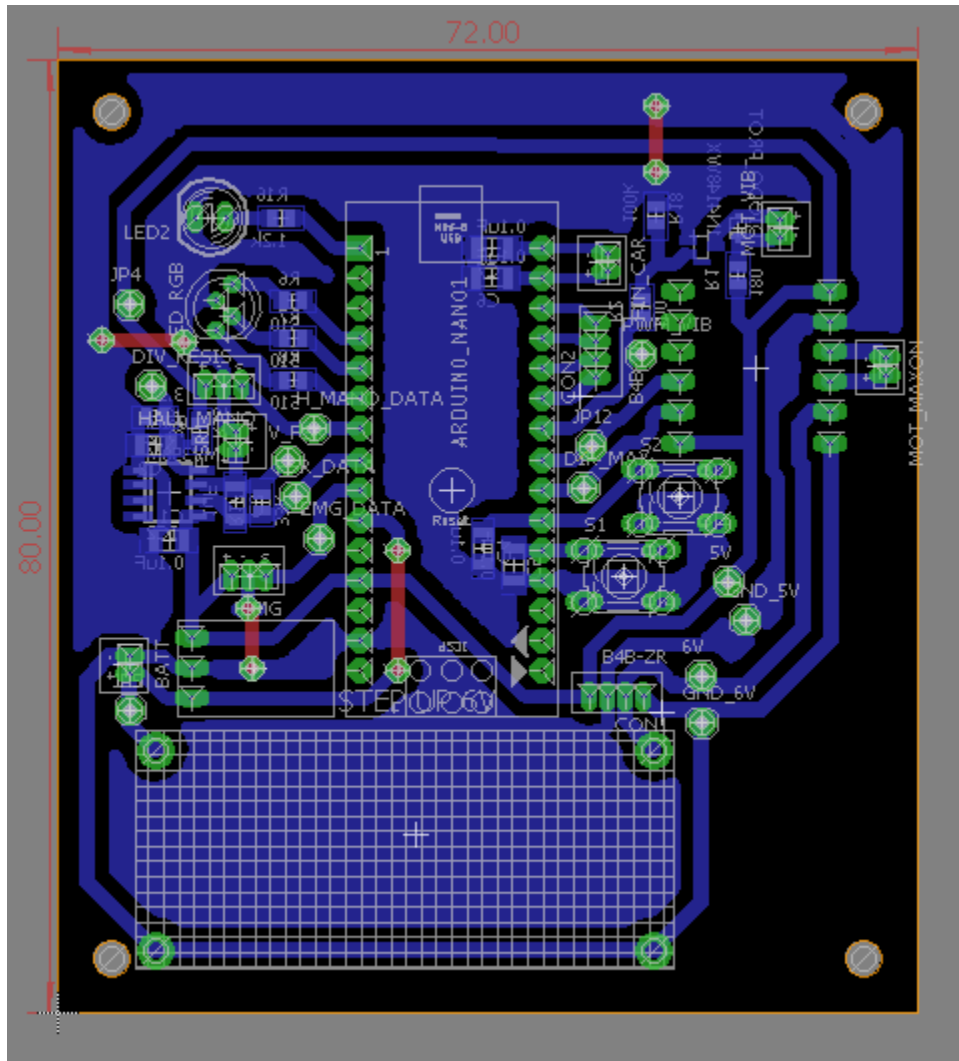


Figura 36. Diagrama de Circuito Impreso

### 3.5 Software

El diseño del software, contemplado en esta tesis, involucra el desarrollo del algoritmo principal, de apertura y de cierre de mano. El primero tiene como propósito definir la forma en que el sistema protésico general (sistema muñeca - mano -



retroalimentación háptica) interacciona con el usuario; el segundo, definir la lógica para la sujeción de objetos y probar la electrónica asociada al sistema de retroalimentación háptica incluida en la tarjeta principal; y, el tercero, definir la lógica de soltura de objetos.

La Implementación de estos algoritmos es en el lenguaje de programación C++ y en el IDE de Arduino (referirse al Anexo D). A continuación, se detallan los algoritmos elaborados.

### 3.5.1 Algoritmo principal

El algoritmo inicia con el “Homing” (posición inicial por defecto al encender la prótesis). Luego, entra al menú de elección de gesto en el cual, mediante un contador y pulsos del botón selector, se elige uno de los tres posibles gestos o el estado de “Homing”. Después, la prótesis se posiciona de manera que adopta una preforma del gesto. Finalmente, la prótesis espera la detección de la señal EMG del usuario para entrar a la subrutina de control de cierre o apertura de la mano.

Además, un detalle a mencionar es que el pulso del botón selector lleva a una subrutina de interrupción. Por lo que el pulso tiene funcionalidad de escoger el gesto o volver al menú.

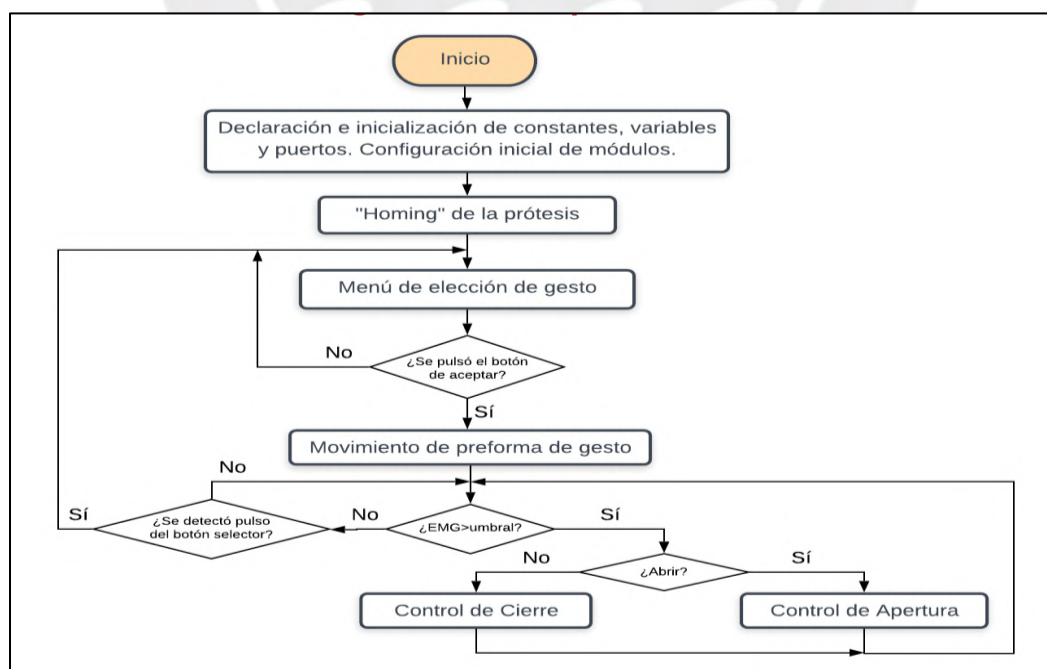


Figura 37. Diagrama de Flujo del Algoritmo principal

### 3.5.2 Algoritmo de cierre

El algoritmo de cierre es un algoritmo de control “on-off” a lazo abierto, en el que, el flujo del algoritmo depende del alcance de las lecturas de los sensores a ciertos umbrales que son definidos a través de ensayos y usando las curvas de calibración de sensores (Anexo G).

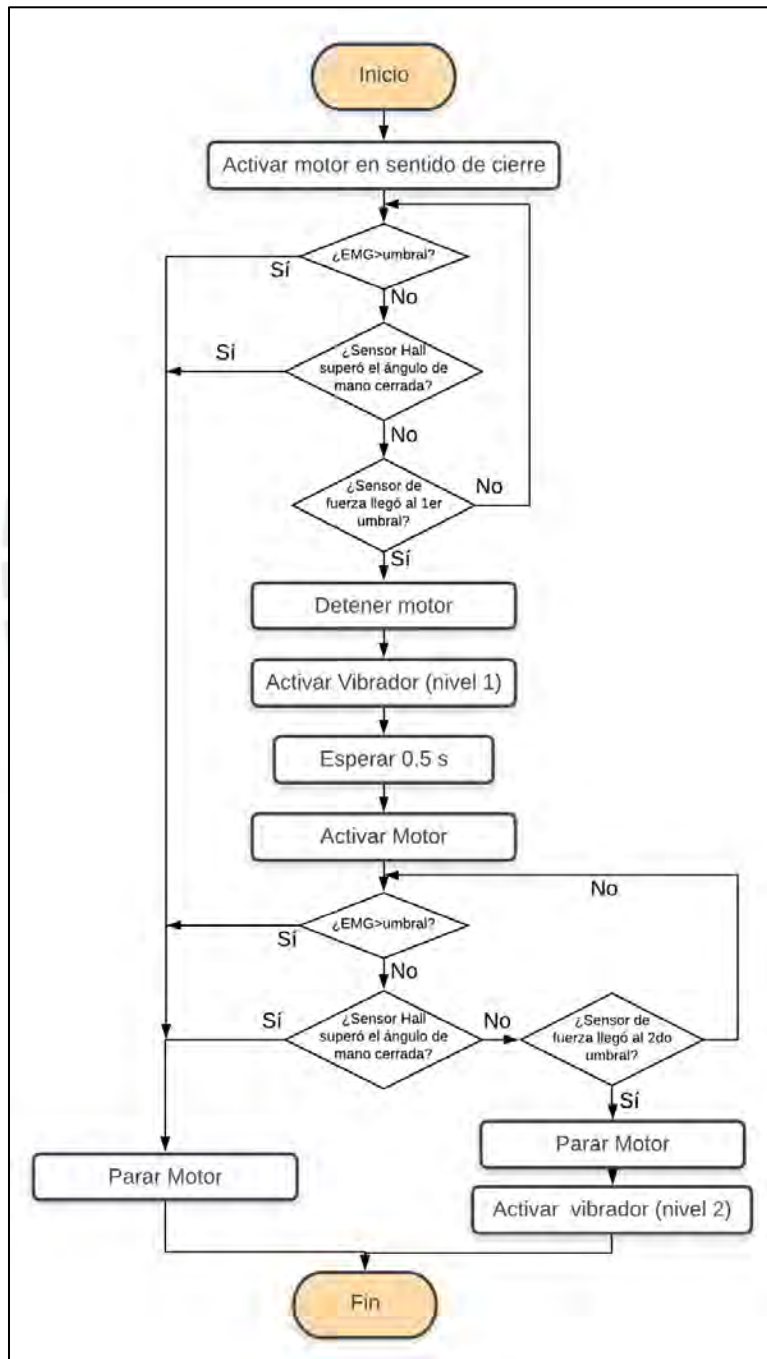


Figura 38. Diagrama de Flujo del Algoritmo de cierre

### 3.5.3 Algoritmo de apertura

El algoritmo de apertura también es un algoritmo de control “on-off” a lazo abierto cuyo único umbral de decisión es el valor de posición inicial del sensor Hall.

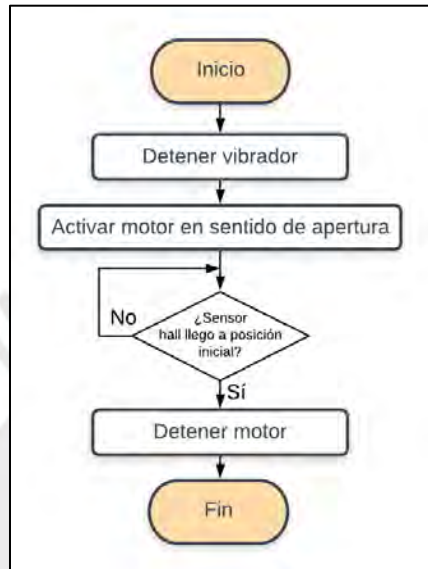


Figura 39. Diagrama de Flujo del Algoritmo de apertura

### 3.6 Presupuesto

En tabla 18, se lista los costos de elaboración del sistema electrónico, los cuales incluyen costos de componentes, fabricación de la PCB, costo de ingeniería durante los 8 meses de trabajo (comprende el tiempo de investigación, diseño del hardware y software, implementación, calibración del sistema y verificación del funcionamiento mediante ensayos) y en otros costos se toma en consideración las importaciones y el transporte. Finalmente, cabe aclarar que el uso de las instalaciones (ambientes, instrumentos y equipos del Laboratorio LIBRA) es un aporte de la universidad para el proyecto y no se llega a estimar en este presupuesto.

Tabla 18. Presupuesto

Componente	precio unit. (s/)	cantidad	costo parcial (s/)
Sensor EMG - OYMotion	127.03	1	127.03
Sensor de Fuerza - FSR400 short	37.16	1	37.16
Sensor de Posición - MLX90316	19.41	1	19.41
Tact Switch-4 pines (6x6 mm <sup>2</sup> )	0.30	2	0.60
Led RGB cátodo común (5 mm)	1.90	1	1.90
Led naranja ovalado (5 mm)	0.40	1	0.40
Vibrador RLA (C08-001)	34.61	1	34.61
Motor DC-max16S-GPX19 A	612.78	1	612.78
Driver BD65496MUV	16.77	1	4.95
Arduino Nano	21.50	1	21.50
Step Up 5V (U3V12F5)	13.38	1	13.38
Step Up 6V (XL6009)	7.80	1	7.80
Batería NCR18650B	49.00	1	49.00
Condensador 0402K 100nF	0.50	3	1.50
Condensador 1206 100nF	0.20	6	1.20
Condensador 1206 1uF	0.20	1	0.20
Resistencia 0805 510Ω	0.50	1	0.50
Resistencia 0805 1kΩ	0.50	1	0.50
Resistencia 0805 3.3kΩ	0.50	1	0.50
Resistencia 0805 33kΩ	0.50	2	1.00
Mosfet N 2SK1580	1.40	1	1.40
OPAMP LMV358I	1.70	1	1.70
Conector JST ZH-2AC	0.70	5	3.50
Conector JST ZH-3AC	0.70	2	1.40
Conector JST ZH-4AC	1.00	2	2.00
2.54 mm Header macho 40x1	0.50	1	0.50
2.54 mm Header hembra 40x1	0.90	2	1.80
Cable de 1m calibre #26	1.00	1	1.00
Cable de 1m calibre #30	1.00	1	1.00
Fabricación de PCB	25.00	1	25.00
Costo de Ingeniería	1000.00	1	1000.00
Otros costos	500.00	1	500.00
		<b>Total:</b>	<b>2475.22</b>

## 4. Ensayos del Sistema Electrónico con una prótesis de mano

### 4.1 Introducción

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos de cinco tipos de ensayos con objetos de distinta rugosidad (plástico, madera, esponja, metal y vidrio) luego de haber calibrado los sensores (referirse a Anexo G). Para ello, se realiza un acondicionamiento del hardware a la Planta y del software a programas homólogos que permitan la adquisición de datos en las funciones de apertura y cierre de la mano. Y, por último, a partir de los resultados, se analiza el funcionamiento del sistema electrónico.

### 4.2 Acondicionamiento del Hardware

Para garantizar un correcto funcionamiento del sistema, la ubicación y sujeción de los sensores de fuerza y posición es pieza clave a tomar en cuenta. Por ello, en Figura 40 y 41 se observan la disposición de estos en la prótesis.



Figura 40. Disposición del FSR

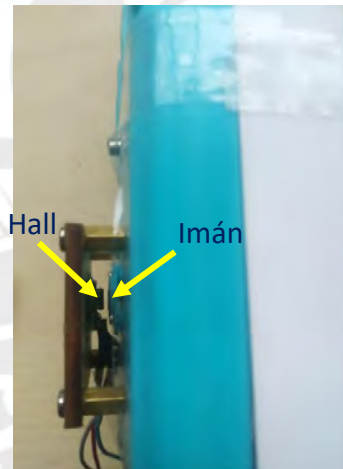


Figura 41. Disposición del sensor Hall

En Figura 40, se aprecia que todos los dedos tienen una pequeña ranura en la yema con la silueta del FSR. Además, para garantizar en lo posible una sujeción firme, se coloca la cubierta de silicona sobre el FSR. Por otro lado, en Figura 41, se observa que el sensor hall está montado sobre una pequeña plataforma hecha de MDF y con separadores que garantizan una distancia no mayor a 3mm con respecto al imán ubicado en la ranura giratoria en la parte posterior de la palma.

Asimismo, para alimentar al circuito en estos ensayos se opta por usar una fuente de alimentación Lavolta BPS305 ubicada en el segundo ambiente de LIBRA (ver



Anexo H), la cual permite ajustar y medir el voltaje y la corriente entregados al circuito, ideal para verificar un comportamiento eléctrico adecuado.

#### 4.3 Acondicionamiento del Software

Se opta por la adquisición de datos mediante Matlab (código en Anexo D) y con una comunicación por un puerto serial con el sistema. Por ello, se realizan dos códigos alternativos (ver Anexo D), uno para la apertura de la mano y otro para el cierre de la mano. En ambos casos se adquieren los datos de los sensores de fuerza y posición vs el tiempo, con una tasa de muestreo de 10 ms.

#### 4.4 Ensayos con distintos materiales

La forma de proceder en cada ensayo es la siguiente: primero, se ubica la mano con la palma abierta y se carga el código de cierre; segundo, se ejecuta el código de cierre; tercero, se aguarda alrededor de 30s para obtener los datos en Matlab y cargar el código de apertura; y cuarto, se ejecuta el código de apertura. Además, se registran cinco repeticiones similares por cada objeto a ensayar.

A continuación, se presenta uno de cada cinco repeticiones para todos los objetos ensayados. Asimismo, los datos de estos y los otros ensayos repetitivos se encuentran en un Excel en el Anexo I; y, desde Figura 42 hasta Figura 46, se presentan los distintos tipos de objetos a probar. Asimismo, cabe resaltar que, en las gráficas mostradas posteriormente, el valor de ADC puede ser reemplazado por su valor correspondiente a fuerza o posición viendo las curvas de calibración de estos sensores (ver Anexo G).



Figura 42. Objeto de plástico



Figura 43. Objeto de madera



Figura 44. Esponja



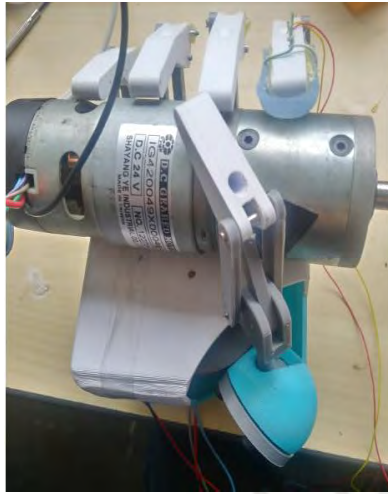


Figura 45. Objeto de metal



Figura 46. Objeto de vidrio

#### 4.4.1 Ensayo con objeto de plástico

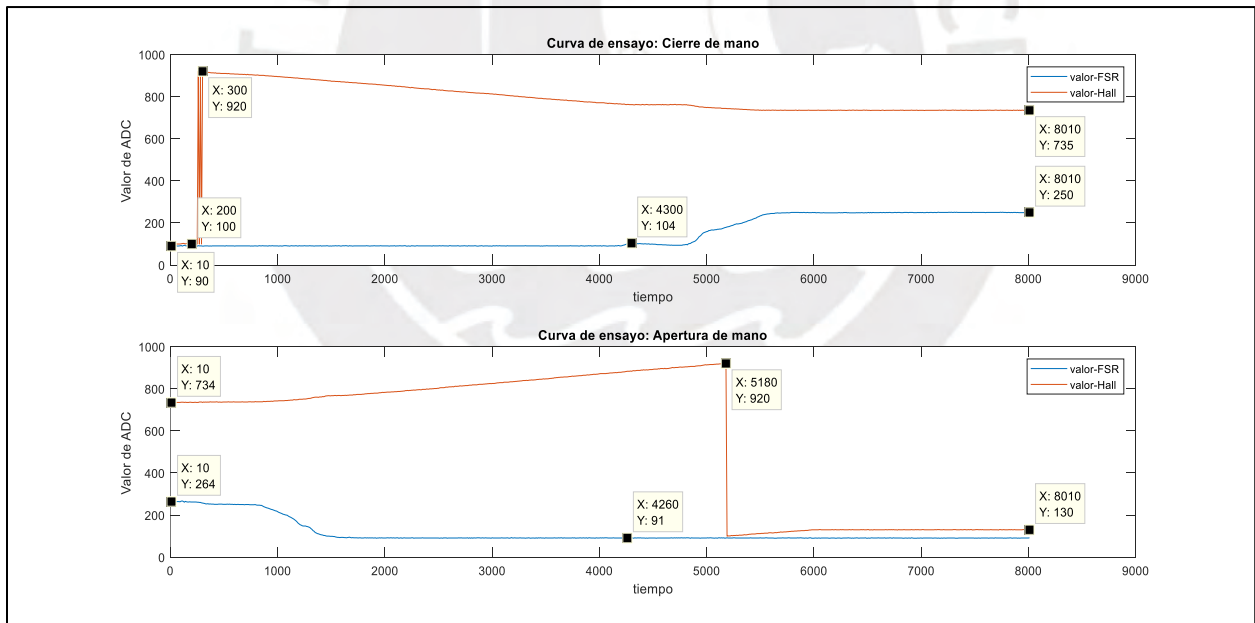


Figura 47. Ensayo 1: Objeto de plástico (tiempo en ms)

#### 4.4.2 Ensayo con objeto de madera

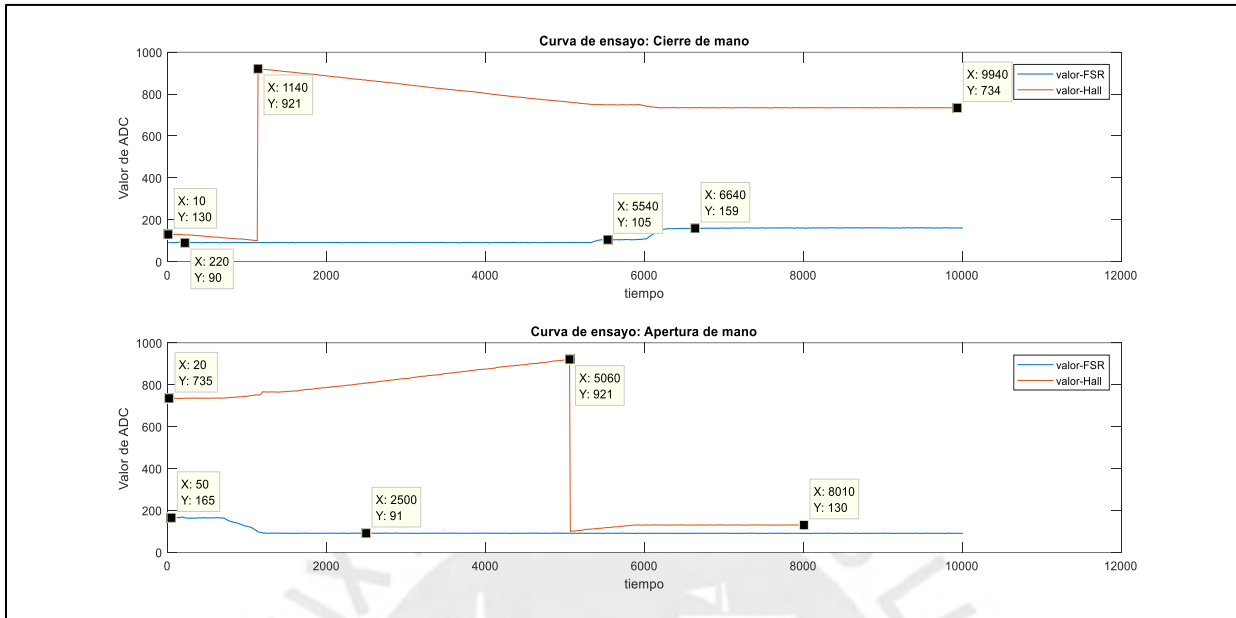


Figura 48. Ensayo1: Objeto de madera (tiempo en ms)

#### 4.4.3 Ensayo con esponja

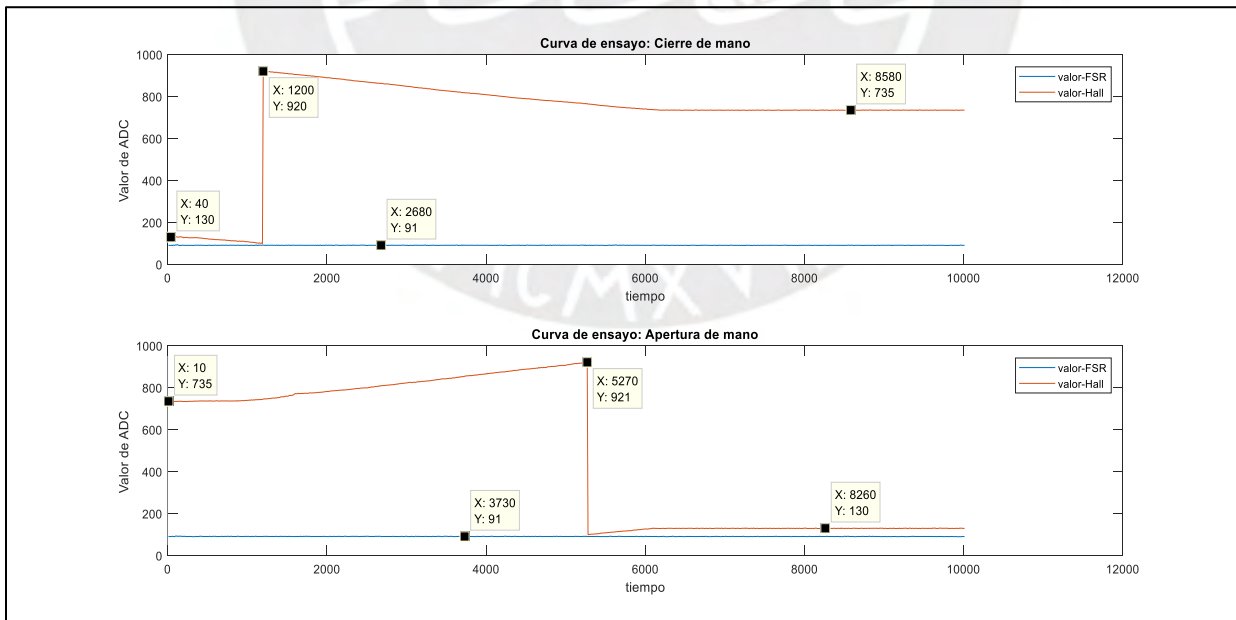


Figura 49. Ensayo1: Esponja (tiempo en ms)

#### 4.4.4 Ensayo con objeto de metal

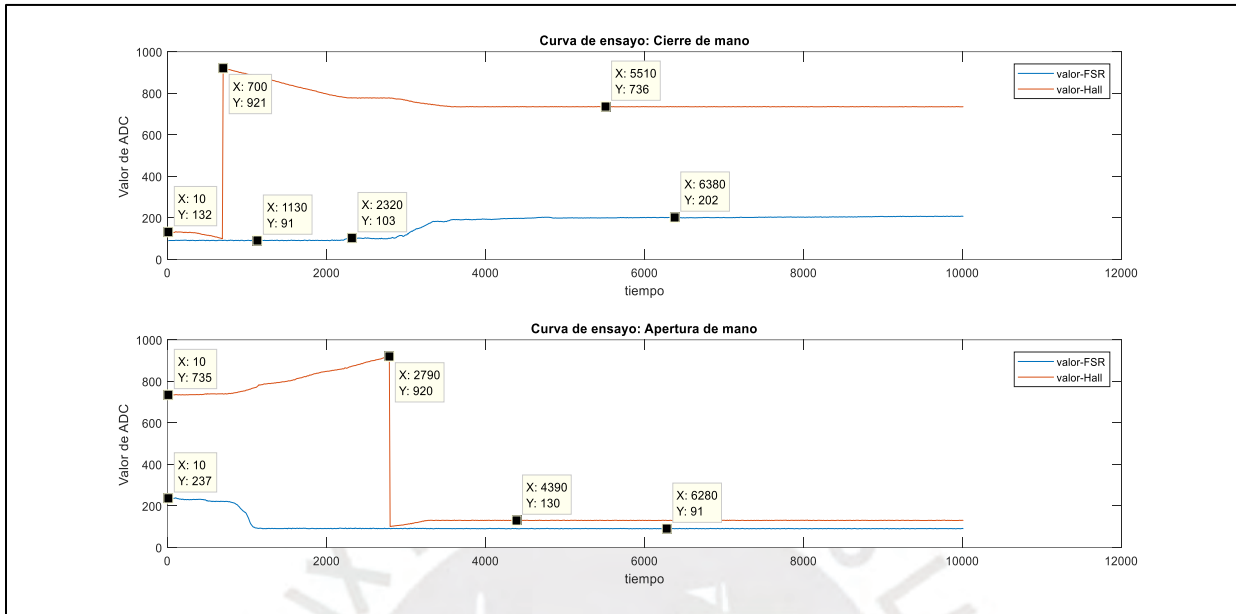


Figura 50. Ensayo1: Objeto de metal (tiempo en ms)

#### 4.4.5 Ensayo con objeto de vidrio

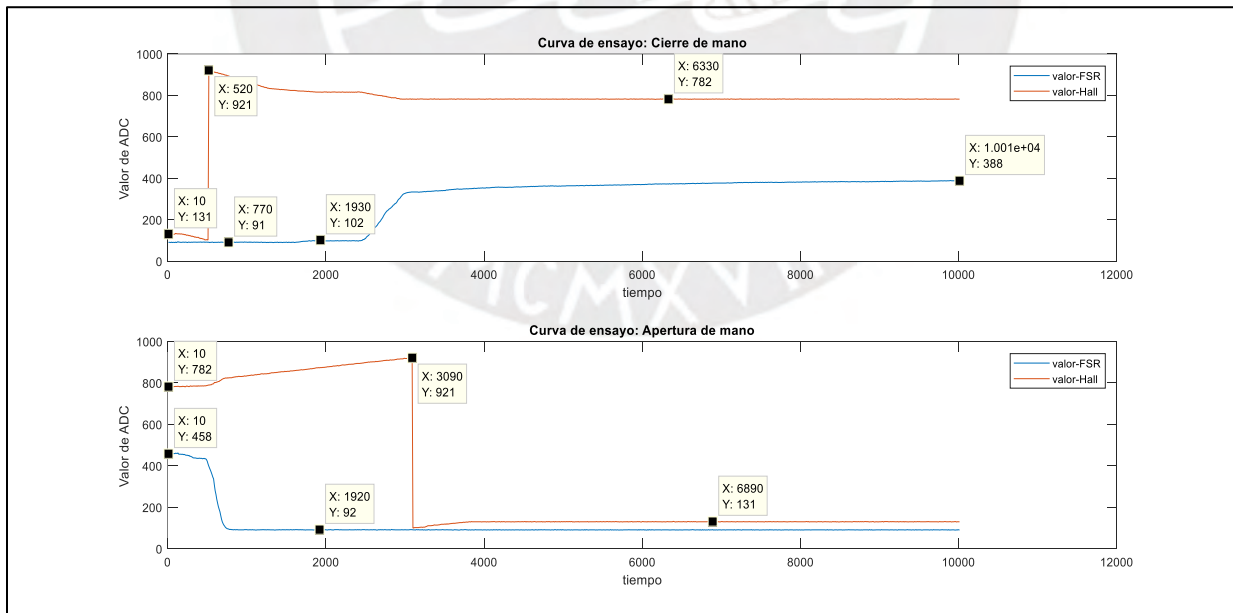


Figura 51. Ensayo1: Objeto de vidrio (tiempo en ms)

#### 4.5 Análisis de Resultados

Según el funcionamiento de los algoritmos de apertura y cierre, los puntos más resaltantes a evaluar son el valor inicial y final de los sensores de fuerza y posición; la llegada al valor del primer umbral que define el primer contacto con el objeto y está asociado al nivel inicial de vibración del sistema de retroalimentación háptica; y, el tiempo que tarda la apertura y cierre para cada objeto. Por consiguiente, en las tablas siguientes (desarrolladas en Anexo I) se resume esta información y se obtienen datos estadísticos de cada tipo de ensayo por objeto.

Tabla 19. Ensayos con objeto de plástico

Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	90	91	91	91	91	90.800	0.447
Valor máximo: 1er Umbral	104	101	101	103	100	101.800	1.643
Valor Final FSR (C)	250	254	238	217	254	242.600	15.742
Valor Inicial FSR (A)	264	258	244	226	259	250.200	15.434
Delta FSR (C a A)	14	4	6	9	5	7.600	4.037
Valor Final FSR (A)	92	91	92	91	90	91.200	0.837
Valor Inicial Hall (C)	100	131	130	130	129	130.000	0.816
Valor Final Hall (C)	735	735	736	735	735	735.200	0.447
Valor Inicial Hall (A)	734	735	735	734	735	734.600	0.548
Delta Hall (C a A)	-1	0	-1	-1	0	-0.600	0.548
Valor Final Hall (A)	130	130	130	130	130	130.000	0.000
Tiempo de Cierre (C)	5.8	6.69	6.37	6.4	6.48	6.348	0.331
Tiempo de Apertura (A)	6	5.99	5.99	5.94	5.98	5.980	0.023

Tabla 20. Ensayos con objeto madera

Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	90	91	91	91	91	90.8	0.4472
Valor máximo: 1er Umbral	106	102	101	105	102	103.2	2.1679
Valor Final FSR (C)	161	182	111	156	168	155.6	26.7825
Valor Inicial FSR (A)	164	186	111	161	174	159.2	28.6653
Delta FSR (C a A)	3	4	0	5	6	3.6	2.3022
Valor Final FSR (A)	91	91	91	91	91	91	0.0000
Valor Inicial Hall (C)	130	130	100	130	131	130.25	0.5
Valor Final Hall (C)	734	736	734	735	734	734.6	0.8944
Valor Inicial Hall (A)	735	735	734	735	735	734.8	0.4472
Delta Hall (C a A)	1	-1	0	0	1	0.2	0.8367
Valor Final (A)	130	129	131	130	130	130	0.7071
Tiempo de Cierre (C)	6.31	6.28	5.76	6.38	6.53	6.252	0.2915
Tiempo de Apertura (A)	5.86	6.01	6.06	6.12	6	6.01	0.0964

Tabla 21. Ensayos con esponja

Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	91	91	91	91	91	91.000	0.000
Valor máximo: 1er Umbral	-	-	-	-	101	101.000	45.169
Valor Final FSR (C)	91	91	92	105	109	97.600	8.706
Valor Inicial FSR (A)	91	91	92	106	110	98.000	9.247
Delta FSR (C a A)	0	0	0	1	1	0.400	0.548
Valor Final FSR (A)	90	91	90	91	92	90.800	0.837
Valor Inicial Hall (C)	130	129	129	129	130	129.400	0.548
Valor Final Hall (C)	735	735	734	735	734	734.600	0.548
Valor Inicial Hall (A)	735	735	734	736	734	734.800	0.837
Delta Hall (C a A)	0	0	0	1	0	0.200	0.447
Valor Final Hall (A)	129	130	129	130	129	129.400	0.548
Tiempo de Cierre (C)	6.45	6.17	6.21	6.32	6.43	6.316	0.126
Tiempo de Apertura (A)	6.08	6.08	6.13	6.05	6.01	6.070	0.044

Tabla 22. Ensayos con objeto de metal

Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	90	91	92	91	91	91.000	0.707
Valor máximo: 1er Umbral	101	105	102	101	105	102.800	2.049
Valor Final FSR (C)	207	159	227	252	326	234.200	61.625
Valor Inicial FSR (A)	237	180	257	289	358	264.200	65.755
Delta FSR (C a A)	30	21	30	37	32	30.000	5.788
Valor Final FSR (A)	90	91	92	91	90	90.800	0.837
Valor Inicial Hall (C)	132	130	132	131	133	131.600	1.140
Valor Final Hall (C)	736	735	736	736	735	735.600	0.548
Valor Inicial Hall (A)	735	734	735	735	735	734.800	0.447
Delta Hall (C a A)	-1	-1	-1	-1	0	-0.800	0.447
Valor Final Hall (A)	130	130	130	131	130	130.200	0.447
Tiempo de Cierre (C)	3.57	3.97	5.63	4.14	5.67	4.596	0.984
Tiempo de Apertura (A)	3.25	3.23	3.03	3.49	5.88	3.776	1.187

Tabla 23. Ensayos con objeto de vidrio

Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	91	91	91	91	91	91.000	0.000
Valor máximo: 1er Umbral	103	111	109	105	111	107.800	3.633
Valor Final FSR (C)	388	345	294	340	362	345.800	34.499
Valor Inicial FSR (A)	458	374	453	384	357	405.200	46.954
Delta FSR (C a A)	70	29	159	44	-5	59.400	61.930
Valor Final FSR (A)	90	91	91	91	91	90.800	0.447
Valor Inicial Hall (C)	131	130	131	131	130	130.600	0.548
Valor Final Hall (C)	782	768	757	795	802	780.800	18.593
Valor Inicial Hall (A)	782	767	757	794	803	780.600	18.876
Delta Hall (C a A)	0	-1	0	-1	1	-0.200	0.837
Valor Final Hall (A)	130	132	131	128	129	130.000	1.581
Tiempo de Cierre (C)	2.94	2.87	3.04	4.96	4.7	3.910	1.068
Tiempo de Apertura (A)	3.81	5.96	1.92	4.41	4.2	3.585	1.137



Los datos resaltados en rojo no son tomados en cuenta en los cálculos de media y desviación debido a irregularidades captadas en el movimiento de la mano producto del desgaste (y su posterior reemplazo o reparación) de componentes mecánicos (los engranajes y los soportes en los que encajan).

De las tablas, para cada tipo de ensayo se aprecia una mayor precisión del sensor Hall respecto al FSR, ya que las desviaciones estándar de los valores iniciales y finales de las mediciones del Sensor Hall (resaltadas de celeste y amarillo) son generalmente menores a las del FSR y a la unidad.

Una medida de la exactitud del FSR se puede estimar en los valores promedio que alcanza el primer umbral (resaltados de color lila) en cada tipo de ensayo. Estos valores están a lo mucho 10 LSB's (equivalente a 6.17 gr.) distantes del valor umbral esperado (100 LSB's equivalente a 61.66 gr. –ver código en Anexo D). Con respecto al sensor Hall, las medidas analizadas son los promedios de los valores finales de cierre en cada tipo de ensayo (resaltados de color lila), los cuales (salvo en el caso de los ensayos con el objeto de vidrio cuyas dimensiones frenaban la mano antes de cerrarse por completo) están a menos de 1 LSB (equivalente a 0.45°) respecto al umbral elegido (735 LSB's equivalente a 329.5°).

El “Delta FSR” y el “Delta Hall” miden la diferencia entre las mediciones final de cierre e inicio de apertura de los sensores durante la sujeción del objeto (deriva en el tiempo). En el caso del sensor Hall se aprecia que los promedios en cada ensayo (resaltados de color verde) son menores a la unidad, pero no llegan a ser cero (valor ideal); y en cuanto al FSR, algunos valores promedio superan el límite de 5% de deriva especificada en la hoja de datos. Asimismo, se determinó que pequeñas holguras en el mecanismo de transmisión influyen en estos parámetros.

El tiempo de cierre varía de 3.91 a 6.348 segundos; mientras que, el tiempo de apertura varía de 3.585 a 6.07 segundos, accionando el motor a su máxima velocidad en cada ensayo.

## Conclusiones

- Es posible desarrollar un sistema electrónico de bajo costo (s/ 2475.22) para una prótesis transradial mioeléctrica que pueda llegar a competir con los precios de una prótesis tipo garfio en el mercado peruano.
- Con el análisis y elección de componentes escogidos, es posible diseñar e implementar el hardware en una tarjeta que alcance en la palma de la prótesis y sea inferior a las dimensiones máximas requeridas vistas en el alcance (7.5 cm x 10 cm).
- Mediante un control “on-off” de posición-fuerza (diseño e implementación del Software) y, dado el primer prototipo de prótesis en el proyecto, es posible sujetar y soltar objetos con un tiempo promedio de 5.28s para el cierre y apertura de la mano, teniendo consigo una retroalimentación háptica. Este tiempo no corresponde a lo que se esperaba (máximo 2 segundos); por lo tanto, las etapas de reducción mecánica y de potencia, junto a la fricción existente en el movimiento, deben ser revisadas.
- Los tipos de objetos en los que se aprecia un mejor comportamiento de agarre son en plástico y en madera; ya que, en ambos casos, las desviaciones estándar de las lecturas de los sensores en la transición de cierre y apertura de la mano son las más pequeñas, esto es debido en parte a las pequeñas dimensiones de estos objetos y al material en sí que responde de buena manera ante la interacción con la cubierta de silicona del dedo.
- El caso de la esponja es un caso especial, ya que, la suavidad del material, no permite una buena lectura del sensor de fuerza, siendo de preferencia usar un pulso de EMG para detener la prótesis si no se requiere el cierre completo de la mano (medida de seguridad implementada en el algoritmo).

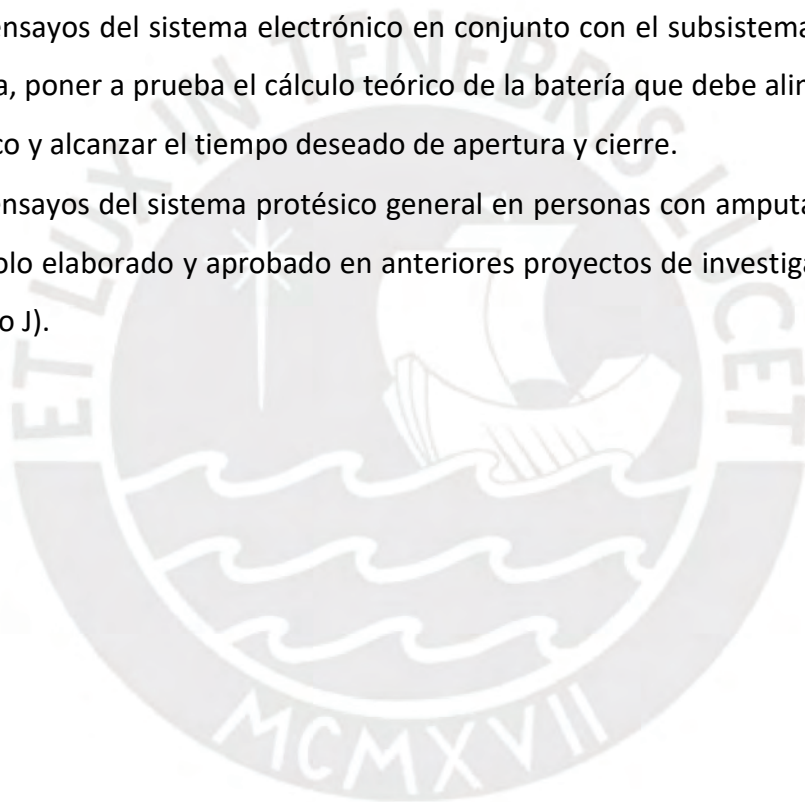
## Recomendaciones

- Reducir la holgura del sistema de transmisión (tornillo sinfín-engranajes-biela de activación) y la fricción generada en las uniones de los dedos con la palma a fin de disminuir el torque ejercido por el motor, ahorrar consumo de batería y obtener un mejor agarre de los objetos vistos en los ensayos.
- Implementar un sensor que mida la corriente del motor para evitar recalentamiento en el motor (con posibles averías) y torques superiores que deterioren piezas de la prótesis o dañen al objeto que se quiera sujetar.



## Futuros Trabajos

- Hacer uso del sensor de corriente ACS723-05AB, el cual cubre requisitos como corriente máxima ( $\pm 5A$ ), voltaje de operación (4.5-5.5 V), buena sensibilidad (400 mV/A @ VCC = 5V), entre otros.
- Rediseñar la tarjeta integrando los circuitos de los módulos directamente a la placa o soldándolos lo más próximo posible a esta para reducir la altura y teniendo en cuenta las nuevas restricciones del rediseño de la mano protésica.
- Realizar ensayos del sistema electrónico en conjunto con el subsistema mecatrónico de la muñeca, poner a prueba el cálculo teórico de la batería que debe alimentar al sistema electrónico y alcanzar el tiempo deseado de apertura y cierre.
- Realizar ensayos del sistema protésico general en personas con amputación y siguiendo el protocolo elaborado y aprobado en anteriores proyectos de investigación en el LIBRA (ver Anexo J).



## Bibliografía

- [1] Saber es práctico, “¿Cuántas personas hay en el mundo? (2019) | Saber es práctico,” *GUIDE*, 2019. [Online]. Available: <https://www.saberespractico.com/curiosidades/cuantas-personas-hay-en-el-mundo-actualmente/>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [2] J. Ventura, “AMPUTACIONES MIEMBROS SUPERIORES | universidadisabelimiembrosuperior,” *GUIDE*, 2014. [Online]. Available: <https://universidadisabelimiembrosuperior.wordpress.com/2014/12/09/amputaciones-miembros-superiores/>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [3] N. García, “Determinación de oferta y demanda para el proyecto.” GIRAB - PUCP, San Miguel, p. 9, 2017.
- [4] El Peruano, “Manos de esperanza,” *REPORT*, 2018. [Online]. Available: <https://elperuano.pe/noticia-manos-esperanza-71659.aspx>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [5] GESTIÓN, “¿Cuáles son los accidentes más frecuentes durante la jornada laboral? | Tendencias | Management & Empleo | Gestion,” *REPORT*, 2017. [Online]. Available: <https://gestion.pe/tendencias/management-empleo/son-accidentes-frecuentes-jornada-laboral-219775>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [6] M. Leblanc, “‘Give Hope - Give a Hand’ - The LN-4 Prosthetic Hand,” pp. 2–4, 2015.
- [7] I. A. Sipiran Mendoza, “Proyecto de Investigacion Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2018-01.” p. 27, 2018.
- [8] B. Phillips, G. Zingalis, S. Ritter, and K. Mehta, “A review of current upper-limb prostheses for resource constrained settings,” in *Proceedings of the 5th IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2015*, 2015.
- [9] R. S., W. S., and S. A., “Perceptions of cosmesis and function in adults with upper limb prostheses: A systematic literature review,” *Prosthet. Orthot. Int.*, vol. 35, pp. 332–341,

2011.

- [10] C. Dally, D. Johnson, M. Canon, S. Ritter, and K. Mehta, "Characteristics of a 3D-printed prosthetic hand for use in developing countries," in *Proceedings of the 5th IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2015*, 2015.
- [11] R. Mio, B. Villegas, L. Ccorimanya, K. M. Flores, G. Salazar, and D. Elias, "Development and assessment of a powered 3D-printed prosthetic hand for transmetacarpal amputees," in *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR 2017*, 2017.
- [12] Enzo Fernando Romero Muñiz, "DISEÑO DE UN SISTEMA DE RETROALIMENTACIÓN HÁPTICO PARA UNA PRÓTESIS MIOELÉCTRICA TRANSRADIAL DE MIEMBRO SUPERIOR," PUCP, 2018.
- [13] E. Romero, R. Callupe, and D. Elias, "Implementation of a finger force detection platform with a graphical user interface," in *Proceedings of the 2017 IEEE 24th International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2017*, 2017.
- [14] RPP noticias, "Crean manos biónicas que pueden ser controladas con la mente | RPP Noticias," 2015. [Online]. Available: <https://rpp.pe/tecnologia/mas-tecnologia/crean-manos-bionicas-que-pueden-ser-controladas-con-la-mente-noticia-772499>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [15] J. Fajardo, A. Lemus, and E. Rohmer, "Galileo bionic hand: SEMG activated approaches for a multifunction upper-limb prosthetic," in *Proceedings of the 2015 IEEE 35th Central American and Panama Convention, CONCAPAN 2015*, 2016.
- [16] C. Piazza *et al.*, "The SoftHand Pro-H: A Hybrid Body-Controlled, Electrically Powered Hand Prosthesis for Daily Living and Working," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 24, no. 4, pp. 87–101, 2017.
- [17] G. A. Zappatore, G. Reina, and A. Messina, "Analysis of a highly underactuated robotic hand," *Int. J. Mech. Control*, vol. 18, no. 2, pp. 17–24, 2017.



- [18] J. H. Low, M. H. Ang, and C. H. Yeow, "Customizable soft pneumatic finger actuators for hand orthotic and prosthetic applications," in *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2015.
- [19] J. Manuel, D. González, P. R. Murillo, I. Flores Luna, and A. J. Mendoza, "ROBÓTICA Y PRÓTESIS INTELIGENTES," *Rev. Digit. Univ.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–15, 2004.
- [20] J. Brito, M. Quinde, D. Cusco, and J. Calle, "Estudio del estado del arte de las prótesis de mano," *Ingenius*, vol. 9, pp. 57–64, 2017.
- [21] S. Daniela García and V. María José Espinoza, "Avances en prótesis: una mirada al presente y al futuro," *Rev. Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, no. 2, pp. 281–285, 2014.
- [22] RSLSTEEPER, "bebionic 3 technical information," 2012. [Online]. Available: [http://bebionic.com/distributor/documents/bebionic3\\_technical\\_information\\_-\\_Lo\\_Res.pdf](http://bebionic.com/distributor/documents/bebionic3_technical_information_-_Lo_Res.pdf). [Accessed: 28-Apr-2019].
- [23] O. Hf., "Ossur Master Prosthetic Catalog," 2017. [Online]. Available: <http://oc4assets.azurewebsites.net/library/39301>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [24] Otto bock Healthcare GmbH, "Fascinated with Michelangelo," 2017. [Online]. Available: <http://www.ottobockus.com/media/local-media/prosthetics/upper-limb/michelangelo/files/michelangelo-brochure.pdf>. [Accessed: 28-Apr-2019].
- [25] "VINCENTevolution3," 2018. [Online]. Available: <https://vincentsystems.de/en/prosthetics/vincent-evolution-3/>. [Accessed: 28-Apr-2019].
- [26] Bioparx, "Manual del Usuario," 2018. [Online]. Available: <http://www.bioparx.com/descargas/Manual de Usuario myo-ARm V2.pdf>. [Accessed: 20-Sep-2004].
- [27] Andina, "Universitarios de Huancayo innovan con prótesis biomédica 3D a bajo costo | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina," *REPORT*, 2018. [Online]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-universitarios-huancayo-innovan-protesis-biomedica->

- 3d-a-bajo-costo-735750.aspx. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [28] OpenBionics, "Humanoid Robotic Hand Brunel V1.0 -Datasheet," no. March. pp. 1–7, 2017.
- [29] A. V Datasheet, "Ada V1.1 - Datasheet," no. May. pp. 1–6, 2016.
- [30] Open Bionics, "Hero Arm - an affordable, advanced and intuitive bionic arm," 2018. [Online]. Available: <https://openbionics.com/hero-arm/>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [31] Álvaro Villoslada, "Dextra | Hackaday.io," *GUIDE*, 2016. [Online]. Available: <https://hackaday.io/project/9890-dextra>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [32] G. Langevin, "Hand and Forarm – InMoov," *GUIDE*, 2014. [Online]. Available: <http://inmoov.fr/hand-and-forarm/>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [33] Exiii, "HACKberry |3D-printable open-source bionic arm," *GUIDE*, 2015. [Online]. Available: <http://exiii-hackberry.com/>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [34] M. P. Mounika, S. S. Phanisankar, and M. Manoj, "Design & Analysis of Prosthetic Hand with EMG Technology in 3-D Printing Machine," *Int. J. Curr. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 115–119, 2017.
- [35] H. Watkin, "Open Bionics Releases Incredibly Affordable and Customizable "Hero Arm" Prosthetic | All3DP," *REPORT*, 2018. [Online]. Available: <https://all3dp.com/open-bionics-releases-3d-printed-affordable-hero-arm/>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [36] J. Koprnicky, P. Najman, and J. Safka, "3D printed bionic prosthetic hands," in *Proceedings of the 2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics, ECMSM 2017*, 2017.
- [37] B. Jackson, "Open Bionics raises \$5.9 million to make affordable 3D printed bionic limbs - 3D Printing Industry," *REPORT*, 2019. [Online]. Available: <https://3dprintingindustry.com/news/open-bionics-raises-5-9-million-to-make-affordable-3d-printed-bionic-limbs-146878/>. [Accessed: 12-Jul-2019].

- [38] L. Jiang, B. Zeng, S. Fan, K. Sun, T. Zhang, and H. Liu, "A modular multisensory prosthetic hand," in *2014 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2014*, 2014.
- [39] F. Al-Madani, M. Kassab, B. Z. Sonmez, and H. Solmaz, "Design and development of a low-cost force feedback 3D printed myoelectric hand prosthesis," in *2017 21st National Biomedical Engineering Meeting, BIYOMUT 2017*, 2018.
- [40] V. E. Abarca, K. M. Flores, and D. Elías, "The Octa Hand : An Affordable Multi-Grasping 3D-Printed Robotic Prosthesis for Transradial Amputees." Laboratory of Biomechanics and Applied Robotics, PUCP, San Miguel, Lima, Perú, 2018.
- [41] M. Controzzi, F. Clemente, D. Barone, A. Ghionzoli, and C. Cipriani, "The SSSA-MyHand: A dexterous lightweight myoelectric hand prosthesis," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 2017.
- [42] K. Nisal, I. Ruhunge, J. Subodha, C. J. Perera, and T. D. Lalitharatne, "Design, implementation and performance validation of UOMPro artificial hand: Towards affordable hand prostheses," in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 2017.
- [43] C. Alberto and S. Casapino, "Diseño de una Prótesis Mioeléctrica para desarticulación de muñeca Tesis," PUCP, 2014.
- [44] M. Ariyanto, Munadi, G. D. Haryadi, R. Ismail, J. A. Pakpahan, and K. A. Mustaqim, "A low cost anthropomorphic prosthetic hand using DC micro metal gear motor," in *Proceedings - 2016 3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, ICITACEE 2016*, 2017.
- [45] Y. Wei and Q. Xu, "An overview of micro-force sensing techniques," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 234, pp. 359–374, 2015.
- [46] S. Stassi, V. Cauda, G. Canavese, and C. F. Pirri, "Flexible tactile sensing based on piezoresistive composites: A review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 3, pp. 5296–5332, 2014.

- [47] Z. Kappassov, J. A. Corrales, and V. Perdereau, "Tactile sensing in dexterous robot hands - Review," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 74, pp. 195–220, 2015.
- [48] G. Li, L. Zhang, Y. Sun, and J. Kong, "Towards the sEMG hand: internet of things sensors and haptic feedback application," *Multimed. Tools Appl.*, 2018.
- [49] A. Saudabayev and H. A. Varol, "Sensors for robotic hands: A survey of state of the art," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1765–1782, 2015.
- [50] L. M. Castano and A. B. Flatau, "Smart fabric sensors and e-textile technologies: A review," *Smart Mater. Struct.*, vol. 23, no. 5, p. 27, 2014.
- [51] P. Visconti, F. Gaetani, G. A. Zappatore, and P. Primiceri, "Technical features and functionalities of Myo armband: An overview on related literature and advanced applications of myoelectric armbands mainly focused on arm prostheses," *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.*, vol. 0, no. 0, p. 25, 2018.
- [52] MyoWare, "MyoWare Muscle Sensor (AT-04-001)," p. 8, 2015.
- [53] J. Reategui and R. Callupe, "Surface EMG multichannel array using active dry sensors for forearm signal extraction," in *Proceedings of the 2017 IEEE 24th International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2017*, 2017.
- [54] S.-. J. K. y M. K. K. K. Kim, "Wearable Electromyogram Sensor System," 14/088,859, 2013.
- [55] Z. Q. Feng, G. Bin Bian, X. L. Xie, Z. G. Hou, and J. L. Hao, "Design and evaluation of a bio-inspired robotic hand for percutaneous coronary intervention," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2015.
- [56] P. Geethanjali, "Myoelectric control of prosthetic hands: State-of-the-art review," *Medical Devices: Evidence and Research*. 2016.
- [57] F. Simone, G. Rizzello, and S. Seelecke, "Metal muscles and nerves - A self-sensing SMA-actuated hand concept," *Smart Mater. Struct.*, vol. 26, no. 9, p. 15, 2017.
- [58] C. Alva, "" Procesamiento De Señales De Detección De Movimiento De Dos Dedos,"

Universidad Ricardo Palma, 2012.

- [59] L. Osorio, "Acondicionamiento de Señales Bioeléctricas Lorena Alvarez Osorio Acondicionamiento de Señales Bioeléctricas," Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
- [60] S. A. A. Aziz, A. Gani, A. F. Suhaimi, S. Kalil, A. Y. Md Yusuf, and M. Z. Nuawi, "Noise exposure inside a passenger car cabin in tropical environmental condition," *Def. S T Tech. Bull.*, 2017.
- [61] P. Xiong, C. Wu, H. Zhou, A. Song, L. Hu, and X. P. Liu, "Design of an accurate end-of-arm force display system based on wearable arm gesture sensors and EMG sensors," *Inf. Fusion*, 2018.
- [62] A. Shafti, R. B. R. Manero, A. M. Borg, K. Althoefer, and M. J. Howard, "Designing embroidered electrodes for wearable surface electromyography," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2016.
- [63] O. Sandoval-Gonzalez, R. N. Aguilar-Serena, D. la Rosa, I. Herrera Aguilar, and B. González-Sánchez, "Diseño de un sistema de adquisición de señales electromiográficas inalámbrico," 2013.
- [64] N. Feng, Q. Shi, H. Wang, J. Gong, C. Liu, and Z. Lu, "A soft robotic hand: design, analysis, sEMG control, and experiment," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2018.
- [65] F. N. Guerrero, E. M. Spinelli, and M. A. Haberman, "Analysis and Simple Circuit Design of Double Differential EMG Active Electrode," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, 2016.
- [66] R. Hardiansyah, A. Ainurrohmah, Y. Aniroh, and F. H. Tyas, "The electric wheelchair control using electromyography sensor of arm muscle," in *Proceedings of 2016 International Conference on Information and Communication Technology and Systems, ICTS 2016*, 2017.
- [67] N. Wang, K. Lao, and X. Zhang, "Design and Myoelectric Control of an Anthropomorphic Prosthetic Hand," *J. Bionic Eng.*, 2017.
- [68] A. Zulkifli, J. K. Ummu, A. F. Q. A. Aishah, and J. M. Najeb, "Development of wearable



- electromyogram (EMG) device for upper extremity in aerobic exercise,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [69] A. Devices, “Heart Rate Monitor for Wearable Products AD8233 \* Product Page Quick Links.” analog.com, p. 32, 2016.
- [70] Maxim integrated, “Ultra-Low Power , Single-Channel Integrated Biopotential ( ECG , R-to-R Detection ) AFE MAX30003.” pp. 1–46, 2016.
- [71] B. Milosevic, S. Benatti, and E. Farella, “Design challenges for wearable EMG applications,” in *Proceedings of the 2017 Design, Automation and Test in Europe, DATE 2017*, 2017.
- [72] DFRobot, “Analog EMG Sensor by OYMotion SKU : SEN0240,” 2017.
- [73] Seeeduino, “Grove - EMG Detector,” *Seeeduino Stud.*, 2018.
- [74] N. Tiep and N. Nguyen, “Developing A Low-cost Myoelectric Prosthetic,” no. May, 2018.
- [75] F. L. A. YOUNG HUGH, FREDMAN ROGER, *Fisica+Universitaria+12E++vol1[1]*, 12th ed. Atlacomulco, Mexico: Pearson Education, 2009.
- [76] M. M. A. López Lahoz, Andrés, “Sensores táctiles para aplicaciones robóticas de manipulación,” Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [77] K. Shruthi, “A Low Cost Prosthetic Hand using Flex Sensors and Servo Motors,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 6, no. 13, p. 7, 2018.
- [78] T. Yang, D. Xie, Z. Li, and H. Zhu, “Recent advances in wearable tactile sensors: Materials, sensing mechanisms, and device performance,” *Materials Science and Engineering R: Reports*. 2017.
- [79] “Interlink Electronics FSR Integration Guide.” Interlink Electronics, p. 34, 2013.
- [80] H. International Inc, “FSG Series Force Sensor Product Sheet.” Honeywell, p. 4, 2013.
- [81] H. Asahina, “Force SENSOR Data sheet.” ALPSALPINE, p. 14, 2019.



- [82] A. J. Veale and S. Q. Xie, "Towards compliant and wearable robotic orthoses: A review of current and emerging actuator technologies," *Medical Engineering and Physics*. 2016.
- [83] C. L. Semasinghe, J. L. B. Prasanna, H. M. Kandamby, R. K. P. S. Ranaweera, D. G. K. Madusanka, and R. A. R. C. Gopura, "Transradial prostheses: Current status and future directions," in *2016 Manufacturing and Industrial Engineering Symposium: Innovative Applications for Industry, MIES 2016*, 2016.
- [84] D. S. Pieringer, M. Grimmer, M. F. Russold, and R. Riener, "Review of the actuators of active knee prostheses and their target design outputs for activities of daily living," in *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2017.
- [85] G. Salazar, "Diseño e implementación de un sistema de control para una prótesis mioeléctrica de miembro superior con control de fuerza y posición," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.
- [86] Positek, "POSITION SENSOR TECHNOLOGY COMPARISON." [Online]. Available: <http://www.positek.com/more/position-sensor-technology-comparison>.
- [87] CambridgeIC, "Technology Comparison," 2010.
- [88] Zettlex, "Position Sensors – A Dummy’s Guide."
- [89] D. Vaseliou, "Using DRV to Drive Solenoids - DRV8702-Q1 / DRV8343-Q1." Texas Instruments, pp. 1–13, 2019.
- [90] R. J. A. COLOMO, J. C. PEÑA, and I. V. RAMÍREZ, "INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES DE TENSIÓN CONMUTADAS. TEORÍA Y PRÁCTICA," Las Palmas, 2001.
- [91] W. Carrera, "Fuentes Conmutadas." Pontificia Universidad Católica del Perú, San Miguel, p. 12, 2016.
- [92] Departamento de Electrónica and E.-"Guillermo L. Industrial, "Electrónica Industrial Reguladores Lineales : Introducción Los reguladores lineales Reguladores discretos Circuitos limitadores de corriente Reguladores integrados lineales." p. 21, 2011.

- [93] W. Carrera, "FUENTES REGULADAS." Willy Carrera, p. 22, 2016.
- [94] Bill Schweber, "Comprender las ventajas del regulador lineal | DigiKey," *GUIDE*, 2017. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2017/sep/understanding-the-advantages-and-disadvantages-of-linear-regulators>. [Accessed: 12-Jul-2019].
- [95] R. Jarema, "Batteries — choose the right power source for your robot," 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/husarion-blog/batteries-choose-the-right-power-source-for-your-robot-5417a3ec19ca>. [Accessed: 27-Jun-2019].
- [96] V. Sharma, "Select the Right Battery for your Robot DC Motors – Part 1 of 2 | Vishnu's Blogs," 2012. [Online]. Available: <https://vsblogs.wordpress.com/2012/02/09/select-the-right-battery-for-your-robot-dc-motors-part-1-of-2/>. [Accessed: 27-Jun-2019].
- [97] Hari Prasaath K, "Choosing Battery for Robots | EngineersGarage," *Guide*. [Online]. Available: <https://www.engineersgarage.com/article/choosing-battery-robots>. [Accessed: 27-Jun-2019].
- [98] C. Cipriani, M. Controzzi, and M. C. Carrozza, "The SmartHand transradial prosthesis," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 8, no. 1, p. 29, 2011.
- [99] S. Soc and D. I. Socs, "Precision Hall-Effect Angle Sensor IC A1334 Precision Hall-Effect Angle Sensor IC," vol. 2, 2018.
- [100] R. M. Design *et al.*, "MLX90316 Rotary Position Sensor IC."
- [101] G. Description and K. Benefits, "12-bit Programmable Contactless Encoder," pp. 1–43, 2014.
- [102] "Magnet Expert® 6mm O.D. x 3mm I.D. x 1mm thick Diametrically Magnetised N42 Neodymium Magnet ( Pack of 10 ): Amazon.co.uk: DIY & Tools." [Online]. Available: <https://www.amazon.co.uk/Magnet-Expert®-Diametrically-Magnetised-Neodymium/dp/B008UADVJO>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [103] Honeywell, "FSS-SMT Series Low Profile Force Sensor," pp. 1–4, 2013.

- [104] A. Calado, "Comparison between Low-Cost and High-End sEMG Sensors for the Control of a Transradial Myoelectric Prosthesis," p. 78, 2017.
- [105] "Sensor EMG, electrodo seco, Sensor de fuerza muscular, Sensor de superficie EMG|Accesorios y piezas para instrumentos| - AliExpress." [Online]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/33045819367.html?aff\\_platform=portals-promotion&sk=\\_d6tDDwh&aff\\_trace\\_key=aae0ea97fd064eabbd35c9ce97620525-1601128897822-09752-\\_d6tDDwh&dp=wwwmuziekbankvlaanderenbe&terminal\\_id=46c131534d344c5e926d6a1ab7203868](https://es.aliexpress.com/item/33045819367.html?aff_platform=portals-promotion&sk=_d6tDDwh&aff_trace_key=aae0ea97fd064eabbd35c9ce97620525-1601128897822-09752-_d6tDDwh&dp=wwwmuziekbankvlaanderenbe&terminal_id=46c131534d344c5e926d6a1ab7203868). [Accessed: 26-Sep-2020].
- [106] "Gravity: Analog EMG Sensor by OYMotion - DFRobot." [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1661.html>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [107] "Tienda | Un mundo de electrónica para ti." [Online]. Available: [https://www.hifisac.com/en\\_US/shop/category/electromecanica-switches-para-impreso-181/page/3](https://www.hifisac.com/en_US/shop/category/electromecanica-switches-para-impreso-181/page/3). [Accessed: 03-Dec-2019].
- [108] R. Ceres, J. L. Pons, L. Calderón, and J. Moreno, "La robótica en la discapacidad. Desarrollo de la prótesis diestra de extremidad inferior manus-hand," *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 60–68, 2008.
- [109] "LED waterclear Red/Green/Blue (RGB) 5mm common cathode 6000-12000MCD | Un mundo de electrónica para ti." [Online]. Available: [https://www.hifisac.com/en\\_US/shop/product/lrgb-5-cc-wc-led-waterclear-red-green-blue-rgb-5mm-common-cathode-6000-12000mcd-4871?category=109](https://www.hifisac.com/en_US/shop/product/lrgb-5-cc-wc-led-waterclear-red-green-blue-rgb-5mm-common-cathode-6000-12000mcd-4871?category=109). [Accessed: 03-Dec-2019].
- [110] "8mm Linear Resonant Actuator - 3mm Type - Precision Microdrives." [Online]. Available: <https://www.precisionmicrodrives.com/product/c08-001-8mm-linear-resonant-actuator-3mm-type>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [111] "Pololu - MAX14870 Single Brushed DC Motor Driver Carrier." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2961>. [Accessed: 03-Dec-2019].

- [112] "Pololu - DRV8838 Single Brushed DC Motor Driver Carrier." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2990>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [113] "Pololu - BD65496MUV Single Brushed DC Motor Driver Carrier." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2960>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [114] G. D. Eisenberg, K. G. H. M. Fyvie, and A. K. Mohamed, "Real-Time Segmentation and Feature Extraction of Electromyography: Towards Control of a Prosthetic Hand," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 2, pp. 151–156, 2017.
- [115] Atmel, "ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash DATASHEET," pp. 1–294, 2015.
- [116] Atmel, "ATmega16U4/ATmega32U4 Datasheet," p. 438, 2016.
- [117] Microchip Technology Inc., "SAM D21 Family Datasheet," 2018.
- [118] "Arduino Nano." [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [119] "Pololu 5V Step-Up Voltage Regulator U1V10F5." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2564>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [120] "Pololu 5V Step-Up Voltage Regulator U1V11F5." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2562>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [121] "Pololu 5V Step-Up Voltage Regulator U3V12F5." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2115>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [122] "Pololu - 6V Step-Up Voltage Regulator U3V70F6." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2892>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [123] "Pololu 6V Step-Up Voltage Regulator U3V50F6." [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2566>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [124] "XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf." .

- [125] Y. Seok, "Lithium Ion INR18650 MH1 3200mAh." .
- [126] S. SDI, "Specification of product INR18650-25R," no. 0. pp. 0–15, 2014.
- [127] "Batería NCR18650b." .
- [128] "Bateria Ncr 18650b Panasonic Con Proteccion Para Linterna - S/ 49,00 en Mercado Libre." [Online]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-434306042-bateria-ncr-18650b-panasonic-con-proteccion-para-linterna-\\_JM#position=1&type=item&tracking\\_id=e392fc74-a333-4261-9ba5-2158db6e217b](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-434306042-bateria-ncr-18650b-panasonic-con-proteccion-para-linterna-_JM#position=1&type=item&tracking_id=e392fc74-a333-4261-9ba5-2158db6e217b). [Accessed: 03-Dec-2019].
- [129] "NTP 226: Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad." [Online]. Available: [http://www.jmcprl.net/ntp/@datos/ntp\\_226.htm](http://www.jmcprl.net/ntp/@datos/ntp_226.htm). [Accessed: 03-Dec-2019].
- [130] Caesar, "Electrodo de Aguja." [Online]. Available: <http://www.caesarelectrodos.com/producto/electrodo-de-aguja/>.
- [131] "Electrodo de cable." [Online]. Available: <http://rosegoldskirtzaracheckprice.albest.co/post-eyJvcml6IjE4IiwiaY2F0ZWdvcnkiOiJmaW5ld2lyZS1jb20ifQ==?x=rosegoldskirtzaracheckpricealbest>.
- [132] Thought Technology, "Tríodo." [Online]. Available: <http://thoughttechnology.com/index.php/triode-electrodes.html>.
- [133] Thought Technology, "Electrodo cinta simple." [Online]. Available: <https://bio-medical.com/t3404-disposable-strip-emg-electrodes-100-pack.html>.
- [134] "Electrodos de plata / cloruro plata," vol. 44, no. 0, p. 224411, 2009.
- [135] P. Mannion, "Myo armband : Wearables design focuses on packaging," *EDN Netw.*, p. 10, 2016.

Anexo A

# **Diseño, Desarrollo e Implementación de Prótesis Mioeléctricas personalizadas de mano con retroalimentación háptica empleando tecnologías de fabricación digital en filamentos de plástico PET reciclado de bajo costo**

Avance de Diseño mecánico de prótesis de mano para primera implementación

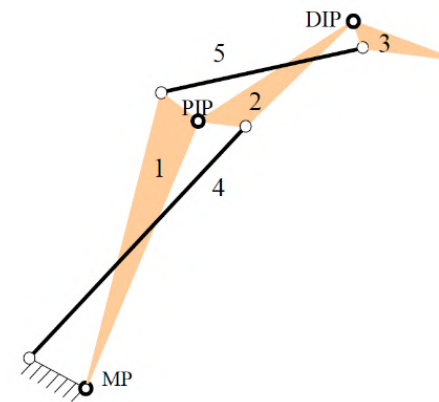
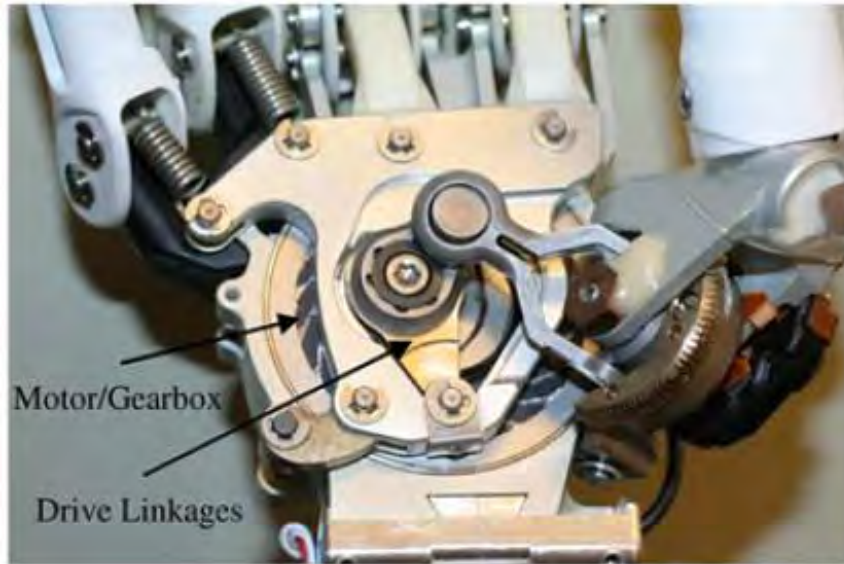
Ing. Rodrigo Vega Centeno Ponce de León



**PUCP**



# Estado del arte y trabajos previos



# Requerimientos

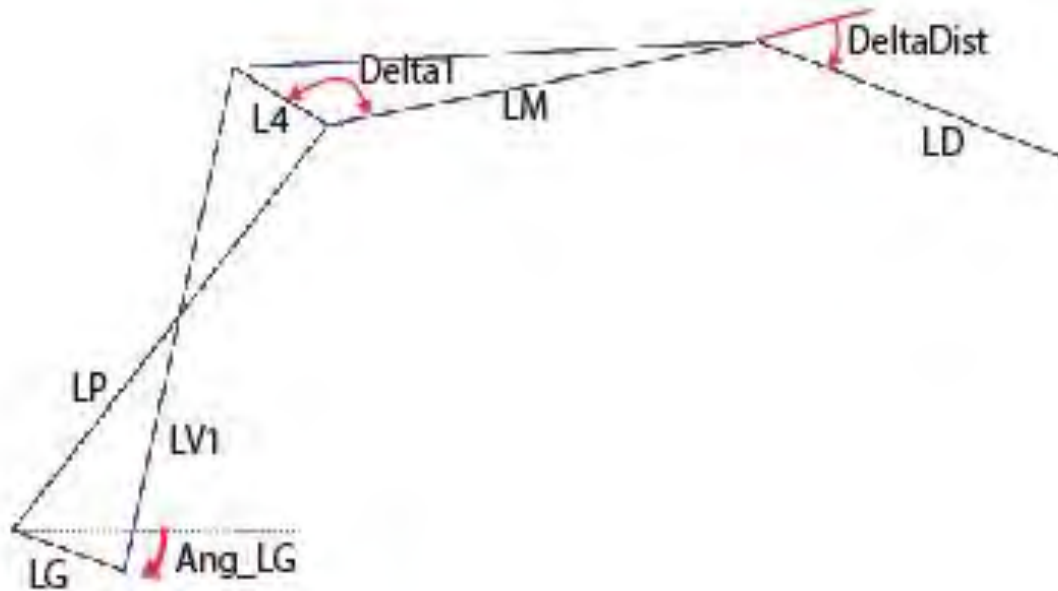
- ▶ Mecanismos de dedos: Flexión adaptativa y parametrizables
- ▶ Cinemática: Trayectoria natural y velocidad de cierre/ apertura de 30 RPM
- ▶ Fuerza: Capacidad de sujetar por lo menos objeto de 0.5 kg. Se toma torque en MCP de 0.15Nm (para pulgar 0.3 Nm)
- ▶ Transmisión: Autobloqueante
- ▶ Costo: No superar 5000 soles
- ▶ Fabricación: Mercado local y/o impresión 3D
- ▶ Actuadores: Minimo posible para reducir costes y componentes de control

# Concepto óptimo escogido

- ▶ Mecanismos de 4 barras cruzadas para los dedos y pulgar
- ▶ Falange media y distal soldada
- ▶ Activación de flexión a través de eslabón adicional
- ▶ Un único actuador para flexión y extensión
- ▶ Disco rotatorio que activa todos los dedos
- ▶ Disco permite plantear dos trayectorias diferentes en cada sentido de giro y así tener dos gestos con solo una actuador
- ▶ Grado de libertad adicional pasivo para la circunducción del pulgar (fijo por fricción o por forma)



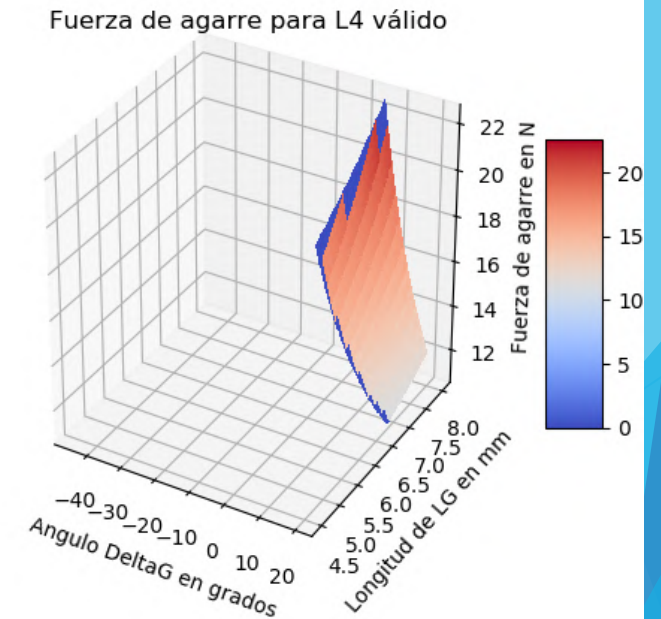
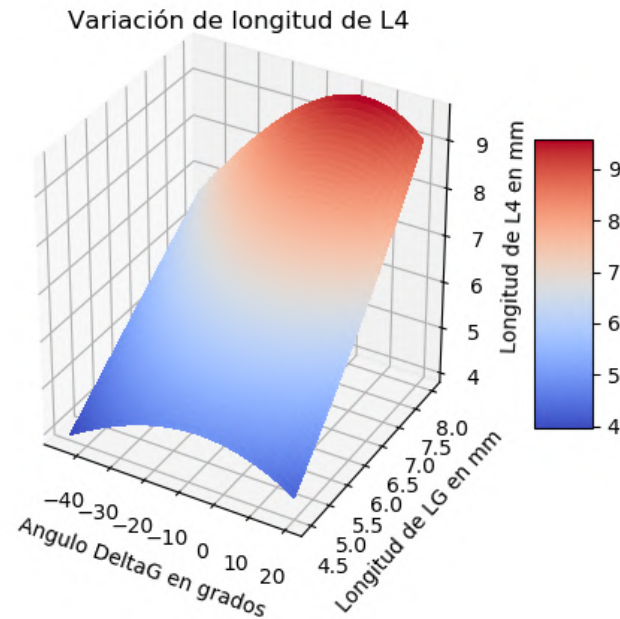
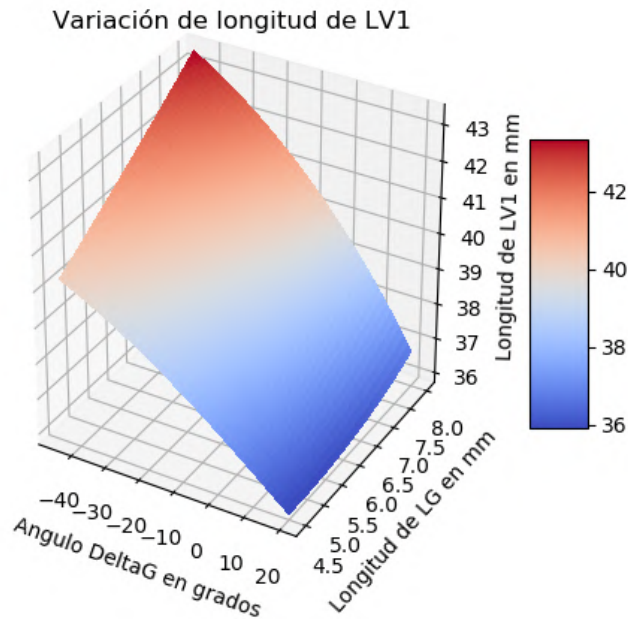
# Diseño de mecanismos de flexión de dedos



Medidas LP, LM y LD son conocidas. Proviene de la antropometría del usuario

Medidas LG, Ang\_LG, LV1, L4 y Delta1 se determinan bajo las condiciones de posición inicial y final de los dedos y considerándolas dentro de un rango razonable para el diseño

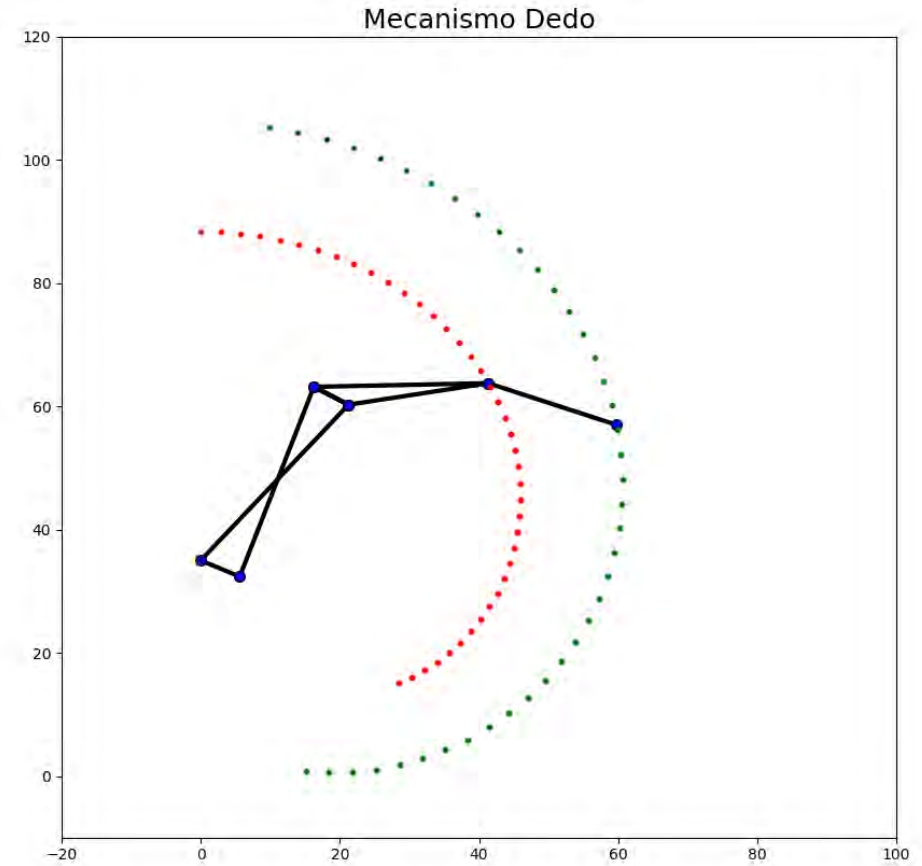
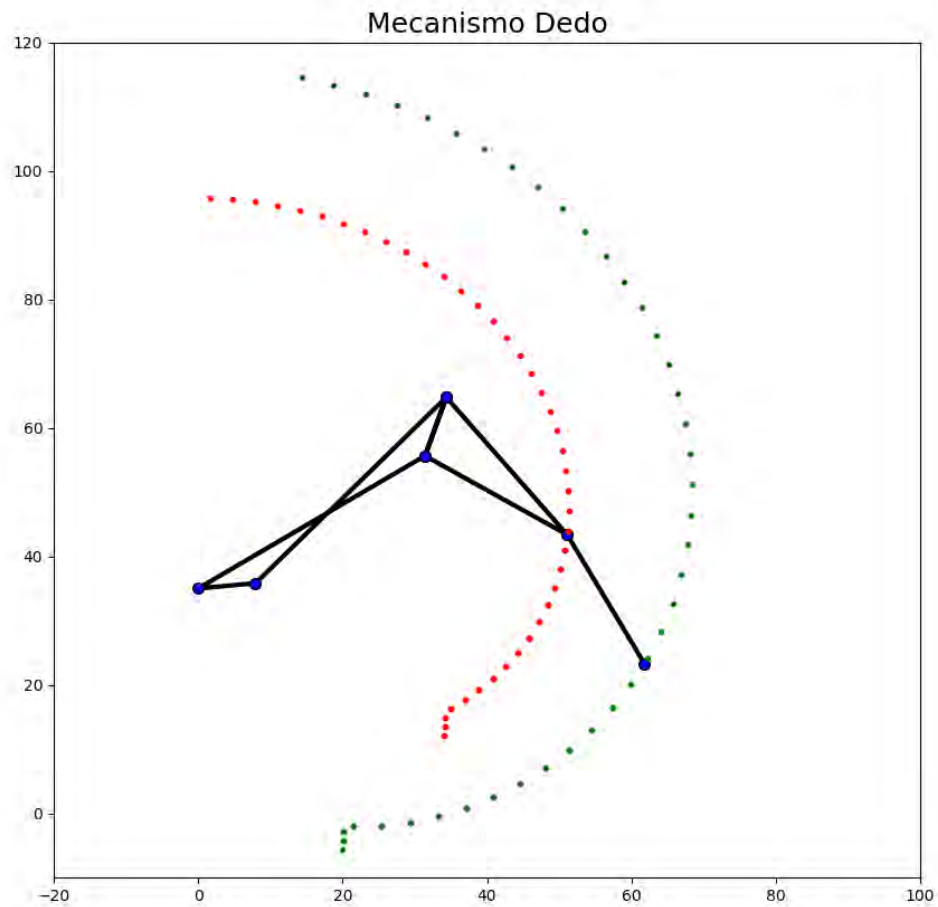
# Optimización de dimensiones por maximización de fuerza



$$F_{\text{maximizada}} > 20\text{N}$$

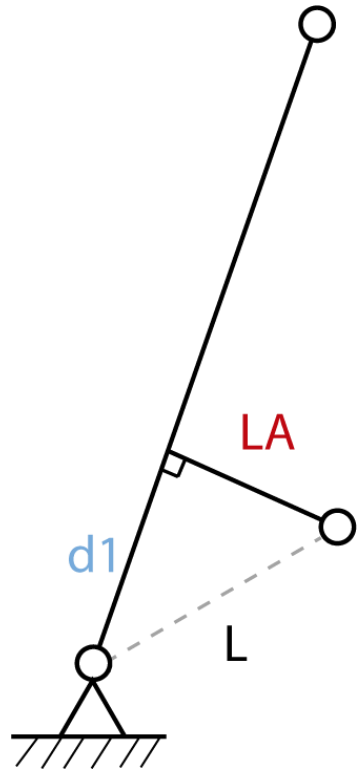
Se espera fuerza de agarre<sub>mano</sub> > 120N

# Evaluación de trayectorias de dedos

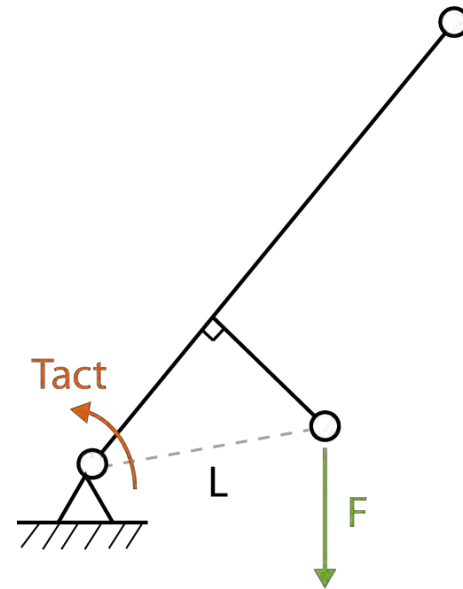




# Calculo de fuerza para flexión

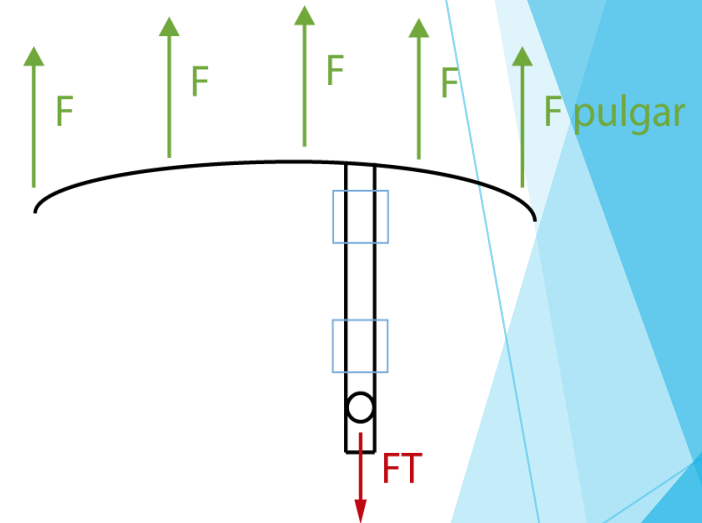


$$L = 12 \text{ mm}$$



$$T_{act} = 0.15 \text{ N.m}$$

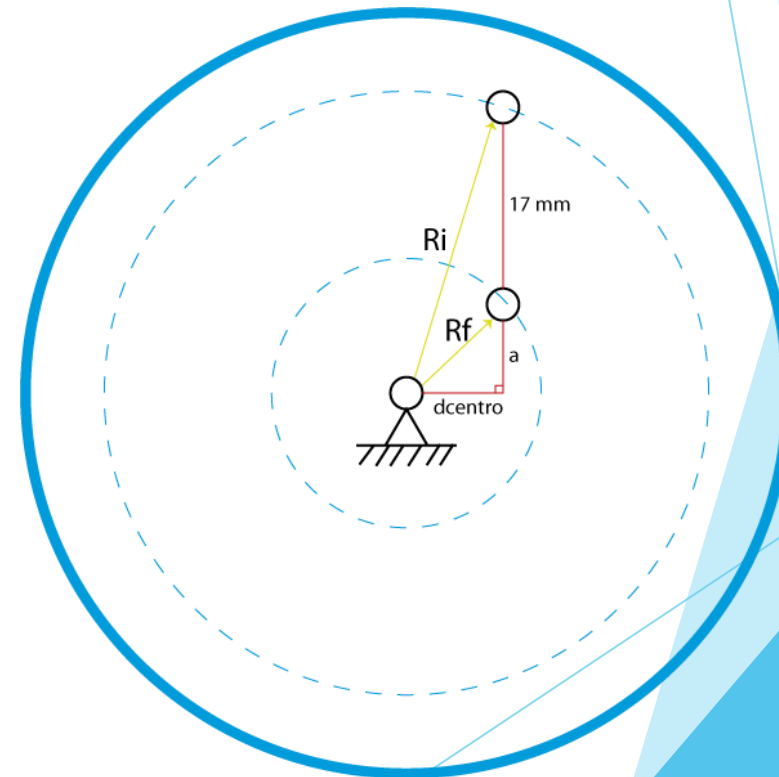
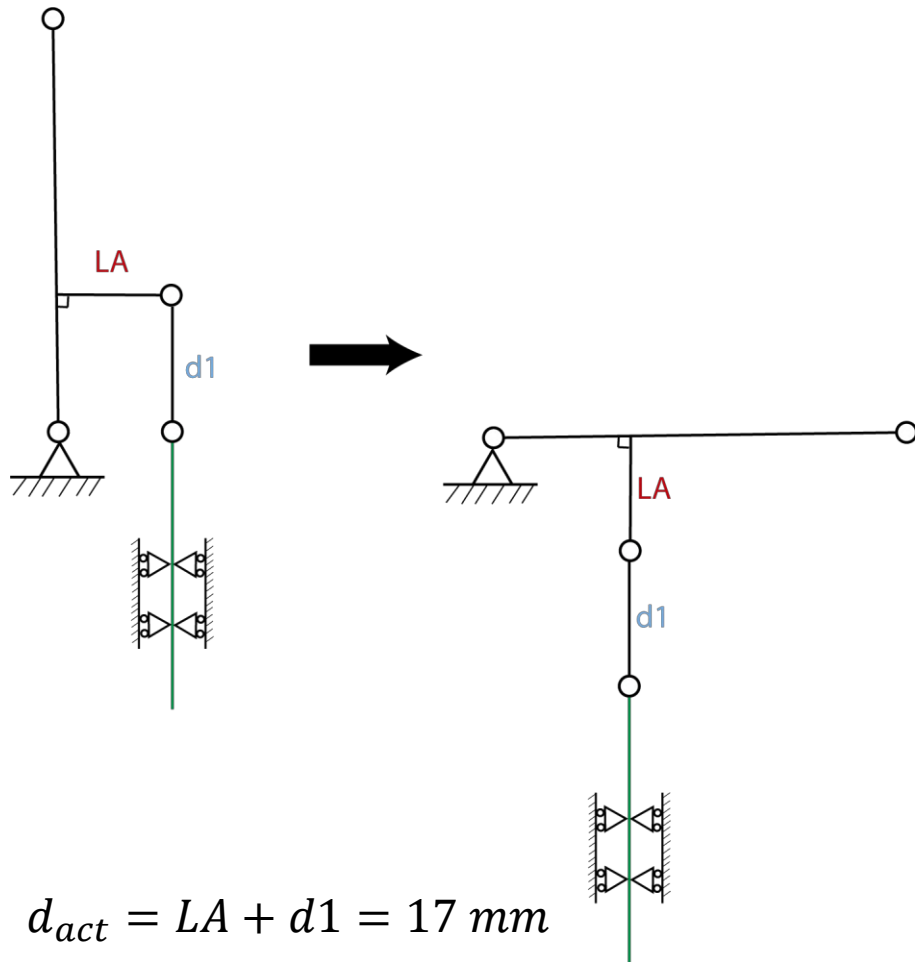
$$F = \frac{150}{12} = 12.5 \text{ N}$$



$$F_T = 4 * F + F_{pulgar}$$

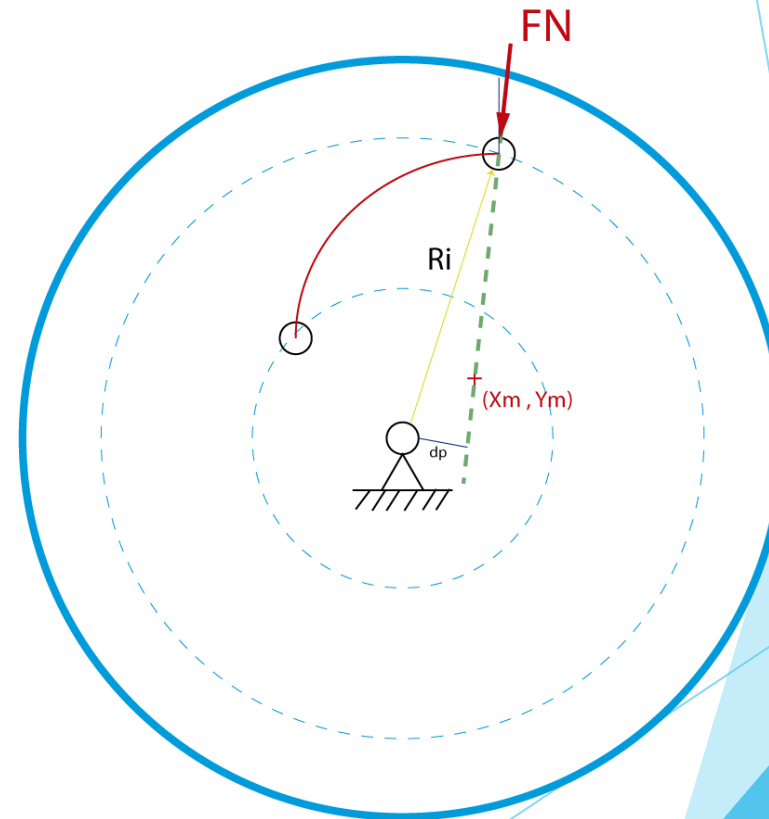
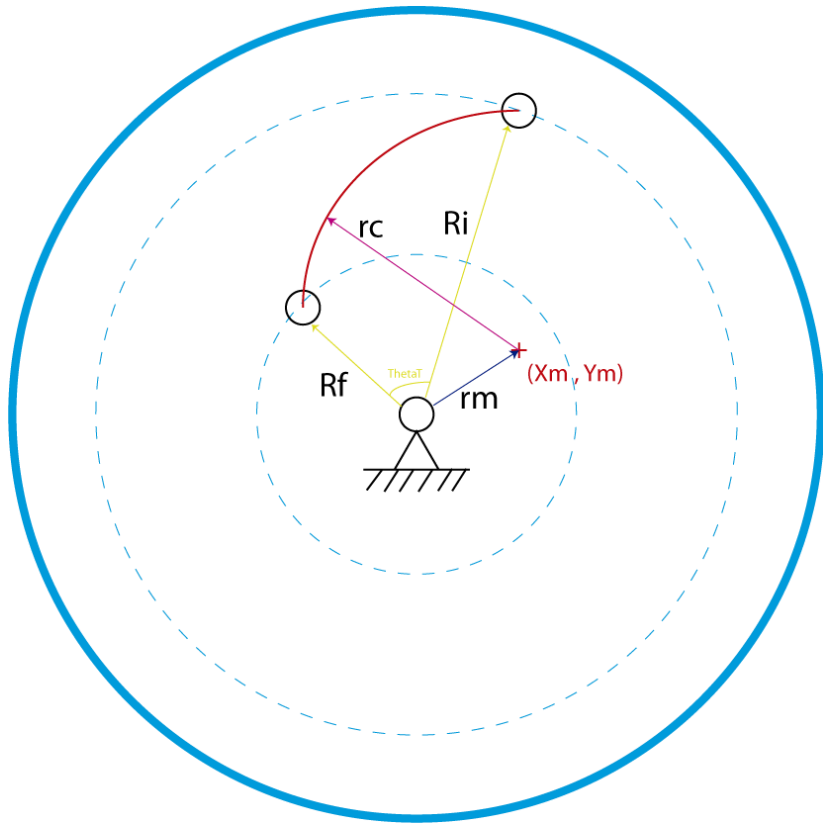
$$F_T = 75 \text{ N}$$

# Recorrido necesario para la activación

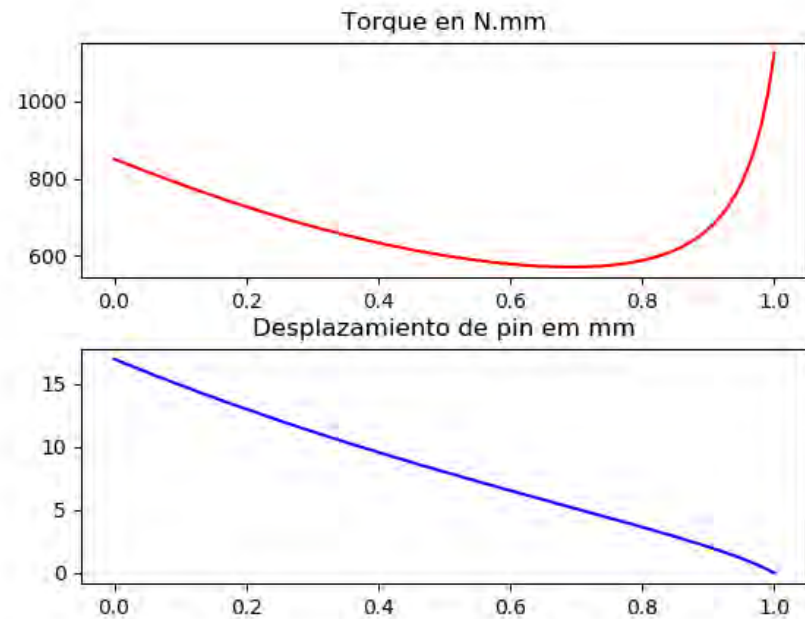


$$R_f \geq d_{centro}$$
$$a \geq 0$$

# Torque en disco de activación y dimensionamiento



# Optimización de trayectoria en disco



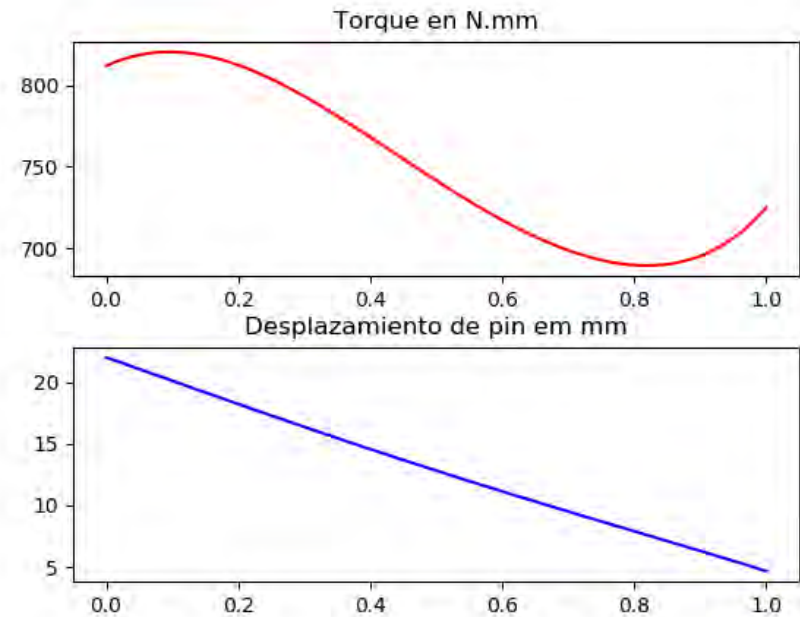
$$a = 0$$

$$R_f = 15 \text{ mm}$$

$$R_i = 22.7 \text{ mm}$$

$$RPM_{necesaria} = 18 \text{ RPM}$$

$$T_{necesario} = 1.2 \text{ Nm}$$



$$a = 5 \text{ mm}$$

$$R_f = 15.8 \text{ mm}$$

$$R_i = 26.6 \text{ mm}$$

$$RPM_{necesaria} = 16 \text{ RPM}$$

$$T_{necesario} = 0.82 \text{ Nm}$$

# Torque necesario reducción requerida

## Motor seleccionado

- ▶ De lo anterior:

$$T_{max_{necesario}} = T_{max} * F.S * \frac{1}{Eficiencia} = 1.89 \text{ N.m}$$

- ▶ Se seleccionó el motor:

Motor - DC-max16S GB SL 6V  
Planetary gearhead - GPX19 A 172:1

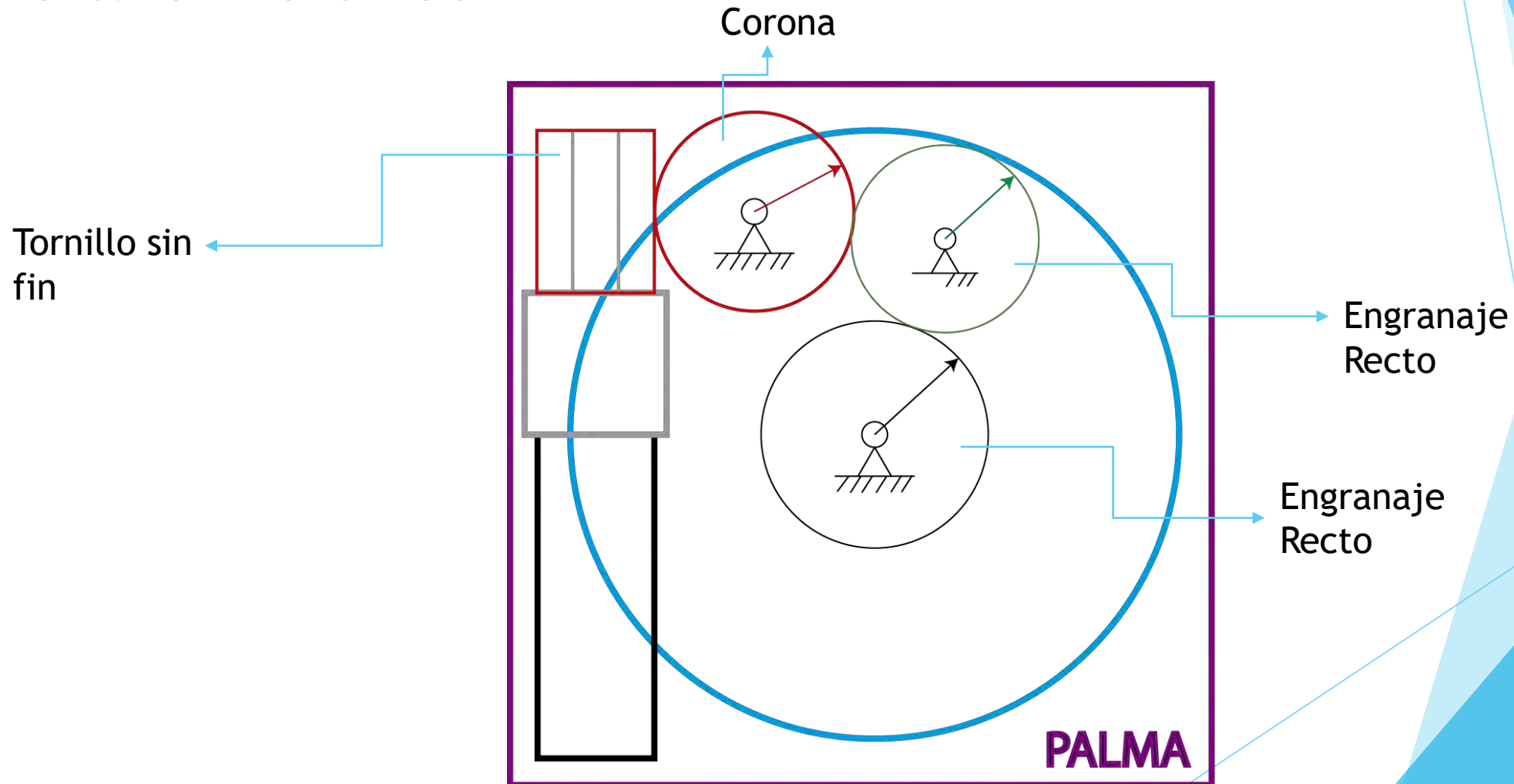
Speed	40 min <sup>-1</sup>
Torque	0.42 Nm



- ▶ Por lo cual la reducción necesaria para alcanzar el  $T_{max_{necesario}}$  es de:

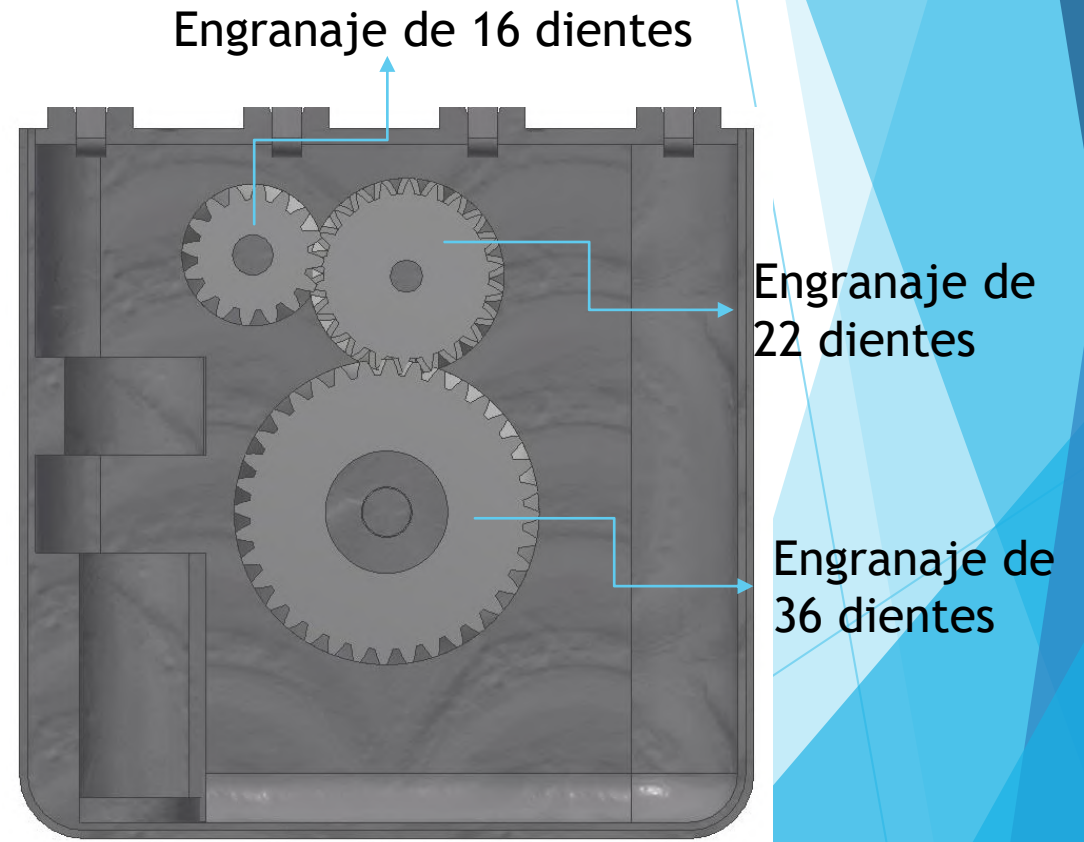
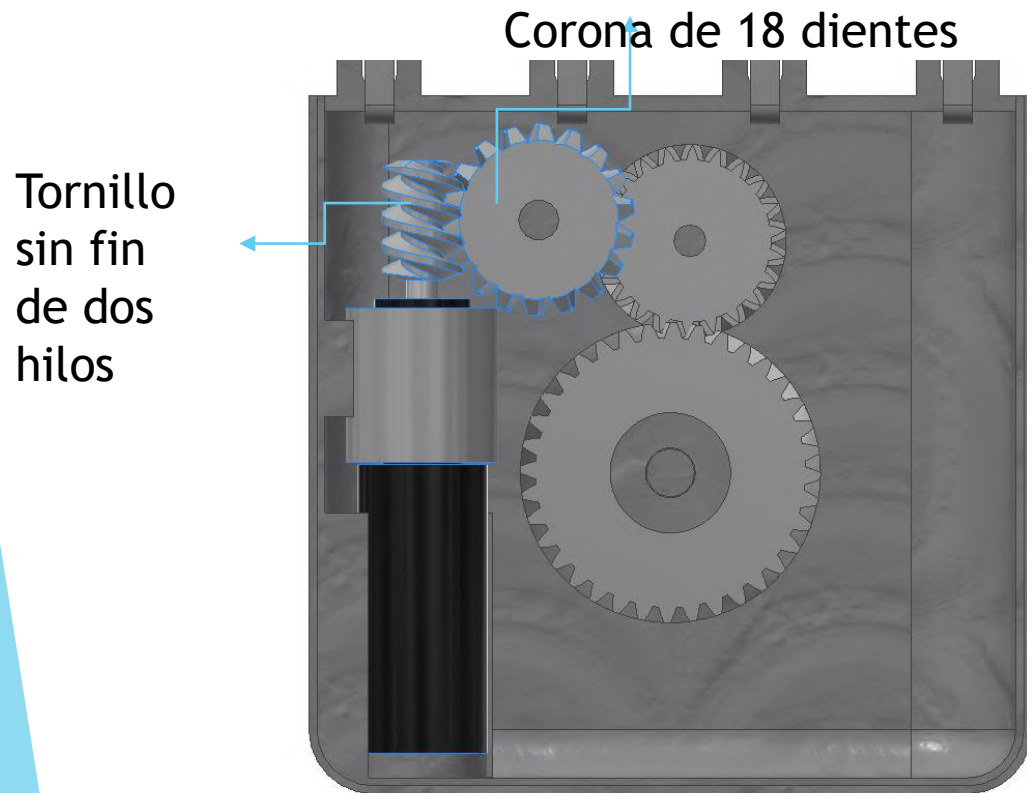
$$Reducción_{necesaria} = 1:4.5$$

# Disposición de componentes y transmisiones



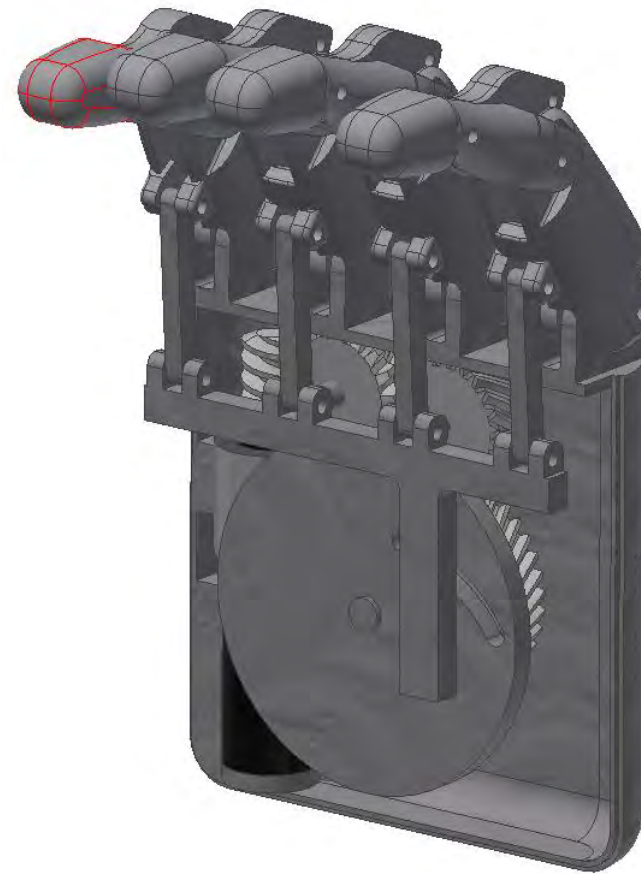
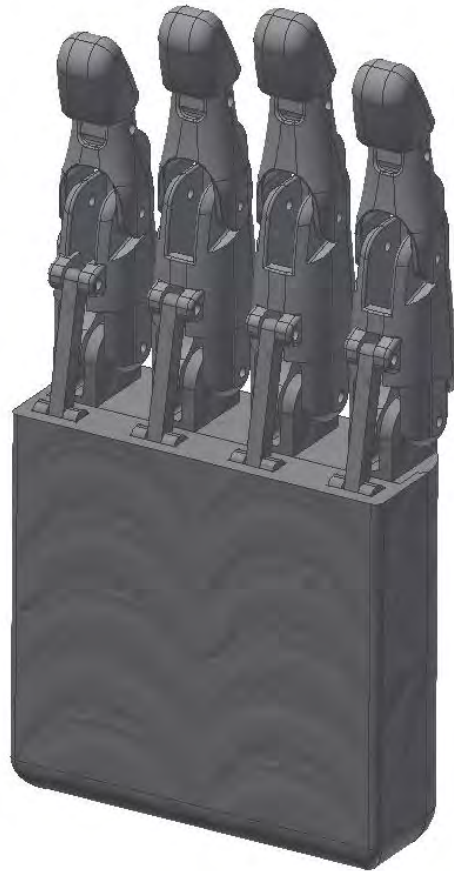


# Relación de transmisiones y dimensionamiento de engranajes

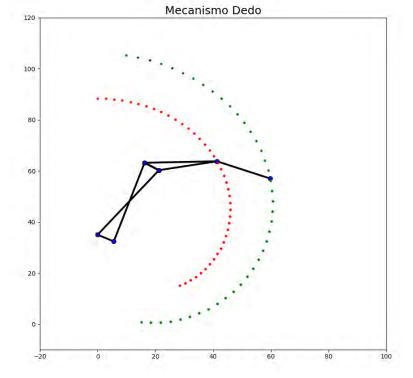
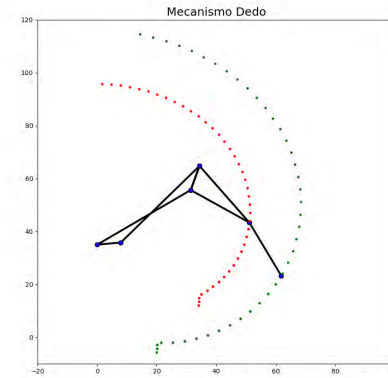


Reducción total de 1:4

# Modelado para primera implementación de prueba

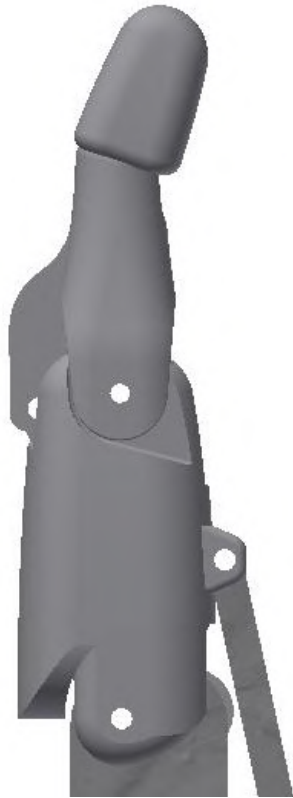


# Medidas definitivas de mecanismos de dedo sin singularidad

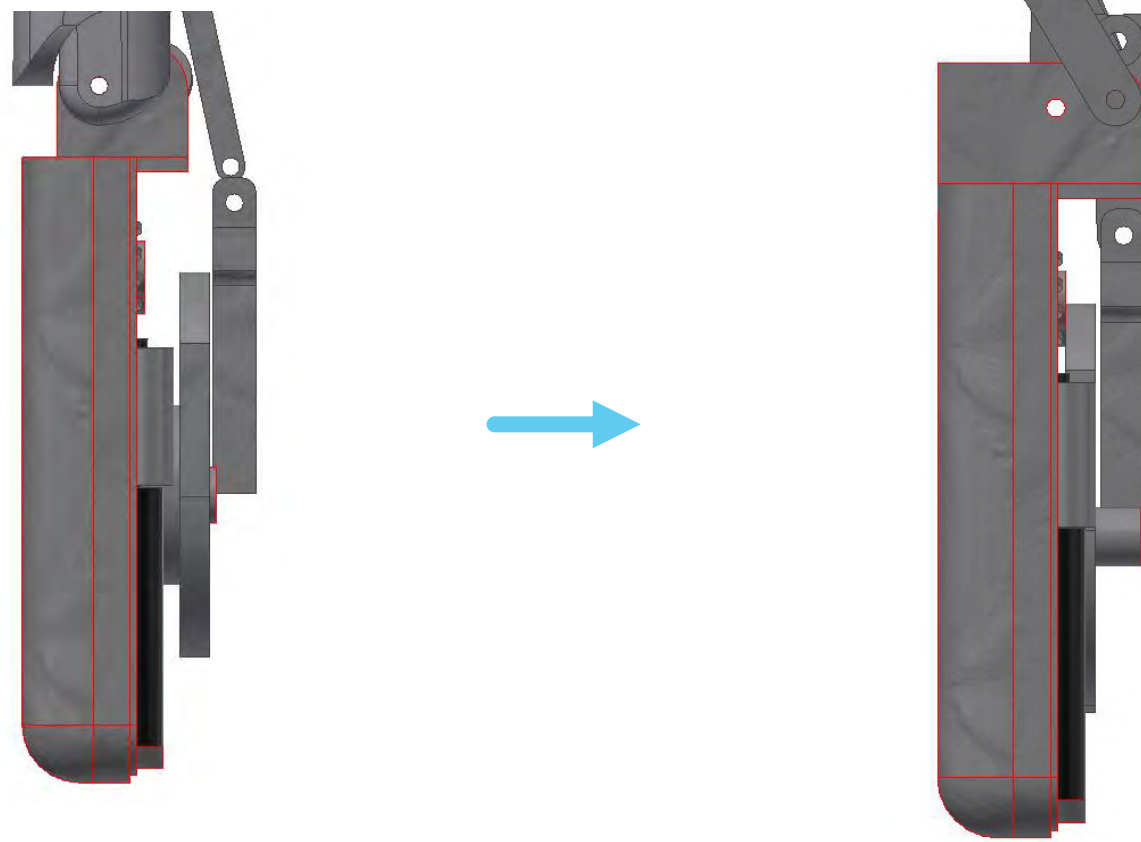


Indice		Medio		Anular		Meñique		Pulgar			
Nombre	V Medida	Unidad	Nombre	V Medida	Unidad	Nombre	V Medida	Unidad	Nombre	V Medida	Unidad
DeltaG	3.8	deg	DeltaG	2.3	deg	DeltaG	4.2	deg	DeltaG	7.3	deg
LG	7.99	mm	LG	7.99	mm	LG	7.99	mm	LG	7.99	mm
LP	37.59429	mm	LP	41.30349	mm	LP	38.21249	mm	LP	31.8	mm
LV1	37.88066	mm	LV1	41.44674	mm	LV1	38.54506	mm	LV1	32.54836	mm
LM	23.21821	mm	LM	25.50901	mm	LM	23.60001	mm	LM	28.2	mm
L4	8.783462	mm	L4	8.635575	mm	L4	8.824192	mm	L4	9.241257	mm
LD	22.6875	mm	LD	22.6875	mm	LD	22.6875	mm	LD	28.2	mm
DeltaLM_L	109	deg	DeltaLM_L	109	deg	DeltaLM_L	108	deg	DeltaLM_L	108	deg
DeltaDist	30	deg	DeltaDist	30	deg	DeltaDist	30	deg	DeltaDist	30	deg

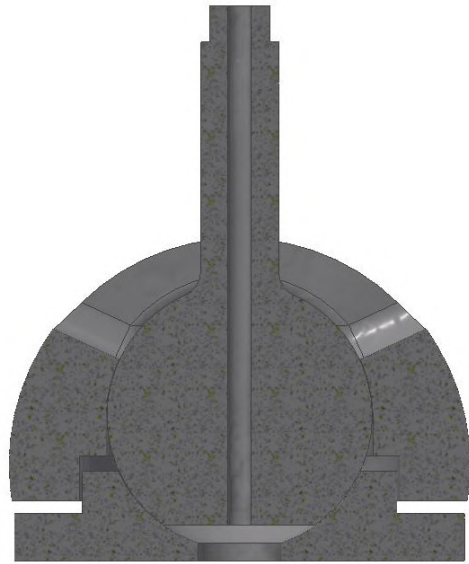
# Simplificación de mecanismos para trabajo de diseño industrial



# Compresión de mecanismo palma para disminuir volumen



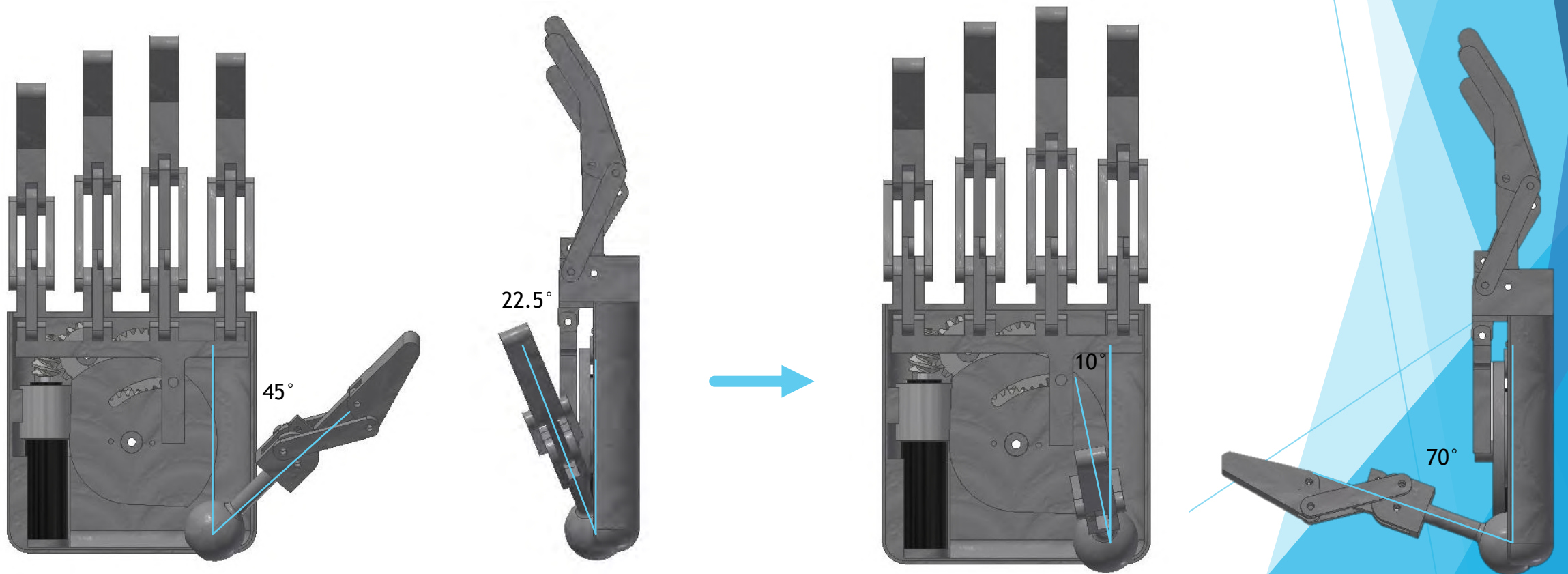
# Pruebas para grado de libertad adicional pasivo para la circunducción del pulgar



Posición fijada por fricción, trayectoria guiada por ranura en la cobertura. Fricción regulable por compresión de la esfera



# Determinación de ángulos para posiciones límites del pulgar, entre oposición y reposo



# Posición de esfera central fijada y generación de trayectoria de pulgar

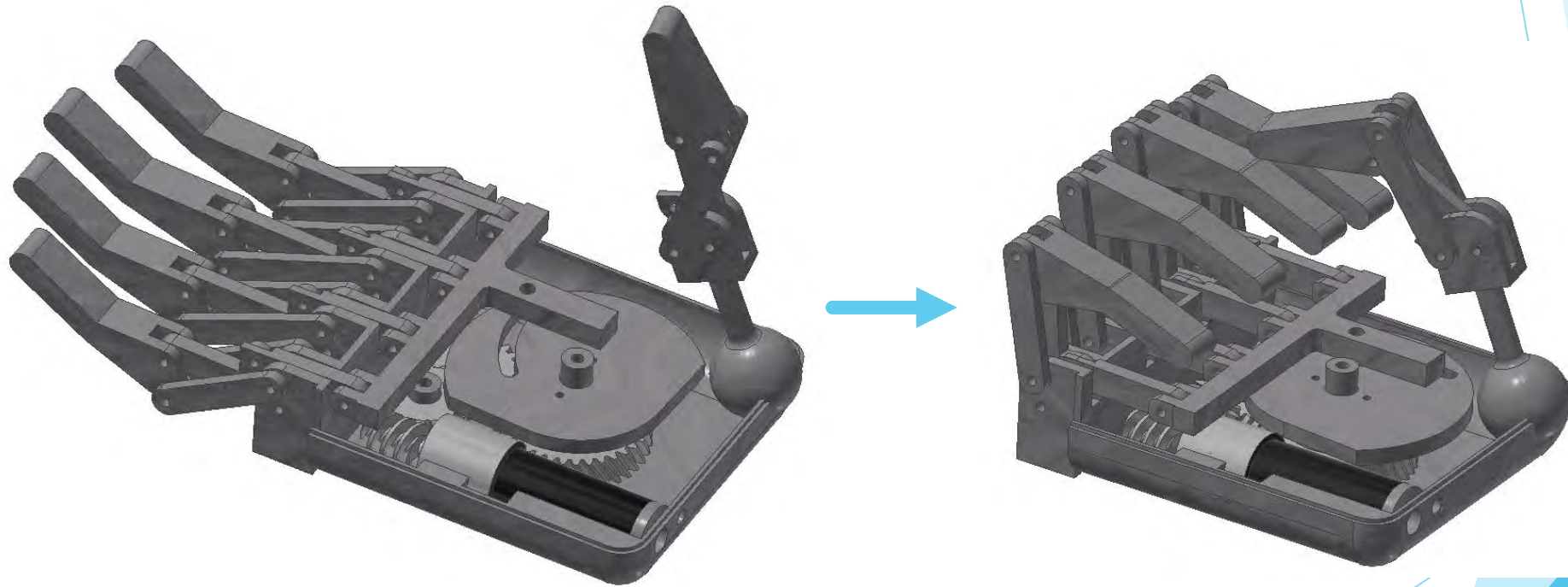


Punto de referencia cercano a base palma , en articulación real

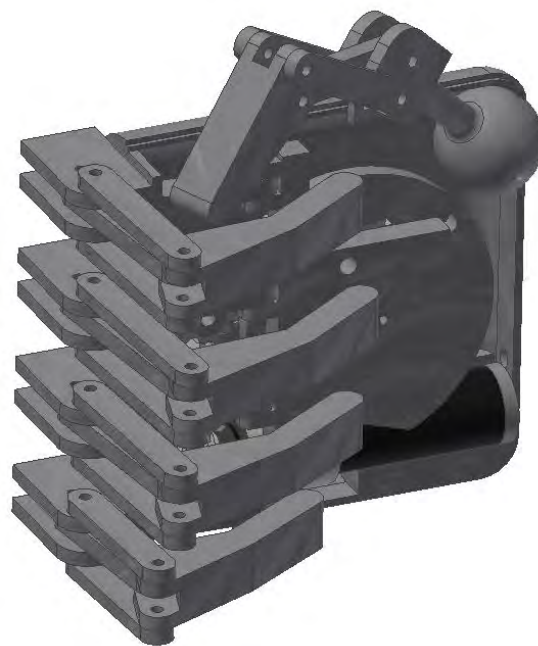
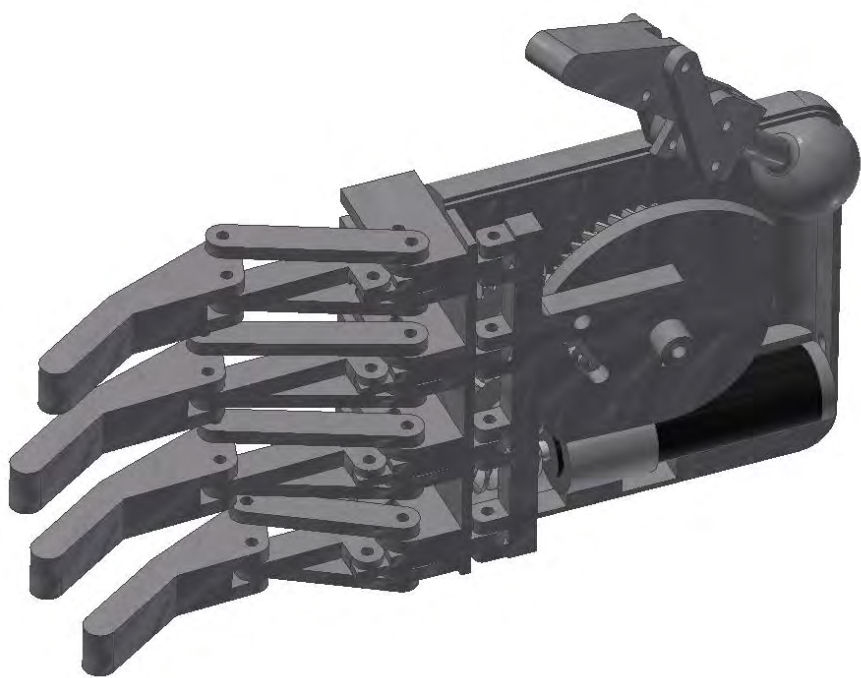


Trayectoria en socket que reorienta también al pulgar

# Flexión en posición oposición



# Flexión en posición de reposo



# PENDIENTES

- ▶ EN DESARROLLO (Sábado 2 de Noviembre)
  - ▶ Diseño palma con socket de pulgar
  - ▶ Fabricación de mano con todos los dedos completos
  - ▶ Entregable a Diseño Industrial
  - ▶ TDR de componentes mecánicos para primera implementación
  - ▶ Solución de activación de pulgar en cualquier posición

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



SECCIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ROBÓTICA APLICADA Y  
BIOMECÁNICA (GIRAB)

### Reporte de avance N°10

Código Proy.: Contrato 206-2015-FONDECYT

Proyecto: Prótesis miolétrica de mano de 4 grados de libertad con algoritmo de control de fuerza independiente en los dedos

Investigador: Ing. Luis Ccorimanya Atoccza.

Periodo: Julio 2016



## Contenido

AVANCE SEGÚN CRONOGRAMA .....	i
Pruebas del sensor de efecto Hall.....	1
Programación en C para la lectura PWM .....	14
Conclusiones, recomendaciones y observaciones .....	17
Avance de las próximas 2 semanas.....	18



## AVANCE SEGÚN CRONOGRAMA

### Se debería tener:

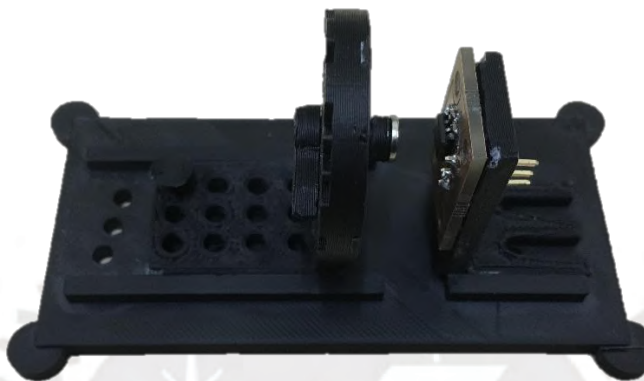
- Hallar la distancia mínima entre el imán y el sensor de efecto Hall, evitando la saturación.
- Analizar el comportamiento de la señal de salida del sensor de efecto Hall ante el giro del imán.
- Programación en código C de la señal de salida del sensor de efecto Hall.

### Se presenta ahora:

- Distancia mínima entre el imán y el sensor de efecto Hall.
- Comportamiento de la señal de salida PWM del sensor de efecto Hall.
- Avance de la programación en C para la lectura de la señal de salida PWM del sensor de efecto Hall.
- Observaciones, recomendaciones y conclusiones.
- Trabajo a realizar en las próximas 2 semanas.

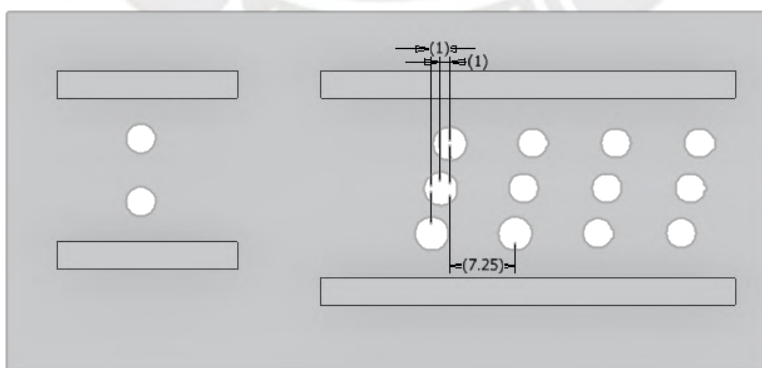
## Pruebas del sensor de efecto Hall

Para realizar las pruebas del sensor de efecto Hall, a partir de las cuales se hallará la distancia mínima entre el sensor y el imán y, asimismo, el comportamiento de la salida del sensor Hall, se dispuso del siguiente sistema:



*Fig. 1: Sistema mecánico para las pruebas del sensor de efecto Hall.*

En donde, se variará la distancia uniendo los agujeros de la plataforma y los agujeros de la pieza deslizante que contiene al imán por medio de un pin.



*Fig. 2: Medidas de los agujeros de la plataforma.*

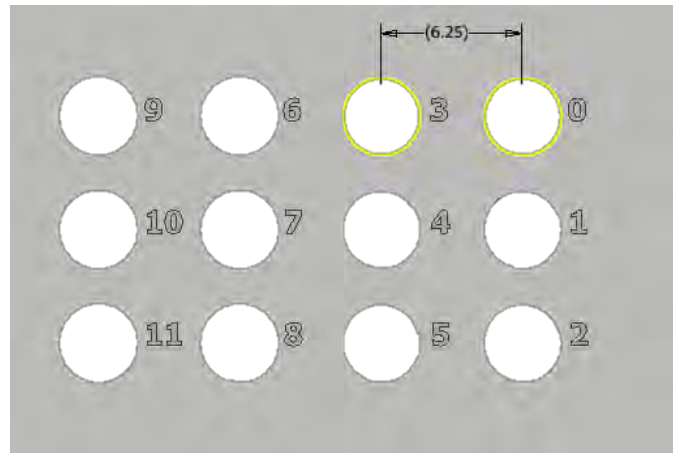


Fig. 3: Medidas de la pieza deslizante del imán.

Y la variación del ángulo estará a cargo del movimiento del puntero en la pieza deslizante que contiene al imán. Además, para tener la medida angular exacta del imán se dispuso de marcas que indicaban cierto ángulo, tal como se visualiza a continuación.

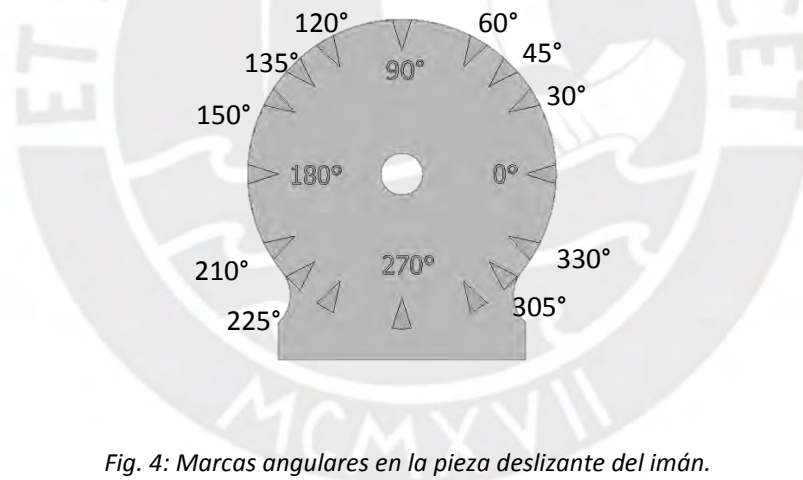


Fig. 4: Marcas angulares en la pieza deslizante del imán.

El protocolo de pruebas que se utilizó para las pruebas del sensor Hall consistió en medir la señal PWM para cada ángulo manteniendo una distancia fija. Las distancias que se utilizaron en las pruebas fueron de 0, 1, 2, 3 y 4 mm. Debido a la variación de la señal PWM, se tomaron 100 muestras en cada prueba, a partir de las cuales se obtuvo el valor mínimo, el máximo y la media.

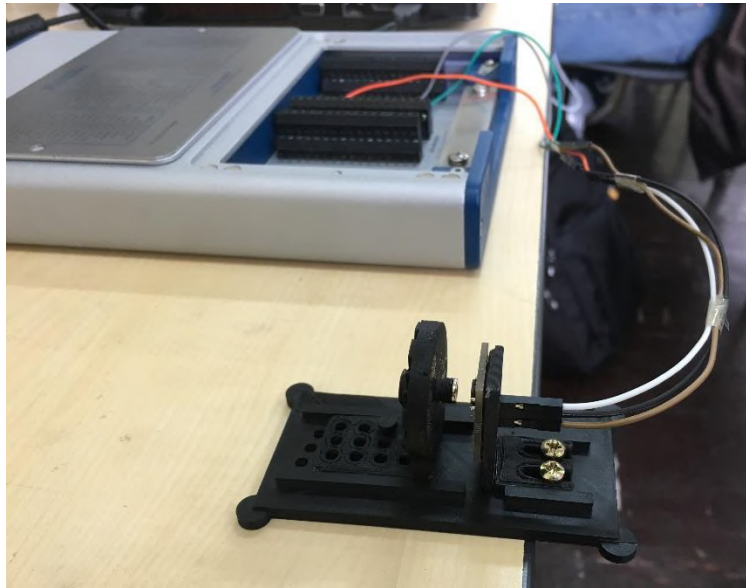


Fig. 5. Disposición del sistema para las pruebas.

#### Teóricos:

Con el fin de saber si los datos obtenidos en las pruebas son los correctos, se utilizan los datos teóricos brindados por el fabricante, los cuales son 10% de PWM para 0° y 90% de PWM para 360°. Con los datos anteriores, se puede obtener la curva teórica PWM vs ángulo, que se observa a continuación.

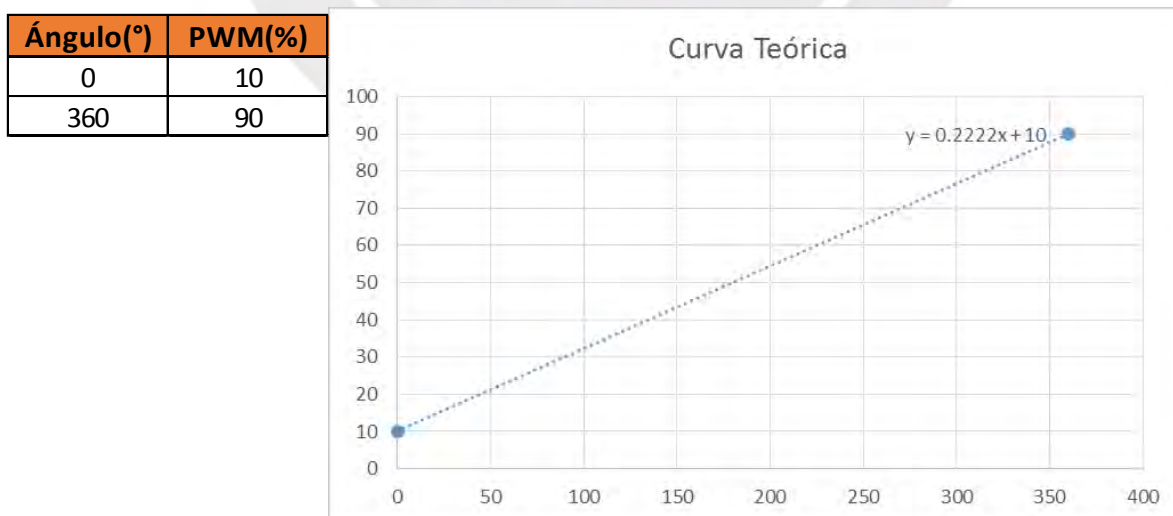


Fig. 4. Valores y curva teórica PWM vs ángulo.

**Para 0 mm:**

Los valores obtenidos estando el sensor Hall y el imán juntos son los siguientes:

Ángulo (°)	Ajuste ángulo (°)	PWM (%)			Error
		Mínimo	Media	Máximo	
0	345	87.3000	87.3370	37.3950	0.037
30	315	81.2010	81.2561	81.3270	0.0709
45	300	76.5250	76.5678	76.6050	0.0428
60	285	72.9210	72.9580	73.0070	0.049
90	255	64.7840	64.8321	64.8670	0.0481
120	225	57.7660	57.8047	57.8390	0.0387
135	210	54.5070	54.5643	54.6000	0.0573
150	195	52.0540	52.1007	52.1390	0.0467
180	165	46.3030	46.3376	46.3640	0.0346
210	135	40.2830	40.3173	40.3430	0.0343
225	120	36.5270	36.5517	36.5840	0.0323
270	75	26.3310	26.3545	26.3760	0.0235
315	30	16.8070	16.8245	16.8460	0.0215
330	15	13.9230	13.9416	13.9600	0.0186
				<b>Error Máximo</b>	0.0709

*Tabla 1: Tabla de valores para 0 mm.*

Luego, ya que se leyó la señal PWM a partir de cierto ángulo conocido, se procede a realizar la curva PWM vs ángulo, haciendo un ajuste del ángulo y agregando los valores 10% de PWM para 0° y 90% de PWM para 360°. La curva obtenida se visualiza a continuación:



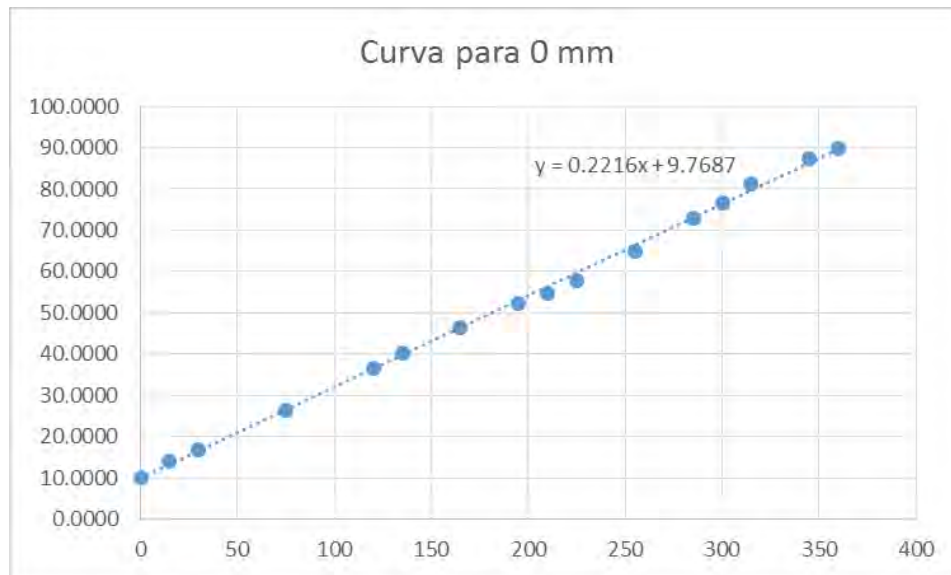


Fig 5. Curva teórica PWM vs ángulo para 0 mm

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$PWM = 0.2216 * ang + 9.7687$$

Para obtener la resolución del sistema, se toman en cuenta el error máximo de las pruebas y el valor de la pendiente de la gráfica. Mediante la solución de la siguiente ecuación

$$0.2216 * resolución > 0.0709$$

, se obtiene la resolución del sistema.

$$resolución > 0.3199$$

$$resolución = 0.5$$

Esto quiere decir que el sensor Hall nos asegurará una correcta medición cada 0.5° para una distancia de 0 mm con el imán.

**Para 1 mm:**

Los valores obtenidos para una distancia de 1mm entre el sensor Hall y el imán son los siguientes:

Ángulo (°)	Ajuste ángulo (°)	PWM (%)			Error
		Mínimo	Media	Máximo	
0	165	46.1910	46.2239	46.2570	0.0331
30	135	40.0010	40.0253	40.0550	0.0297
45	120	36.6820	36.7044	36.7280	0.0236
60	105	33.8930	33.9166	33.9510	0.0344
90	75	27.4000	27.4337	27.4720	0.0383
120	45	20.6560	20.6765	20.7010	0.0245
135	30	17.1850	17.2079	17.2280	0.0229
150	15	13.2590	13.2721	13.2920	0.0199
180	345	86.0320	86.0859	86.1280	0.0539
210	315	79.3910	79.4870	79.5549	0.096
225	300	76.1420	76.1907	76.2360	0.0487
270	255	66.5310	66.5792	66.6210	0.0482
315	210	56.5180	56.5603	56.5910	0.0423
330	195	53.0510	53.0915	53.1190	0.0405
<b>Error Máximo</b>					0.096

*Tabla 2: Tabla de valores para 1 mm.*

Se procede realizar la curva PWM vs ángulo, haciendo un ajuste del ángulo y agregando los valores 10% de PWM para 0° y 90% de PWM para 360°. La curva obtenida se visualiza a continuación:

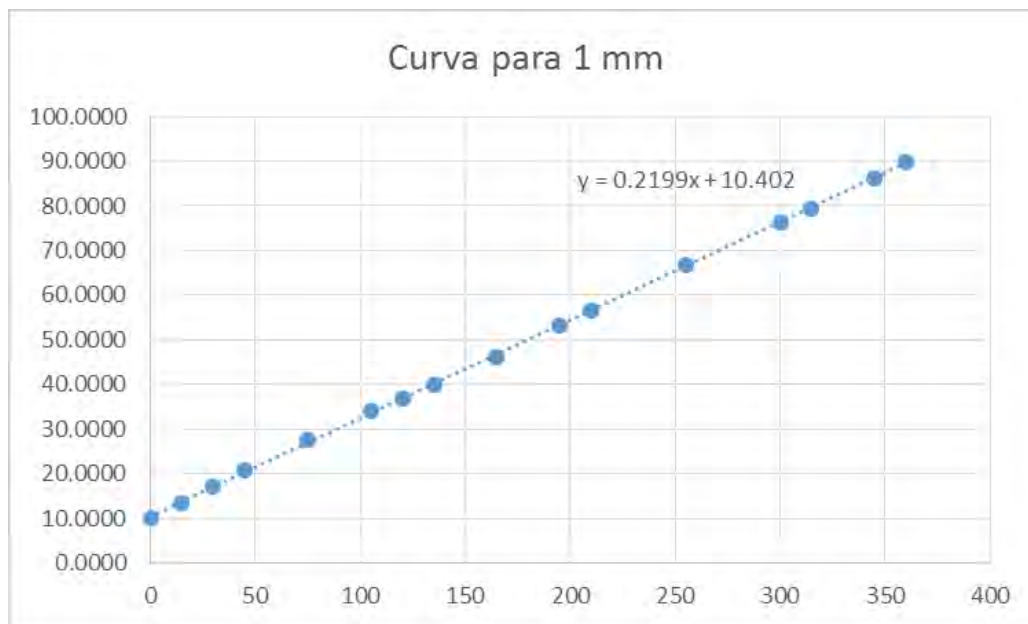


Fig 6. Curva teórica PWM vs ángulo para 1 mm.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$PWM = 0.2199 * ang + 10.402$$

Para obtener la resolución del sistema, se toman en cuenta el error máximo de las pruebas y el valor de la pendiente de la gráfica. Mediante la solución de la siguiente ecuación

$$0.2199 * resolución > 0.096$$

, se obtiene la resolución del sistema.

$$resolución > 0.437$$

$$resolución = 0.5$$

Esto quiere decir que el sensor Hall nos asegurará una correcta medición cada 0.5° para una distancia de 1mm con el imán.

**Para 2 mm:**

Los valores obtenidos para una distancia de 2mm entre el sensor Hall y el imán son los siguientes:

Ángulo (°)	Ajuste ángulo (°)	PWM (%)			Error
		Mínimo	Media	Máximo	
0	165	46.6090	46.6356	46.6790	0.0434
30	135	40.1910	40.2159	40.2420	0.0261
45	120	37.0350	37.0583	37.0780	0.0233
60	105	33.2950	33.3256	33.3470	0.0306
90	75	26.7260	26.7477	26.7720	0.0243
120	45	20.1690	20.1890	20.2070	0.02
135	30	16.6630	16.6788	16.7020	0.0232
150	15	13.2990	13.3133	13.3320	0.0187
180	345	86.4200	86.4935	86.5370	0.0735
210	315	79.9410	79.9940	80.0350	0.053
225	300	76.4310	76.4862	76.5630	0.0768
270	255	66.2560	66.2909	66.3280	0.0371
315	210	56.5760	56.6272	56.6680	0.0512
330	195	53.3160	53.3610	53.4010	0.045
				<b>Error Máximo</b>	0.0768

Tabla 3: Tabla de valores para 2 mm.

Se procede realizar la curva PWM vs ángulo, haciendo un ajuste del ángulo y agregando los valores 10% de PWM para 0° y 90% de PWM para 360°. La curva obtenida se visualiza a continuación:

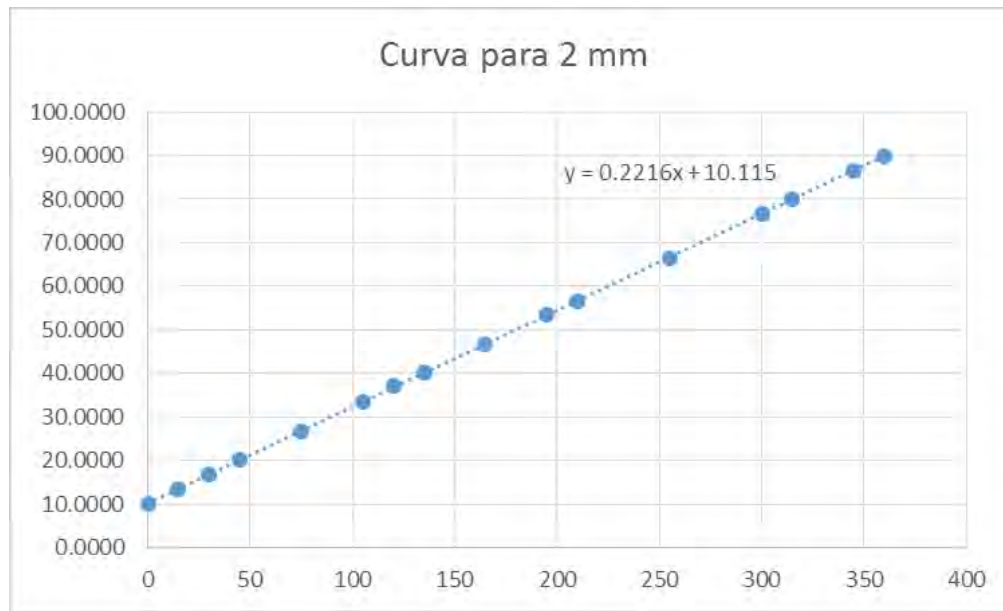


Fig 7. Curva teórica PWM vs ángulo para 2 mm.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$PWM = 0.2216 * ang + 10.115$$

Para obtener la resolución del sistema, se toman en cuenta el error máximo de las pruebas y el valor de la pendiente de la gráfica. Mediante la solución de la siguiente ecuación

$$0.2216 * resolución > 0.0768$$

, se obtiene la resolución del sistema.

$$resolución > 0.346$$

$$resolución = 0.5$$

Esto quiere decir que el sensor Hall nos asegurará una correcta medición cada  $0.5^\circ$  para una distancia de 2 mm con el imán.

**Para 3 mm:**

Los valores obtenidos para una distancia de 3mm entre el sensor Hall y el imán son los siguientes:

Ángulo (°)	Ajuste ángulo (°)	PWM (%)			Error
		Mínimo	Media	Máximo	
0	165	46.7150	46.7484	46.7870	0.0386
30	135	40.1080	40.1365	40.1620	0.0285
45	120	36.8510	36.8812	36.9130	0.0318
60	105	33.4150	33.4449	33.4860	0.0411
90	75	26.6240	26.6516	26.6760	0.0276
120	45	20.1680	20.1915	20.2380	0.0465
135	30	16.7530	16.7769	16.7970	0.0239
150	15	13.2100	13.2286	13.2510	0.0224
180	345	86.3660	86.4328	86.4980	0.0668
210	315	79.8280	79.8738	79.9410	0.0672
225	300	76.2950	76.3338	76.3750	0.0412
270	255	66.3280	66.3712	66.4160	0.0448
315	210	56.4110	56.4554	56.4940	0.0444
330	195	53.0970	53.1351	53.1660	0.0381
<b>Error Máximo</b>					0.0672

*Tabla 4: Tabla de valores para 3 mm*

Se procede realizar la curva PWM vs ángulo, haciendo un ajuste del ángulo y agregando los valores 10% de PWM para 0° y 90% de PWM para 360°. La curva obtenida se visualiza a continuación:



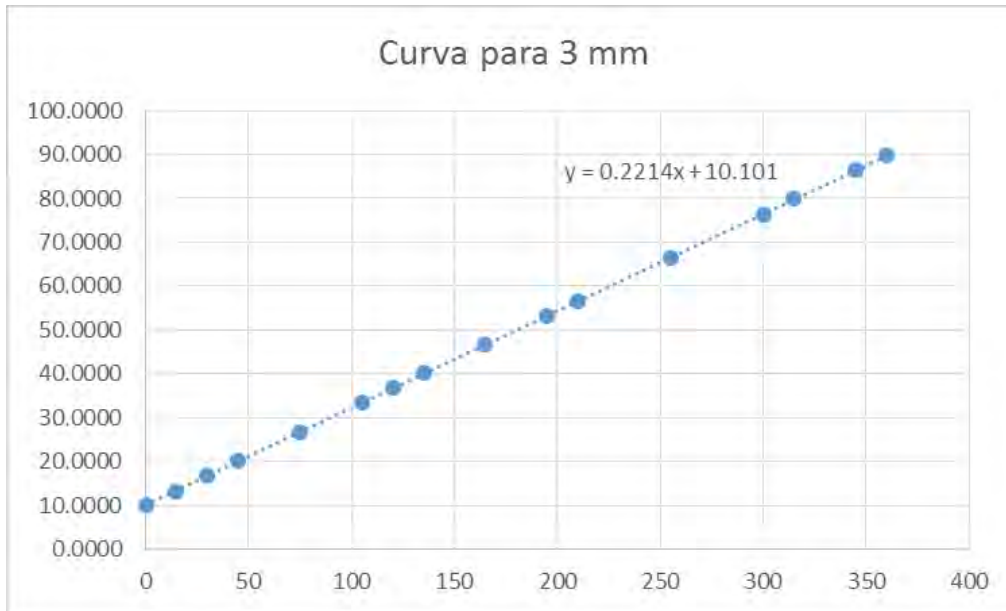


Fig 7. Curva teórica PWM vs ángulo para 3 mm.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$PWM = 0.2214 * ang + 10.101$$

Para obtener la resolución del sistema, se toman en cuenta el error máximo de las pruebas y el valor de la pendiente de la gráfica. Mediante la solución de la siguiente ecuación

$$0.2214 * resolución > 0.0672$$

, se obtiene la resolución del sistema.

$$resolución > 0.3035$$

$$resolución = 0.5$$

Esto quiere decir que el sensor Hall nos asegurará una correcta medición cada  $0.5^\circ$  para una distancia de 3 mm con el imán.

**Para 4 mm:**

Los valores obtenidos para una distancia de 4 mm entre el sensor Hall y el imán son los siguientes:

Ángulo (°)	Ajuste ángulo (°)	PWM (%)			Error
		Mínimo	Media	Máximo	
0	165	46.5120	46.5514	46.5980	0.0466
30	135	39.8870	39.9159	39.9470	0.0311
45	120	36.6390	36.6730	36.7030	0.034
60	105	33.5010	33.5406	33.5730	0.0396
90	75	26.5890	26.6442	26.6690	0.0552
120	45	20.2140	20.2404	20.2740	0.0336
135	30	16.6990	16.7181	16.7520	0.0339
150	15	13.4180	13.4439	13.4750	0.0311
180	345	86.3650	86.4046	86.4790	0.0744
210	315	79.6300	79.6809	79.7280	0.0509
225	300	76.1350	76.2048	76.2470	0.0698
270	255	66.0600	66.1205	66.1870	0.0665
315	210	56.5400	56.5883	56.6200	0.0483
330	195	53.3080	53.3445	53.3970	0.0525
<b>Error Máximo</b>					0.0744

*Tabla 5: Tabla de valores para 4 mm.*

Se procede realizar la curva PWM vs ángulo, haciendo un ajuste del ángulo y agregando los valores 10% de PWM para 0° y 90% de PWM para 360°. La curva obtenida se visualiza a continuación:

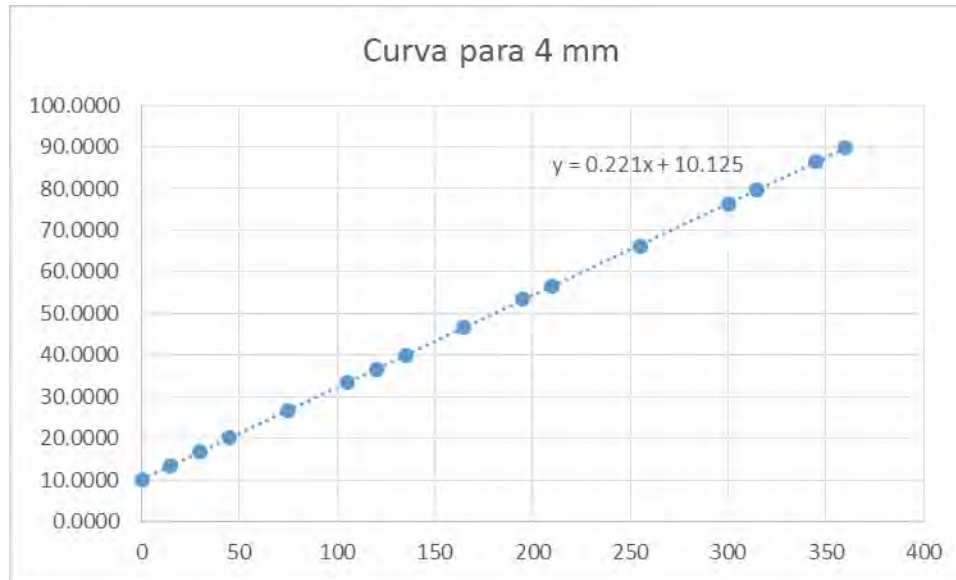


Fig 8. Curva teórica PWM vs ángulo para 4 mm.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$PWM = 0.221 * ang + 10.125$$

Para obtener la resolución del sistema, se toman en cuenta el error máximo de las pruebas y el valor de la pendiente de la gráfica. Mediante la solución de la siguiente ecuación

$$0.221 * resolución > 0.0744$$

, se obtiene la resolución del sistema.

$$resolución > 0.336$$

$$resolución = 0.5$$

Esto quiere decir que el sensor Hall nos asegurará una correcta medición cada 0.5° para una distancia de 4 mm con el imán.

Por último, se realizó una prueba, teniendo como eje un tornillo ferroso. Esto con el fin de saber si tener un elemento magnetizante afectaría la lectura del sensor Hall. El video se muestra a continuación.

## Programación en C para la lectura PWM

En los microcontroladores, la lectura del ancho de pulso de una señal PWM, se encuentra a cargo del Input Capture Unit. El Input Capture Unit es un registro de 16 bits que hace uso del Timer/Counter 1 para contar el tiempo en alta o en baja, dependiendo de la configuración. Debido a que es de 16 bits, sus valores varían de:

$$0 < ICR < 65535$$

En algunos casos, si la frecuencia del contador es muy rápida se presenta un overflow, complicando innecesariamente el código. Para evitar ello, se procede el siguiente razonamiento:

El valor teórico de la frecuencia, el cual es similar al valor real, de la señal de salida PWM del sensor es:

$$f_{PWM} = 1 \text{ kHz}$$

$$T_{PWM} = \frac{1}{f} = \frac{1}{1\text{kHz}} = 1 \text{ ms}$$

Entonces, para evitar el overflow se utilizará como frecuencia del timer1 el valor de:

$$f_{timer} = 2 \text{ MHz}$$

$$T_{timer} = \frac{1}{f} = \frac{1}{2\text{MHz}} = 0.5 \text{ us}$$

Tomando como ejemplo el caso de valores extremos; es decir, para un PWM igual a 0 % y un PWM igual a 100% se tiene que el timer1 cuenta como máximo:

$$Counter_{PWM} = \frac{T_{PWM}}{T_{Timer}} = 2000$$

Con lo cual, se comprueba que no existirá overflow, en la lectura del PWM de la señal.

Debido a que el código para visualizar el valor PWM, y saber si es correcto, aún no está escrito, se decidió hacer uso del siguiente pseudocódigo:

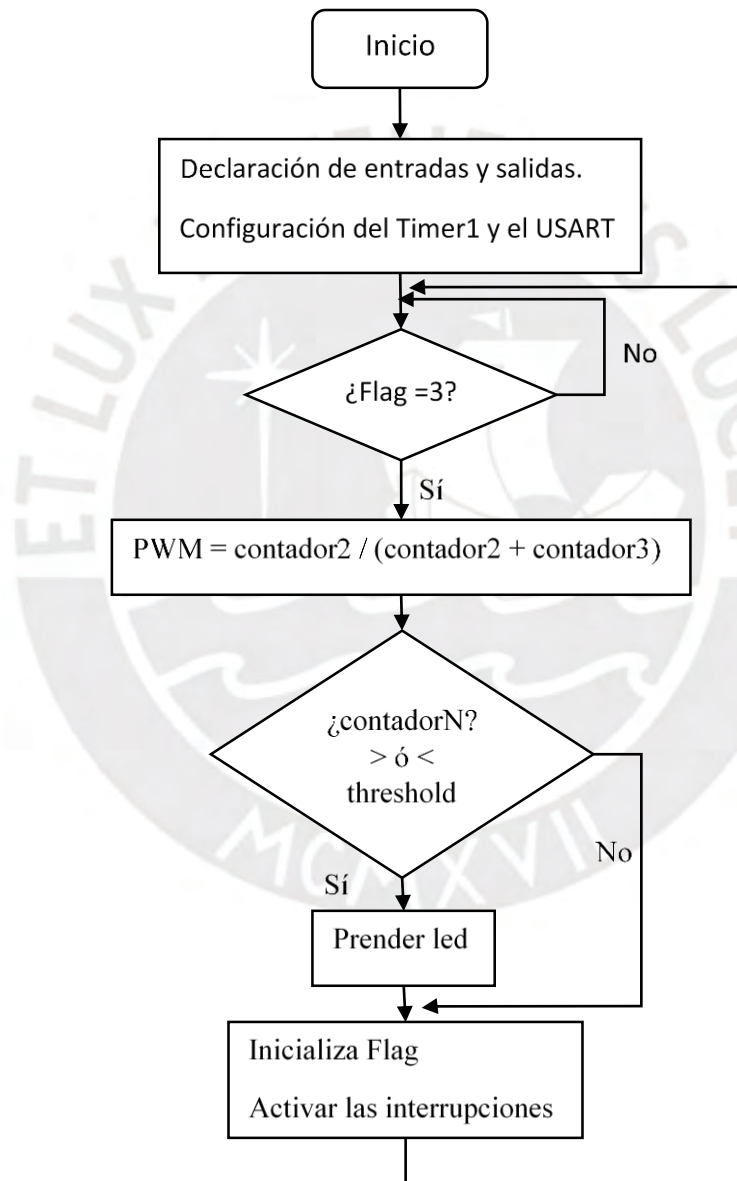


Fig 9. Diagrama de flujo del programa principal

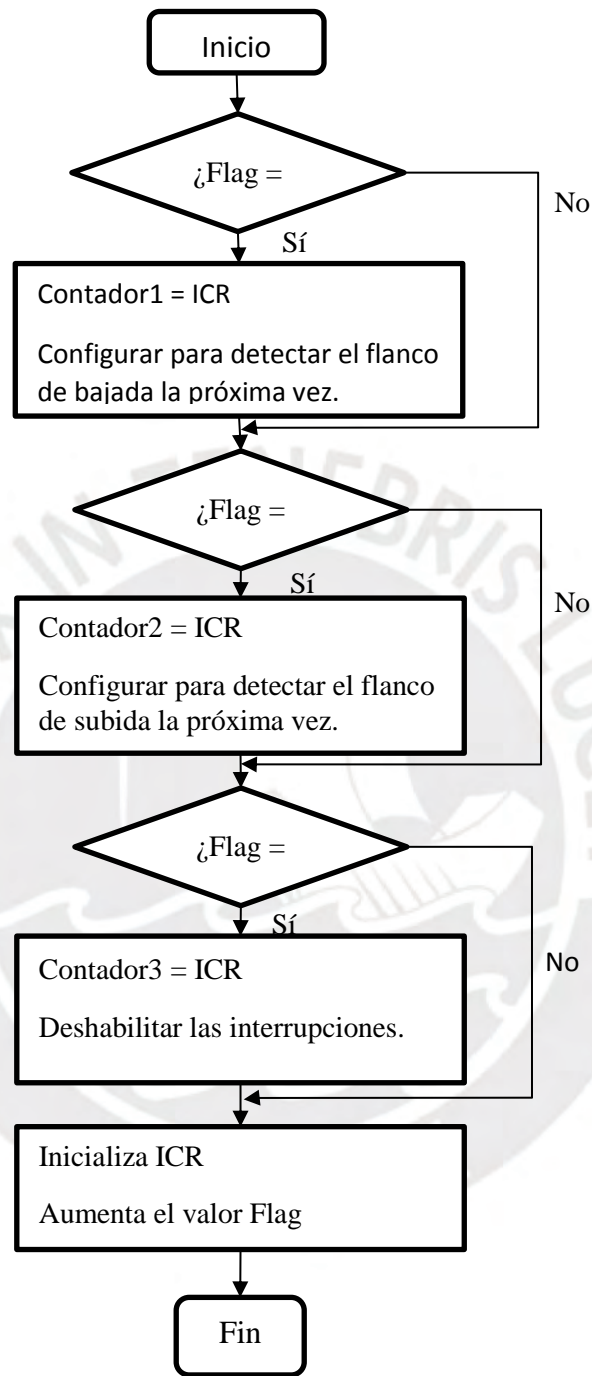


Fig 10. Diagrama de flujo de la interrupción



Para realizar las pruebas, se utilizó un PWM igual 56.4%, el cual fue medido con el osciloscopio.

Los valores encontrados fueron los siguientes:

$$1980 < Contador1 < 1985$$

$$1115 < Contador2 < 1120$$

$$860 < Contador3 < 865$$

A partir de los cuales se puede hallar el PWM:

$$PWM = \frac{contador2}{contador1 + contador2} * 100\% = 56.42$$

## Conclusiones, recomendaciones y observaciones

- Se concluye que la resolución del sensor de efecto Hall para cualquier distancia es 0,5°.
- Se concluye que la distancia mínima entre el sensor de efecto Hall y el imán es de 1mm debido a que cuando están juntos la lectura varía y, asimismo, habría fricción entre los dos elementos.
- Se concluye que el comportamiento de la señal PWM con respecto al ángulo medido es lineal y muy similar al valor teórico.
- Se concluye que un eje de material ferroso no afecta a la lectura del sensor Hall.
- Se concluye que el código escrito en C para la lectura de la señal PWM es correcta.

## Avance de las próximas 2 semanas

- Escribir el código en C para visualizar por comunicación serial el PWM del sensor de efecto Hall.
- Realizar pruebas de control de posición de un motor con el sensor de efecto Hall y el imán.

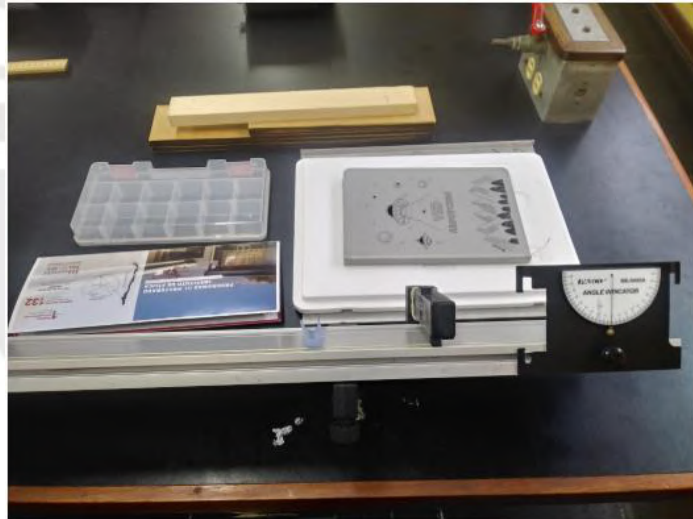


### Anexo C: Determinación del coeficiente de fricción mínimo

En primer lugar, la prótesis tiene como objetivo, en futuras versiones, levantar objetos de hasta medio kilo. Por ello, dado que es un peso considerable, es necesario analizar el comportamiento de la fricción entre la silicona y diversos objetos con distinta rugosidad con el fin de obtener el mínimo coeficiente de fricción estática que, a su vez, implique la máxima fuerza de agarre en la sujeción.

Entonces, para lograr este objetivo, se sigue el método para hallar el coeficiente de fricción ente dos superficies enseñado en el Laboratorio de Física de la PUCP [1][2].

Para la realización de este experimento se eligen 5 objetos de distinta rugosidad (ver Figura C1) y se procede a realizar los tres ensayos repetitivos por cada objeto para obtener el promedio del ángulo crítico y por consiguiente el coeficiente de fricción.



*Figura C1. Objetos a ensayar*

Tabla C1. Resultados de los ensayos

Materiales en contacto	$\theta$ crítico	$\mu_e$
Aluminio-Silicona	74.67°	3.648
Tecnopor-Silicona	64.67°	2.113
Plástico-Silicona	70.67°	2.851
Madera-Silicona	70.67°	2.851
Cuero-Silicona	62.33°	1.907

El último paso es elegir el menor coeficiente de fricción estático de todos los promedios (en este caso el de Cuero-Silicona: 1.907) y con la siguiente fórmula:

$$F_{est} = \mu_e * F_{normal}$$

Y el siguiente diagrama de acción de fuerzas:

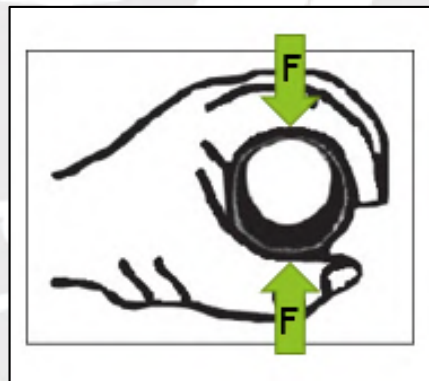


Figura C2. Diagrama de fuerzas

Se reemplaza el valor del  $\mu_e$  por 1.907 y el valor de  $F_{est}$  por 4.9 (fuerza que ejerce un peso de medio kilo). Con esto, se obtiene el valor de N, el cual es: 2.57N; sin embargo, hay que considerar que este valor es la suma de todas las fuerzas de fricción aplicadas al objeto, por ello, según figura C1, este valor debe ser dividido entre dos para así obtener la fuerza normal que ejerce el pulgar (o los cuatro dedos juntos en oposición), el cual es: 1.2847N.

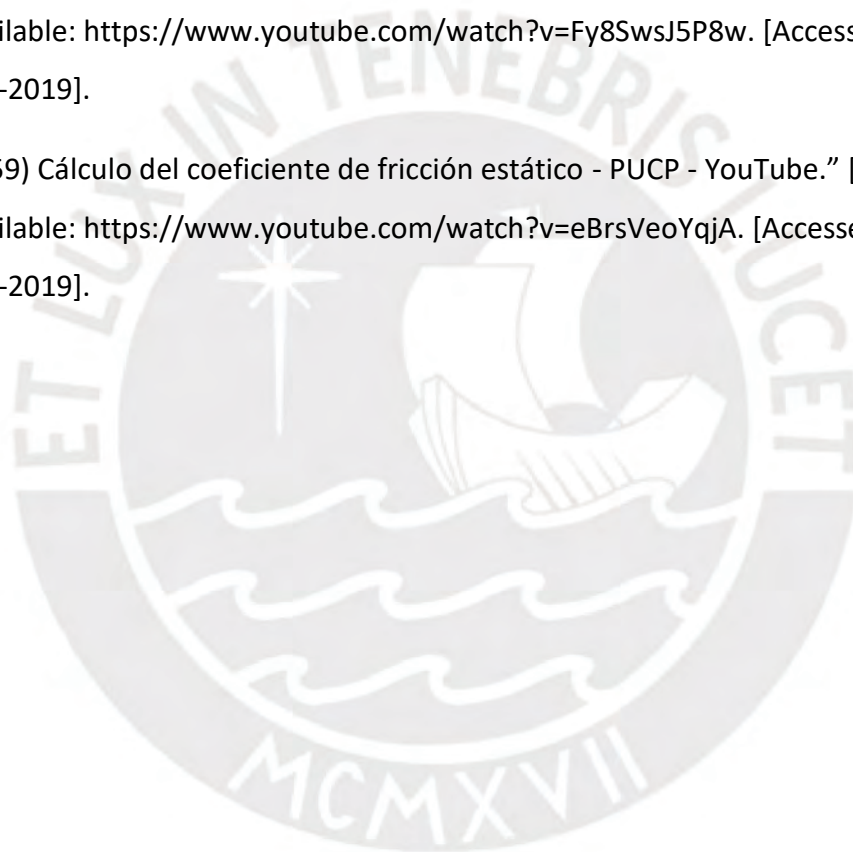
Asimismo, cabe aclarar que, el valor calculado previamente es referencial para el diseño del sistema considerando el sensor de fuerza en la yema del pulgar y el guante de silicona puesto; ya que, en las siguientes versiones de prótesis, esa va a ser

la distribución escogida. Por eso, el diseño del circuito de acondicionamiento del sensor de fuerza contempla este valor.

En resumen, mediante los ensayos realizados se logra obtener el coeficiente de fricción mínimo que genera la mayor fuerza necesaria que debe aplicar el dedo pulgar (o visto también como la fuerza en conjunto de los cuatro dedos en oposición) para poder levantar un objeto de medio kilo.

## Bibliografía

- [1] "(859) Determinación del ángulo crítico de fricción - PUCP - YouTube." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Fy8SwsJ5P8w>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [2] "(859) Cálculo del coeficiente de fricción estático - PUCP - YouTube." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=eBrsVeoYqjA>. [Accessed: 03-Dec-2019].



## Anexo D: Códigos implementados

■ Código de transmisión de datos desde el arduino (calibración FSR)

```
// Código de prueba para calibración del sensor de fuerza
```

```
const int fuerza = A4;
```

```
int f_value = 0;
```

```
int bandera = 0;
```

```
void setup() {
```

```
  // put your setup code here, to run once:
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
  bandera = 0;
```

```
  while(Serial.available()!=2){}; //Bucle que espera que llegen 2 Bytes desde
```

Matlab

```
  byte bandera_L = Serial.read();
```

```
  byte bandera_H = Serial.read();
```

```
  bandera = ((bandera_H & 0x00FF) << 8) | (bandera_L & 0x00FF); //Ts_m es el  
tiempo de muestreo en milisegundos
```

```
  if (bandera == 1)
```

```
  {
```



```
f_value = analogRead(fuerza);  
  
Serial.println(f_value);  
  
}  
  
}
```

#### ■ Código de recepción de datos en Matlab (calibración FSR)

```
close all;  
  
clear all;  
  
clc;  
  
%function Com_Sens_Fuerza (num)  
  
% Inicializando puerto serial COM  
num = 26;  
delete(instrfind({'Port'},{'COM5'})); %%Verificar que puerto COM del arduino  
arduino_serial = serial('COM5');  
  
%arduino_serial.OutputBufferSize = 20000 0;  
  
arduino_serial.BaudRate=9600;  
  
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');  
  
%Abro puerto serial  
  
fopen(arduino_serial);  
  
%Declarando contador  
  
cont = 1;  
  
%Creando ventana para la gráfica
```

```

% figure('Name', 'Datos sensor de Fuerza');

%title('Gráfica: Voltaje vs Peso');

% xlabel('Peso (g)');

% ylabel('Voltaje (V)');

% grid on;

% hold on;

%arreglos de valores

peso = [];

adc = [];

bandera = 1;

val_f = 0;

% Bucle generador de gráfica V vs F

while cont <= num

    %acotando valores en y

    %ylim([0 5.1]);

    %solicitando valor de fuerza a medir

    X = sprintf('Presione enter para registrar peso %d: ',val_f);

    Z = input(X);

    peso(cont) = val_f;

    fwrite(arduino_serial,bandera,'int16'); %Transmito la bandera para
obtener muestra

    pause(0.5);

```

```

%obteniendo valor de voltaje

f_value = fscanf(arduino_serial, '%d');

%y(cont) = (f_value(1));

adc(cont) = f_value;

%graficando

%plot(val_f, y(cont), 'X-r');

%drawnow

cont = cont + 1;

if(cont <= 26)

    val_f = val_f + 10;

else

    val_f = val_f + 10;

end

end

%Cerrando conexión

fclose(arduino_serial);

delete(arduino_serial);

%clear all;

plot(peso, adc);

%end

```

■ Código para graficar la curva del FSR

%% prueba fsr ckto final

```

A = xlsread("leer_de_mat.xlsx",'PF_IDA_1');

plot(A(1, 1:26),A(2, 1:26)*5/1024);

hold on;

grid on;

%C = xlsread("leer_de_mat.xlsx",'PF_VUELTA_1');

%plot(C(1, 1:26),C(2, 1:26)*5/1024);

%hold on;

C = 20:10:250;

D = 0.4443:0.0792:2.266;

plot(C,D);

hold on;

title('Sensor de Fuerza FSR: Ensayo en Tarjeta Montada');

xlabel('Peso (g)'); ylabel('Voltaje (V)');

legend('curva real', 'curva de ajuste');

```

■ Código para graficar la curva del sensor Hall

```

%% prueba final Hall

M = csvread('calibracion_hall.txt');

M = transpose(M);

%plot(M(1, 46000:79000),M(2, 46000:79000));

plot((M(1, 55000:65000)+2.16)*127.9,M(2, 55000:65000));

hold on;

grid on;

y = 4.4 + ((4.4-0.48)./(-2.16-0.6547)).*(M(1, 55000:65000) + 2.16);

plot((M(1, 55000:65000)+2.16)*127.9,y);

```

```
title('Sensor de posición Hall: Ensayo en tarjeta montada');
```

```
xlabel('Grados (°)'); ylabel('Voltaje (V)');
```

```
legend('curva real', 'curva de ajuste');
```

■ Código final (incluye algoritmo principal y de control de apertura y cierre)

```
//codigo final tesis
```

```
//autor: Alfredo Llantoy ;,)
```

```
#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
```

```
#include "Arduino.h"
```

```
#else
```

```
#include "WProgram.h"
```

```
#endif
```

```
#include "EMGFilters.h"
```

```
//Declaración de puertos
```

```
#define hall_mano A3
```

```
#define fsr A4
```

```
#define emg A5
```

```
#define bot_sel 2
```

```
#define bot_ent 3
```

```
#define led_rojo A0
```

```
#define led_verde A1
```

```
#define led_azul A2
```

```
#define led_bat 13

#define PWM_MAX 5

#define DIR_MAX 4

#define PWM_VIB 6

// constantes

const int umbral_EMG = 24000;

const int umbral_fsr_1 = 100;

const int umbral_fsr_2 = 300;

const int umbral_cierre = 735;

const int umbral_apertura = 130;

//declaración e inicialización de variables

EMGFilters myFilter;

char contador = 1, op_cl = 0;

int sampleRate = SAMPLE_FREQ_1000HZ, humFreq = NOTCH_FREQ_60HZ;

volatile char val_bot_sel = 0;

//void Activacion_EMG(char estado);

void setup() {

    // put your setup code here, to run once:

    Serial.begin(115200);
```



```
pinMode(bot_sel,INPUT_PULLUP);

pinMode(bot_ent,INPUT_PULLUP);

pinMode(PWM_MAX, OUTPUT);

analogWrite(PWM_MAX,0);

pinMode(DIR_MAX, OUTPUT);

digitalWrite(DIR_MAX,HIGH);

pinMode(PWM_VIB, OUTPUT);

analogWrite(PWM_VIB,0);

myFilter.init(sampleRate, humFreq, true, true, true);

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(bot_sel), pulso_bot_sel, FALLING);

//homing protesis

Abrir_mano();

delay(3);

}

void loop() {

// primer bloque menú de elección de gesto

Menu_eleccion_gesto();

// movimiento de preforma de prótesis (mano y muñeca)

Abrir_mano();

//control de apertura y cierre

while(1){

    Activacion_EMG(0);
```

```
if(val_bot_sel == 1){break;}

else

{

    Serial.println("no_inter");

    delay(200);

    //noInterrupts();

    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(bot_sel));

    if(op_cl == 0)

    {

        Serial.println("mano se cerrará");

        delay(200);

        Cerrar_mano();

        op_cl = 1;

    }

    else

    {

        Serial.println("mano se abrirá");

        delay(200);

        Abrir_mano();

        Abrir_mano();

        op_cl = 0;

    }

    //interrupts();

}
```

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(bot_sel), pulso_bot_sel, FALLING);  
  
}  
  
}  
  
}
```

```
void pulso_bot_sel()
```

```
{  
  noInterrupts();  
  val_bot_sel = 1;  
}
```

```
void Menu_eleccion_gesto()
```

```
{  
  analogWrite(PWM_VIB,0);  
  delay(500);  
  while(digitalRead(bot_ent) == HIGH){  
    if(val_bot_sel == 1)  
    {  
      Serial.println("esperando 0.5 segundos");  
      contador++;  
      val_bot_sel = 0;  
      delay(500);  
      Serial.println("termino medio segundo");  
    }  
  }  
}
```

```
interrupts();  
}  
  
if(contador == 5)  
    contador = 1;  
  
if(contador == 1)  
{  
    digitalWrite(led_rojo,HIGH);  
    digitalWrite(led_verde,LOW);  
    digitalWrite(led_azul,LOW);  
}  
else if(contador == 2)  
{  
    digitalWrite(led_rojo,LOW);  
    digitalWrite(led_verde,HIGH);  
    digitalWrite(led_azul,LOW);  
}  
else if(contador == 3)  
{  
    digitalWrite(led_rojo,LOW);  
    digitalWrite(led_verde,LOW);  
    digitalWrite(led_azul,HIGH);
```

```
}  
  
else if(contador == 4)  
{  
  
    digitalWrite(led_rojo,LOW);  
  
    digitalWrite(led_verde,LOW);  
  
    digitalWrite(led_azul,LOW);  
  
}  
  
}  
  
Serial.println("gesto elegido");  
  
delay(200);  
  
digitalWrite(led_rojo,LOW);  
  
digitalWrite(led_verde,LOW);  
  
digitalWrite(led_azul,LOW);  
  
}  
  
void Activacion_EMG(char estado)  
{  
  
    Serial.println("Leyendo EMG");  
  
    int EMGread = 0, DataAfterFilter = 0, envelope = 0, timeStamp = 0, veces = 0,  
fsr_data = 0, hall_mano_data = 0, una_vez = 0;  
  
    while(1) {  
  
        if(estado == 0)  
  
            if(val_bot_sel == 1)  
  
                break;
```

```
EMGread = analogRead(emg);

DataAfterFilter = myFilter.update(EMGread);

envlope = sq(DataAfterFilter);

envlope = (envlope > umbral_EMG) ? envlope : 0;

Serial.println(envlope);

if (timeStamp < 80){

    timeStamp++;

    continue;

}

if (envlope > umbral_EMG){

    veces++;

    if(veces>15)

    {

        Serial.print("último valor EMG: ");

        Serial.println(envlope);

        analogWrite(PWM_MAX,0);

        break;

    }

}

fsr_data = analogRead(fsr);

Serial.print("val_fuerza: ");

Serial.println(fsr_data);

hall_mano_data = analogRead(hall_mano);
```



```
if(estado == 1)
{
    if(hall_mano_data < 140)
        hall_mano_data = 920;
    if(hall_mano_data <= umbral_cierre)
    {
        analogWrite(PWM_MAX,0);
        break;
    }
    if(fsr_data >= umbral_fsr_1 && una_vez == 0)
    {
        analogWrite(PWM_MAX,0);
        analogWrite(PWM_VIB,180);
        delay(500);
        analogWrite(PWM_MAX,255);
        una_vez = 1;
        continue;
    }
    if(fsr_data >= umbral_fsr_2)
    {
        analogWrite(PWM_MAX,0);
        analogWrite(PWM_VIB,255);
```

```
        break;
    }
}

delayMicroseconds(500);

}

Serial.println("Se activo EMG");

delay(200);

}
```

```
void Cerrar_mano()
{
    Serial.println("mano cerrando");
    delay(200);
    digitalWrite(DIR_MAX,HIGH);
    analogWrite(PWM_MAX,255);
    Activacion_EMG(1);
    Serial.println("listo");
}
```

```
void Abrir_mano()
{
    int hall_mano_data = 0;
```

```

analogWrite(PWM_VIB,0);

Serial.println("mano abriendo");

delay(200);

digitalWrite(DIR_MAX,LOW);

while(1)

{

    hall_mano_data = analogRead(hall_mano);

    if(hall_mano_data > 720)

        hall_mano_data = 100;

    if(hall_mano_data >= umbral_apertura)

    {

        analogWrite(PWM_MAX,0);

        break;

    }

    analogWrite(PWM_MAX,255);

}

Serial.println("listo");

}

```

■ Código para adquisición de datos en Arduino (algoritmo de cierre)

// Código de prueba para calibración del sensor de fuerza

```
#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
```

```
#include "Arduino.h"
```

```
#else
```

```
#include "WProgram.h"
```

```
#endif
```

```
#include "EMGFilters.h"
```

```
#define hall_mano A3
```

```
#define fsr A4
```

```
#define emg A5
```

```
#define PWM_MAX 5
```

```
#define DIR_MAX 4
```

```
// constantes
```

```
const int umbral_EMG = 8000;
```

```
const int umbral_fsr_1 = 100;
```

```
const int umbral_fsr_2 = 300;
```

```
const int umbral_cierre = 735;
```

```
const int umbral_apertura = 130;
```

```
const unsigned long t_muestreo = 10;
```

```
const unsigned long t_m_emg = 500;
```

```
EMGFilters myFilter;
```

```
int sampleRate = SAMPLE_FREQ_1000HZ, humFreq = NOTCH_FREQ_60HZ;
```

```
int hall_mano_data = 0, fsr_data = 0, bandera = 0, cant = 1, cant_prev = 0;
```

```
unsigned long t_ant = 0, t_ant_emg = 0;
```

```
void setup() {
```

```
    // put your setup code here, to run once:
```

```
    Serial.begin(115200);
```

```
    pinMode(PWM_MAX, OUTPUT);
```

```
    analogWrite(PWM_MAX,0);
```

```
    pinMode(DIR_MAX, OUTPUT);
```

```
    digitalWrite(DIR_MAX,HIGH);
```

```
    myFilter.init(sampleRate, humFreq, true, true, true);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
    bandera = 0;
```

```
    while(Serial.available()!=2){}; //Bucle que espera que llegen 2 Bytes desde
```

Matlab

```
    byte bandera_L = Serial.read();
```

```
    byte bandera_H = Serial.read();
```

```
    bandera = ((bandera_H & 0x00FF) << 8) | (bandera_L & 0x00FF); //Ts_m es el  
tiempo de muestreo en milisegundos
```

```
    //if (bandera == 1)
```

```
{
```

```
int EMGread = 0, DataAfterFilter = 0, envelope = 0, timeStamp = 0, veces = 0,
una_vez = 0;
```

```
// cerrando mano
```

```
//digitalWrite(DIR_MAX,HIGH);
```

```
analogWrite(PWM_MAX,0);
```

```
int fsr_data = analogRead(fsr);
```

```
Serial.println(fsr_data);
```

```
int hall_mano_data = analogRead(hall_mano);
```

```
Serial.println(hall_mano_data);
```

```
//t_time = millis();
```

```
t_ant = millis();
```

```
t_ant_emg = micros();
```

```
while(cant<=1000)
```

```
{
```

```
while(micros()-t_ant_emg>t_m_emg)
```

```
{
```

```
EMGread = analogRead(emg);
```

```
DataAfterFilter = myFilter.update(EMGread);
```

```
envelope = sq(DataAfterFilter);
```

```
envelope = (envelope > umbral_EMG) ? envelope : 0;
```

```
//Serial.println(envelope);
```

```
if (timeStamp < 80){
```

```
timeStamp++;
```



```
    continue;
}

if (envlope > umbral_EMG){

    veces++;

    if(veces>15)

    {

        //Serial.print("último valor EMG: ");

        //Serial.println(envlope);

        analogWrite(PWM_MAX,0);

        //break;

    }

}

t_ant_emg = micros();

while(millis()-t_ant>t_muestreo)

{

    fsr_data = analogRead(fsr);

    Serial.println(fsr_data);

    hall_mano_data = analogRead(hall_mano);

    Serial.println(hall_mano_data);

    cant++;

    if(cant == 9)

    {
```

```
//digitalWrite(DIR_MAX,HIGH);

analogWrite(PWM_MAX,255);

}

// algoritmo de control de cierre

if(hall_mano_data < 200)

    hall_mano_data = 920;

if(hall_mano_data <= umbral_cierre)

{

    analogWrite(PWM_MAX,0);

    //continue;

}

if(fsr_data >= umbral_fsr_1 && una_vez == 0)

{

    analogWrite(PWM_MAX,0);

    cant_prev = cant;

    una_vez = 1;

    //continue;

}

if(cant-cant_prev == 51)

    analogWrite(PWM_MAX,255);

if(fsr_data >= umbral_fsr_2)
```



```
Serial.begin(115200);

pinMode(PWM_MAX, OUTPUT);

analogWrite(PWM_MAX,0);

pinMode(DIR_MAX, OUTPUT);

digitalWrite(DIR_MAX,LOW);

}
```

```
void loop() {

// put your main code here, to run repeatedly:

bandera = 0;

while(Serial.available()!=2){}; //Bucle que espera que llegen 2 Bytes desde
```

Matlab

```
byte bandera_L = Serial.read();

byte bandera_H = Serial.read();

bandera = ((bandera_H & 0x00FF) << 8) | (bandera_L & 0x00FF); //Ts_m es el
tiempo de muestreo en milisegundos
```

```
//if (bandera == 1)
```

```
int fsr_data = analogRead(fsr);
```

```
Serial.println(fsr_data);
```

```
int hall_mano_data = analogRead(hall_mano);
```

```
Serial.println(hall_mano_data);
```

```
t_ant = millis();
```

```
while(cant<=1000)
{
while(millis()-t_ant>t_muestreo)
{
fsr_data = analogRead(fsr);
Serial.println(fsr_data);

hall_mano_data = analogRead(hall_mano);
Serial.println(hall_mano_data);

cant++;
if(cant == 9)
{
//digitalWrite(DIR_MAX,HIGH);
analogWrite(PWM_MAX,255);
}

// algoritmo de control de apertura
if(hall_mano_data > 720)
hall_mano_data = 100;
if(hall_mano_data >= umbral_apertura)
{
analogWrite(PWM_MAX,0);

//continue;
}

t_ant = millis();
```

```
}  
  
}  
  
}
```

#### ■ Código de Adquisición de datos en Matlab

```
close all;
```

```
clear all;
```

```
clc;
```

```
%function Com_Sens_Fuerza (num)
```

```
% Inicializando puerto serial COM
```

```
num = 1001;
```

```
delete(instrfind({'Port'},{'COM6'})); %%Verificar que puerto COM del arduino
```

```
arduino_serial = serial('COM6');
```

```
%arduino_serial.OutputBufferSize = 20000 0;
```

```
arduino_serial.BaudRate = 115200;
```

```
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');
```

```
%Abro puerto serial
```

```
fopen(arduino_serial);
```

```
%Declarando contador
```

```
cont = 1;
```

```
%arreglos de valores
```

```
f_value = [];
```

```
h_value = [];
```

```
tiempo = [];
```

```
bandera = 1;
```

```
temp = 0;
```

```
%iniciando comunicación
```

```
X = sprintf('Presione cualquier tecla para empezar registro');
```

```
Z = input(X);
```

```
%peso(cont) = val_f;
```

```
fwrite(arduino_serial,bandera,'int16'); %Transmito la bandera para  
obtener muestra
```

```
pause(11);
```

```
% Bucle generador de datos F vs t y H vs t
```

```
while cont <= num
```

```
  f_val = fscanf(arduino_serial, '%d');
```

```
  pause(0.01);
```

```
  h_val = fscanf(arduino_serial, '%d');
```

```
  pause(0.01);
```

```
  temp = temp + 10;
```

```
  %y(cont) = (f_value(1));
```

```
  f_value(cont) = f_val;
```

```
  h_value(cont) = h_val;
```

```
  tiempo(cont) = temp;
```



```
%graficando  
  
%plot(val_f, y(cont), 'X-r');  
  
%drawnow  
  
cont = cont + 1;  
  
end
```

```
%Cerrando conexión  
  
fclose(arduino_serial);  
delete(arduino_serial);
```

```
%graficando  
  
plot(tiempo,f_value);  
hold on;  
plot(tiempo,h_value);
```

■ Código ejemplo para graficar resultados finales (en Matlab)

```
clear all;
```

```
close all;
```

```
clc;
```

```
figure(1);
```

```
subplot(2,1,1);
```

```
A = xlsread("experimentos.xlsx",'Vidrio', 'B52:ALN54');
```

```
plot(A(1, 1:1001),A(2, 1:1001));
```

```
hold on;
```

```
plot(A(1, 1:1001),A(3, 1:1001));
```

```
hold on;
```

```
title('Curva de ensayo: Cierre de mano');
```

```
xlabel('tiempo'); ylabel('Valor de ADC');
```

```
legend('valor-FSR', 'valor-Hall');
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
B = xlsread("experimentos.xlsx", 'Vidrio', 'B57:ALN59');
```

```
plot(B(1, 1:1001),B(2, 1:1001));
```

```
hold on;
```

```
plot(B(1, 1:1001),B(3, 1:1001));
```

```
hold on;
```

```
title('Curva de ensayo: Apertura de mano');
```

```
xlabel('tiempo'); ylabel('Valor de ADC');
```

```
legend('valor-FSR', 'valor-Hall');
```

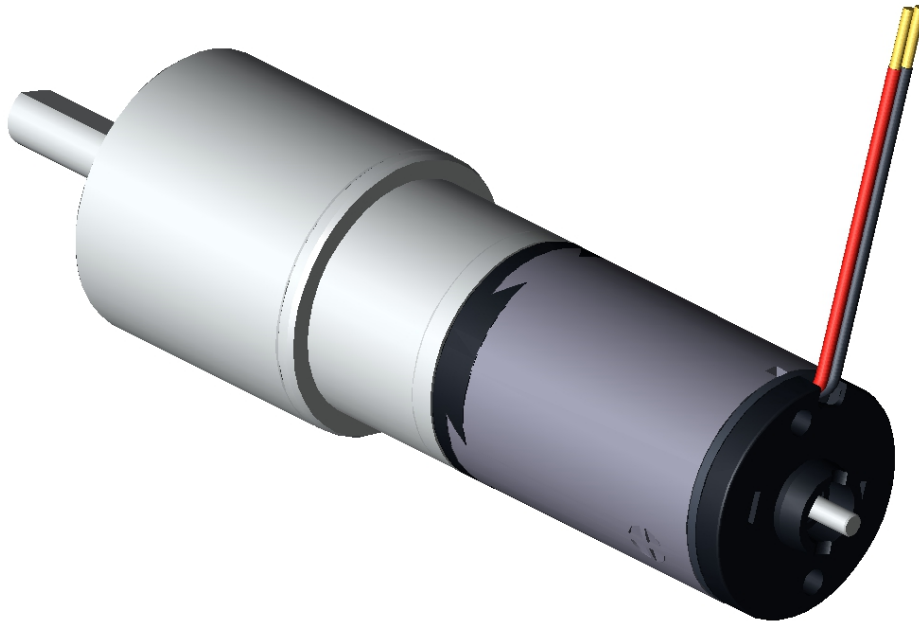
## Configured drive

Motor - DC-max16S GB SL 6V  
Planetary gearhead - GPX19 A 172:1


**Part number: B7A25FF2EE51** Revision number 3

Orders are processed and shipped from Switzerland within 11 working days.

General Terms and Conditions: [https://www.maxonmotor.ch/maxon/view/content/terms\\_and\\_conditions\\_page](https://www.maxonmotor.ch/maxon/view/content/terms_and_conditions_page)



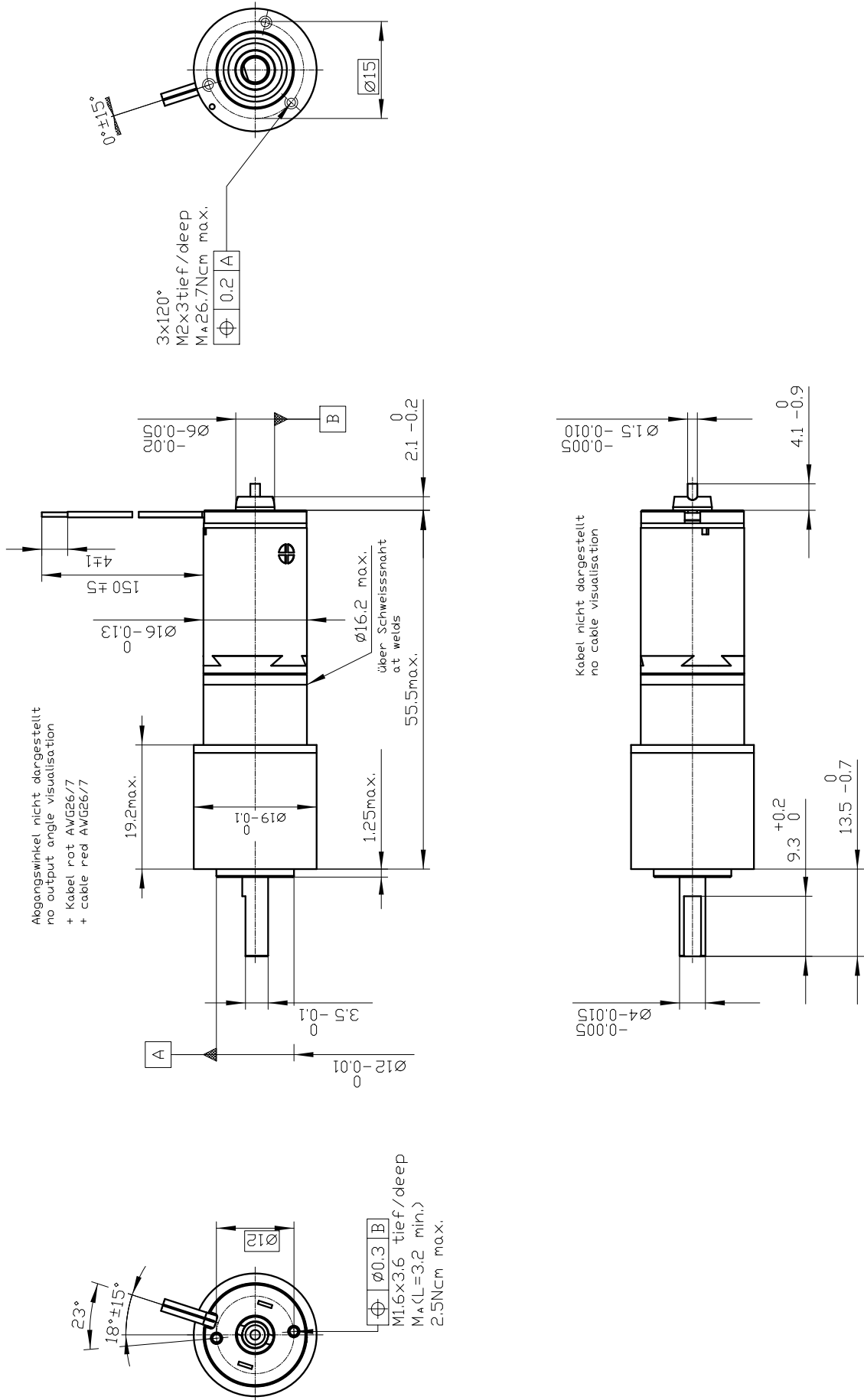
To open the integrated CAD file, please save this document and open it in Acrobat Reader. The STEP file is available after a double-click on the pin icon.

 B7A25FF2EE51.stp (STP AP 214)

Open configuration: <https://www.maxongroup.com/maxon/view/configurator/?ConfigID=B7A25FF2EE51>

Motor - DC-max16S GB SL 6V  
 Planetary gearhead - GPX19 A 172:1  
 Drawing not to scale!

ISO 5456-1   
 Axial play motor: 0.05...0.15mm  
 Axial play gearhead: 0...0.1mm



## Summary of your selected configuration

Total weight of the drive: 65 g

### DC-max16S GB SL 6V

#### Product detail

Commutation	Graphite brushes
Nominal voltage	6 V
Motor bearings	Sintered sleeve bearings

#### Electrical connection, motor

Electrical connection, motor	Cable
Cable length	150 mm

### GPX19 A 172:1

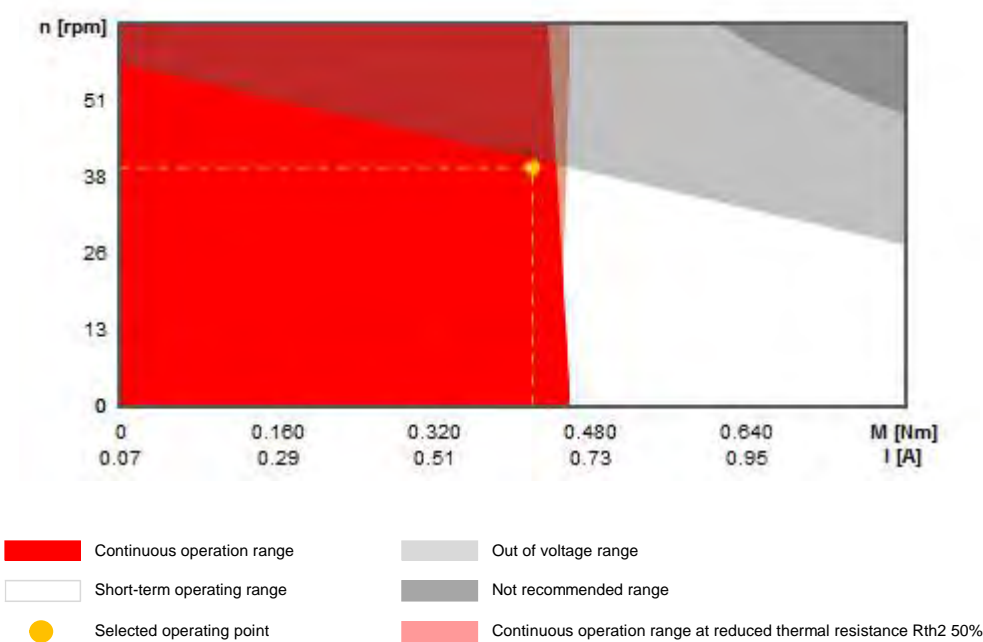
#### Product detail

Gearhead type	Standard version
Reduction	172:1
Number of stages	3

**Legend for part designation**

EB	Precious metal brushes	GB	Graphite brushes	CLL	Spark suppression	BL	Brushless
A	Hall sensors	B	Sensorless	KL	Ball bearings	SL	Sintered bearings
GPX	Planetary gearhead	ENX	Encoder	ENC	Encoder	IMP	Pulses
ST	Number of stages	HP	High Power	S/M/L	Short/medium/long	HS	High Speed
STE	Sterilizable	INT	Integrated	STD	Standard	SP	Speed
ABS	Absolute	LN	Reduced noise level	A	Standard	LZ	Reduced backlash
C	Ceramic bearing			STEC	Sterilizable, Ceramic bearing		

## Drive disposition



### Combination details

#### Your entries

Available voltage	6 V
Speed	40 min <sup>-1</sup>
Torque	0.42 Nm

#### Values of the drive at available voltage

Available voltage	6 V
Max. speed at given load	42 min <sup>-1</sup>
Max. continuous torque	0.48 Nm
Max. continuous current	0.72 A

#### Required electrical data for your operating point

Speed	40 min <sup>-1</sup>
Torque	0.42 Nm
Required voltage	5.84 V
Required current	0.64 A



## DC-max16S GB SL 6V



## Product specification

## Values at nominal voltage

Nominal voltage	6 V
No load speed	9870 min <sup>-1</sup>
No load current	67.3mA
Nominal speed	6770 min <sup>-1</sup>
Nominal torque (max. continuous torque)	3.71 mNm
Nominal current (max. continuous current)	0.72 A
Stall torque	12.1 mNm
Stall current	2.15 A
Max. efficiency	68.4 %

## Characteristics

Max. output power continuous	3.89 W
Terminal resistance	2.79 Ω
Terminal inductance	0.0857 mH
Torque constant	5.62 mNm A <sup>-1</sup>
Speed constant	1700 min <sup>-1</sup> V <sup>-1</sup>
Speed/torque gradient	843 min <sup>-1</sup> mNm <sup>-1</sup>
Mechanical time constant	8.85ms
Rotor inertia	1 gcm <sup>2</sup>

## Thermal data

Thermal resistance housing-ambient	29.8 KW <sup>-1</sup>
Thermal resistance winding-housing	5.5 KW <sup>-1</sup>

Thermal time constant of the winding	4.86 s
Thermal time constant of the motor	288 s
Ambient temperature	-30...85 °C
Max. winding temperature	125 °C

**Mechanical data**

Max. permissible speed	11000 min <sup>-1</sup>
Axial play	0.05...0.15 mm
Preload	N
Radial backlash	0.012 mm
Max. axial load (dynamic)	0.8 N
Max. force for press fits (static)	35 N
Static, supported shaft	200 N
Max. radial load 5 mm from flange	1.4 N
Measurement from the flange	5 mm

**Further specifications**

Number of pole pairs	1
Number of commutator segments	7
Motor weight	19.6 g
Motor length	25.4 mm
Typical noise level	55 dBA (6000 min <sup>-1</sup> )

Information about motor data: [http://www.maxonmotor.com/medias/CMS\\_Downloads/DIVERSES/12\\_049\\_EN.pdf](http://www.maxonmotor.com/medias/CMS_Downloads/DIVERSES/12_049_EN.pdf)

## GPX19 A 172:1



## Product specification

## Gearhead data

Reduction	172:1
Absolute reduction	326700/1900
Number of stages	3
Max. continuous torque	0.65 Nm
Max. intermittent torque	0.8 Nm
Direction of rotation, drive to output	=
Max. efficiency	75 %
Average backlash no-load	1.3 °
Mass inertia	0.161 gmc <sup>2</sup>
Max. transmittable power (continuous)	3.2 W
Max. short-time transferable output	4.1 W

## Technical data

Output shaft bearing	KL
Max. radial play, 5 mm from flange	max. 0.1 mm
Axial play	0...0.1 mm
Max. permissible radial load, 10 mm from flange	90 N
Max. permissible axial load	40N
Max. permissible force for press fits	100 N
Max. continuous input speed	14000 min <sup>-1</sup>
Max. intermittent input speed	17500 min <sup>-1</sup>
Recommended temperature range	-40..100 °C

Information about gearhead data: [http://www.maxonmotor.com/medias/CMS\\_Downloads/DIVERSES/12\\_203\\_EN.pdf](http://www.maxonmotor.com/medias/CMS_Downloads/DIVERSES/12_203_EN.pdf)

## Kitronik Ltd – 5mm RGB LED Common Cathode

### TECHNOLOGY DATA SHEET & SPECIFICATIONS



#### Device Selection Guide

Chip		Lens Colour
Material	Emitted Color	
AlGaInP	Red	Water clear
InGaN	Green	
InGa1N	Blue	

#### Features

- Uniform light output.
- Low power consumption.
- I.C. compatible.
- Long life solderability.
- **Common Cathode.**

#### Descriptions

- The Red source colour devices are made with AlGaInP on GaAs substrate.
- The Green source colour devices are made with InGaN on sic.
- The Blue source colour devices are made with InGaA1N on sic.

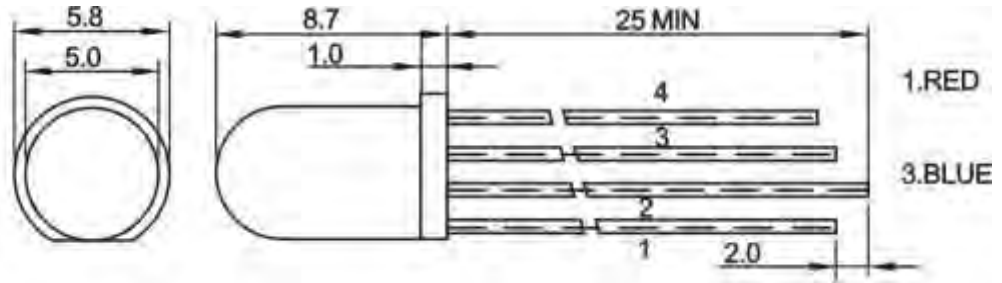
#### Usage Notes:

- The ultra bright LED is an electrostatic sensitive device, so static electricity and surge will damage the LED.
- It is required to wear a wrist-band when handling the LED. All device, equipment, machinery, desk and ground must be properly grounded.
- When using LED, it must use a protective resistor in series with DC current about 20mA.

#### Applications

- Status indicators.
- Commercial use.
- Advertising signs.
- Back lighting.

**Package Dimensions**

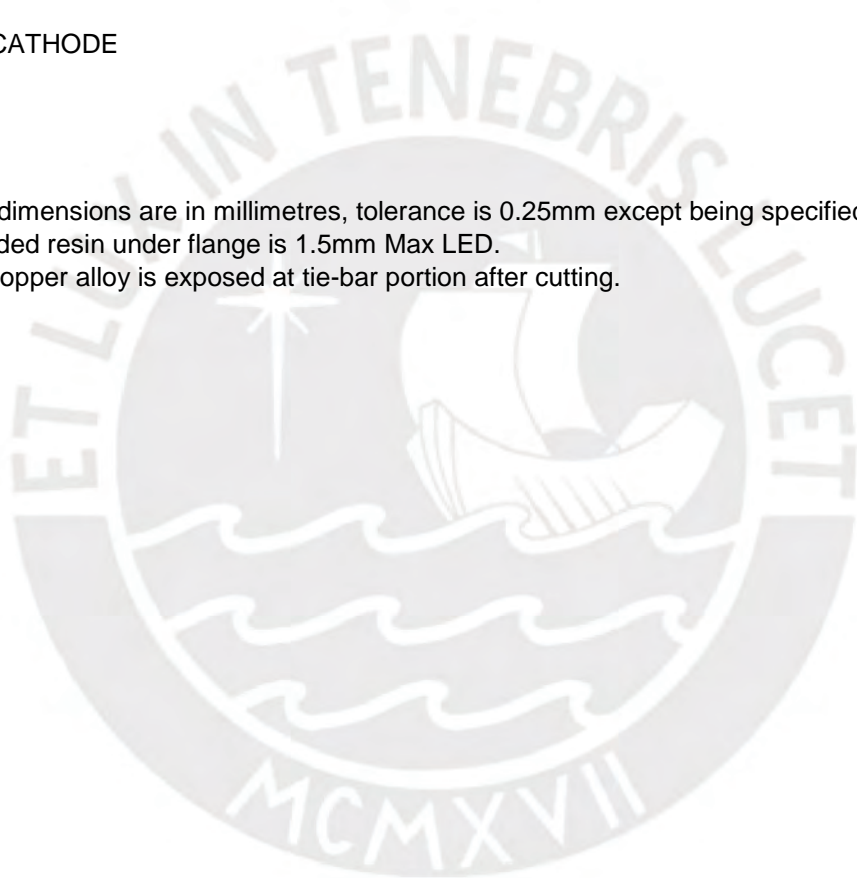


UNIT:mm

- 1. RED
- 2. COMMON CATHODE
- 3. BLUE
- 4. GREEN

**Notes:**

- Other dimensions are in millimetres, tolerance is 0.25mm except being specified.
- Protruded resin under flange is 1.5mm Max LED.
- Bare copper alloy is exposed at tie-bar portion after cutting.



### Absolute Maximum Rating (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Pulse Current	IFPM	70	mA
Forward Current	IFM	30	mA
Reverse Voltage	VR	5	V
Power Dissipation	PD	140	mW
Operating Temperature	Topr	-40~+80	°C
Storage Temperature	Tstg	-40~+100	°C
Soldering Temperature	Tsol	Reflow Soldering : 260 °C for 10 sec. Hand Soldering : 350 °C for 3 sec.	°C

### Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Device	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Condition
Luminous Intensity	Iv	Red Green Blue	1000 1200 1000	1500 2000 1500	2300 2700 2200	mcd	IF=20mA
Viewing Angle	2θ1/2	Red Green Blue	40	---	50	Deg	
Peak Emission Wavelength	λp	Red Green Blue	635 520 460	640 525 465	650 530 470	nm	IF=20mA
Spectral Line Half-Width	Δλ	Red Green Blue	15 15 25	20 20 30	25 25 35	nm	IF=20mA
Forward Voltage	VF	Red Green Blue	1.9 2.9 2.9	--- --- ---	2.5 3.5 3.5	V	IF=20mA
Reverse Current	IR	Red Green Blue	---	---	10	μA	VR=5V



---

**400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter**

---

**Features**

- Wide 5V to 32V Input Voltage Range
- Positive or Negative Output Voltage Programming with a Single Feedback Pin
- Current Mode Control Provides Excellent Transient Response
- 1.25V reference adjustable version
- Fixed 400KHz Switching Frequency
- Maximum 4A Switching Current
- SW PIN Built in Over Voltage Protection
- Excellent line and load regulation
- EN PIN TTL shutdown capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 94%
- Built in Frequency Compensation
- Built in Soft-Start Function
- Built in Thermal Shutdown Function
- Built in Current Limit Function
- Available in TO263-5L package

**Applications**

- EPC / Notebook Car Adapter
- Automotive and Industrial Boost / Buck-Boost / Inverting Converters
- Portable Electronic Equipment

**General Description**

The XL6009 regulator is a wide input range, current mode, DC/DC converter which is capable of generating either positive or negative output voltages. It can be configured as either a boost, flyback, SEPIC or inverting converter. The XL6009 built in N-channel power MOSFET and fixed frequency oscillator, current-mode architecture results in stable operation over a wide range of supply and output voltages.

The XL6009 regulator is special design for portable electronic equipment applications.

**TO263-5L**

Figure1. Package Type of XL6009

400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter

**Pin Configurations**

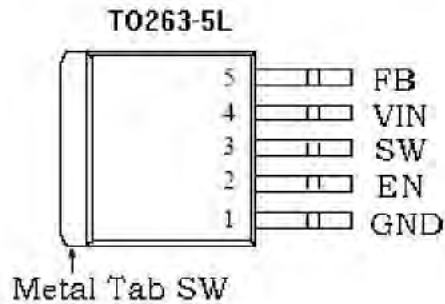


Figure2. Pin Configuration of XL6009 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin.
2	EN	Enable Pin. Drive EN pin low to turn off the device, drive it high to turn it on. Floating is default high.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW).
4	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL6009 operates from a 5V to 32V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.
5	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.





400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter

## Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Marking ID	Packing Type
		Lead Free	Lead Free	
		XL6009E1	XL6009E1	Tube
		XL6009TRE1	XL6009E1	Tape & Reel

kylinchipPb-free products, as designated with “E1” suffix in the par number, are RoHS compliant.

## Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	$V_{IN}$	-0.3 to 36	V
Feedback Pin Voltage	$V_{FB}$	-0.3 to $V_{in}$	V
EN Pin Voltage	$V_{EN}$	-0.3 to $V_{in}$	V
Output Switch Pin Voltage	$V_{Output}$	-0.3 to 60	V
Power Dissipation	$P_D$	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263-5L) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	$R_{JA}$	30	°C/W
Operating Junction Temperature	$T_J$	-40 to 125	°C
Storage Temperature	$T_{STG}$	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	$T_{LEAD}$	260	°C
ESD (HBM)		>2000	V

**Note1:** Stresses greater than those listed under Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

## 400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter

**XL6009 Electrical Characteristics**

$T_a = 25^\circ\text{C}$ ; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit figure4</i>						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 12\text{V to } 16\text{V}, V_{out}=18\text{V}$ $I_{load}=0.1\text{A to } 2\text{A}$	1.213	1.25	1.287	V
Efficiency	$\eta$	$V_{in}=12\text{V}, V_{out}=18.5\text{V}$ $I_{out}=2\text{A}$	-	92	-	%

**Electrical Characteristics (DC Parameters)**

$V_{in} = 12\text{V}$ ,  $GND=0\text{V}$ ,  $V_{in}$  &  $GND$  parallel connect a  $220\mu\text{f}/50\text{V}$  capacitor;  $I_{out}=0.5\text{A}$ ,  $T_a = 25^\circ\text{C}$ ; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	$V_{in}$		5		32	V
Shutdown Supply Current	$I_{STBY}$	$V_{EN}=0\text{V}$		70	100	$\mu\text{A}$
Quiescent Supply Current	$I_q$	$V_{EN} = 2\text{V},$ $V_{FB} = V_{in}$		2.5	5	mA
Oscillator Frequency	$F_{osc}$		320	400	480	KHz
Switch Current Limit	$I_L$	$V_{FB} = 0$		4		A
Output Power NMOS	$R_{dson}$	$V_{in}=12\text{V},$ $I_{SW}=4\text{A}$		110	120	mohm
EN Pin Threshold	$V_{EN}$	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	$I_H$	$V_{EN} = 2\text{V (ON)}$		3	10	$\mu\text{A}$
	$I_L$	$V_{EN} = 0\text{V (OFF)}$		3	10	$\mu\text{A}$
Max. Duty Cycle	$D_{MAX}$	$V_{FB}=0\text{V}$		90		%

400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter

**Schottky Diode Selection Table**

Current	Surface Mount	Through Hole	VR (The same as system maximum input voltage)				
			20V	30V	40V	50V	60V
1A		✓	1N5817	1N5818	1N5819		
3A		✓	1N5820	1N5821	1N5822		
		✓	MBR320	MBR330	MBR340	MBR350	MBR360
	✓		SK32	SK33	SK34	SK35	SK36
	✓			30WQ03	30WQ04	30WQ05	
		✓		31DQ03	31DQ04	31DQ05	
		✓	SR302	SR303	SR304	SR305	SR306
5A		✓	1N5823	1N5824	1N5825		
		✓	SR502	SR503	SR504	SR505	SR506
		✓	SB520	SB530	SB540	SB550	SB560
	✓			50WQ03	50WQ04	50WQ05	

**Typical System Application for EPC/Notebook Car Adapter – Boost (Output 18.5V/2.5A)**

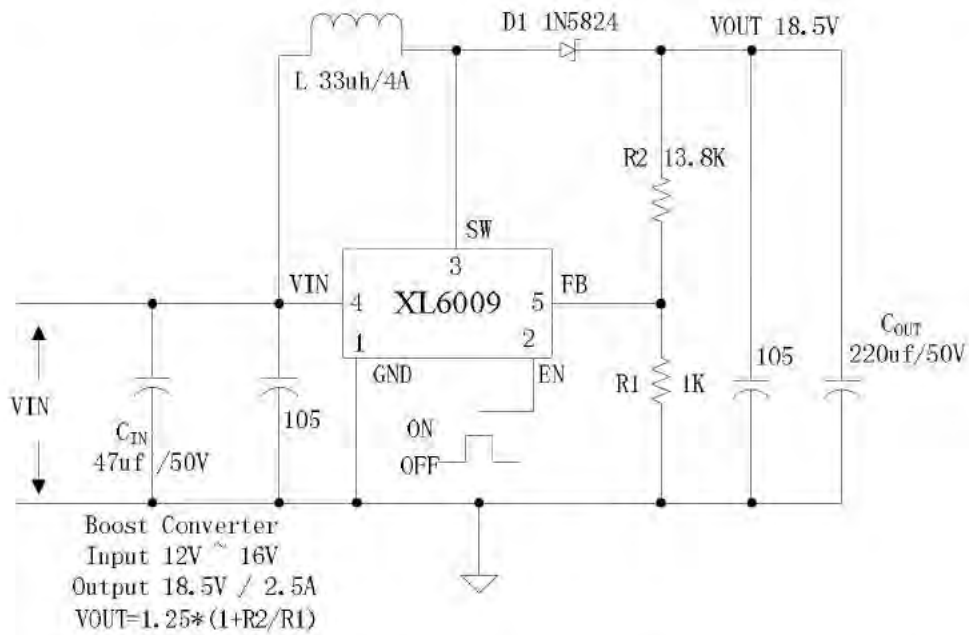


Figure5. XL6009 Typical System Application (Boost Converter)



400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter

**Typical System Application for Portable Notebook Car Adapter**  
**– SEPIC Buck-Boost Topology (Input 10V~30V, Output 12V/2A)**

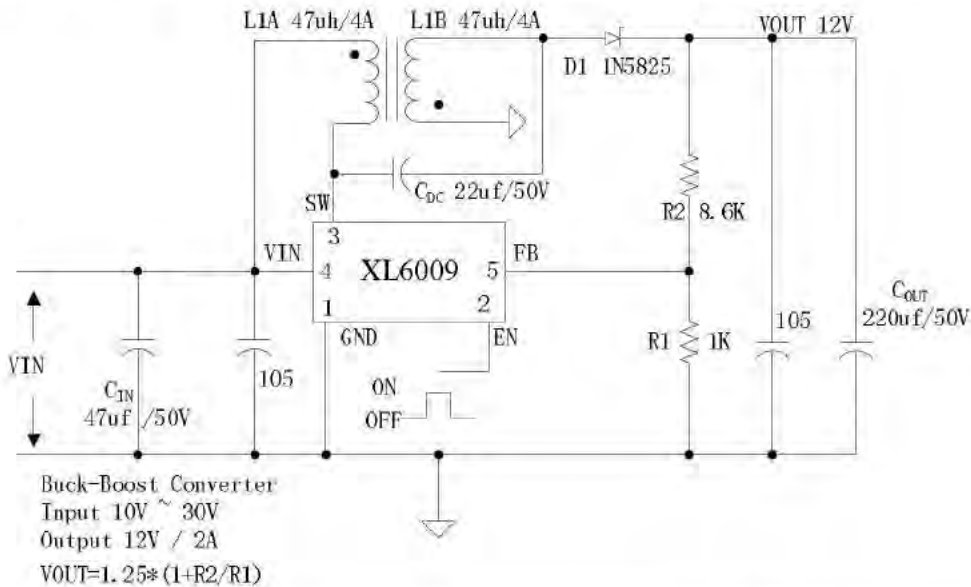


Figure6. XL6009 Typical System Application (SEPIC Buck-Boost Converter)

**Typical System Application for Inverting Converter**  
**– SEPIC Inverting Topology (Input 10V~30V, Output + -12V/1A)**

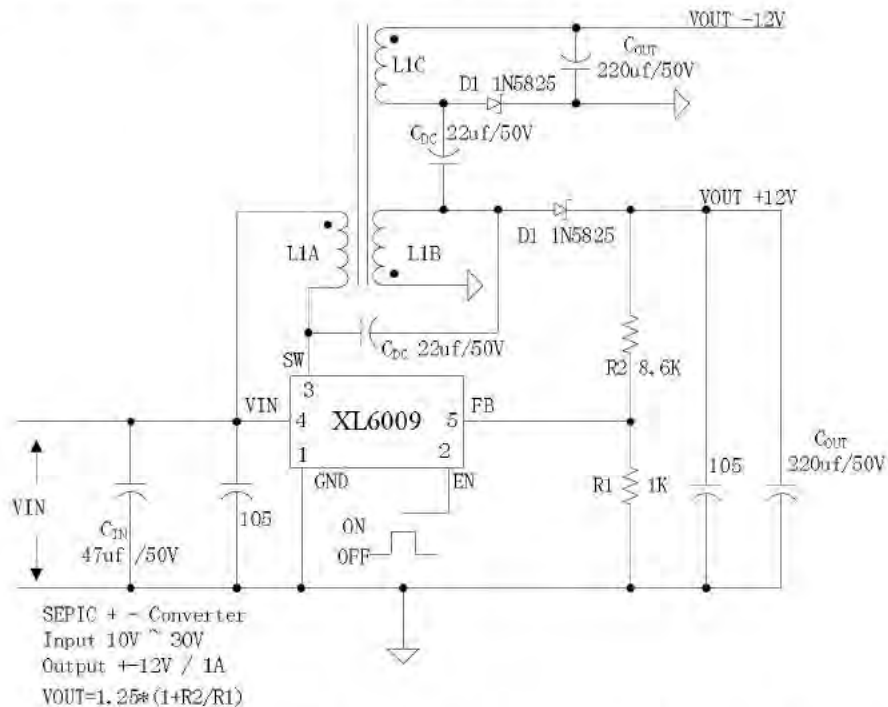


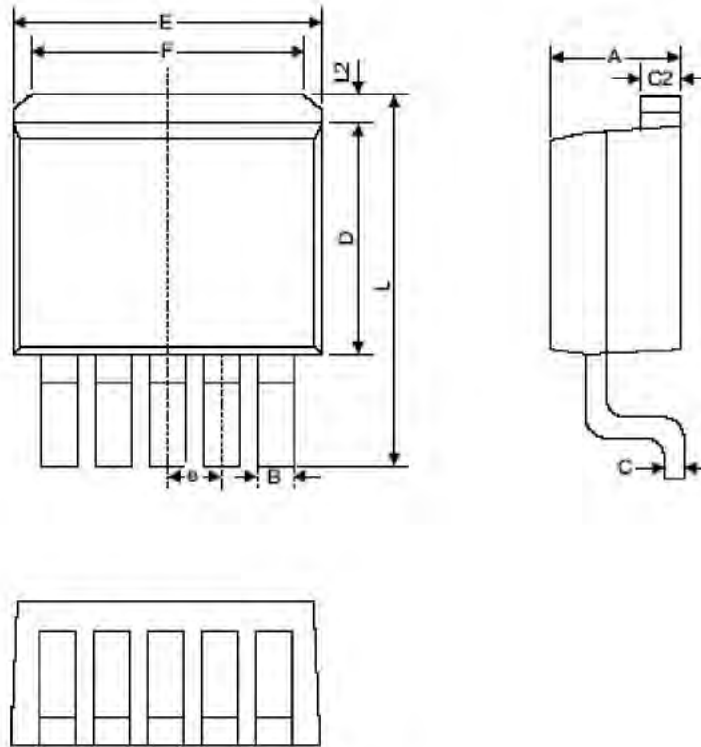
Figure7. XL6009 Typical System Application (SEPIC Inverting Converter)



400KHz 60V4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter

Package Information

TO263-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	4.06	4.83	0.160	0.190
B	0.76	1.02	0.030	0.040
C	0.36	0.64	0.014	0.025
C2	1.14	1.40	0.045	0.055
D	8.64	9.65	0.340	0.380
E	9.78	10.54	0.385	0.415
e	1.57	1.85	0.062	0.073
F	6.60	7.11	0.260	0.280
L	15.11	15.37	0.595	0.605
L2	-	1.40	-	0.055

## Anexo F: Cálculo de capacidad de la Batería

Según [1], una prótesis de mano efectúa alrededor de 120 agarres por un periodo de 8 horas. Sin embargo, para esta versión de prótesis, se llega a un acuerdo de 480 agarres por el mismo periodo de tiempo. Entonces, para efectos del cálculo, un “agarre” está constituido por los siguientes sucesos.

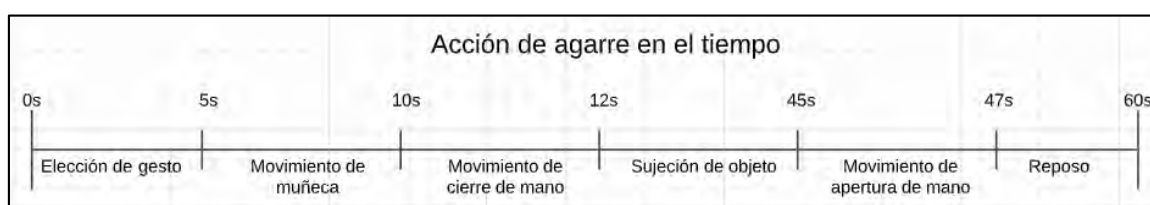


Figura E1. Diagrama de tiempo de un "agarre"

En la elección de gesto, el usuario ingresa, mediante los pulsadores, el gesto a realizar; mientras esto ocurre, el led RGB va alternando los colores de cada gesto al presionar sucesivamente el pulsador. En el movimiento de muñeca intervienen el motor de la muñeca y el solenoide para poder llevar a la prótesis a la preforma del gesto a realizar. En los movimientos de cierre y apertura de mano el único actuador que interviene es el motor “Maxon”; y en la sujeción de objeto, el único, es el motor vibrador. Finalmente, en la etapa de reposo no se consideran intervenciones de los actuadores.

A continuación, se presentan las tablas con los consumos de cada componente del sistema electrónico.

Tabla E1. Consumo de sensores

Sensores	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo uso (h)	Energía (mWh)
EMG	1	5	1	8	40
Posición	2	5	11	8	880
Fuerza	1	0.455	0.455	8	1.6562

Tabla E2. Consumo de acondicionadores

Acondicionador	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo uso (h)	Energía (mWh)
Fuerza	1	5	0.578	8	23.12

Tabla E3. Consumo de indicadores

Indicadores	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo uso (h)	Energía (mWh)
LED RGB	1	5	5	0.6664	16.66
Led de Batería	1	5	3	1	15

Tabla E4. Consumo de actuadores

Actuadores	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo uso (h)	Pico (mA)	Tiempo pico (h)	Energía (mWh)
Motor Mano	1	6	720	0.533	2150	0.0000889	2303.70681
Motor Muñeca	1	6	40	0.667	1000	0.0000889	160.6134
Solenoide	1	6	400	0.1336	0	0	320.64
Motor vibrador	1	5	22	4.4	0	0	484

Tabla E5. Consumo de excitadores

Drivers	Cantidad	Voltaje Iv <sub>m</sub> (V)	Iv <sub>m</sub> (mA)	Voltaje Iv <sub>cc</sub> (V)	Iv <sub>cc</sub> (mA)	Tiempo uso (h)	Energía (mWh)
DRV (muñeca)	1	6	0.2	5	2	8	89.6
BD6 (mano)	1	6	0.8	5	1.3	8	90.4

Tabla E6. Consumo de convertidores

Convertidores	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo uso (h)	Energía (mWh)
5V Step-Up	1	3.7	2	8	59.2
6V Step-Up	1	3.7	5	8	148

Tabla E7. Consumo de la unidad de control

uC	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Tiempo uso (h)	Energía (mWh)
Nano	1	5	15	8	600

En cada tabla expuesta anteriormente, cabe resaltar que los parámetros eléctricos son obtenidos mediante la hoja de datos de cada componente o través de ensayos de los dispositivos en cuestión. Por otro lado, el tiempo de uso es el tiempo en horas, escalado del diagrama de tiempo, en el que cada componente está energizado y consumiendo.

Otro detalle importante a mencionar son que, en el caso del movimiento de la muñeca, se obtienen los cálculos de consumo basado en el peor caso de movimiento. Es decir, para que la muñeca llegue a su posición, el subsistema mecatrónico debe activar dos veces el solenoide por 0.5s, con lo que, el motor arranca se pone en marcha tres veces hasta llegar a su posición.

Finalmente, con todos los consumos hallados, se procede a aplicar los factores de eficiencia (valor sobredimensionado), factor de seguridad y porcentaje de descarga para así, con el voltaje nominal de la batería, hallar la capacidad en mAh que en este caso es de 3000 mAh aproximadamente.

Tabla E8. Cálculo final de la capacidad

Total (mWmin)	Eficiencia	Voltaje Bat. (V)	Factor seg.	% descarga bat.	Capacidad (mAh)
5232.86281	0.8	3.7	1.2	70%	3030.616

## Bibliografía

- [1] J. T. Belter, J. L. Segil, A. M. Dollar, and R. F. Weir, "Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review," *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 50, no. 5, pp. 599–618, 2013.

## Anexo G: Calibración de los sensores

En el presente anexo se presentan las calibraciones realizadas para el sensor de fuerza FSR400 short y para el sensor de posición Hall MLX90316, con el fin de obtener de las curvas de calibración aquellos valores de las entradas del ADC del controlador que representen los valores de los umbrales, de fuerza y posición, a asignar en los algoritmos principal y de control.

### 1. Calibración del FSR

Para la realización del ensayo de calibración, se dispone del montaje a continuación.



Figura B1. Montaje para calibración del FSR

En el cual, la estructura de sujeción de la pistola, en la estación de calor, fija una tuerca por la cual se va enroscando un perno de paso fino que aplica presión a un trozo de la cubierta del guante de silicona, y este transmite esa presión al FSR. Además, debajo del FSR, se encuentra una balanza patrón que indica de manera visual el peso en gramos y mediante un programa de adquisición de datos, elaborado en Matlab, y un código de transmisión de datos por puerto serie, cargado al Arduino (referirse al Anexo F), se obtiene la señal de voltaje que entrega el circuito de acondicionamiento.

Por último, de los ensayos para determinar el coeficiente de fricción máximo entre la cubierta de silicona de los dedos y diversos materiales, se obtiene que la fuerza máxima que aplica el pulgar es de 1,285N. Lo cual es similar a cargar un peso de 131 gramos aproximadamente. Por ello, en el ensayo de calibración de la figura B2 se considera la toma de muestras cada 10 gramos y hasta 250 gramos.

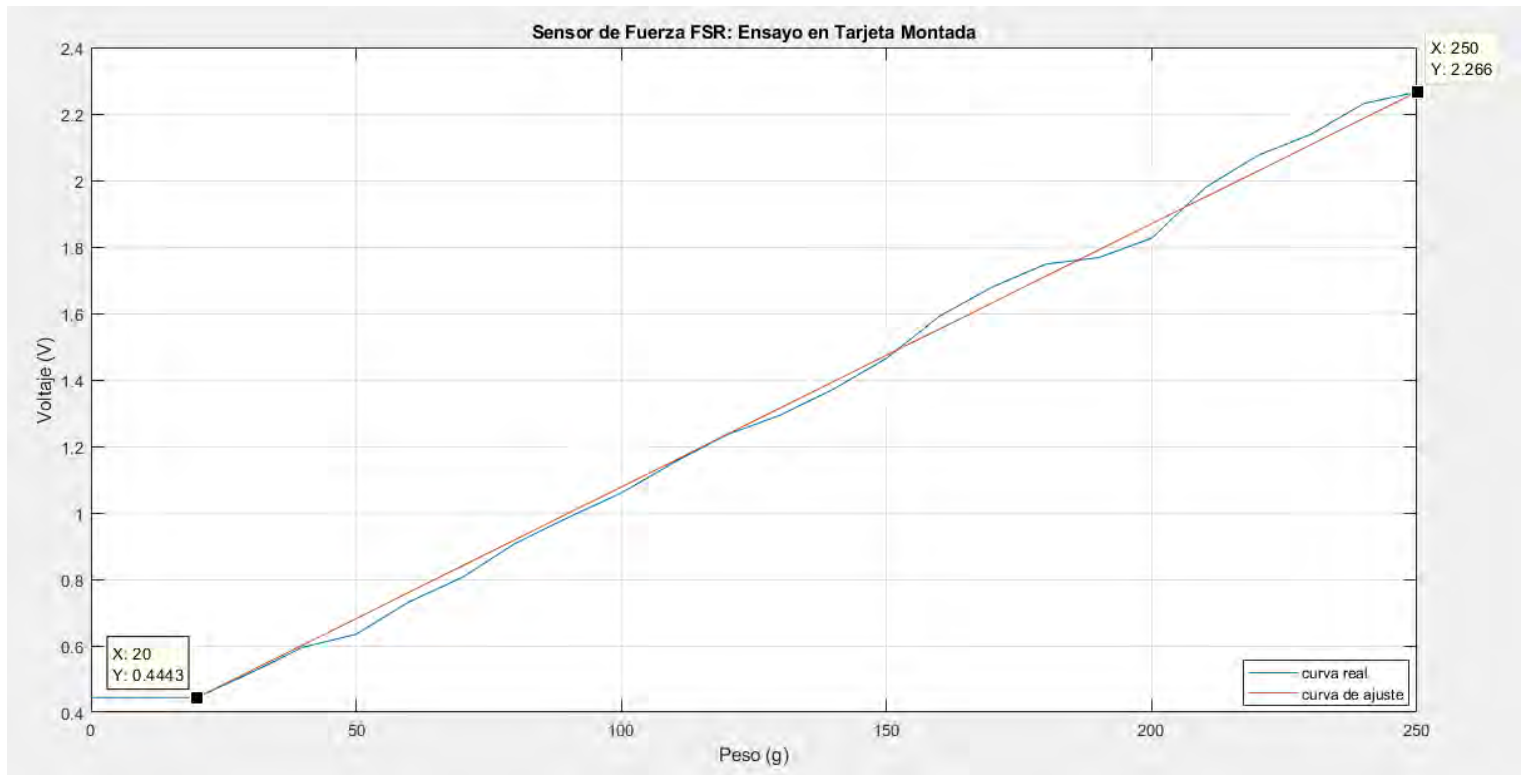


Figura B2. Ensayo de curva de calibración para el FSR

## 2. Calibración del sensor Hall

Al igual que con el FSR, en el montaje para la prueba de calibración (ver Figura B3) se sigue usando la estructura de sujeción de la pistola de la estación de calor para sostener, esta vez, un motor DC en el cual, al final del eje de rotación, se encuentra alojado el imán, que, a su vez, está aproximadamente a 2 mm del sensor Hall, distancia de buen rendimiento según Anexo A.

Para el ensayo de obtención de la curva de calibración del sensor, se hace girar el motor a una velocidad constante conforme se va leyendo los valores obtenidos del sensor. Entonces, una vez pasado cierto número de



vueltas, se opta por quedarse con los valores de una vuelta dada, y por último, se escalan los datos a grados sexagesimales. En esta ocasión, los datos son tomados directamente de un archivo CSV que genera el osciloscopio.

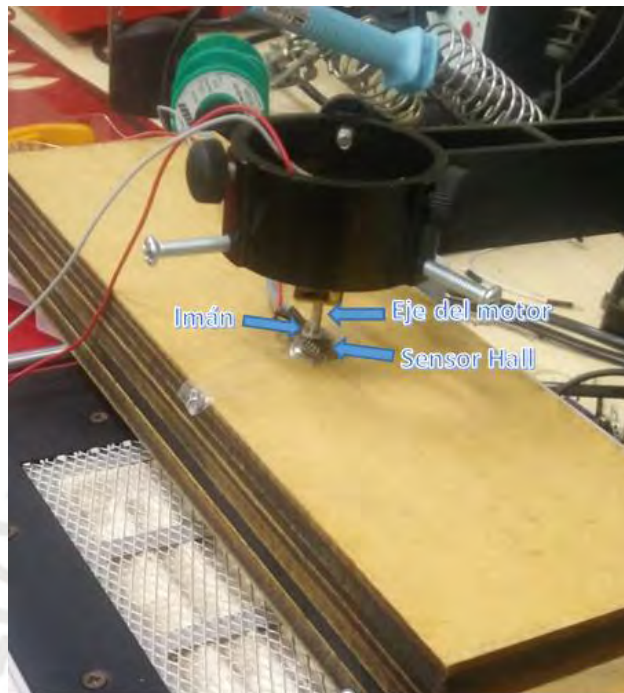


Figura B3. Montaje para calibración del sensor Hall

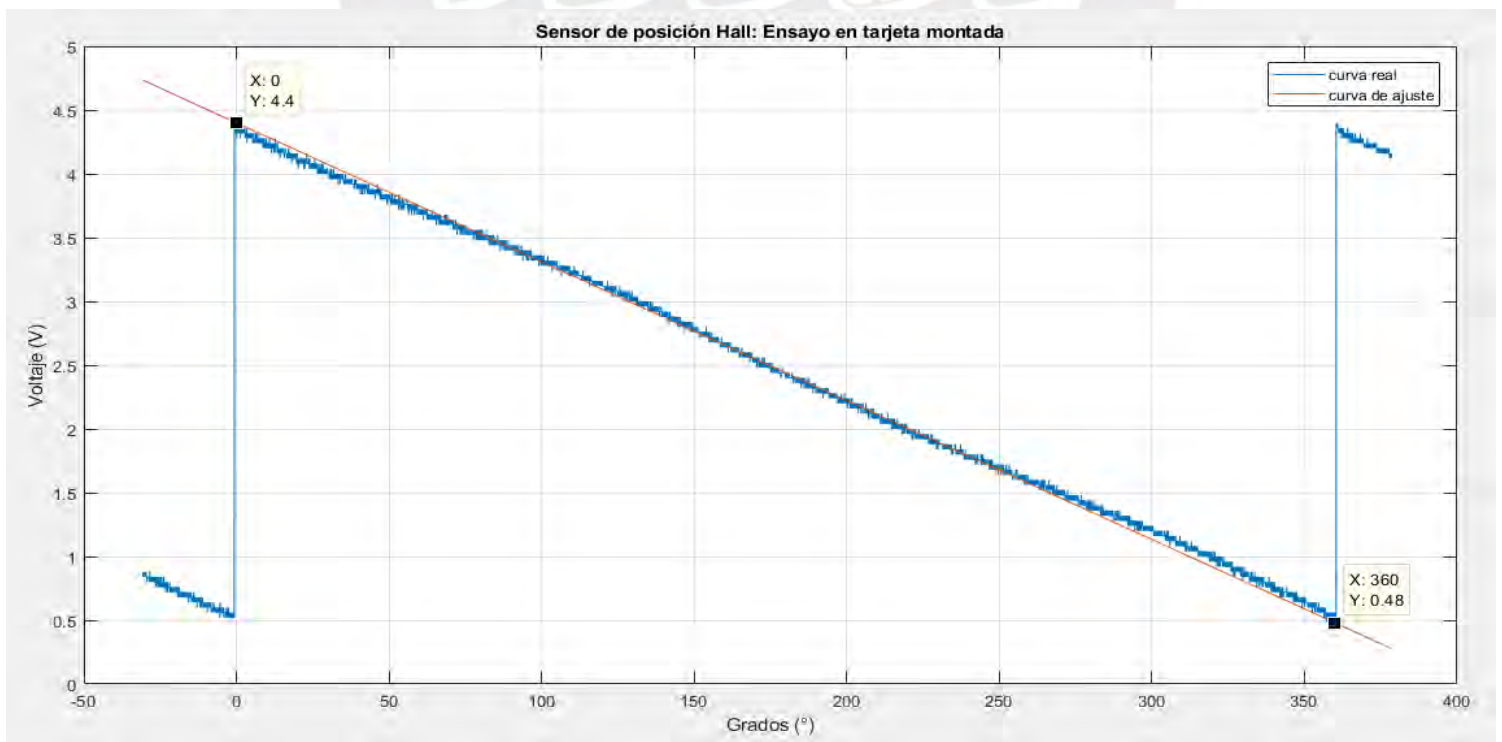


Figura B3. Montaje para calibración del FSR



### 3. Calibración del sensor EMG

En el caso del sensor EMG, los pasos a seguir para su calibración son los expuestos en un video tutorial colgado en la página misma del distribuidor del Sensor (“DFRobot”) [1]. Además, cabe resaltar que, la única complicación existente a la hora de repetir el procedimiento a seguir es mantener en todo momento la posición fija del sensor y los cables de conexión, ya que, a un cambio ligero de uno de estos, la señal captada del músculo se distorsiona debido a la interferencia de otras señales musculares; y con ello, hay que volver a colocar el sensor en la posición adecuada y esperar a que se vuelva a captar la señal del músculo elegido. Por último, cabe mencionar que la tarjeta de electrodos (sensor) debe ubicarse cerca del codo y encima de uno de los músculos flexores para obtener una buena adquisición de la señal de interés. A continuación, se muestran las gráficas de la señal EMG al flexionar y sin flexionar la mano (eje X: unidad de tiempo-ms-, eje Y: voltaje-V o mV-). Asimismo, se muestra la ubicación del sensor en el antebrazo para la realización de los ensayos.

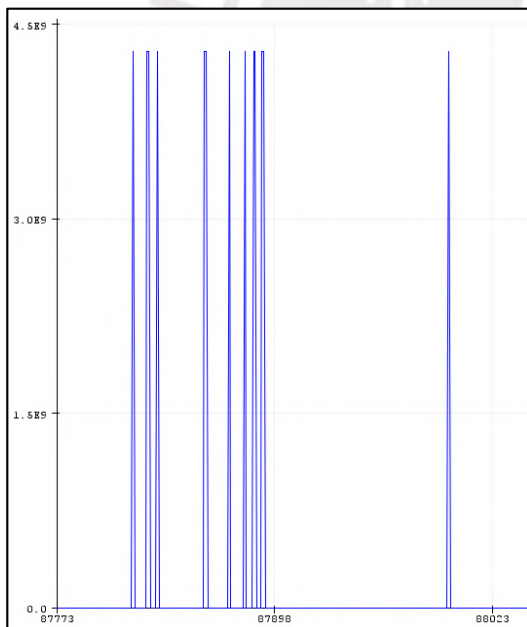


Figura B4. Lectura EMG al flexionar mano

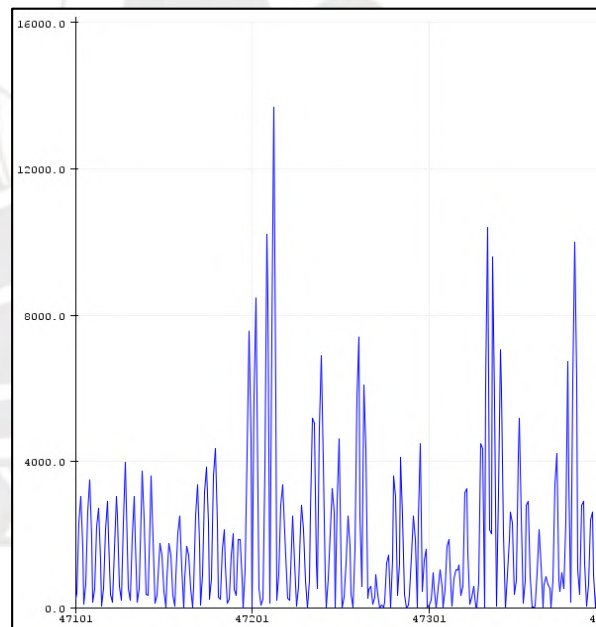


Figura B5. Lectura EMG con la mano relajada



*Figura B6. Posible ubicación del sensor EMG*

- [1] "Gravity: Analog EMG Sensor by OYMotion - DFRobot." [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1661.html>. [Accessed: 03-Dec-2019].



## Anexo H



**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN ROBÓTICA  
APLICADA Y BIOMECÁNICA  
(LIBRA)**

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Laboratorio de Investigación en Robótica Aplicada y Biomecánica (LIBRA) está ubicado dentro de la Sección Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con domicilio en Av Universitaria Nro 1801, San Miguel, Lima. Ver en Figura 1.

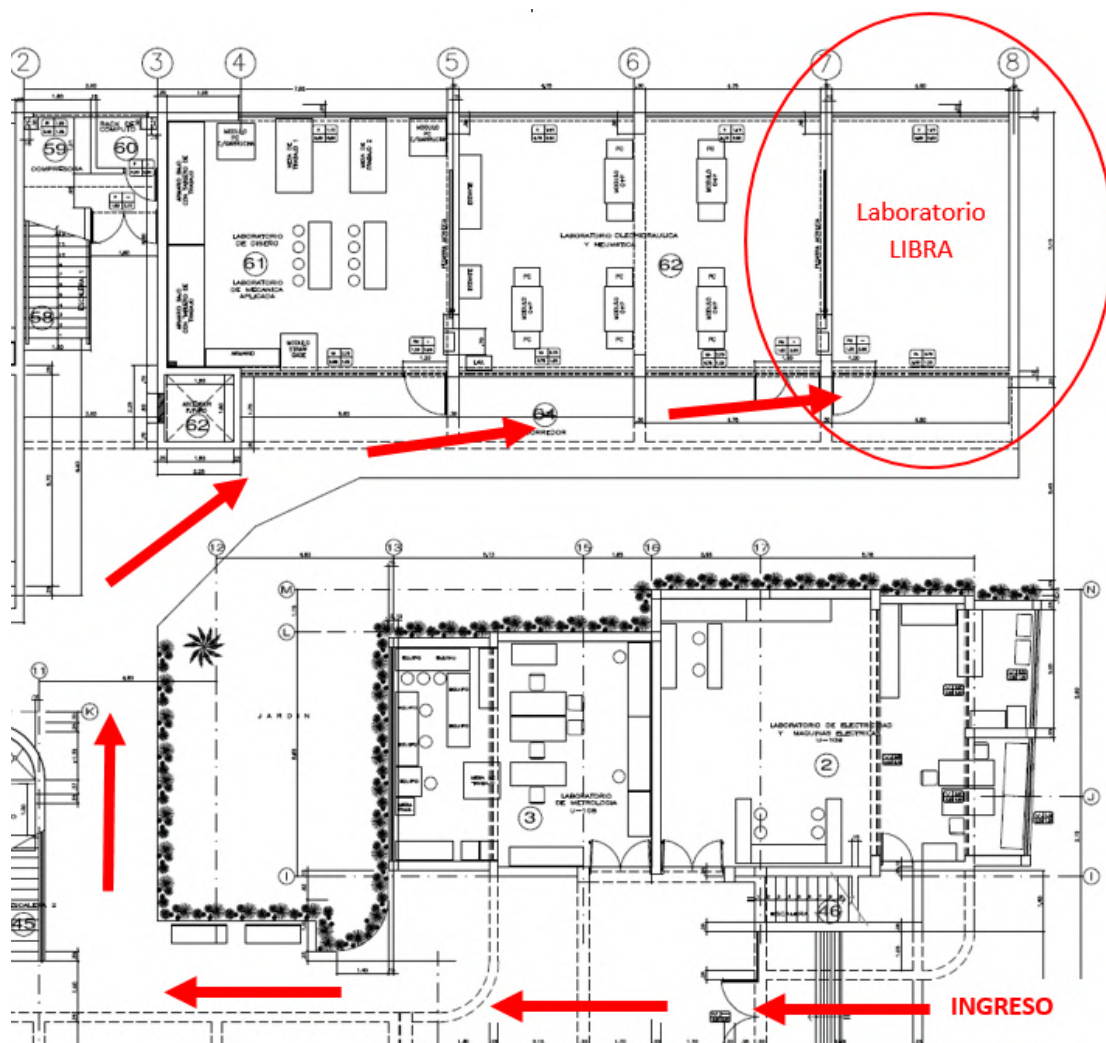


Figura 1. Plano de ruta de ingreso al Laboratorio LIBRA en la Sección de Ingeniería Mecánica

## **CONDICIONES DE SEGURIDAD (INTERNA Y EXTERNA) Y MANTENIMIENTO (CONSERJERÍA)**

El Laboratorio de Investigación en Robótica Aplicada y Biomecánica (LIBRA) recae bajo la jurisdicción de la Sección Ingeniería Mecánica, que es la Unidad del Departamento de Ingeniería de la PUCP, encargada de administrar los laboratorios directamente vinculados a la Ingeniería Mecánica.

Cada Laboratorio de la Sección Ingeniería Mecánica cuenta con un responsable de laboratorio que es nombrado por la jefatura del Departamento de Ingeniería a propuesta del Coordinador de la Sección Ingeniería Mecánica. Las funciones del responsable del laboratorio son las de programar el uso de los equipos para sus diversos fines en educación, investigación y servicios a terceros; programar las labores de mantenimiento de los equipos a su cargo, elaborar el plan anual de operaciones y gestionar ante la Sección Ingeniería Mecánica sus recursos y presupuestos. Por otro lado, la PUCP cuenta con una unidad de operaciones encargada de inscribir y seleccionar a los proveedores de los servicios, los mismos que son evaluados y ratificados anualmente.

Actualmente los servicios de limpieza están a cargo de la empresa EULEN DEL PERU DE SERVICIOS GENERALES SA y los servicios de vigilancia a cargo de la empresa G4S PERU SAC. Por otro lado, los servicios de mantenimiento, de servicios generales son coordinados con los responsables de cada laboratorio y están a cargo de diversos proveedores. La Oficina de Control Patrimonial de la PUCP se encarga de llevar el control de los activos fijos de la Universidad y de que estos cuenten con el seguro correspondiente, lo que es evaluado según sea el caso. Cabe señalar que los equipos solicitados estarán registrados en esta unidad y contarán con su respectivo seguro.



## AMBIENTES

La Sección Ingeniería Mecánica, edificio donde se ubica el Laboratorio de Investigación en Robótica Aplicada y Biomecánica (LIBRA), tiene dedicado una subestación con capacidad de suministrar energía de acuerdo a las especificaciones técnicas (380V trifásico, 220 monofásico y 60 Hz). El Laboratorio LIBRA cuenta con protección eléctrica a tierra, buena iluminación y amplio acceso. Así mismo, posee equipos y dos ambientes con área suficiente para desarrollar investigación, uno ubicado en el primer piso con un área de 42.7m<sup>2</sup>, enfocado para desarrollar pruebas de validación, y otro ubicado en el segundo piso con un área de 37m<sup>2</sup> enfocado a desarrollar y fabricar tarjetas electrónicas.



## PRIMER AMBIENTE DE LIBRA

El primer ambiente está ubicado en el primer piso de la Facultad de Ingeniería Mecánica, con un espacio de 8.90 m de largo por 4.8 m de ancho y 4 m de altura con amplio acceso de dimensiones de 1.9m de ancho y 2.9m de alto. Posee estaciones de trabajo equipadas con PC's e impresora de papel para los investigadores. Adicionalmente, el laboratorio cuenta con dos Impresoras 3D para fabricación aditiva, una Máquina de Ensayos Electrodinámicos, una Plataforma de Fuerza Modular, un Robot Hexápodo Giratorio de 6 grados de libertad, y un escáner 3D para construir modelos digitales tridimensionales.



Figura 2. Entrada del primer ambiente del Laboratorio



El ambiente rectangular del laboratorio es ilustrado en la Figura 3 a la Figura 6, desde las 4 diferentes esquinas del mismo. Desde cada vista se aprecian tanto el mobiliario del laboratorio, así como el equipo usado para realizar ensayos e investigaciones.



Figura 3. Vista 1 referenciada desde la entrada del primer ambiente

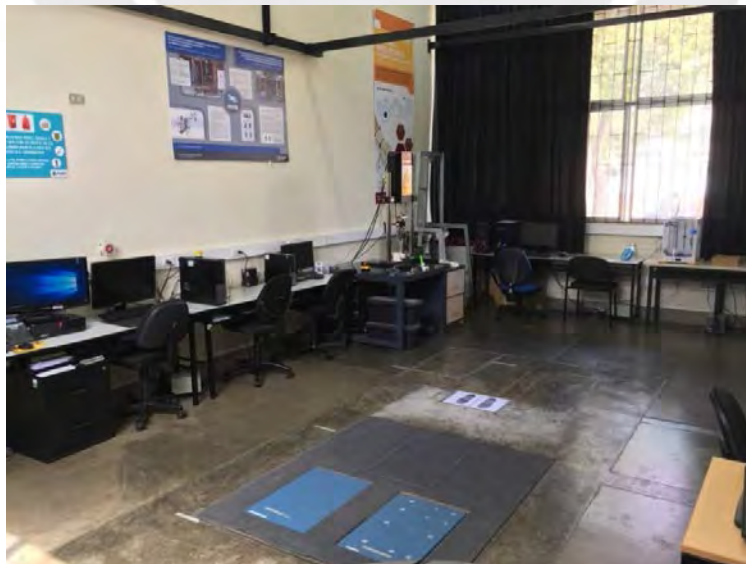


Figura 4. Vista 2 del primer ambiente



Figura 5. Vista 3 del primer ambiente



Figura 6. Vista 4 del primer ambiente

## EQUIPOS PRIMER AMBIENTE DE LIBRA

Los equipos del primer ambiente de LIBRA cuentan con sus respectivas políticas de uso, manual de mantenimiento, y puesta en marcha y operación de cada equipo.

### a) Máquina Electrodinámica de Ensayos 800LE316

Es una máquina que realiza ensayos electrodinámicos (Figura 7) de tracción, compresión, flexión y fluencia, Incluye una PC dedicada al 100% a la máquina de ensayos, y un software “MTL32\_2020”.

El trabajo en conjunto de la PC, máquina de ensayos y software permiten obtener los datos de ensayos, donde pueden realizar gráficas y reportes de los resultados de las pruebas.



Figura 7. Máquina electrodinámica de ensayos



b) Impresoras 3D Ultimaker

El laboratorio cuenta con dos impresoras 3D (Figura 8), las cuales nos permiten la fabricación de piezas en materiales como ABS, PLA y Policarbonato. El modelo Ultimaker 2+ cuenta con un volumen de impresión de 223x223x205mm mientras que el modelo Ultimaker 2 extended+, con un volumen de 223x223x305mm.

Mediante esta tecnología, los investigadores tienen la ventaja de imprimir los prototipos de modelos personalizados en cuestión de horas, lo que permite validación ágil del prototipo, reduciendo así los tiempos y costos de fabricación.

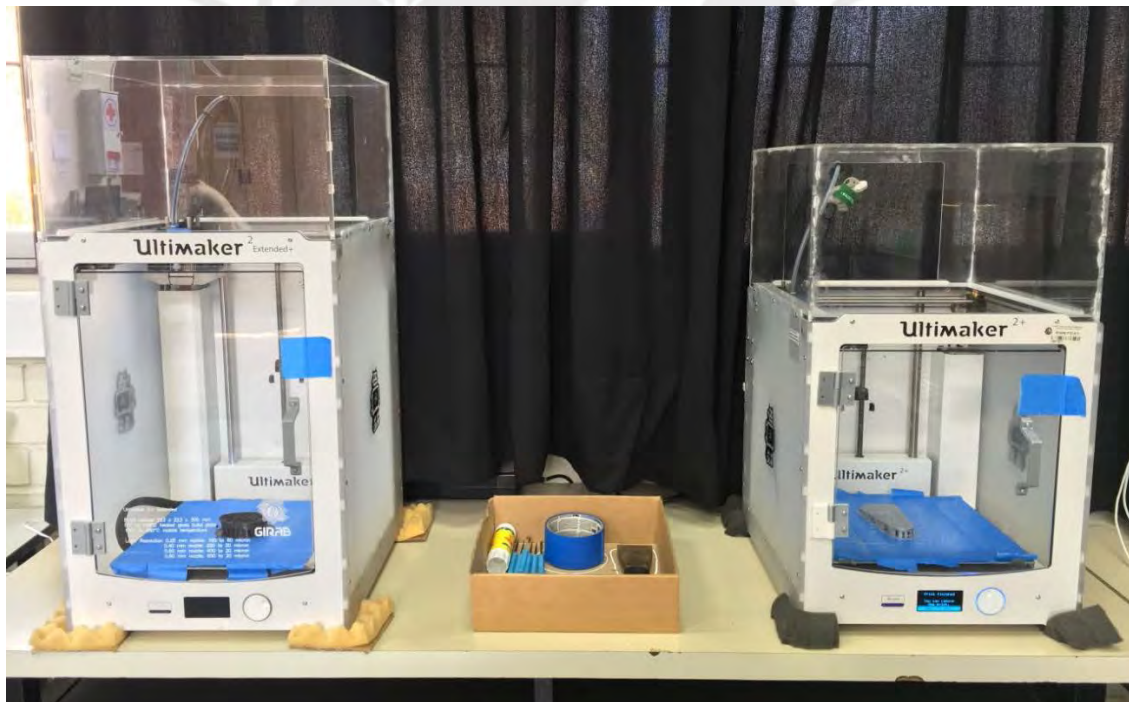


Figura 8. Impresoras 3D de la marca Ultimaker

c) Robot Hexápodo Giratorio R-3000

El robot Hexápodo Giratorio R-3000 mostrado en la Figura 9 cuenta con unas dimensiones de 1000x300x1400mm y posee un peso de 120Kg. El robot se alimenta con un voltaje trifásico de 230V-60Hz. Este robot posee 6 grados de libertad que permite simular patrones de precisión de movimiento



Figura 9. Robot Hexápodo Giratorio R-3000

d) Plataforma de fuerza modular

El laboratorio cuenta además, con una plataforma de fuerza modular. Este equipo funciona en conjunto con un Amplificador GEN5, una llave Sentinel, cables y una computadora de escritorio la cual cuenta con un software para el uso de las plataformas. Con este sistema se conoce las fuerzas de reacción piso-pie durante movimientos del cuerpo, facilitando el análisis del movimiento dinámico del cuerpo humano. Los usos principalmente son análisis de equilibrio, análisis de marcha y desempeño deportivo.

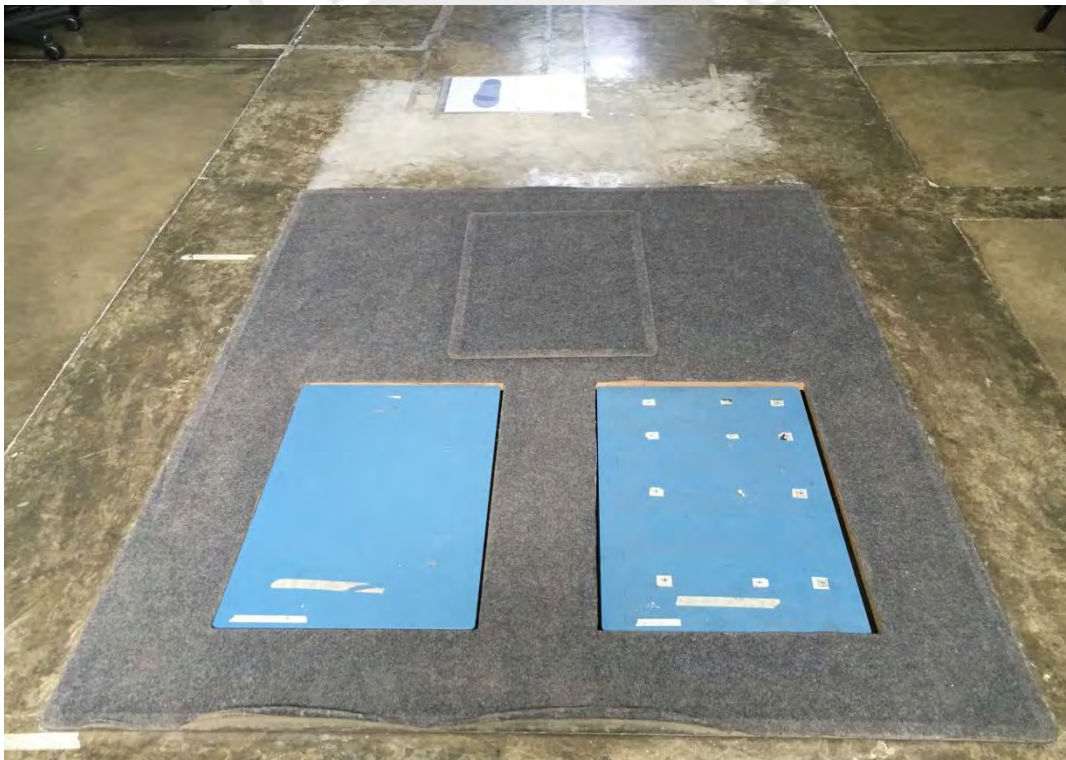


Figura 10. Plataforma de Fuerza Modular



### e) Sensores Inerciales

En la captura y análisis de movimiento, utilizamos sensores inerciales que compuestos por acelerómetros, giroscopios y magnetómetros. Los acelerómetros miden la aceleración lineal con que se mueve el sensor, los giróscopos la velocidad angular y los magnetómetros dan información acerca del norte magnético. Con estos tres sensores es posible estudiar el movimiento completo en el plano o el espacio.

Los sensores inerciales cuentan con tecnología inalámbrica a través de la cual transmiten las mediciones a tiempo real. Al ser dispositivos livianos, favorece su movilidad y fijación al cuerpo.



Figura 11. Captura de movimiento con sensores inerciales



Figura 12. Sensores inerciales



f) Escáner 3D

El escáner 3D marca Sence es portátil de dimensiones 178x129x330 mm, puede escáner objetos con una precisión de 0,9 mm a 50 cm de distancia. Usa la tecnología de luz estructurada para captar las superficies en el espacio. Trabaja conjuntamente con un software Sense 3D scanner y una laptop que captura y procesa datos en tiempo real, recibiendo la información y generando la digitalización 3D del objeto en formatos STL, OBJ o PLY.

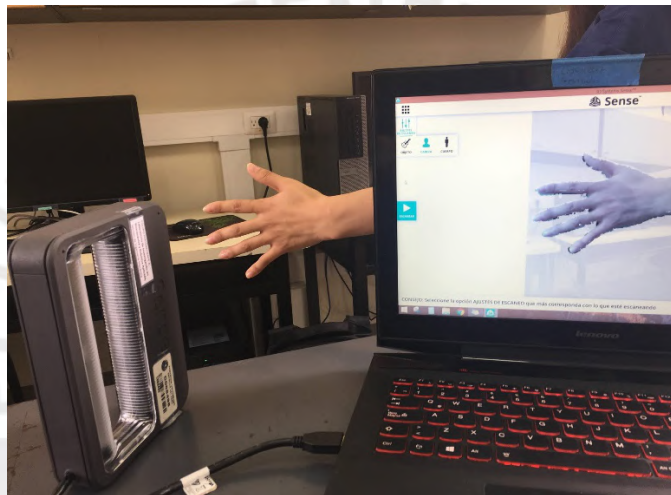


Figura 13. Escaner 3D - Sense



Figura 14. Escaner 3D Sense

## SEGUNDO AMBIENTE DE LIBRA

El segundo espacio del laboratorio se encuentra ubicado en el segundo piso de la facultad de Ingeniería Mecánica. Este ambiente cuenta con 8.1m de largo y 4.6m de ancho y 3.4m de altura. Asimismo, cuenta con estaciones de trabajo las cuales poseen PC's para el personal de investigación. Además, el laboratorio cuenta con una Máquina CNC para fabricación de tarjetas electrónicas, Osciloscopio, Fuente de poder y un cargador de Baterías.

En la Figura 15 se muestra la entrada al laboratorio, la cual cuenta con 1m de ancho y 2.10m de altura.



Figura 15. Puerta del laboratorio LIBRA 2

El ambiente rectangular del laboratorio es ilustrado en la Figuras 16 a la Figura 19, desde las 4 diferentes esquinas del mismo. En las Figuras se muestran diversas vistas del laboratorio, desde las cuales se muestran los equipos usados por los investigadores.



Figura 16. Vista 1 de LIBRA 2



Figura 17. Vista 2 de LIBRA 2



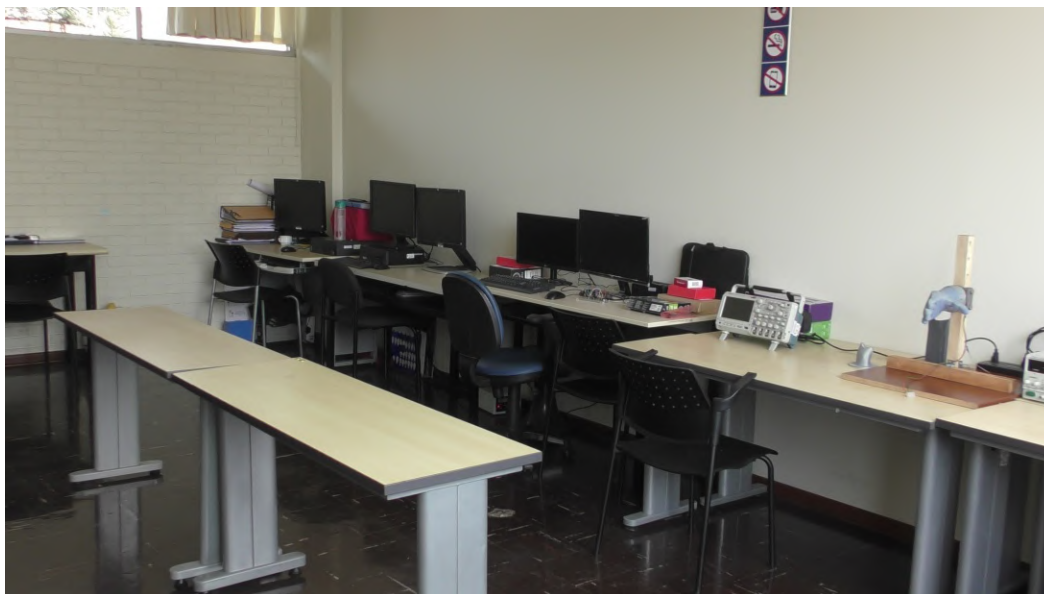


Figura 18. Vista 3 de LIBRA 2



Figura 19. Vista 4 de LIBRA 2

## EQUIPOS SEGUNDO AMBIENTE DE LIBRA

Los equipos del segundo ambiente de LIBRA cuentan con sus respectivas políticas de uso, manual de mantenimiento, y puesta en marcha y operación de cada equipo.

### a) Máquina CNC-CIRQOID:

En la Figura 20 se muestra la Máquina CNC, la cual nos permite la fabricación de tarjetas electrónicas. Cuenta con una Laptop cargada con el software para su operación. Cuenta con una carrera de 100mm en los ejes X e Y, y en el eje Z, una carrera de 2 a 18mm. Es alimentada por una fuente monofásica de 220V-60Hz. Esta máquina nos permite realizar la fabricación completa de una placa electrónica, incluyendo la colocación y soldadura de componentes.



Figura 20. Máquina CNC-Cirroid

b) Osciloscopio

En la Figura 21 se muestra un osciloscopio el cual es usado realizar análisis de las placas electrónicas, y observar el comportamiento de las señales eléctricas.



Figura 21. Osciloscopio

c) Fuente de poder Lavolta-BPS305

En la Figura 22, se muestra la fuente de poder usada en el laboratorio, Lavolta BPS305. Esta fuente nos permite obtener señales continuas desde 0 a 30V, y de 0 a 5A, siendo alimentada con una red doméstica.



Figura 22. Fuente de Poder Lavolta-BPS305



d) Cargador de baterías Ultimate Duo 400W

En la Figura 23 se muestra el cargador de baterías Ultimate Duo 400W. Este cargador de baterías nos permite realizar la carga y descarga de baterías de LiPo, LiIO, LiFe, LiHV de hasta 7 celdas, NiCd, NiMH o Pb.



Figura 23. Cargador de baterías Ultimate Duo 400W

Anexo I

Variable	Plástico		Madera		Esponja		Metal		Vidrio	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	90.8	0.447	90.8	0.4472	91	0	91	0.707	91	0
Valor máximo: 1er Umbral	101.8	1.643	103.2	2.1679	101	45.169	102.8	2.049	107.8	3.633
Valor Final FSR (C)	242.6	15.742	155.6	26.7825	97.6	8.706	234.2	61.625	345.8	34.499
Valor Inicial FSR (A)	250.2	15.434	159.2	28.6653	98	9.247	264.2	65.755	405.2	46.954
Delta FSR (C a A)	7.6	4.037	3.6	2.3022	0.4	0.548	30	5.788	59.4	61.93
Valor Final FSR (A)	91.2	0.837	91	0	90.8	0.837	90.8	0.837	90.8	0.447
Valor Inicial Hall (C)	124	13.435	124.2	13.5351	129.4	0.548	131.6	1.14	130.6	0.548
Valor Final Hall (C)	735.2	0.447	734.6	0.8944	734.6	0.548	735.6	0.548	780.8	18.593
Valor Inicial Hall (A)	734.6	0.548	734.8	0.4472	734.8	0.837	734.8	0.447	780.6	18.876
Delta Hall (C a A)	-0.6	0.548	0.2	0.8367	0.2	0.447	-0.8	0.447	-0.2	0.837
Valor Final (A)	130	0	130	0.7071	129.4	0.548	130.2	0.447	130	1.581
Tiempo de Cierre (C)	6.348	0.331	6.252	0.2915	6.316	0.126	4.596	0.984	3.91	1.068
Tiempo de Apertura (A)	5.98	0.023	6.01	0.0964	6.07	0.044	3.776	1.187	3.585	1.137



Ensayos con objeto de plástico							
Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (cierre)	90	91	91	91	91	90.8	0.447
Valor máximo: 1er Umbral	104	101	101	103	100	101.8	1.643
Valor Final FSR (cierre)	250	254	238	217	254	242.6	15.742
Valor Inicial FSR (apertura)	264	258	244	226	259	250.2	15.434
Valor Final FSR (apertura)	92	91	92	91	90	91.2	0.837
Valor Inicial sensor Hall (cierre)	100	131	130	130	129	130	0.816
Valor Final sensor Hall (cierre)	735	735	736	735	735	735.2	0.447
Valor Inicial sensor Hall (apertura)	734	735	735	734	735	734.6	0.548
Valor Final sensor Hall (apertura)	130	130	130	130	130	130	0.000
Tiempo de Cierre	5.8	6.69	6.37	6.4	6.48	6.348	0.331
Tiempo de Apertura	6	5.99	5.99	5.94	5.98	5.98	0.023

Ensayos con objeto de madera							
Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (cierre)	90	91	91	91	91	90.8	0.447
Valor máximo: 1er Umbral	106	102	101	105	102	103.2	2.168
Valor Final FSR (cierre)	161	182	111	156	168	155.6	26.782
Valor Inicial FSR (apertura)	164	186	111	161	174	159.2	28.665
Valor Final FSR (apertura)	91	91	91	91	91	91	0.000
Valor Inicial sensor Hall (cierre)	130	130	100	130	131	130.25	0.500
Valor Final sensor Hall (cierre)	734	736	734	735	734	734.6	0.894
Valor Inicial sensor Hall (apertura)	735	735	734	735	735	734.8	0.447
Valor Final sensor Hall (apertura)	130	129	131	130	130	130	0.707
Tiempo de Cierre	6.31	6.28	5.76	6.38	6.53	6.252	0.291
Tiempo de Apertura	5.86	6.01	6.06	6.12	6	6.01	0.096

Ensayos con Esponja							
Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (cierre)	91	91	91	91	91	91	0.000
Valor máximo: 1er Umbral	-	-	-	-	101	101	45.169
Valor Final FSR (cierre)	91	91	92	105	109	97.6	8.706
Valor Inicial FSR (apertura)	91	91	92	106	110	98	9.247
Valor Final FSR (apertura)	90	91	90	91	92	90.8	0.837
Valor Inicial sensor Hall (cierre)	130	129	129	129	130	129.4	0.548
Valor Final sensor Hall (cierre)	735	735	734	735	734	734.6	0.548
Valor Inicial sensor Hall (apertura)	735	735	734	736	734	734.8	0.837
Valor Final sensor Hall (apertura)	129	130	129	130	129	129.4	0.548
Tiempo de Cierre	6.45	6.17	6.21	6.32	6.43	6.316	0.126
Tiempo de Apertura	6.08	6.08	6.13	6.05	6.01	6.07	0.044

Ensayos con objeto de Metal							
Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	90	91	92	91	91	91	0.707
Valor máximo: 1er Umbral	101	105	102	101	105	102.8	2.049
Valor Final FSR (C)	207	159	227	252	326	234.2	61.625
Valor Inicial FSR (A)	237	180	257	289	358	264.2	65.755
Delta FSR (C a A)	30	21	30	37	32	30	5.788
Valor Final FSR (A)	90	91	92	91	90	90.8	0.837
Valor Inicial Hall (C)	132	130	132	131	133	131.6	1.140
Valor Final Hall (C)	736	735	736	736	735	735.6	0.548
Valor Inicial Hall (A)	735	734	735	735	735	734.8	0.447
Delta Hall (C a A)	-1	-1	-1	-1	0	-0.8	0.447
Valor Final Hall (A)	130	130	130	131	130	130.2	0.447
Tiempo de Cierre (C)	3.57	3.97	5.63	4.14	5.67	4.596	0.984
Tiempo de Apertura (A)	3.25	3.23	3.03	3.49	5.88	3.776	1.187

Ensayos con objeto de Vidrio							
Variable	1er Ensayo	2do Ensayo	3er Ensayo	4to Ensayo	5to Ensayo	Media	Desviación
Valor Inicial FSR (C)	91	91	91	91	91	91	0.000
Valor máximo: 1er Umbral	103	111	109	105	111	107.8	3.633
Valor Final FSR (C)	388	345	294	340	362	345.8	34.499
Valor Inicial FSR (A)	458	374	453	384	357	405.2	46.954
Delta FSR (C a A)	70	29	159	44	-5	59.4	61.930
Valor Final FSR (A)	90	91	91	91	91	90.8	0.447
Valor Inicial Hall (C)	131	130	131	131	130	130.6	0.548
Valor Final Hall (C)	782	768	757	795	802	780.8	18.593
Valor Inicial Hall (A)	782	767	757	794	803	780.6	18.876
Delta Hall (C a A)	0	-1	0	-1	1	-0.2	0.837
Valor Final Hall (A)	130	132	131	128	129	130	1.581
Tiempo de Cierre (C)	2.94	2.87	3.04	4.96	4.7	3.702	1.036
Tiempo de Apertura (A)	3.81	5.96	1.92	4.41	4.2	4.06	1.449

**Datos apertura y cierre completo****Primer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	91	92	91	91	91	91	91	90	94	92	94	90	93	92	91	94	92	92	92	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
H_value	101	102	101	101	100	101	102	101	102	104	104	103	102	102	101	102	101	101	102	101	101	101	919	920	920	920	919	920	918	918	917	916	916	913	915	915	913	913	912	912	913	911	910	911	910	910

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	91	90	91	91	90	91	91	92	95	93	91	95	91	92	93	91	92	94	91	91	93	91	91	91	91	91	92	91	91	92	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
H_value	766	765	766	766	766	766	766	765	766	766	766	766	765	765	765	768	767	765	767	766	767	766	766	766	766	766	766	766	766	766	767	765	766	766	767	767	766	765	766	766	767	766	767	766	767	766

**Segundo Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440			
F_value	91	92	91	91	91	91	91	91	91	95	92	93	91	92	91	92	92	90	92	91	91	91	91	91	91	91	91	90	91	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	92
H_value	131	130	131	130	132	130	131	130	130	132	132	133	132	132	132	131	132	129	128	129	128	129	131	128	130	128	129	129	129	128	127	127	126	125	125	124	123	123	124	123	122	123	122	123	122	121	121

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440				
F_value	91	91	91	91	91	91	90	91	91	93	91	93	91	92	92	90	92	91	91	91	92	91	91	91	91	91	91	90	91	91	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
H_value	729	728	728	728	728	728	728	728	728	729	727	728	727	728	727	728	727	728	728	728	726	728	728	727	727	728	727	727	729	728	729	728	727	728	727	727	727	727	727	727	727	728	727	728	727	728	728	

**Tercer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440					
F_value	92	90	90	91	91	91	90	90	91	94	92	94	92	92	93	91	92	92	92	92	91	91	91	90	92	92	92	93	94	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	
H_value	131	130	130	130	129	130	131	131	131	131	131	131	131	130	131	131	130	130	129	128	129	128	129	128	128	128	128	128	127	126	127	126	124	123	122	122	121	119	119	119	118	117	118	118	118	118	118	118	118

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440					
F_value	91	91	91	91	91	91	91	91	90	91	93	92	93	91	93	92	93	92	90	92	91	91	90	91	91	91	91	90	91	90	91	91	91	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	92
H_value	735	735	735	735	735	735	735	735	735	736	735	735	735	735	735	735	736	735	736	735	736	735	736	736	736	736	736	735	736	736	735	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736

**Cuarto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440				
F_value	92	90	91	91	91	90	91	90	91	91	93	93	93	91	92	92	92	92	92	90	91	91	91	91	90	91	90	90	91	91	91	91	91	91	92	91	91	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91
H_value	142	142	141	142	141	142	142	142	142	144	144	143	143	144	144	145	143	143	143	143	142	142	143	142	141	142	142	141	142	141	142	141	142	141	141	141	141	141	142	140	141	141	141	141	141	141	141	141

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440					
F_value	92	91	92	91	92	91	91	91	90	93	93	91	92	91	91	91	94	93	92	91	91	91	92	91	91	91	91	91	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	92
H_value	728	727	727	728	727	728	728	728	728	728	730	728	727	728	730	730	727	728	728	729	727	728	729	728	728	728	728	729	728	728	728	728	728	728	729	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728

**Quinto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440				
F_value	91	90	91	91	91	92	91	91	91	91	92	92	92	90	92	90	92	91	90	92	91	91	94	91	92	91	92	92	90	90	91	91	93	92	92	91	92	91	92	91	92	91	92	91	91	91	91	
H_value	142	142	143	143	142	142	142	142	142	143	144	143	143	143	143	143	143	144	142	142	142	142	142	143	141	141	142	140	141	141	142	140	139	138	140	140	140	140	140	140	140	140	139	139	137	136	136	136

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440				
F_value	90	91	91	91	91	90	91	90	91	97	92	90	92	92	91	92	92	91	90	92	92	92	90	91	91	91	92	91	91	91	92	91	91	91	91	91	90	91	91	92	92	91	91	91	91	91	91	91
H_value	773	772	772	773	772	772	772	772	772	772	773	772	773	772	773	773	773	773	773	773	773	773	772	773	773	772	772	772	772	772	773	772	773	772	773	772	773	772	773	774	776	777	777	777	777	778	777	777

























4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 91 91 91 91 91 91  
735 736 734 735 736 735 735

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 91 91 91 91 91 91  
130 130 131 130 131 130 130

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 92 91 92 91 91 91  
761 762 761 761 759 760 760

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 92 91 91 91 91 91  
898 899 899 900 901 901 902

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 91 90 90 91 92 91  
734 735 735 734 734 735 734

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 91 91 91 92 92 92  
100 100 100 102 102 103 102

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
92 91 91 91 90 90 91  
794 793 793 791 791 791 790

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
92 92 91 91 91 91 91  
896 897 897 897 898 899 899

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
91 91 91 91 91 91 91  
776 775 775 774 774 774 774

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010  
92 91 91 91 91 90 91  
131 131 130 131 131 130 131



**Datos agarre mouse****Primer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	90	91	91	92	91	91	90	91	91	93	90	92	94	92	91	92	91	91	91	91	91	91	91	90	90	92	91	91	91	91	90	90	91	91	91	91	91	90	91	90	91	91	91	91	91
H_value	100	100	100	101	101	100	100	100	100	101	102	103	102	100	103	101	102	101	101	101	100	100	100	99	100	100	921	100	921	100	920	919	917	917	915	915	915	914	913	913	913	912	913	911	911

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	264	264	264	263	263	264	264	264	263	266	267	265	261	265	263	262	262	263	262	262	262	262	262	262	261	261	260	260	258	257	256	255	253	253	254	252	253	252	252	252	251	251	251	251	
H_value	734	735	736	735	734	735	735	735	735	736	736	736	735	736	735	735	735	736	736	735	735	735	735	735	735	735	735	737	737	737	735	737	736	737	736	737	736	738	737	737	737	737	737	738	737

**Segundo Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	91	91	91	91	91	91	91	90	92	91	92	93	91	94	91	92	91	91	91	92	90	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	90	92	91	90	90	91	91	91	91	91	92	92	91	91
H_value	131	130	131	130	130	130	130	131	130	132	131	130	131	131	132	131	132	131	131	131	130	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	127	126	126	125	125	125	124	124	123	123	

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	258	258	258	258	258	258	258	258	258	262	260	258	260	259	257	257	259	259	259	259	258	258	259	257	258	258	258	257	257	255	254	253	253	252	252	253	251	252	251	252	251	252	251	252	251
H_value	735	735	735	734	735	735	735	734	734	735	736	736	734	735	735	735	735	736	735	736	735	735	735	736	735	735	735	735	736	736	737	736	736	737	737	737	737	736	736	737	737	737	737	737	737

**Tercer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	91	91	92	91	91	91	91	90	90	92	93	94	92	94	93	92	92	92	94	92	90	91	91	91	91	90	91	92	91	91	91	92	91	90	92	92	92	90	91	92	91	92	91	91	
H_value	130	129	130	130	130	130	130	130	130	130	131	131	130	131	131	131	131	130	129	130	129	128	128	128	128	128	128	128	128	128	129	128	128	127	127	128	127	125	126	125	125	125	124	124	125

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
F_value	244	243	243	243	243	243	244	243	243	245	243	245	243	243	243	242	242	244	244	243	242	243	243	243	242	242	242	242	242	242	241	241	241	241	240	240	240	240	241	240	240	241	241	240
H_value	735	735	736	735	735	735	735	737	735	735	737	735	736	736	736	735	735	736	736	736	735	735	736	736	735	736	736	736	736	736	736	737	736	736	736	737	738	736	736	737	737	738	736	737

**Cuarto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	91	90	91	92	91	91	91	91	90	94	92	92	92	92	93	92	92	90	93	90	90	91	91	90	91	91	90	91	90	91	91	91	91	90	91	91	91	91	91	91	92	91	91	91	
H_value	130	130	130	130	131	131	130	131	130	131	133	132	132	133	132	131	131	129	129	131	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	126	126	126	126	125	126	125	125	125	124	124

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
F_value	226	226	225	226	226	226	225	226	226	229	227	226	228	227	226	226	225	226	227	227	226	227	227	227	228	228	228	227	226	225	222	220	219	219	217	217	217	216	215	216	216	215	216	216
H_value	734	735	735	734	735	735	735	736	735	735	735	735	736	735	735	736	735	735	734	735	735	735	736	736	735	736	736	736	736	736	736	737	736	736	736	736	736	736	737	737	736	737	737	736

**Quinto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
F_value	91	90	91	90	91	91	91	92	92	90	93	93	92	91	91	93	91	93	92	94	91	91	90	91	91	91	90	90	90	91	91	91	92	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	91
H_value	129	129	129	129	129	129	130	129	130	131	131	130	132	131	130	130	130	130	130	129	127	126	126	126	126	127	126	126	127	126	127	126	126	125	125	126	124	125	124	123	123	123	123	123

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
F_value	259	260	261	260	260	260	260	260	260	261	262	262	260	260	260	261	261	260	261	261	260	260	260	260	261	260	260	260	259	259	257	256	255	254	253	253	252	252	252	252	252	252	251	252
H_value	735	735	736	735	735	736	735	736	735	736	735	736	735	736	736	735	734	735	736	735	735	735	735	736	736	735	735	736	737	736	736	737	736	736	736	736	737	737	737	736	737	737	736	

























4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
143 149 153 155 157 159 160 164 164 166 167 166 167 168 168 170 170 171 171 172 174 176 178 179 181 182 183 185 187 188 190 193 194 196 195 196 197 198 199 202 203 205 206 209 211  
751 751 750 749 749 748 749 748 748 747 747 747 746 746 746 746 746 746 744 744 744 744 744 743 743 743 743 742 742 742 741 741 741 741 740 740 740 739 739 739 739 738 738

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 91 91 91 92 91 92 92 91 91 90 91 91 90 92 92 91 92 91 92 90 91 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
910 911 912 913 914 913 914 914 915 915 915 915 916 916 917 917 917 918 918 918 918 919 919 919 920 100 101 101 101 103 102 103 103 103 104 103 104 105 104 105 105 105 107 106 106 107 108

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
97 98 98 99 100 100 100 100 101 101 101 101 101 101 101 101 99 99 97 96 95 95 95 94 93 92 91 92 92 92 92 91 91 91 91 93 94 93 94 94 95 95 94 94 95 95  
766 765 766 765 764 764 764 764 764 764 764 764 763 764 763 764 764 763 764 764 764 764 763 764 763 764 763 763 763 764 764 763 764 764 763 764 763 763 764 765 764 763 764 763 764 763

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 92 91 91 91 92 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 92 92 90 92 91 91 90 91 91 92 91 92 91 91 91 91 92 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
911 911 911 911 913 914 913 914 915 915 914 916 915 916 918 917 917 917 917 918 918 919 919 920 920 101 101 101 102 101 102 103 103 102 103 103 104 103 104 105 105 106 106 106 106 106 107

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
90 91 91 90 92 90 91 91 90 91 91 92 92 94 97 100 100 100 100 101 100 99 97 97 95 95 95 95 94 94 94 93 93 93 93 92 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 91 91  
767 767 766 766 765 765 765 764 764 764 764 763 762 762 762 761 760 761 761 761 761 761 761 760 761 761 761 761 760 760 761 760 760 761 760 761 760 760 761 760 760 760 760 760 761

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 92 91 91 92 92 92 92 90 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 92 90 91 91 92 91 92 92 90 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
909 910 911 911 912 913 914 914 915 916 915 916 915 916 916 916 918 917 917 917 919 918 918 919 920 921 100 100 101 101 102 102 103 103 102 104 103 103 105 105 106 106 106 107 107 108

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 91 91 91 92 91 91 91 91 92 91 92 92 91 92 92 93 96 98 100 100 101 102 103 103 103 102 103 102 102 102 101 101 101 101 101 100 100 99 100 99 99 99 98  
768 769 768 767 767 766 766 766 766 766 765 765 764 763 763 763 763 762 761 761 762 761 761 760 761 761 762 761 761 761 762 761 761 761 761 761 761 761 760 761 761 761 761 761 761

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 92 92 91 91 90 90 92 92 91 90 91 92 92 92 91 91 92 91 92 92 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 92 91 92 91 92 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
910 912 912 913 913 914 915 915 915 915 915 916 917 917 917 917 918 919 918 919 920 920 101 101 101 101 102 102 102 103 102 103 103 104 104 105 105 106 106 107 107 108 109 108 109

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
99 101 100 100 101 100 102 101 101 100 101 100 99 98 98 99 98 98 97 96 96 95 96 95 96 96 97 96 96 95 95 95 95 94 94 94 95 94 94 94 95 94 94 95 95 95 95  
765 766 765 766 765 766 766 766 766 765 765 766 766 766 766 766 765 765 765 765 765 765 766 765 765 766 766 766 765 765 766 766 766 766 766 766 766 766 765 765 765 765 766 765

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 92 91 91 90 92 92 91 91 91 91 91 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
911 911 912 912 913 914 914 915 914 915 915 915 916 916 917 918 917 917 918 918 919 919 920 101 101 101 100 101 102 102 103 102 103 103 104 104 104 105 105 106 107 107 107 108 108 109















**Datos agarre madera****Primer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	90	91	91	91	91	91	91	91	90	91	92	91	92	93	94	93	92	91	91	92	91	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	92	91	91	91	90
H_value	130	129	129	130	129	130	130	130	129	131	132	130	130	130	130	130	130	129	129	128	129	127	127	128	128	128	127	127	127	127	127	127	125	126	125	125	125	125	124	124	124	124	123	123	123

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	164	164	164	165	165	164	163	164	164	166	167	166	167	166	164	165	167	169	168	167	165	164	165	164	163	163	163	164	163	163	163	164	163	163	163	164	163	164	163	164	164	165	165	164	164	165
H_value	735	735	734	736	734	734	736	735	734	736	735	735	735	734	735	735	734	735	735	735	736	736	736	736	736	735	737	735	735	736	736	736	737	737	736	736	736	736	735	736	736	736	736	735	735	735

**Segundo Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	91	91	90	91	90	90	91	91	90	92	93	91	93	93	92	92	91	93	91	93	91	91	91	91	91	91	90	90	91	91	91	91	91	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	92	91
H_value	130	131	130	130	130	130	131	130	130	133	133	132	132	132	130	132	132	131	131	128	129	129	129	129	129	129	129	128	128	129	128	128	129	128	128	130	129	128	127	128	127	126	127	125	125	

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	186	187	186	186	186	186	186	185	185	190	188	188	184	185	186	187	186	186	187	184	185	185	185	185	185	185	186	185	185	185	186	185	185	185	185	186	186	187	187	186	187	186	186	186	187
H_value	735	735	735	735	735	736	736	735	735	735	736	736	735	735	736	735	735	736	734	736	735	735	736	736	736	736	736	736	736	735	736	736	736	735	736	736	736	735	736	737	736	736	736	736	736

**Tercer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	91	91	92	91	91	90	92	91	91	90	92	91	91	92	93	92	91	93	91	91	90	91	91	90	91	91	91	91	90	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	91	92	91
H_value	100	100	100	101	100	101	100	100	100	103	101	101	102	101	101	101	102	100	100	101	921	920	920	920	921	920	920	920	921	920	919	919	918	915	916	914	914	914	914	914	914	914	913	912	912

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	111	110	111	111	111	111	111	111	110	113	114	110	113	112	111	111	111	111	112	110	111	111	110	110	110	111	110	111	110	110	110	111	111	111	111	112	111	112	111	112	111	112	111	112	111	
H_value	734	734	734	733	734	733	733	733	734	734	734	733	734	734	734	734	734	734	734	733	734	734	734	734	735	734	734	734	735	735	734	735	734	735	734	734	734	734	734	734	734	735	734	735	734	734

**Cuarto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	91	90	90	91	91	91	91	91	91	92	92	90	92	92	92	92	92	91	91	90	91	90	90	91	91	90	91	91	90	91	90	91	91	92	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90
H_value	130	131	131	131	131	131	131	130	132	131	132	132	132	132	132	132	133	131	131	129	129	129	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	127	127	126	126	125	125	125	125	125

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	161	162	162	161	161	162	161	162	161	163	163	164	162	164	160	162	162	163	161	162	161	161	161	161	161	162	160	160	160	161	161	160	161	161	160	161	160	161	160	161	161	160	161	161	160
H_value	735	736	735	736	735	735	736	735	735	736	736	735	736	735	736	736	735	736	736	736	736	736	736	736	736	737	737	736	737	736	736	736	737	736	737	736	737	736	736	737	736	736	736	736	736

**Quinto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	91	91	90	92	91	91	90	90	91	93	92	92	92	91	92	91	91	92	91	91	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	92	91	90	91	92	91	91	
H_value	131	130	130	130	130	130	130	131	131	132	131	131	131	130	131	131	131	131	131	129	128	128	128	128	128	128	129	127	128	127	128	127	127	127	128	127	127	126	126	125	125	125	125	125	124

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	
F_value	174	174	174	174	175	174	175	174	173	175	175	175	177	172	175	176	175	175	174	173	173	174	174	174	173	173	173	172	172	172	172	171	172	172	172	172	172	172	172	171	172	172	172	171	
H_value	735	735	734	734	735	734	735	735	734	735	736	735	735	734	735	736	734	735	735	735	736	735	735	735	735	735	735	736	736	735	736	735	736	735	736	735	736	735	735	735	735	735	736	736	736

























4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 91 91 91 91 92 92 91 91 91 93 91 91 91 92 91 90 91 91 91 91 91 92 91 92 91 91 91 92 92 92 90 91 91 92 92 92 94 96 97 98 98  
766 766 765 764 765 764 764 763 763 762 761 762 761 761 760 759 759 759 759 759 758 758 758 756 756 756 755 755 755 754 753 754 754 753 753 752 752 751 751 751 750 750 749 750 749

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 90 92 91 92 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 90 92 91 91 92 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
916 916 917 918 917 918 919 919 919 919 919 921 100 101 101 101 102 102 102 102 103 104 103 104 104 104 105 106 106 108 109 110 110 110 109 111 110 110 111 112 112 112 112 112 113

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 92 91 91 91 92 91 90 92 92 92 91 90 90 92 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 92 91 91 91 92 92 91 94 94 93 94 96 98  
766 767 766 765 765 765 764 764 763 762 763 762 761 761 760 760 760 760 760 760 759 759 758 758 757 757 755 756 755 755 755 755 754 753 753 753 752 752 752 751 751 751 750 750 750

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 91 91 91 91 92 91 91 91 92 90 91 91 91 91 90 91 92 91 90 91 92 91 92 90 92 92 90 92 91 91 91 90 91 91 90 92 91 91 90 91 91 91 91  
916 916 916 916 917 917 917 919 919 920 920 920 89 101 100 101 102 102 101 102 103 104 104 105 105 105 106 106 107 107 107 108 108 109 109 109 109 109 109 110 111 111 112 112 112

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 91 91 95 96 98 98 100 100 99 99 99 100 101 100 100 100 100 101 101 101 101 101 100 100 100 100 100 100 101 100 100 101 101 101 101 101 101 101 101 101 101  
740 740 739 739 738 739 738 738 737 737 736 736 736 737 736 736 737 736 736 736 736 736 737 736 737 736 737 736 736 736 737 736 736 736 736 736 736 736 736 737 737 736 736 737

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 92 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 90 92 90 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
906 907 908 908 909 910 910 911 911 912 912 913 914 914 914 915 915 916 916 916 917 917 918 918 918 918 919 919 919 921 100 101 102 102 102 102 102 102 104 103 102 104 105 104 105

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 91 91 91 91 91 90 91 91 90 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 91 91  
768 767 766 767 765 765 765 764 764 764 763 763 763 761 762 762 761 761 761 760 759 758 758 757 757 757 757 756 756 756 755 754 755 754 754 753 753 752 752 752 751 750 751 751

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 92 91 91 92 90 91 91 91 92 91 91 91 91 92 90 91 91 91 90 92 91 91 92 90 92 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
905 904 905 906 908 908 909 910 909 910 910 909 911 911 911 912 914 914 914 914 914 915 916 916 916 917 916 916 917 916 917 918 918 918 919 919 919 920 921 101 101 101 101 102 101 102 103

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 90 91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 90 91 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91  
770 769 770 768 768 768 768 767 767 766 766 767 766 765 765 765 765 764 763 763 763 763 763 762 761 760 760 760 760 759 759 759 758 758 757 757 757 756 756 756 756 754 755 754 754

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 90 91 90 91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 92 91 90 92 91 91 92 91 91 91 90 91 90 91 91 91 91 92  
913 914 914 914 915 914 916 916 916 916 917 917 917 918 918 918 919 920 921 101 101 101 101 101 101 103 102 103 102 103 104 104 104 105 105 106 107 107 108 108 108 109 109 110 110



5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
105 104 105 105 105 106 105 107 105 107 106 107 107 107 108 109 109 108 110 113 115 119 121 124 126 129 131 133 135 137 140 143 146 148 149 151 153 153 155 155 155 156 156 157  
749 749 749 749 749 749 748 750 751 749 750 747 747 746 746 745 743 744 742 741 743 742 740 739 739 739 738 737 737 736 737 735 736 735 735 734 735 734 736 735 735 735 735 735

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
91 91 90 90 91 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 90 90 92 92 91  
129 130 130 130 130 131 130 130 131 131 130 130 130 130 130 130 130 130 131 131 130 130 130 130 130 131 131 130 131 130 131 131 130 131 131 130 130 131 130 130 130 131 130 131 130 131 130

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
105 104 104 105 105 103 104 104 106 105 104 105 107 109 112 115 121 123 124 125 129 130 134 137 142 146 150 152 156 160 163 165 167 168 170 170 172 172 173 174 175 175 176 177 176  
749 749 749 748 749 750 748 749 749 750 749 748 747 747 746 746 746 745 744 742 742 742 741 741 740 740 739 739 738 738 737 737 738 737 736 735 735 736 735 735 735 735 735 735 735 735 735

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
91 93 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91  
128 129 130 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 130 129 129 130 130 129 130 130 130 129 130 129 128 129 130 129 130 130 129 129 130 129 129 130 129 129 129 130 130 128 129

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
110 110 110 111 110 110 110 110 110 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 110 110 111 111 110 110 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111 111  
733 734 734 733 733 733 733 734 734 734 734 734 734 734 734 734 733 734 733 734 734 734 733 734 734 733 734 734 733 733 733 734 734 734 734 733 733 733 734 734 734 734 733 733 733 734 734 734

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
90 91 91 90 91 90 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
121 121 122 122 123 123 124 124 124 125 125 126 126 126 127 127 128 129 128 129 128 131 130 130 130 130 130 130 130 131 130 131 131 130 131 131 132 131 130 131 131 131 131 131 131 131 131

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
106 106 107 107 106 106 106 106 106 106 106 106 106 106 106 106 109 104 106 107 115 114 119 120 119 121 121 122 123 124 125 127 128 130 133 135 137 140 143 145 146 148 149 150 150  
747 747 747 747 747 747 747 747 748 747 747 748 747 747 748 747 746 747 748 746 745 745 744 743 743 743 743 741 741 740 739 738 738 737 737 737 735 736 735 736 735 735 735 735 736 735 735

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
90 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 92 91 90 91 91 92 90 92 92 91 90 91 91 91 91 91 91 90 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
120 120 120 121 121 122 123 124 124 123 125 124 125 125 125 126 126 126 126 127 127 128 128 128 129 128 129 130 129 130 130 130 130 131 130 129 130 130 130 130 131 130 129 130 130 130 130 130 129 130

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
101 101 102 101 102 102 102 101 102 102 102 102 101 102 102 103 101 102 102 102 102 102 102 101 101 101 101 102 101 102 102 107 103 103 105 105 110 110 113 116 116 119 118 119 120  
747 748 748 748 748 748 747 748 748 747 747 748 747 747 748 749 748 747 748 748 748 748 748 748 748 747 747 747 747 749 748 748 748 748 747 748 746 745 744 744 743 743 744 744 742 741

5850 5860 5870 5880 5890 5900 5910 5920 5930 5940 5950 5960 5970 5980 5990 6000 6010 6020 6030 6040 6050 6060 6070 6080 6090 6100 6110 6120 6130 6140 6150 6160 6170 6180 6190 6200 6210 6220 6230 6240 6250 6260 6270 6280 6290  
90 92 92 90 90 90 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
126 126 126 126 127 126 127 126 126 126 127 127 128 129 130 130 129 130 130 130 129 129 130 129 130 129 130 130 130 129 130 130 129 130 130 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 130 130 130





















9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
161 161 161 161 161 161 161 161 161 161 161  
735 735 735 735 734 734 735 735 735 734 735 734

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91  
131 131 131 131 130 130 131 130 131 131 130 130

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
182 182 181 180 181 181 181 181 181 180 181 182  
735 735 736 736 734 735 735 735 736 735 735 736

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
92 91 90 90 91 91 91 91 91 90 91 91  
129 130 129 130 129 130 129 129 129 130 130 129

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
112 111 111 112 112 111 111 111 112 111 112 111  
733 733 734 733 733 734 733 733 733 734 733 734

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
91 90 91 91 91 90 90 90 92 91 91 91  
132 131 130 131 130 130 131 131 131 132 130 131

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
155 156 156 156 156 157 156 156 157 156 157 156  
735 735 736 736 735 735 735 735 735 736 735 735

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91  
129 130 130 130 130 130 130 130 130 131 130 130

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
169 168 168 167 167 168 168 168 169 168 168 168  
734 734 735 735 734 734 735 734 734 734 735 734

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 #####  
91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91  
129 129 129 130 131 130 130 130 129 129 130 130



**Datos agarre esponja****Primer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440				
F_value	91	91	90	91	91	90	92	91	91	93	92	94	93	91	90	91	90	91	92	91	91	90	91	91	91	91	91	91	90	91	91	91	90	91	92	91	91	92	91	92	91	92	91	91	91			
H_value	130	130	129	130	130	130	129	129	130	132	131	131	130	130	131	132	131	129	130	127	128	128	129	128	128	127	127	127	127	127	127	127	127	128	127	127	127	128	127	127	128	127	126	126	126	125	125	124

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	91	91	90	91	92	91	90	91	93	93	92	92	92	92	93	92	91	92	91	92	91	92	91	91	90	91	91	91	91	91	90	90	90	90	91	91	91	91	90	92	92	92	92	92	90
H_value	735	734	735	734	735	734	735	735	734	735	735	734	735	735	735	736	735	734	735	734	734	735	734	734	734	735	735	735	735	735	735	735	736	735	736	736	736	736	736	736	737	737	736	737	737	737

**Segundo Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440			
F_value	91	91	91	91	91	91	90	91	91	93	92	93	91	92	93	91	91	92	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	92	91	91	91	90	92	92	91	92	91	92	91	91	
H_value	129	130	129	129	130	130	130	129	130	131	131	131	131	131	132	132	130	130	131	129	128	128	129	127	128	128	128	127	128	127	128	128	128	127	128	127	127	127	126	126	126	125	124	124	124	124	124

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	91	92	92	92	91	91	91	92	93	93	92	93	93	91	92	92	91	92	91	90	91	90	91	91	91	91	91	92	91	91	91	91	90	92	91	91	91	92	90	91	91	92	90	91	91
H_value	735	735	735	735	736	735	735	735	735	736	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	736	736	736	736	735	735	736	735	735	736	736	736	736	736	736	736	737	737	736	736	737	737	737

**Tercer Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	91	90	91	91	91	91	92	91	91	92	91	93	93	92	91	92	92	94	93	91	90	91	90	91	91	91	90	90	90	91	91	91	90	90	91	91	91	92	92	91	90	91	92	91	91	
H_value	129	129	129	129	129	129	129	128	129	130	129	130	130	132	129	130	129	130	128	128	127	127	127	126	126	126	126	126	127	126	125	126	125	125	125	125	125	125	125	124	124	124	124	123	123	123

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440				
F_value	92	92	93	93	92	92	93	92	93	93	95	92	95	96	93	94	94	94	92	92	93	92	91	92	92	91	93	91	92	92	91	92	91	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	93	92	92		
H_value	734	735	734	734	734	735	734	734	734	734	735	734	734	735	734	735	734	735	735	734	734	735	734	734	734	734	735	736	735	735	736	735	735	736	736	736	736	736	736	736	736	735	736	736	735	737	736	737

**Cuarto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440			
F_value	91	91	92	91	90	91	91	91	91	92	93	92	94	92	91	92	92	94	91	91	91	90	91	91	91	91	90	91	91	91	91	91	91	91	90	90	91	91	91	92	91	90	91	91	91		
H_value	129	129	128	130	130	129	128	129	129	131	129	130	130	129	128	129	130	129	130	128	128	127	127	126	126	126	127	127	126	126	126	126	125	124	124	123	124	124	124	124	124	124	124	124	124	123	123

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440			
F_value	106	105	106	105	106	106	106	105	106	108	108	107	105	106	106	105	106	105	106	105	105	105	104	104	105	105	105	105	105	105	105	105	105	104	105	105	105	105	105	105	104	105	105	104	105	104	105
H_value	736	735	735	735	735	735	735	735	735	737	735	736	735	735	735	735	734	735	736	734	735	735	735	734	735	736	736	736	735	735	736	735	736	736	736	736	736	736	736	736	736	736	737	736	736	736	736

**Quinto Ensayo****Cierre**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440			
F_value	91	91	91	91	91	91	91	91	90	93	92	93	91	92	93	92	91	92	91	91	91	91	91	91	91	91	90	90	91	90	91	90	91	91	91	91	91	91	91	91	92	91	90	91	91	90	
H_value	130	130	130	129	130	129	129	129	129	132	131	133	131	131	131	132	131	131	130	129	129	127	128	127	128	127	127	127	128	127	128	127	126	127	126	126	126	126	125	125	124	125	124	125	124	125	124

**Apertura**

Tiempo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440		
F_value	110	110	110	110	110	111	110	109	110	112	112	109	112	109	110	110	111	112	111	109	108	109	108	109	109	108	109	108	108	108	108	108	108	108	108	109	109	109	109	109	110	109	110	109	111	
H_value	734	734	735	735	735	735	735	735	735	737	735	735	734	735	736	736	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	734	735	736	735	736	736	737	736	736	736	736	736	737	736	736	737	736	737	736	737

























4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
90 92 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 90 91 91 92 92 91 92 90 92 90 91 91 91 92 90 91 91 90 91 91 91 92 91  
776 775 775 774 774 774 774 774 772 773 772 773 772 771 771 770 771 770 769 769 769 769 768 769 768 768 766 766 766 767 765 766 764 764 764 763 763 763 762 762 761 761 761 761 759

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 92 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
906 906 906 906 906 907 908 909 910 909 911 911 912 912 913 914 915 915 914 915 915 916 916 917 917 918 917 918 918 918 919 920 921 100 100 101 101 102 102 102 102 102 102 103 103 103 103 104

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 90 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 92 91 92 91 92 91 91 92 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
776 775 774 774 775 774 773 773 774 772 772 772 772 772 771 772 771 771 771 770 770 769 769 769 769 768 768 767 767 766 766 766 765 764 764 763 763 762 762 762 762 761 760 760 760

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 92 91 90 92 91 91 91 90 91 91 92 91 91 91 90 92 91  
905 906 906 907 907 907 907 908 909 910 911 912 911 912 912 913 914 914 915 916 916 915 916 916 917 917 917 917 918 919 919 920 919 920 100 101 102 102 100 102 103 103 102 103 103 102 103 104

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 92 91 91 91 92 92 92 92 92 92 92 92 91 91 91 92 92 91 92 91 92 91 92 91 91 91 92 92 93 91 92 92 92 92 92 91 93 92 91 92 91 92 91 92 92  
775 775 775 774 775 774 774 774 774 773 774 773 772 772 772 771 771 770 771 770 769 770 769 769 768 768 768 767 767 766 766 765 765 765 766 764 764 763 762 762 762 762 760 760

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 92 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
902 902 904 904 905 905 907 906 906 906 907 908 908 909 910 910 911 911 911 912 912 913 914 914 915 915 915 915 916 916 917 918 917 917 917 917 917 917 918 920 919 921 920 100 100 101 101

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 91 91 91 90 91 91 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 94 93 93 93 93 93 94 95 97 99 100 101 101 101 101 102 101 101 102 101 100 97 98 97 96 95 95 95 95  
769 770 769 770 769 768 768 767 767 767 767 766 766 765 765 765 765 764 763 763 762 763 762 761 760 760 760 759 759 758 759 759 758 759 758 758 758 759 758 758 759 759 759 759 758 758 758 759

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
91 90 92 91 92 92 90 92 90 92 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 92 90 92 92 91 91 91 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
906 906 907 907 908 910 910 911 912 912 913 914 914 915 915 915 915 916 916 916 917 917 919 918 919 918 919 918 919 920 921 101 100 102 101 102 102 102 102 102 102 103 103 103 103 103 104 105 105

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
100 101 100 100 100 100 101 100 101 100 101 100 100 100 100 101 101 100 100 100 100 100 100 100 100 100 101 101 101 102 101 101 101 102 101 102 101 102 101 102 102 102 102 102 102 102 102 102  
770 771 770 770 769 769 769 770 769 770 770 769 770 770 770 769 770 769 770 769 770 770 769 769 769 769 769 769 770 770 769 769 769 770 770 769 769 769 769 770 770 770 770 770 770 770 770

4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270 5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390  
92 92 91 92 91 92 91 91 91 91 91 90 91 91 90 91 91 92 92 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
907 908 908 909 909 911 911 911 912 912 914 914 914 914 914 915 916 917 917 917 919 918 918 918 919 919 921 100 101 102 101 102 102 102 102 103 103 103 104 104 105 105 106 105 105 108

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 90 90 91 91 92 92 91 90 92 91 92 91 92 93 92 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 92 90 91 92 91 91 91  
760 759 758 758 757 757 758 757 756 756 755 755 755 755 754 754 753 753 752 752 752 752 751 751 750 750 749 750 749 749 748 749 747 748 748 747 746 746 746 746 746 745 745 745 745

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
92 90 91 91 90 91 91 90 90 91 91 90 91 90 91 92 92 92 91 91 91 91 90 91 91 92 92 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
104 104 105 105 107 107 107 108 108 108 109 108 109 110 110 110 111 111 112 111 112 112 112 113 113 114 114 114 115 114 116 115 115 117 117 117 117 117 118 118 119 118 119 118 119 120

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
92 91 91 92 92 92 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 92 92 91 92 92 92 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
759 759 759 759 759 758 757 757 756 757 756 755 755 755 754 753 753 753 752 751 752 751 751 751 750 750 750 749 749 748 748 748 747 747 746 746 746 746 746 746 745 745 745 745

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
91 92 90 92 92 91 92 91 91 90 90 91 92 91 91 91 91 91 91 91 92 92 92 91  
104 104 104 105 105 106 106 106 107 108 110 109 108 109 109 109 110 110 111 111 111 112 112 113 112 113 114 114 115 115 115 115 115 116 116 117 117 117 119 118 119 120 119 119 121

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
91 92 93 92 93 93 93 92 91 92 92 91 92 92 92 91 93 91 92 92 92 92 91 91 92 92 91 92 92 91 93 92 92 92 92 92 92 92 92 92 91 92 92 92 91  
760 759 759 759 758 758 757 757 757 756 756 756 756 755 754 754 753 753 753 752 752 752 751 752 752 751 751 751 750 750 749 749 749 750 749 748 747 747 746 748 747 747 746 748 747 745 746 746

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
91 91 91 92 91 92 91 91 92 91 91 90 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 91 92 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
101 102 102 103 102 103 103 103 104 104 105 105 107 109 109 109 110 110 110 110 111 110 111 111 112 112 113 113 113 114 114 113 115 115 115 115 115 116 117 117 117 117 118 118 118 118 119

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
94 95 94 93 94 94 93 93 93 94 93 94 94 94 94 94 95 95 96 97 98 101 102 104 105  
758 758 758 759 759 758 758 758 758 759 758 759 758 758 758 759 759 759 758 759 759 758 759 758 758 759 759 759 760 758 759 758 759 759 759 758 759 759 758 759 758 758 756 756 755 754

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
92 91 92 91 91 91 91 91 90 92 91 91 91 92 91 91 91 90 92 91 90 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
106 107 107 108 107 109 109 109 110 109 110 110 109 110 111 112 111 111 113 113 114 114 113 114 114 114 114 115 115 115 116 116 116 116 118 117 118 119 118 119 118 120 119 121 122 123 122

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
102 102 102 101 101 102 102 104 102 101 100 100 102 106 103 104 105 104 102 103 104 104 104 104 105 105 104 104 105 105 104 104 105 105 105 105 106 104 105 105 105 105 105 105 105  
770 769 769 770 769 770 769 769 770 769 769 768 768 766 766 766 765 766 764 763 761 760 760 759 758 757 757 756 755 754 755 755 754 755 755 754 753 753 753 751 751 752 750 751 750 750 750

5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750 5760 5770 5780 5790 5800 5810 5820 5830 5840  
90 91 90 92 91 90 91 92 90 91 91 90 91 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91  
108 108 108 108 108 110 110 109 111 111 111 111 112 112 113 113 113 114 114 114 115 115 116 116 116 117 116 117 116 117 118 117 118 120 120 119 119 119 119 120 121 121 122 123 124 124





















9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 90 91 91 90 91 92 91 91 91 91 91  
735 736 735 734 734 735 735 735 735 735 735 735

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 90 90 90 90 90 90 90 91 91 91 90  
129 130 130 129 129 131 130 131 130 129 130 129

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 91 91 90 91 91 92 91 91 91 91 91  
736 735 734 735 735 736 736 735 736 735 735 735

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 91 91 91 91 92 91 90 91 91 91 91  
129 129 129 129 128 128 129 129 128 129 129 130

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92  
735 734 734 734 735 734 734 735 735 734 734 734

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
92 90 91 91 90 91 91 91 91 90 92 90  
129 129 129 128 128 128 128 129 128 129 128 129

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
106 105 105 105 105 105 105 105 106 105 106 105  
735 735 735 734 735 734 735 735 735 735 735 735

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 91 91 91 90 91 90 90 90 91 91 91  
129 129 129 131 129 131 130 130 129 130 129 130

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
109 109 109 109 109 109 109 109 109 110 110 109  
735 735 735 735 735 735 735 735 736 735 735 734

9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 92  
129 129 129 129 129 129 129 129 129 130 129 129







480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
90 92 91 92 91 90 91 91 92 91 92 91 90 91 90 91 92 92 92 92 91 91 92 92 92 91 90 91 92 91 93 92 92 90 91 91 92 91 91 92 91 92 91 91 92 91 90 92 92 92 91  
118 117 116 116 116 114 115 114 113 111 111 110 108 108 108 106 105 104 103 102 101 99 921 919 918 917 916 917 915 914 914 913 912 910 910 908 908 906 906 905 904 903 901 900 901 900 901 899 897 898

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
229 225 226 223 224 224 223 223 221 223 222 222 221 223 222 222 222 221 223 222 222 222 222 221 222 222 222 221 220 221 219 218 217 216 215 214 212 209 207 205 200 197 192 187 184 180 176  
740 738 741 739 740 739 740 740 740 740 740 740 740 739 739 740 740 740 740 740 740 741 739 739 740 741 739 740 740 742 742 741 742 743 742 744 745 745 746 746 747 749 749 750 751 752 752 752 753

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
91 91 92 91 91 91 91 93 91 92 92 92 90 93 91 93 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 93 91 91 92 91 92 92 91 91 92 92 91 91 92 91 92 91 92 91  
120 119 119 117 117 116 115 114 112 113 111 110 110 109 108 107 107 106 104 102 103 102 100 920 919 919 918 917 916 916 915 914 914 912 912 912 911 911 910 909 909 908 908 907 906 907 905 907

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
173 173 172 172 172 172 173 172 170 171 171 172 173 172 170 171 171 171 172 171 171 170 171 171 170 171 171 172 170 171 169 169 169 169 168 166 165 163 163 160 160 158 156 151 145 139 137  
738 738 738 739 738 739 740 739 739 738 738 738 739 739 738 739 740 739 739 739 739 740 740 737 739 739 740 739 739 739 740 739 739 741 742 742 743 744 744 745 745 744 744 745 745 747 748 748 750 751 751

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
122 121 121 121 120 120 120 119 118 118 117 116 117 115 114 114 114 113 112 111 111 111 110 110 109 109 108 108 108 107 107 106 105 105 105 104 104 103 103 102 101 101 102 102 921 920 920 919 919

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
222 223 221 223 221 224 222 223 222 223 222 222 223 221 223 222 221 222 221 222 221 222 220 217 216 215 214 213 212 211 209 206 203 200 199 196 191 190 186 181 177 174 172 166 164 161 157  
739 740 739 740 741 740 740 740 739 740 739 740 740 740 740 740 741 740 740 741 740 740 739 742 740 741 741 742 742 743 743 743 742 744 744 745 745 746 747 746 748 749 750 750 751 752 752 752

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
93 92 93 92 92 92 92 92 91 93 92 93 91 92 92 91 92 92 92 91 92 92 92 93 92 92 91 91 92 91 92 92 92 92 92 92 91 91 91 91 90 92 91 91 92 91 90  
119 118 118 117 116 116 115 114 114 113 112 112 110 110 109 109 107 105 105 104 102 102 101 921 920 919 918 917 916 915 916 915 914 913 913 912 912 912 911 910 910 909 909 907 907 907 905 903

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
248 247 246 246 246 245 246 245 245 246 245 245 244 245 246 245 244 244 244 245 245 244 247 244 244 244 244 245 243 241 241 240 238 239 237 237 235 234 232 231 231 229 230 226 224 223 219 219  
739 739 739 738 739 738 739 739 739 739 740 739 739 739 739 739 739 739 739 739 739 740 740 740 741 739 740 740 740 740 740 742 741 741 741 742 741 742 741 743 743 742 743 743 742 743 743 744 745 744

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 92 91 92 91 91 91 91 91 91 90 91 91 90 92 92 91 91 92 92 92 90 91 92 91 91 91 91 90 92 91 91 92 91 91 91  
110 111 109 109 109 108 109 108 107 107 107 106 106 106 105 105 104 105 104 103 104 104 101 101 102 101 100 920 920 920 919 918 920 919 918 917 918 916 916 915 914 914 915 914 914 915 913 914 913 912 912 912

480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950  
283 283 281 282 281 280 280 278 279 279 279 279 278 279 278 278 278 278 276 277 277 276 276 274 274 274 274 274 272 272 272 271 270 270 269 266 265 263 261 260 259 257 256 257 254 254 254 253  
741 742 741 742 742 742 742 742 742 743 743 742 743 743 742 743 743 743 743 743 743 743 743 742 743 743 743 743 744 743 743 743 743 744 745 744 745 744 745 744 745 745 744 745 745 744 744 745 745 745

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
90 90 91 91 91 92 92 91 91 90 92 92 92 91 91 92 91 91 92 91 93 91 92 92 91 91 92 91 91 91 91 92 91 92 91 91 92 92 91 91 92 92 93 91 91 90 91 92  
896 896 896 894 892 892 890 890 888 889 887 886 885 885 883 882 881 879 879 878 877 876 875 874 872 871 872 871 869 868 867 866 866 865 864 862 863 861 861 860 858 857 856 856 855 853 852 851

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
174 170 169 164 156 148 140 129 119 112 107 102 98 98 95 94 94 93 92 92 93 93 92 92 90 91 91 91 90 92 91 92 92 91 91 92 92 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
754 754 755 758 758 759 760 762 762 764 766 767 768 769 770 771 772 776 779 784 782 783 784 784 785 787 788 787 788 788 789 790 790 789 790 791 791 791 791 792 792 793 792 794 794 795 794 795 794 795 796 796

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
92 91 92 92 91 92 90 93 92 90 92 91 94 92 92 90 91 91 91 92 91 92 91 91 92 92 90 91 94 92 92 91 91 91 92 90 91 92 92 91 91 92 92 91 92 92 91 92 90 93 91  
904 904 904 904 901 901 900 900 898 896 897 896 896 896 893 892 891 890 890 889 888 887 886 885 883 883 882 882 881 879 877 877 876 876 874 873 873 871 871 869 869 868 867 868 866 866 864 863

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
131 127 122 115 109 104 100 99 96 96 94 94 93 93 92 92 93 92 91 93 92 92 92 92 92 93 92 92 91 91 93 92 93 94 91 91 93 91 92 92 92 92 93 91 92 91 92 91 93 93 92  
752 754 754 755 758 759 760 760 762 763 765 767 768 770 770 770 772 772 775 779 782 782 783 782 784 784 785 787 787 788 789 790 791 792 793 793 794 794 795 798 798 800 800 799 802 803 805

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
91 91 92 91 91 92 91 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 90 91 91 92 91 92 92 91 90 91 91 92 92 91 92 92 91 90 91 91 92 92 91 91 92 91 91 91 91 91  
919 918 918 917 917 917 916 916 915 915 915 914 915 913 913 912 912 910 911 911 910 909 909 908 908 907 907 906 906 905 905 906 905 904 904 904 904 903 902 902 902 901 901 900 900 900

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
157 153 152 149 145 140 135 127 123 118 111 104 102 99 96 96 93 93 93 93 91 93 92 92 92 93 92 91 92 92 91 92 92 92 91 92 92 92 93 91 91 91 91 91 92 92 92 92 91 91 92 92 92  
754 755 756 756 757 759 760 760 761 763 765 766 765 770 770 772 773 778 778 781 781 782 783 784 784 784 785 786 787 786 787 788 789 790 790 791 792 792 792 794 794 795 796 796 797 797 799 799 799 801

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
92 92 91 90 91 91 91 93 91 91 92 91 91 93 91 90 92 92 93 91 92 91 92 91 92 92 91 91 91 92 91 92 92 91 91 91 91 91 92 94 92 90 92 91 90 92 92 93  
903 903 901 901 900 899 900 897 896 896 895 894 893 893 890 890 890 889 888 886 886 886 885 883 882 881 879 880 878 877 876 875 875 875 873 871 871 870 870 868 869 868 865 866 865 863 863 862

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
216 213 212 208 203 201 197 195 193 194 191 189 188 186 184 184 184 183 183 183 182 182 181 182 184 181 183 183 183 183 183 183 182 181 181 177 171 163 155 148 140 132 123 117 110 105 101 99  
746 746 747 749 748 749 750 750 750 750 750 751 749 751 751 751 752 751 750 751 752 751 750 750 750 752 750 751 751 751 751 750 752 752 753 754 756 759 760 761 761 764 764 765 767 768 769 768

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
93 90 91 91 91 91 91 90 90 90 90 91 91 90 91 92 92 91 90 91 92 92 92 91 91 91 91 90 92 90 91 92 91 91 92 90 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
912 911 911 911 911 909 910 908 908 908 908 907 907 907 906 905 906 904 905 904 904 903 903 903 904 902 901 901 901 900 901 901 899 898 898 897 897 897 897 896 895 895 895 894 894 894

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
253 253 252 251 251 249 247 242 239 237 237 235 232 228 226 225 222 220 220 218 216 213 211 209 206 203 200 197 195 192 190 186 182 177 172 168 164 161 158 156 153 150 148 145 142 139 137 136  
745 745 745 746 746 747 746 747 748 747 747 748 748 749 750 749 751 751 751 750 753 752 752 752 754 753 754 754 755 755 756 758 757 757 758 759 758 760 760 760 761 761 761 761 762 762 762 763



1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 90 91 92 94 92 91 93 91 92 92 91 93 93 93 92 94 97 98 99 101 101 100 101 102 101 102 101 103 103 101 103 103 101 103 103 101 102  
 804 804 802 802 800 799 799 798 797 796 795 794 792 792 792 791 790 789 789 789 787 786 785 785 784 783 784 783 782 781 781 780 780 779 778 778 777 778 778 778 779 777 778 778 778 778 778 778 777 776

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 92 90 91 91 92 91 91 91 92 91 93 93 93 92 92 92 91 92 94 91 91 91 93 91 93 92 92 91 92 91 92 92 91 92 92 91 92 91 92 91 91 92 92 91  
 842 844 845 845 846 846 847 848 848 849 849 849 850 851 851 853 853 853 854 855 855 855 855 857 857 858 858 859 859 861 860 861 865 865 863 864 866 868 870 870 872 873 874 875 876 876 876 877 879 880

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 92 91 92 91 92 90 91 91 91 91 91 91 92 91 92 91 92 91 92 92 91 92 91 92 92 92 92 93 91 91 91 91 91 91 92 91 92 94 95 94 93 92 93 93 94 92 92  
 817 817 816 815 814 813 812 813 810 808 807 807 806 805 803 803 802 801 800 798 799 798 797 795 795 794 794 793 792 791 791 790 789 788 788 787 788 786 784 784 783 783 783 783 783 782 782 782 781

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 91 91 93 92 92 91 92 90 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 92 93 92 92 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 93 93 93 93 93 92 91 93 91 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 91 92 92  
 858 861 861 861 863 864 865 866 866 867 868 870 871 873 873 874 875 875 876 876 877 877 878 879 880 880 881 881 882 882 882 883 884 885 885 886 887 888 888 890 891 891 891 893 893 893 893 893 894 895 895 896

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 91 91 91 90 91 92 92 92 91 92 91 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 90 91 91 92 91 91 91 91 90 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91  
 872 872 871 871 870 870 869 869 868 867 867 867 866 866 865 864 864 863 863 863 863 861 860 860 860 860 859 858 858 858 857 857 856 856 855 854 854 854 854 853 853 852 851 850 850 849 849 848

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 91 91 92 91 91 92 93 91 92 94 91 91 92 93 92 94 91 91 90 92 91 91 92 92 90 91 90 92 91 92 91 93 92 90 92 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
 850 850 852 852 852 854 855 855 857 858 860 860 861 863 863 865 865 866 866 866 868 869 872 871 872 871 873 874 876 877 878 879 879 880 881 882 884 884 885 886 888 888 888 888 889 890 892 893 893 893 894 894 895 896

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 91 93 91 92 90 91 92 92 91 93 91 92 91 92 91 92 91 91 91 91 92 90 92 92 92 92 92 91 91 91 90 92 92 92 92 90 91 92 92 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
 818 817 815 816 815 814 813 813 810 811 809 808 806 806 805 804 803 802 802 801 800 799 798 798 797 797 795 795 795 795 794 792 791 792 792 790 790 791 789 788 789 788 787 787 786 786 785 784

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 92 91 90 91 92 92 91 91 92 92 92 93 91 93 91 91 92 92 91 91 93 92 91 91 90 91  
 795 797 796 797 799 800 801 800 802 803 805 805 804 808 809 810 812 814 815 816 816 818 818 820 820 823 824 823 824 826 828 828 829 829 831 832 833 836 836 838 839 840 840 841 843 843 843 843 845

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91  
 872 872 871 871 872 871 871 869 870 869 868 869 868 868 867 867 866 865 865 865 866 864 865 863 864 864 862 864 862 861 861 861 860 861 861 859 860 860 858 858 857 857 856 856 855 854 854 855 855 854 854 855 853

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
 90 91 91 91 91 90 91 92 92 91 92 92 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 92 92 92 91  
 786 786 787 787 788 788 789 789 790 790 790 790 791 791 793 792 793 793 793 794 796 795 795 796 796 797 797 799 799 799 799 800 800 801 801 801 801 802 802 802 802 802 802 803 803 804 804 805 804 807

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
103 102 103 102 102 101 101 101 103 104 102 102 104 102 102 101 101 100 100 101 100 100 99 100 100 99 100 101 99 102 100 100 99 100 99 100 99 100 102 101 102 102 104 106 104 102 103 104  
777 778 778 776 778 778 778 778 777 778 778 778 777 778 778 777 778 776 778 778 778 778 777 777 778 777 777 777 778 778 776 778 778 777 777 777 777 778 778 776 777 777 777 778 778 776 777 777 777 776 776 774 774 773

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 91 93 92 90 92 92 91 91 92 91 92 91 91 93 90 92 92 93 92 91 91 92 90 92 91 91 91 91 91 91 91 93 91 91 91 91 92 92 91 90 92 92 91 90 92 91 92 92 91 92 92 91 91  
881 882 882 884 886 885 887 889 890 891 893 893 894 895 895 897 899 899 900 900 901 901 904 904 905 905 907 907 908 909 911 912 914 915 916 917 917 918 918 920 101 102 102 103 103 104 104 105

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 92 93 93 92 92 93 93 93 94 93 93 95 94 95 95 99 101 104 105 101 99 96 95 93 93 94 92 93 92 94 93 93 93 93 92 93 94 93 93 93 93 93 93 93 93 93 93 93 93 94 93 93 93 94 93  
779 779 779 778 777 776 775 775 775 775 773 773 773 773 771 771 770 770 770 769 769 769 769 769 768 766 768 769 768 769 768 768 768 769 768 768 769 768 768 767 769 768 769 768 769 768 769 768 769 768 769 768 769 768 768 768 768 769 769

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
91 92 92 92 92 92 92 91 92 91 92 92 90 91 92 92 91 92 92 91 92 90 91 92 92 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 90 91 92 92 91 91 92 92 91 92 92  
897 898 899 899 900 901 902 901 903 904 904 905 905 906 907 909 910 911 912 913 914 915 917 916 917 918 919 920 101 101 103 103 104 104 105 105 106 107 107 107 107 107 107 107 108 108 109 109 110 110 111

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
91 91 91 91 91 91 91 90 92 92 92 92 91 92 92 92 91 90 92 91 91 90 91 91 92 91 91 91 91 91 90 92 91 91 91 91 93 91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
848 847 847 847 846 846 844 844 844 844 844 843 842 841 842 841 841 840 840 839 839 838 838 837 837 836 836 835 835 834 834 833 833 832 831 831 830 830 830 830 829 828 828 828 828 828 828 827 826

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 91 91 90 91 91 91 91 92 92 92 91 90 92 93 91 91 92 91 90 93 93 92 92 92 91 91 91 91 90 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92  
898 898 899 899 900 901 902 903 904 904 905 906 907 909 910 910 911 912 913 914 915 915 916 917 917 919 920 102 102 103 104 107 108 107 108 109 109 108 111 110 112 111 114 115 116 117 116 118

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
93 93 94 93 94 95 96 97 100 101 100 99 97 97 98 99 97 96 95 95 97 97 97 96 95 95 94 94 94 93 94 93 94 93 93 93 93 93 94 93 94 93 93 93 93 93 94 93 93 93 93 93 93 94 94  
784 783 782 781 781 779 778 778 778 778 778 778 777 777 777 778 777 779 777 778 778 777 778 777 778 777 778 779 778 778 779 778 778 777 778 778 779 778 778 777 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778 778

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
91 92 92 92 90 91 92 93 92 92 91 91 92 91 91 93 92 91 92 92 93 91 92 92 90 91 92 92 92 93 92 93 92 91 91 93 93 93 93 91 92 90 92 93 92 92 91 92 90 92 93 92 92 91 92  
845 847 848 850 849 850 851 852 853 854 855 856 858 860 860 862 863 864 865 866 865 867 868 870 870 873 875 875 875 876 878 878 880 880 883 883 883 884 886 886 888 889 892 892 892 892 893 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
90 91 92 91 90 91 90 92 92 90 92 91 91 91 91 91 92 92 90 90 90 91 91 91 91 91 91 90 91 90 91 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
853 853 853 852 851 851 850 850 850 849 849 849 848 848 847 847 847 846 846 845 846 844 843 842 843 843 843 841 842 841 841 840 839 840 838 838 838 838 838 836 836 835 836 836 836 836 836 835 836 834 835 833 833 833 831 832

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 91 92 91 92 91 91 91 91 92 92 92 91 91 91 91 91 90 91 92 91 91 91 91 90 92 91 92 91 90 91 91 91 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
806 806 807 807 806 806 807 807 807 808 809 809 810 809 810 810 811 811 811 811 811 813 814 815 815 815 816 816 816 817 818 819 819 820 819 820 821 822 821 822 822 822 824 824 824 825 825 826 825 826

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
106 110 111 113 115 115 115 115 111 111 114 117 118 118 124 123 129 131 133 136 135 139 141 142 145 148 147 149 149 151 152 153 156 157 159 161 163 165 167 169 171 174 174 176 179 181 183 183  
772 773 772 773 772 772 771 771 770 768 769 767 766 767 765 764 763 761 763 761 760 758 758 757 756 757 755 755 755 754 753 752 752 752 751 749 750 750 749 747 748 748 747 745 747 745 745

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
92 91 91 91 91 92 92 91 90 92 92 93 91 91 90 92 90 93 92 92 91 92 92 93 92 91 92 92 91 92 92 91 92 92 91 92 92 90 91 91 91 90 92 91 91 90 90  
105 106 106 106 107 107 108 108 108 109 110 111 111 112 112 114 113 114 116 114 117 116 118 119 120 120 120 121 122 123 124 124 126 127 126 129 128 130 129 130 131 130 131 131 131 131 131 131 130 130

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
93 92 93 92 94 94 93 93 93 94 94 92 93 93 92 93 94 94 93 93 93 92 95 94 94 95 94 94 96 105 105 108 110 111 115 115 116 117 120 119 118 118 117 118 118 117 118 117  
768 768 768 768 769 769 768 768 769 768 769 768 768 768 768 769 768 768 768 768 768 770 768 768 768 768 767 767 766 765 764 764 764 763 763 762 761 759 760 758 757 757 756 756 755 755

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
93 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 93 92 91 92 93 93 91 92 92 92 91 92 91 92 91 92 91 91 92 92 91 93 91 92 92 91 91 90 91 92 90 90 91 90 91  
111 112 113 113 114 114 115 115 115 116 116 117 117 118 118 119 121 121 121 122 121 123 124 124 125 126 127 128 128 127 129 129 131 132 132 133 132 132 133 132 132 133 131 132 133 132 130 133

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
92 91 91 91 92 91 92 91 92 91 90 91 91 92 91 90 92 91 91 91 92 92 91 92 91 92 92 91 92 92 91 92 92 91 92 92 91 92 90 91 91 90 91 91 92 91 91  
826 826 826 825 824 824 823 824 823 823 822 822 821 821 821 820 820 819 819 819 817 818 817 817 817 816 815 814 815 814 812 813 811 809 809 808 808 806 806 805 804 804 802 801 801 801 801

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 91 93 92 92 91 91 91 91 93 91 92 92 91 91 91 91 91 92 91 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 90 91 91 90  
120 119 121 121 122 121 123 123 126 125 126 128 128 129 128 130 131 130 128 130 130 131 130 130 130 130 130 130 130 130 131 130 130 130 130 131 130 129 131 130 131 130 129 130 130 130 130

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
93 92 93 94 93 93 93 94 92 93 93 93 94 93 94 95 95 98 99 103 102 104 104 106 106 106 107 108 110 109 110 110 111 111 111 112 115 116 120 120 123 123 126 127 126 129 129 129  
778 779 778 778 777 778 778 777 779 778 778 778 779 778 778 777 777 776 776 776 774 774 774 774 772 772 772 771 770 770 768 769 769 768 768 767 768 766 767 765 765 764 763 763 764 764 762

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
92 90 92 92 92 92 93 91 91 91 92 92 92 92 91 93 91 92 91 92 92 92 91 91 91 91 93 92 92 92 91 92 91 91 91 91 91 92 90 92 91 91 92 92 91 92 92 92  
896 897 898 900 899 901 902 901 903 904 904 906 907 909 909 911 913 913 914 914 915 917 917 918 919 920 102 103 105 105 105 106 106 108 108 108 107 108 110 111 111 112 113 115 116 112 113 115 116 116 117 117 117 118 118

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 91 91 92 91 91 91 91 91 90 92 92 90 90 92 91 91 91 92 92 92 91 91 91 91 92 90 90 90 92 91 92 92 91 91 91 92 90 91 92 91 91 91 91 90 92 90 91  
831 831 830 831 829 829 829 830 828 828 827 827 826 825 827 825 825 825 824 824 824 824 822 822 822 822 822 820 820 820 819 819 819 818 817 817 817 817 817 816 816 815 816 815 816 815 814 815 814 814

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 92 91 91 91 91 90 91 92 92 91 91 91 92 91 90 90 92 91 91 91 91 92 91 91 92 92 91 91 91 90 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 90 91 91  
827 827 829 829 828 829 829 829 830 830 831 832 831 831 833 834 834 834 835 836 836 836 836 837 838 837 838 838 838 840 840 842 842 843 843 844 844 844 843 844 845 845 846 846 848 847 847 848



3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
182 183 183 183 184 183 182 183 183 182 182 181 181 183 183 182 185 186 186 188 190 191 191 192 192 192 191 192 192 191 192 191 191 190 191 191 192 192 193 193 192 192 193 191 191 191  
745 744 743 743 742 743 741 740 740 740 740 739 739 738 738 739 737 737 737 736 735 735 735 735 736 736 735 735 735 735 735 735 734 735 735 735 735 735 736 736 735 735 736 736 735 735 736 736 735 735

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91  
130 131 131 131 130 131 130 130 130 131 131 131 130 131 130 131 131 130 130 130 130 130 130 131 130 132 130 130 131 130 131 131 131 131 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 132

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
117 120 122 124 126 124 125 126 126 127 126 126 125 124 124 123 123 122 123 122 122 124 124 125 125 125 127 127 129 129 129 131 132 131 131 132 132 135 135 134 135 135 135 135 135 135 135 137  
754 753 753 753 752 751 751 750 751 750 750 748 748 747 747 746 746 745 745 745 744 744 743 743 742 742 741 740 740 739 739 738 738 738 737 737 736 736 737 737 736 737 737 736 737 737 736 736

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
92 92 91 91 92 91 92 90 92 91 91 91 91 91 91 92 90 91 91 91 92 91 92 90 91 91 92 91 92 90 91  
132 132 133 131 132 132 133 131 132 132 131 131 132 132 132 132 132 131 132 132 132 132 131 132 131 132 132 132 132 132 130 130 132 131 131 131 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
90 91 91 91 92 92 91 91 92 92 91 92 91 92 91 91 91 92 93 92 94 92 90 94 92 92 93 92 92 93 92 92 93 94 94 94 94 94 95 96 97 97 98 100 102  
801 800 799 798 798 797 797 796 796 795 795 795 794 794 793 792 792 792 791 791 791 791 790 790 790 790 789 789 788 788 787 787 786 786 785 784 784 783 782 782 782 781 781 781 781

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
91 91 92 91 91 90 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 90 91 90 90 90 91 91 90 91 92 91  
130 129 131 130 131 130 130 130 130 131 130 131 130 130 130 130 130 130 131 130 131 131 130 131 130 130 130 130 130 130 130 131 130 129 130 129 130 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
130 130 133 133 135 134 137 137 141 144 146 147 150 152 154 155 158 162 164 167 171 174 178 182 186 189 192 195 197 199 201 203 205 206 210 208 208 209 210 211 211 212 214 216 217 218 218 222  
762 761 761 761 760 759 760 759 758 757 757 756 756 755 755 753 752 752 752 751 751 750 750 749 748 748 747 748 748 747 746 746 746 744 745 744 744 745 743 742 742 741 741 741 741 740 740 740

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
92 92 91 91 92 92 91 91 92 92 92 92 91 92 92 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 92 91 91 91 90 91  
121 122 122 122 123 123 125 126 126 128 128 129 129 130 130 129 131 131 131 131 131 131 132 131

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
91 91 91 91 91 92 91 92 91 92 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 90 91 91 91 92 91 91 92 91  
813 812 812 811 810 810 810 810 810 809 810 808 808 808 807 806 806 806 806 805 804 804 804 804 803 803 803 802 802 803 801 800 800 799 800 799 799 798 798 797 797 797 796 796 795 795 795 794 794

3360 3370 3380 3390 3400 3410 3420 3430 3440 3450 3460 3470 3480 3490 3500 3510 3520 3530 3540 3550 3560 3570 3580 3590 3600 3610 3620 3630 3640 3650 3660 3670 3680 3690 3700 3710 3720 3730 3740 3750 3760 3770 3780 3790 3800 3810 3820 3830  
91 91 91 90 91 92 91 91 91 91 91 91 92 92 93 92 91 90 90 91 91 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 90 93 91 91 91 91 91 93 91 91 92 90 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91  
848 848 849 850 850 850 851 851 851 852 852 853 852 853 854 854 855 855 856 855 857 857 857 857 857 858 858 858 859 860 860 860 860 862 861 863 863 862 863 864 864 864 864 864 864 864 864 864 864 865 865 865 865 865 865 865



4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
197 197 197 198 197 198 197 198 197 198 198 197 198 198 197 198 198 199 198 199 199 199 199 199 199 200 199 200 200 200 201 201 202 202 202 202 202 202 203 203 202 203 203 203 203 203 203  
735 735 735 735 736 735 735 736 736 735 735 735 736 735 736 736 735 736 735 736 734 735 735 735 735 735 736 736 735 735 735 735 736 736 735 735 736 735 735 735 735 736 735 735 735 735 736 735 736 735 735 735

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
90 91 92 91 91 91 92 90 91 90 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 92 91 91 90 90 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
131 130 131 131 130 131 131 130 130 130 130 130 130 130 130 131 130 131 130 131 131 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 131 130 130 131 130 132 130 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
146 147 147 149 148 148 148 148 149 148 149 148 149 148 149 148 149 150 149 149 149 150 150 151 151 150 151 151 150 151 150 150 150 151 151 150 150 150 151 151 150 150 150 150 151 151 150 151 150 151  
735 735 735 734 735 735 735 734 735 735 735 735 736 735 735 735 735 735 734 735 735 735 734 735 735 735 735 734 735 735 734 736 736 735 734 735 735 735 735 734 735 735 735 735 734 735 735 734 735 734 735 734

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
91 92 92 91 91 92 92 90 91 91 91 91 91 91 90 91 91 90 91 91 91 92 91 92 91 92 91 90 92 91 92 90 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
132 132 132 133 132 132 132 133 132 132 131 132 132 132 133 130 132 132 132 132 131 132 132 132 132 132 130 132 132 132 132 131 132 130 131 131 131 133 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 131 132

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
98 97 99 98 97 100 104 104 106 105 106 106 108 107 108 108 108 108 110 110 112 107 105 104 104 104 106 109 111 114 115 118 119 123 123 127 130 131 132 135 136 138 138 141 142 143 143 145  
780 779 781 781 780 780 780 778 778 777 777 778 776 775 776 775 774 774 774 772 773 772 771 770 771 769 769 768 768 766 766 765 765 764 763 762 761 762 760 759 759 759 759 758 758 758 757 757

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
91 91 91 91 90 90 91 90 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 91 90 90 90 91 91 91 91 91 90 90 91  
130 131 129 130 129 130 130 130 131 130 129 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 129 130 130 130 130 130 131 130

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
235 235 235 235 236 236 236 236 236 237 236 236 237 236 237 236 237 237 236 236 237 238 236 237 237 238 238 237 237 238 238 239 237 238 238 239 239 238 239 239 239 239 239 239 239 239 239 239 239 239  
735 735 735 735 735 736 735 735 735 735 735 735 735 736 734 735 735 735 735 736 735 735 735 735 735 735 735 735 736 735 735 736 735 735 736 735 735 736 735 735 736 735 735 735 736 735 735 735 735 734

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
91 91 91 90 90 92 91 90 91 92 91 91 91 91 90 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91  
131 131 131 132 130 131 131 131 132 131 130 131 131 131 132 131 132 131 131 131 132 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 132 131 131 131 132 131 131 131 130 131 131 130 131 131 131 131 131 131

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
97 97 98 98 97 99 98 99 98 99 99 100 99 100 100 100 101 101 100 100 101 101 102 102 103 103 103 102 103 104 102 102 101 101 101 101 100 102 102 104 106 104 105 104 103 105 107 107  
782 782 782 781 782 781 782 781 782 781 781 781 782 782 782 782 782 782 781 781 782 781 781 782 782 782 781 781 782 782 781 781 782

4320 4330 4340 4350 4360 4370 4380 4390 4400 4410 4420 4430 4440 4450 4460 4470 4480 4490 4500 4510 4520 4530 4540 4550 4560 4570 4580 4590 4600 4610 4620 4630 4640 4650 4660 4670 4680 4690 4700 4710 4720 4730 4740 4750 4760 4770 4780 4790  
92 91 91 91 92 91 90 91 91 92 91 90 90 92 93 92 92 90 91 91 91 91 91 91 91 92 92 92 92 91 91 90 92 91  
888 888 890 890 890 890 892 892 893 892 893 895 893 895 895 895 896 896 897 896 897 897 897 897 897 898 899 900 900 901 900 900 901 901 902 903 903 902 903 903 905 905 906 906 907 907 907 909

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
203 202 202 201 200 199 199 199 200 199 199 199 199 199 199 199 199 199 200 200 199 200 199 200 200 200 200 201 200 199 200 200 200 200 200 199 200 199 200 200 199 199 200 200 199 199 200 200 199 200  
735 735 736 735 736 735 735 736 735 736 735 735 736 735 735 736 736 735 735 735 735 735 736 735 735 735 735 735 735 736 735 735 735 736 735 736 735 735 735 735 735 735 736 735 735 735 736 735 735 735 735

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 90 90 92 91 90 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
130 130 131 131 131 131 130 131 130 131 131 131 131 130 130 130 130 131 131 132 130 130 130 131 130 130 130 131 131 131 130 131 131 131 131 130 130 131 130 131 131 131 130 131 131 131 130 130 131 131 130 130 130 130

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
151 151 152 151 150 151 151 151 151 150 152 151 152 152 152 151 151 151 152 152 152 152 151 151 151 152 152 151 152 151 151 152 151 151 152  
735 735 734 735 736 735 735 735 734 735 734 734 735 735 735 736 735 734 735 734 735 734 735 735 734 734 734 734 735 735 734 735 734 734 735 735 735 734 734 735 735 735 734 734 735 735 734 735 735 734 735 735 734

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
90 91 92 91 92 92 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 90 92 91 90 91 91 91 91 92 91 92 91 90 92 91 91 91 90 92 91 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
132 132 132 133 132 132 132 132 132 132 130 132 132 131 132 133 131 130 132 132 133 131 130 133 133 132 132 132 132 132 133 131 132 132 132 131 132 132 131 131 132 132 131 131 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132 132

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
145 146 149 148 148 149 149 151 153 154 158 157 158 158 159 158 159 158 159 160 161 162 163 166 166 168 169 169 170 171 170 171 172 173 175 178 177 178 177 178 179 178 179 178 179 181 183 184  
756 756 755 755 755 755 754 754 754 753 754 753 751 752 751 752 751 750 750 750 749 749 749 748 747 748 748 747 747 747 746 746 745 745 745 745 744 744 744 744 745 743 743 743 743 743 743 743 743 743 743

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 91 92 91 91 91 90 90 90 91 91 91 91 91 91 90 91 92 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91  
131 130 130 130 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 131 130 130 130 131 130 130 130 129 130 131 131 130 129 131 130 131 130 130 130 130 130 129 130 131 130 130 131 130 130 130 130 130 130 130

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
239 238 240 239 239 239 239 240 239 239 239 240 239 239 240 240 240 241 241 240 241 241 241 241 241 241 241 241 240 240 240 241 240 241 241 240 241 241 241 240 241 241 240 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241  
736 735 735 735 735 735 736 735 735 735 735 735 735 735 735 736 736 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 736 735 735 735 735 734 736 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
90 91 91 90 90 91 90 91 90 91  
131 131 131 132 131 131 131 131 131 131 131 131 132 131 130 131 131 132 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 132 131

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
110 111 112 116 121 121 123 125 127 132 133 136 137 141 144 148 152 156 158 167 169 172 174 178 186 189 192 197 202 204 208 211 214 217 220 223 224 224 227 229 231 236 233 236 237 238 243 243  
778 777 777 778 775 773 775 773 772 770 772 771 769 770 768 766 766 766 764 762 761 762 761 761 759 756 756 757 756 753 756 754 753 752 752 752 750 750 750 748 747 748 746 747 748 746 746 746 746 745 743 743 743 743 743 743 743

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 90 91 91 91 91 92 92 92 92 91 90 91 92 91  
909 910 910 911 911 911 912 912 911 912 912 913 914 914 915 915 915 915 916 917 917 917 918 918 918 919 919 919 919 920 920 921 920 100 101 101 101 101 101 101 101 102 102 103 103 103 103 104 103 104 105 105 105 105 105 105 105 105 105

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
200 200 200 199 201 200 200 200 200 200 200 200 200 199 200 200 199 200 200 200 200 200 200 201 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 201 201 201 201 202 201 201 202 201 201  
735 736 736 735 735 736 735 735 735 735 736 735 735 736 736 736 735 735 735 736 735 735 735 736 735 735 735 735 736 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735 736 735 735 736 735 735

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91  
130 131 130 130 131 130 130 130 130 131 130 131 131 130 130 131 131 130 131 130 130 130 130 131 131 130 130 130 130 130 130 130 131 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
152 152 151 152 152 152 152 152 152 151 153 152 152 152 152 153 153 153 153 154 154 153 154 154 154 155 155 154 154 154 155 155 155 155 154 155 154 156 154 154 155 155 154 154 155 155 155  
735 734 734 735 735 735 734 735 735 734 734 735 735 735 734 735 735 735 735 734 735 734 734 734 734 734 735 735 735 735 735 735 735 735 735 734 735 735 735 735 734 736 735 735 734 735

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
91 91 92 91 91 91 91 93 90 90 92 92 90 91 92 91 91 92 90 91 92 91 92 91 90 92 92 91 90 91 90 91 91 91 92 92 91 91 91 91 92 92 90 91 92 91 92 91 90 90 90  
131 131 133 132 130 132 132 132 130 131 132 132 130 131 132 132 132 130 132 132 132 130 132 132 132 132 130 133 132 132 132 130 132 132 132 130 132 132 133 132 132 133 132 132 133 132 132 133 132 132 132

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
186 188 188 188 189 189 189 191 191 192 195 195 197 199 201 203 206 208 210 213 213 214 215 215 216 216 216 217 218 218 219 219 219 220 221 220 223 222 222 221 222 221 221 223 222 222 222 223  
742 742 742 741 741 741 740 741 740 739 739 739 738 739 738 738 738 738 737 737 738 738 737 737 737 737 736 736 736 736 736 737 736 736 735 735 735 735 735 735 735 736 736 735 736 735 735 735 735 735

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
91 90 90 90 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 90 90 90 91 92 91 91 91 92 91 91 90 90 91 90 91  
130 131 131 130 131 130 130 130 130 129 130 130 130 130 131 129 130 130 130 130 131 130 130 130 130 130 130 130 131 130

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
241 242 241 242 242 241 241 242 241 241 242 242 242 243 242 243 242 242 242 242 242 243 242 243 242 243 242 242 243 243 243 243 243 242 243 243 242 243 242 243 242 243 242 243 242 243 243 243  
735 735 736 735 736 735 735 735 735 735 736 735 735 736 735 734 735 736 735 735 736 735 736 735 734 736 736 735 735 735 736 735 735 735 736 735 735 736 734 735 736 735 736 735 735 735 735 735

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
91 90 91 90 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 92 90 91  
131 131 132 131 131 131 130 131 131 131 131 132 131 131 131 131 130 131 131 131 131 130 131 130 131 131 131 131 130 131 130 131 132 131 131 131 131 131 132 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
246 249 250 254 255 257 260 261 260 263 264 263 265 267 268 269 270 269 271 269 268 264 262 263 264 264 265 267 270 269 270 271 268 272 271 272 273 273 272 274 277 282 284 287 289 292 293 294  
745 743 744 743 742 742 741 742 742 742 740 740 739 738 740 740 739 738 738 738 739 738 739 739 738 738 736 736 737 737 736 736 736 736 736 736 736 736 735 735 735 735 735 735 735 735 735 735

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
92 91 92 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91  
106 108 108 109 110 110 110 110 111 111 111 111 114 114 114 114 115 114 114 115 115 116 116 117 117 118 117 118 118 119 119 121 121 121 121 122 123 123 122 123 123 125 125 124 126 126 125 126



























960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
91 93 92 92 92 91 92 91 93 91 92 91 91 92 92 91 92 91 92 91 91 91 92 92 90 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
871 870 867 868 867 866 865 864 863 861 862 860 859 858 856 854 852 851 850 848 848 846 844 843 842 842 839 839 838 838 835 835 834 833 833 833 832 832 832 831 831 831 830 830 830 829 828 828

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
91 92 92 92 92 91 91 91 92 91 91 92 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 92 91 92 92 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
832 834 833 833 834 835 835 836 836 837 838 837 837 838 839 840 840 841 841 841 842 844 844 844 843 844 844 844 845 845 845 847 847 849 849 849 849 850 850 850 851 851 852 853 852 854

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
92 93 92 92 92 91 92 92 92 91 92 92 90 90 91 92 91 91 92 92 92 92 93 90 92 92 92 91 92 92 92 94 91 92 92 92 94 92 91 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92  
869 868 867 866 865 863 862 862 861 859 858 855 855 853 851 851 849 848 847 844 844 841 840 841 838 838 837 835 835 833 833 831 831 831 831 829 828 826 825 823 824 823 823 821 821 822 820 820

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
334 336 334 336 335 334 334 334 335 334 334 335 335 338 335 335 335 335 335 336 336 335 335 335 337 335 336 335 335 336 336 336 336 336 336 335 335 336 336 335 335 336 336 335 335 334 334 335 335 335  
778 778 777 778 778 778 779 778 778 778 777 778 778 777 778 778 778 777 778 778 778 778 778 778 778 776 777 778 778 778 778 777 778 778 778 777 778 778 778 779 778 778 778 778 777 778 777 778

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
91 93 90 92 93 92 92 90 91 92 91 91 95 91 92 92 92 92 89 92 92 93 91 91 92 92 92 92 92 91 92 92 91 92 93 91 91 92 92 92 92 92 92 92 92 93 92 92 92 93 92 91 93 93 94  
872 870 869 867 867 863 863 862 861 861 858 857 855 854 853 853 852 851 849 848 846 845 842 843 842 840 840 840 839 836 835 833 833 830 830 831 828 826 826 824 826 823 822 822 821 820 819 819

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
92 93 93 91 92 92 92 93 93 93 92 91 92 92 93 92 92 92 92 93 92 93 91 92 91 92 92 92 93 91 91 92 92 91 92  
827 827 829 830 830 832 833 835 834 839 840 842 843 846 845 845 848 850 851 853 854 855 857 855 859 859 861 862 864 865 865 867 868 870 872 875 873 877 877 879 880 882 880 882 884 887 889 890 891

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
92 91 91 91 92 92 91 91 91 91 90 92 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 92 91 92 91 92 92 92 93 92 92 91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
105 103 103 103 103 102 102 102 101 100 100 921 919 919 919 919 919 917 918 917 918 917 916 916 916 916 914 915 914 913 914 912 912 912 912 912 912 912 911 911 911 910 910 910 910 910 910 908 909 907 908

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
327 325 323 320 318 316 313 311 310 308 306 304 300 294 286 278 268 261 255 249 244 237 227 214 204 192 184 177 169 162 158 152 149 144 140 134 130 126 121 114 110 106 104 102 99 98 97 96  
806 806 807 807 807 807 808 808 808 809 809 809 810 810 811 811 813 813 814 813 815 816 817 818 818 818 818 819 819 818 819 819 821 820 821 820 821 824 824 825 825 825 825 825 827 826 827 829

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 90 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
107 105 105 107 104 105 105 105 103 104 103 102 104 103 102 102 103 102 102 101 101 101 101 920 921 920 920 920 919 918 917 917 918 918 917 917 917 916 915 915 914 915 915 915 913 913 913 914 914 914 914 913 913

960 970 980 990 1000 1010 1020 1030 1040 1050 1060 1070 1080 1090 1100 1110 1120 1130 1140 1150 1160 1170 1180 1190 1200 1210 1220 1230 1240 1250 1260 1270 1280 1290 1300 1310 1320 1330 1340 1350 1360 1370 1380 1390 1400 1410 1420 1430  
193 194 193 191 184 178 169 159 149 140 133 127 122 118 113 112 110 109 108 107 107 105 105 105 103 104 103 103 103 103 103 103 103 103 103 103 103 103 103 103 104 104 104 102 102 102 100 101 100 98  
819 820 820 821 821 823 824 825 825 825 826 827 827 827 828 827 830 830 831 831 832 832 833 834 834 835 836 837 837 837 837 838 839 839 839 839 838 839 841 841 841 841 841 841 841 841 841 841 841 841 842

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
91 90 91 91 91 91 92 91 90 92 91 91 90 92 91 92 90 91 91 92 92 92 93 93 94 95 95 96 96 96 96 97 96 97 97 98 99 98 97 98 99 99 98 99 99 99 98 99 101 101 103 102  
829 828 828 828 827 827 827 826 826 825 825 824 824 824 824 824 824 823 823 822 821 822 821 821 821 821 821 821 820 820 820 819 819 820 819 818 818 818 818 817 817 817 816 816 816 816 816

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
91 92 91 92 91 91 92 91 92 91 91 92 92 91 91 92 91 92 92 92 92 91 92 91 92 91 92 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 90 92 92 91 91  
854 854 854 854 856 855 855 856 856 856 856 858 858 858 858 859 859 860 860 861 861 861 862 862 863 864 863 863 864 864 865 865 866 866 867 867 867 868 868 869 868 869 870 870 871 872 873 873 873 874

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
92 91 90 92 92 91 91 91 91 93 93 93 94 96 96 98 99 101 103 106 107 109 108 110 111 111 110 111 111 111 112 111 111 110 111 111 110 111 111 110 111 111 111 111 112 112 113 113 113 113  
819 817 816 815 815 813 813 812 812 812 809 808 808 807 806 806 804 805 803 803 803 803 803 804 804 804 804 803 804 804 803 804 803 803 804 803 803 804 803 803 804 803 803 804 804 804 804 804 803 803 804 804 804

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
335 336 335 336 337 337 337 335 337 335 335 336 335 335 336 335 335 336 336 337 336 336 336 337 336 337 336 337 335 337 335 336 336 336 335 339 336 337 336 337 337 337 336 338 337 336  
779 776 778 777 778 777 779 779 778 779 778 778 778 778 779 778 778 778 778 779 779 778 777 778 778 778 778 778 778 779 778

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
94 94 94 95 95 96 98 99 103 101 103 104 105 107 106 108 108 108 109 108 108 108 108 107 107 107 107 106 107 106 105 104 104 104 102 102 102 102 102 102 101 101 101 101 101 100 100 100 100 100  
818 816 816 816 816 814 812 813 813 812 811 812 811 811 810 812 811 811 811 811 811 812 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 812 812 810 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811 811

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
90 92 92 92 93 93 90 92 92 92 92 93 93 91 91 92 92 92 92 94 91 92 92 92 90 92 92 91 91 92 92 90 91 92 95 91 92 92 93 92 92 94 92 92 93 92 92 92 92 92 92 91  
894 895 896 898 900 898 901 901 904 905 907 907 909 910 911 912 914 917 915 917 920 920 102 103 104 105 106 107 109 109 111 113 114 114 116 118 121 122 124 125 123 126 128 127 128 128 128 130 131

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
91 91 92 91 92 91 91 92 91 92 92 91 92 91 92 91 91 91 92 92 91 91 92 91 90 91 91 91 91 92 91 92 91 91 92 91 92 91 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 91 92 91 91 92  
907 907 907 907 906 906 904 905 904 905 904 904 904 904 903 902 902 901 901 901 901 899 899 899 898 898 897 897 897 896 896 896 896 895 894 894 893 893 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892 892

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
95 95 95 95 93 93 93 93 94 93 93 93 93 93 93 93 93 93 93 93 93 92 92 92 92 91  
830 831 831 833 833 834 832 833 834 835 835 836 836 837 837 837 837 838 838 839 839 838 838 838 839 840 840 840 841 840 842

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
91 91 91 92 91 91 91 91 92 92 91 92 91 91 91 91 92 90 91 91 91 92 92 92 92 91 92 91 92 92 91 91 92 91 93 92 91 92 91 92 91 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92 92  
911 912 911 911 910 910 910 909 909 909 908 908 907 907 906 905 905 905 904 904 903 903 903 903 903 903 903 902 901 900 901 900 899 898 899 898 899 898 898 898 897 896 896 895 894 894 893

1440 1450 1460 1470 1480 1490 1500 1510 1520 1530 1540 1550 1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910  
97 94 94 92 92 92 91 92 91 92 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 92 92 91 92 92 91 92 91 91 92 91 92 91  
843 843 843 843 843 843 843 843 844 844 844 844 844 844 845 845 845 845 844 844 845 845 845 845 845 845 845 846 845 846 847 846 846 846 846 846 846 846 847 847 848 848 848 848 850 849 850 849 851

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
101 102 102 100 99 99 98 98 98 98 98 98 98 98 99 98 98 98 98 99 98 99 99 98 98 98 99 98 99 99 98 98 98 99 98 98 99 99 98 98 99 99 98 98 99 99 99 99 98 98 99  
816 816 816 815 816 816 817 817 816 817 815 816 816 816 815 816 816 817 816 817 816 816 815 816 816 816 815 816 816 816 815 816 815 816 816 815 816 815 816 816 815 816 815 816 815 816 815 816 816 815 816 816 815

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
92 91 92 91 90 90 91 92 91 91 90 92 91 92 92 91 91 90 91 92 92 92 92 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 91  
873 874 874 874 875 875 875 876 876 877 878 878 878 878 879 879 879 880 881 882 881 882 882 882 883 884 882 883 884 885 886 887 887 888 888 889 890 890 890 890 891 890 890 891 891 891 891 891 891 891 891 891

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
113 114 113 114 113 114 113 114 114 114 114 114 114 113 114 113 114 113 113 113 114 115 114 115 115 120 124 128 133 137 141 144 149 153 157 162 167 171 175 179 183 189 193 195 199 202  
804 803 803 804 803 804 803 804 803 804 804 803 803 804 804 804 803 803 804 803 804 806 804 804 803 802 802 802 800 800 799 800 798 798 798 799 797 797 795 795 795 795 794 793 793 791 792 791 791 791 791 791

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
338 337 336 336 336 336 335 336 337 337 338 338 337 339 336 337 337 336 334 336 334 334 335 333 331 331 330 330 329 328 328 327 328 328 326 326 327 325 325 323 321 318 314 311 309 306 306 306 306  
778 778 778 777 778 778 780 777 778 778 778 778 778 778 778 778 779 778 779 777 778 778 778 777 779 779 778 778 778 777 778 778 778 777 779 778 778 778 778 779 778 778 778 778 777 778 778 778 777 778 778 778 777

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
99 99 98 98 98 99 98 98 98 98 99 99 99 98 100 100 102 103 105 107 108 110 113 116 121 123 128 131 132 136 140 143 147 150 153 155 157 159 161 163 165 166 169 171 174 178 182 187 190  
811 811 811 811 811 811 810 811 811 811 811 812 809 813 811 810 809 811 809 809 808 807 805 805 804 805 803 802 801 800 802 800 800 800 799 798 798 797 796 796 796 792 794 794 792 791 789 790

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 90 91 90 90 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 90 91 91 90 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
132 131 131 132 131 131 132 131 131 131 131 131 132 131 131 131 130 132 132 131 131 132 131 131 130 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
92 91 92 91 91 92 91 91 91 91 90 91 91 91 92 91 92 91 92 91 92 91 91 91 92 92 92 92 92 91 91 91 91 91 92 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 92  
886 885 884 885 885 884 884 883 884 883 881 881 882 881 881 879 879 878 878 878 878 876 877 876 877 876 875 875 873 874 872 873 871 872 872 871 870 870 871 870 870 871 870 870 869 869 868 868 867 867 867

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
92 91 91 92 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 92 91 92 91  
844 844 844 845 845 845 844 845 845 845 845 845 846 846 846 847 846 846 847 847 846 846 847 847 848 848 848 849 850 850 850 850 851 851 850 850 851 851 850 850 851 851 853 854 855 855 855 855 855 855 856 856 856

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
92 91 92 90 91 91 91 91 91 91 92 92 92 92 92 92 91 92 91 92 91 92 91 90 91 91 91 92 92 92 92 92 92 92 92 91 92 92 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92 91 92  
893 893 892 891 891 889 889 889 889 888 887 887 886 886 885 886 885 885 884 883 883 883 883 882 882 882 881 881 879 878 879 879 878 877 877 876 877 875 876 875 876 874 874 873 873 872 872 873 871 871 871

1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100 2110 2120 2130 2140 2150 2160 2170 2180 2190 2200 2210 2220 2230 2240 2250 2260 2270 2280 2290 2300 2310 2320 2330 2340 2350 2360 2370 2380 2390  
91 91 90 91 91 91 91 91 91 92 92 91 92 91 91 91 92 92 91 92 92 91 92 90 91 90 91 91 91 91 92 92 92 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91  
851 851 852 851 851 851 851 853 853 853 855 855 855 855 856 856 856 857 858 858 859 859 860 861 860 860 861 862 862 862 862 863 864 864 864 865 866 866 865 865 866 866 865 866 866 866 867 867 869 869 869

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
98 97 99 99 99 100 101 105 104 108 109 115 119 122 125 130 135 143 148 151 157 159 163 166 170 174 181 186 190 194 201 206 212 220 226 232 237 242 244 248 252 254 257 261 264 270 272 277  
817 817 817 816 815 816 815 814 813 813 812 811 810 808 810 808 807 807 806 804 803 803 802 802 801 800 800 800 799 799 799 796 797 796 795 796 793 793 792 791 791 790 788 789 789 788 789

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 91 92 91 91 91 92 92 92 92 91 91 92 91 91 91 91 92 91 91 92 91 92 91 90 90 91 92 91 92 91 91 92 91 91 91 91 91 91 92 90 91 91 93 92 91 92 91  
894 894 894 894 895 895 896 896 897 898 898 899 899 900 901 900 901 902 901 902 902 902 904 903 903 904 904 905 905 906 906 907 908 908 909 908 910 909 909 909 911 911 910 911 911 911 912

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
207 209 210 214 219 223 227 231 234 239 244 249 254 259 262 270 272 275 276 277 277 280 282 281 286 285 288 286 286 287 288 290 291 292 293 293 294 296 298 299 301 303 307 309 311 312 314 314  
790 791 790 788 788 787 787 786 786 786 785 784 782 782 780 780 779 778 776 775 776 778 776 775 775 773 775 773 773 773 772 771 771 771 770 770 769 768 768 768 768 768 768 768 767

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
305 303 303 301 303 302 301 301 300 299 299 299 297 296 296 295 293 292 291 290 288 290 288 288 285 280 277 274 274 275 275 274 276 277 278 278 280 282 281 282 285 288 291 292 295 301 303  
779 778 779 778 778 778 778 778 778 778 778 778 776 779 778 777 779 777 776 779 778 778 778 778 778 778 778 779 778 778 778 779 778 778 779 778 778 777 777 778 779 778 777 777 778 779 777 778 778

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
195 198 203 207 210 215 215 219 222 224 226 228 229 232 232 233 234 234 236 236 237 238 239 240 240 241 243 242 242 243 244 245 244 245 244 245 244 245 246 246 246 248 250 249 250 251 251  
788 788 787 785 787 785 785 784 782 784 782 781 780 782 780 780 779 779 779 778 778 776 775 778 775 778 775 776 777 774 774 774 772 773 774 771 771 771 770 770 770 769 768 768 767 767 768 768 767

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 90 92 91 91 91 91 91 91 90 92 91 91 91 91 91 90 91  
131 132 131 130 131 132 132 131 131 131 131 131 132 131 131 130 131 132 131 131 131 130 132 131 130 131 131 132 130 131 131 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
91 91 91 91 91 92 92 92 91 92 92 91 92 91 92 91 91 92 91 91 92 90 91 91 91 91 92 92 91  
865 865 865 865 865 864 863 864 863 862 862 862 862 862 861 859 859 859 858 859 858 858 857 856 857 856 856 856 855 856 855 854 855 854 853 852 853 852 851 850 850 850 850 849 848 848 848 847 847

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 91 91 91 90 91 92 91 91 91 92 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91  
856 857 858 858 860 860 860 861 861 861 863 863 864 864 864 864 865 866 866 866 867 866 866 867 866 866 867 867 869 869 870 870 871 871 872 872 873 874 873 873 874 875 875 875 875 875 877 876 877 876 877 876 877

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
90 91 91 91 91 90 92 92 91 91 91 91 91 92 92 91 90 92 91 92 91 92 91 92 91 91 91 90 91 92 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
872 871 871 869 870 870 869 868 869 868 867 867 866 866 866 865 864 864 864 864 864 862 862 862 861 860 861 860 861 860 859 859 859 858 858 857 858 858 856 856 855 855 855 855 855 855 855 855 855 855 853 853

2400 2410 2420 2430 2440 2450 2460 2470 2480 2490 2500 2510 2520 2530 2540 2550 2560 2570 2580 2590 2600 2610 2620 2630 2640 2650 2660 2670 2680 2690 2700 2710 2720 2730 2740 2750 2760 2770 2780 2790 2800 2810 2820 2830 2840 2850 2860 2870  
92 90 91 92 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 92 91 92 91 91 91 91 92 92 92 91 92 92 91  
871 871 872 872 873 873 873 872 873 873 873 874 875 875 875 876 877 876 878 878 878 879 878 881 882 881 882 882 882 884 882 884 884 885 885 885 885 886 886 886 887 887 888 888 888 888 888 888 888 888 888 888 889 889

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
278 282 287 294 299 302 306 312 316 321 324 326 327 329 330 331 332 332 333 333 334 334 334 334 334 334 334 334 333 333 334 334 335 335 336 336 335 336 337 337 337 337 337 338 338  
789 787 785 785 785 784 782 783 782 782 782 782 782 783 782 782 782 783 783 783 781 783 782 782 782 781 782 783 782 782 783 783 783 782 782 782 782 781 782 782 783 783 782 782

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 91 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 92 92 92 92 91 91 91 90 92 92 91 92 91 91 91 91 92 90 91 91 90 91 90 92 92 91 90 92 92 91 91 91 91  
913 913 915 915 915 915 916 916 916 916 917 919 918 918 918 918 919 919 919 920 920 921 100 100 102 102 102 102 102 102 103 103 104 104 103 104 104 104 104 106 107 109 111 111 111 111 111 111 112 112

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
316 316 317 316 318 317 319 318 319 319 320 319 320 320 321 322 321 320 322 322 322 322 322 323 323 323 323 323 324 324 324 325 324 325 325 325 325 326 326 325 326 325 326 327 326 327 327 327 327 328  
768 769 768 767 767 768 767 768 768 767 768 768 768 768 767 768 768 769 768 767 768 768 767 768 767 768 769 767 769 768 768 768 769 768 768 768 768 768 768 768 769 767 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
306 309 312 314 317 320 322 323 323 323 326 327 327 327 329 329 329 329 329 329 328 327 327 326 325 324 322 318 317 316 312 311 309 308 305 303 300 299 296 294 291 285 280 277 275 272 269 268 264  
778 778 776 778 778 778 776 778 779 778 778 778 776 778 778 779 780 778 778 777 778 778 777 779 778 777 778 778 777 778 778 779 778 780 779 779 779 778 778 776 778 778 779 778 778 779 778 778 778 778 778 778 778 778 778

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
255 254 256 256 257 259 259 262 260 261 262 262 263 263 267 264 264 264 264 263 265 265 264 266 267 265 269 268 268 269 268 270 269 269 270 270 268 268 269 270 269 270 270 270 270 270 270 270 270 270  
766 766 765 765 766 764 764 763 763 763 762 762 762 762 762 761 762 761 761 760 761 760 761 760 761 760 760 759 761 760 759 759 759 758 758 759 758 758 757 758 759 759 757 758 759 759 757 758 759 758 758 758 758 758 758

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 92 90 91 91 90 91 90 91 92 91 90 91 90 92 91 91 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 90 91  
130 131 131 131 132 131 132 131 131 131 131 131 131 131 130 132 131

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
92 91 92 91 91 91 91 92 91 91 92 91 91 92 93 95 95 96 97 97 97 97 98 98 98 97 97 98 99 98 98 99 103 105 105 102 101 100 99 98 97 97 97 97 98 98 98 98 98 98 98  
846 846 846 845 846 845 844 844 843 844 843 843 841 841 841 840 841 840 840 839 839 838 838 838 837 837 837 837 836 836 836 835 835 836 834 833 834 833 833 834 833 833 833 834 833 833 833 834 834 833 833 833 834 834 833 833 834

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 92 92 92 92 91 92 92 91 91 91 91 92 91 92 91 91 91 92 91 91 91 91 92 92 91 91 91 92 91 91 92 92 92 92 92 91 91 91 92 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
877 879 878 879 881 881 882 882 884 883 883 883 883 883 884 885 885 886 886 887 887 888 888 888 888 888 889 890 890 892 891 893 894 895 896 896 897 898 898 898 899 899 899 900 900 900 900 900 900 900 900 900 900 900 900 900 901

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
90 91 91 92 92 92 92 92 91 91 91 91 92 91 91 91 92 91 91 92 91 90 91 92 92 92 91 91 92 91  
854 853 853 853 851 852 851 851 849 849 849 848 847 847 846 846 845 845 844 844 845 843 843 843 841 843 842 841 840 840 840 839 839 838 838 838 836 837 836 836 836 835 835 834 834 833 833 834 834 833 834 833 833 834 834 833 833 833 833 833 833 833 833

2880 2890 2900 2910 2920 2930 2940 2950 2960 2970 2980 2990 3000 3010 3020 3030 3040 3050 3060 3070 3080 3090 3100 3110 3120 3130 3140 3150 3160 3170 3180 3190 3200 3210 3220 3230 3240 3250 3260 3270 3280 3290 3300 3310 3320 3330 3340 3350  
91 92 91 92 90 90 92 90 91 91 91 90 92 92 91 92 91 91 91 91 91 91 92 92 91 91 92 91 91 91 91 92 91 92 92 92 92 91 92 92 91  
892 893 893 893 895 895 895 896 896 897 896 897 897 897 898 899 899 901 901 902 903 904 905 907 906 908 907 907 908 908 908 907 908 909 909 910 910 911 912 914 913 915 916 917 917 919 919 920





3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
350 351 350 352 352 351 351 352 352 353 352 353 353 353 354 353 353 353 353 355 354 354 354 354 355 355 356 356 356 357 357 357 357 358 357 357 357 357 357 357 357 357 356 357 356 356 357 356 357  
782 782 782 782 782 782 782 782 783 783 782 782 782 782 782 782 781 782 783 782 782 783 783 782 782 781 782 782 782 782 783 783 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 783 782 782 782 782 782 782 782 783 782 782 783 782 783 782 782 783 782 783

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
91 91 91 90 91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 92 90 91 92 91 91 92 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91  
131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 129 130 130 130 130 130 129 130 130 129 130 130 130 131 130 131 130 129 130 130 130 131 130 129 131 130 130 131 130 129 131 130 130 131 130 131 130 130 129 130 130 130 130

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
334 334 333 333 334 334 335 334 335 334 335 334 335 335 335 335 335 336 335 335 335 335 335 336 335 335 335 335 335 335 336 335 336 335 336 336 335 336 336 335 335 336 336 335 335 336 336 337 336 336  
767 768 767 767 767 767 768 767 768 768 767 768 767 768 768 767 768 767 768 768 767 767 768 768 768 768 767 767 767 768 768 768 767 769 768 768 767 768 768 767 768 768 767 768 768 767 768 768 767 767 767 767 768 767 767 768 767 768

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
291 294 296 300 301 302 303 304 305 306 306 307 308 307 308 307 308 308 307 307 307 307 304 303 305 301 300 298 296 297 296 295 294 293 294 292 289 287 285 283 281 279 280 277 277 276 275 273  
779 778 776 778 779 778 777 778 779 778 777 778 779 778 776 778 779 778 776 778 779 778 778 779 778 777 778 777 778 778 778 776 779 778 777 779 778 778 779 778 779 779 778 778 779 778 779 778 779 778 779 778 777 779

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
281 281 282 282 280 280 279 279 281 282 282 281 283 281 283 283 286 283 284 285 286 284 285 285 288 285 286 286 283 285 283 284 283 282 282 281 282 283 284 284 284 285 285 284 284 284 285 285 284 284 284 285 286  
758 757 759 759 759 759 758 759 758 759 758 758 757 757 758 758 759 759 758 758 758 758 757 758 760 759 759 758 758 758 758 759 758 758 759 758 758 758 757 758 758 758 758 758 757 758 758 758 758 758 759 758 758 759

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 90 91 92 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 92 91 91 91 91 92 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 90 91  
132 131 131 131 130 130 131 131 131 131 132 131 132 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 130 131 131 131 131 131 132 131 131 132

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
118 120 121 122 122 124 127 129 132 135 138 139 140 142 142 143 144 144 145 144 142 143 144 143 142 142 143 144 146 148 149 152 153 155 158 161 163 165 167 169 172 173 175 177 178 180 183 185  
827 826 825 824 823 824 822 823 822 821 820 820 820 820 819 820 819 820 819 819 819 817 818 818 818 818 817 816 816 815 816 816 815 814 815 815 813 813 813 812 813 813 813 812 813 813 812 812 811 811 811 811 810

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
91 91 90 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 92 92 91 91 91 93 92 91 91 91 91 91 92 91 92 92 91 91 92 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 90 90 91 90 91 91 91 91 90  
110 109 110 110 110 111 111 111 112 112 111 111 112 113 114 113 114 114 115 114 114 115 115 116 117 116 116 117 118 117 118 119 118 119 119 119 119 119 119 119 119 120 121 122 122 122 122 122 122 122 122 122 124 124

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
109 110 109 110 109 110 110 109 109 110 110 110 109 110 109 110 112 110 110 110 115 112 111 114 116 118 123 128 134 139 143 148 154 159 164 168 173 178 181 183 188 191 194 197 200 204 207 208  
827 827 827 828 828 827 828 827 827 826 827 826 828 827 827 828 828 827 827 826 824 823 825 824 824 823 822 821 822 820 819 819 818 819 818 817 817 817 818 818 817 817 817 817 818 818 816 816 817 816 816 815 816 815

3840 3850 3860 3870 3880 3890 3900 3910 3920 3930 3940 3950 3960 3970 3980 3990 4000 4010 4020 4030 4040 4050 4060 4070 4080 4090 4100 4110 4120 4130 4140 4150 4160 4170 4180 4190 4200 4210 4220 4230 4240 4250 4260 4270 4280 4290 4300 4310  
91 91 91 91 91 91 92 91 92 91 91 91 92 91 92 92 91 91 91 91 93 92 91 90 90 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 90 90  
117 118 117 119 118 118 120 119 120 121 121 122 123 123 123 124 123 125 125 126 125 125 126 126 126 126 126 127 126 127 128 128 129 129 130 130 128 130 128 128 128 128 128 128 128 130 128 128 128 129



4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
362 363 363 362 364 363 364 363 363 362 363 363 362 362 362 363 362 363 363 363 363 363 363 364 364 364 364 364 364 364 364 364 364 364 365 365 364 364 365 365 364 364 365 365 365 365 365 365 364 364  
782 782 782 782 782 782 783 782 782 782 782 783 781 782 782 782 782 782 783 781 783 782 782 782 783 782 782 781 782 782 783 782 782 783 782 783 782 782 783 782 782 782 783 782 782 782 782 782

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 91 91 91 90 91 91 91 90 92 92 91 90 92 91 91 92 90 92 91 91 90 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 90 91 91 90 91 91 90 91 91 91 91 91 90 92  
130 131 130 131 129 130 130 130 131 129 131 130 130 130 130 131 129 130 131 130 130 130 131 130 131 130 131 130 131 130 131 130 131 130 130 130 130 130 130 131 129 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
337 338 337 338 337 338 337 337 338 338 338 338 337 338 338 338 338 337 338 338 338 339 338 339 338 338 337 338 337 338 337 339 339 338 338 339 338 339 339 339 339 339 339 339 339 338 339 339 339 339  
767 768 768 767 767 768 767 768 767 768 767 767 767 768 768 768 767 767 768 768 767 767 767 768 768 768 768 768 767 767 769 768 768 768 768 767 768 767 768 767 768 767 768 767 768 767 768 768 767 768 768 767 768 768

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
180 165 148 134 124 114 109 103 101 98 96 95 93 94 93 92 92 93 93 94 92 94 93 91 93 92 91 92 92 91 93 90 91 91 91 91 92 92 91 92 92 91 92 92 91 92 92 91 92 92 91 93 93 93 92  
803 803 806 806 810 812 814 816 817 822 824 824 829 831 831 831 830 831 831 833 834 836 840 841 842 843 845 845 846 846 847 848 849 852 853 854 855 856 856 857 859 861 862 865 865 865 865 866 866 871

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
285 285 285 284 285 286 286 285 286 286 286 286 286 285 285 286 284 285 285 284 288 286 286 285 285 287 286 287 286 287 286 288 288 288 287 287 287 286 287 287 287 287 287 287 286 288 290 288 288 290 290 290  
757 758 758 757 758 758 759 758 758 758 758 756 758 758 758 758 758 758 758 758 758 757 758 757 757 758 758 757 758 756 757 759 758 757 757 758 758 760 759 758 758 760 759 758 758 757 758 758 758 758 758 758

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 90 91 91 92 90 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91  
130 130 132 131 131 132 131 132 131 131 131 131 131 131 131 130 131 132 132 131 131 132 131 131 130 130 130 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 130 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
281 282 284 287 288 290 290 292 294 295 298 300 301 302 304 306 307 308 309 310 312 312 313 313 314 315 315 315 316 316 316 317 317 317 318 318 318 318 319 319 318 319 319 319 319 319 320 320 320 321 322 321  
799 798 798 797 798 798 797 797 796 796 796 796 796 796 795 795 794 796 795 795 796 795 795 795 794 794 795 794 794 794 796 794 794 795 796

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 91 90 90 91 90 90 91 91 91 91 90 90 90 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91  
129 130 130 128 130 130 128 129 129 130 128 130 129 128 129 130 130 129 129 129 129 129 129 129 130 130 128 129 129 128 129

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
311 312 311 312 313 313 314 315 316 316 317 317 318 317 318 318 319 318 319 319 320 320 321 322 322 324 324 325 325 326 326 327 327 327 328 328 327 328 328 327 328 328 329 329 329 329 330 329 330 330  
802 802 802 804 803 803 804 803 804 803 802 804 803 802 803 803 803 803 803 803 803 803 803 804 802 804 803 804 804 803 803 802 802 802 803 803 802 803 802 803 802 803 802 803 802 803 802 803 802 802 802 802 802

4800 4810 4820 4830 4840 4850 4860 4870 4880 4890 4900 4910 4920 4930 4940 4950 4960 4970 4980 4990 5000 5010 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100 5110 5120 5130 5140 5150 5160 5170 5180 5190 5200 5210 5220 5230 5240 5250 5260 5270  
91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91 90 91 91 90 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 92 91  
128 129 129 129 130 128 130 128 128 128 128 130 129 129 129 129 128 128 130 129 129 129 128 128 128 129 129 129 128 129 129 128 128 130 130 128 130 130 129 130 130 128 130 129 129 129 128 128 129 129 129

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
365 366 366 365 365 365 366 366 366 365 365 366 366 366 366 367 366 366 366 366 366 366 367 367 367 367 367 367 367 367 368 367 367 367 367 368 368 368 367 368 368 368 368 368 368 367 367 367 368 368  
783 782 782 783 782 782 782 782 782 782 782 782 782 783 783 783 782 782 781 782 782 783 782 782 783 783 782 782 782 781 782 782 782 782 782 782 783 782 782 782 783 782 782 782 782 782 782 782

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
90 92 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 91 90 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 90 91 92 90 91 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 90 90 91 91 90 90 91 90  
130 130 130 131 129 130 130 130 130 130 130 130 130 130 131 130 130 130 130 131 130 130 130 130 130 131 131 130 130 131 130 131 130 130 131 130 130 131 130 130 130 130 130 130 130 129 130 130 130 130 129

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
339 338 339 338 339 338 339 339 340 340 338 339 338 339 339 339 339 339 339 340 339 339 339 340 339 339 339 340 340 341 340 340 341 341 341 341 341 341 341 341 342 340 341 341 341 341 341 341  
767 768 767 767 768 767 768 768 768 769 768 767 768 767 767 767 768 767 768 767 768 767 768 767 768 767 767 767 767 768 767 768 768 767 767 767 767 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768 768

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
92 92 92 92 91 90 91 90 93 91 91 92 92 92 92 91 91 92 91 92 91 91 92 92 92 91 92 92 92 92 91 92 92 91 92 91 92 91 92 92 91 92 91 91 91 94 91 93 91 91 93  
872 873 874 875 876 877 878 878 878 880 883 885 885 886 887 889 890 892 893 894 896 897 898 901 902 903 903 904 905 906 907 908 910 912 913 916 917 918 920 920 99 101 102 105 106 107 109 109

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
290 288 290 290 291 291 292 292 290 291 293 290 291 291 292 290 291 290 289 290 290 289 290 289 291 289 290 290 293 291 291 291 291 291 291 291 290 291 291 291 291 289 292 291 289 291 289 291 290 290 291 291 291  
758 756 758 757 758 757 758 757 756 759 760 757 758 757 759 758 760 756 758 758 756 758 758 757 758 758 757 758 758 757 758 758 757 758 757 757 756 757 757 758 758 758 758 758 758 758 758 760 757 756 758 757 758

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
91 91 91 90 91 91 91 91 91 92 91 90 91 91 91 90 91 90 91 91 91 91 92 91 91 91 91 91 90 90 91 91 91 90 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 92 90 91 91  
131 131 132 131 131 131 132 131 131 130 131 131 131 132 131 131 131 131 132 131 131 132 130 131 131 132 130 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 130 132 132 132 131 132 131 130 131 131 131 131

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
322 322 322 322 323 323 323 322 322 323 323 323 323 323 323 324 324 324 324 324 325 325 325 324 325 325 325 325 325 325 326 326 326 326 326 327 326 326 326 327 326 326 326 327 326 327 326 327 326 326 327  
794 794 796 795 795 794 794 796 794 796 794 795 795 796 794 795 795 796 795 794 794 795 794 795 794 795 796 794 796 795 796 796 794 794 795 795 795 795 796 794 795 795 795 795 795 795 795 795 796 796 796 796 796 796

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
91 91 91 91 92 91 90 91 91 91 90 91 90 90 91 90 90 91 90 91 92 91 91  
129 129 129 130 130 130 130 129 130 129 129 129 129 130 130 130 129 129 128 130 129 128 128 129 129 128 130 128 128 129 129 129 129 130 128 128 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
330 330 331 331 331 331 331 331 330 331 331 331 330 330 329 330 330 330 329 328 328 327 328 328 327 328 328 329 329 329 330 331 331 331 331 331 331 332 332 332 332 333 333 333 334 335 334  
803 803 803 804 804 802 804 804 802 804 803 803 803 802 803 802 803 802 803 803 802 802 803 803 802 803 803 802 803 803 803 803 803 803 803 803 803 804 803 803 804 803 803 804 804 803 803 804 804 802 803 803

5280 5290 5300 5310 5320 5330 5340 5350 5360 5370 5380 5390 5400 5410 5420 5430 5440 5450 5460 5470 5480 5490 5500 5510 5520 5530 5540 5550 5560 5570 5580 5590 5600 5610 5620 5630 5640 5650 5660 5670 5680 5690 5700 5710 5720 5730 5740 5750  
90 92 90 91 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 92 90 91  
128 130 128 129 128 129 129 128 129 128 129 128 130 129 130 129 130 128 128 128 128 128 129 129 129 130 128 128 128 128 129 128 128 129 128 128 129 128 128 128 128 129 129 128 128 128 128 128 128 128



















9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
386 386 386 386 386 387 387 387 387 387 387 387 387 387 388 388 388 388 388 388 388 387 388 388 388 387 388 388 388 389 389 388 388 388 388 388 388 388 388 388 389 388 388  
781 782 782 782 782 782 782 782 783 782 782 783 782 781 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 782 783 783 782 782 782 782 782 782

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 91 91 90 91 91 91 91 90 92 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 92 91 91 91 91 91 90 92 90 91 90 91 91 91 91 90 90 91 90 91 90 92 91 90  
131 130 131 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 129 130 131 130 130 130 130 130 131 131 130 130 130 130 130 130 131 130 129 130 130 130 131 131 129 130 130 130 130

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
346 346 346 345 345 345 345 346 345 345 345 345 345 345 346 346 345 346 346 346 346 346 346 346 345 345 345 345 345 346 346 345 346 345 346 345 346 345 346 345 346 345 345  
768 768 768 768 767 768 767 768 768 767 768 768 767 767 767 768 767 767 767 768 769 767 767 768 767 768 768 768 767 768 768 767 768 768 767 768 768 767 768 768 768 768 768 768

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 90 91 90 91 91 91 90 91 90 91 91 91 91 90 90 91 91 91 91 91 90 90 91 91 92 91 91 90 91 92 91 91 90 91 91 92 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91  
132 133 132 132 132 132 133 132 132 132 133 132 132 133 132 132 132 131 133 133 132 132 132 132 132 132 133 132 132 133 132 132 133 131 132 132 132 132 133 132 132 132 132 132

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
293 294 293 293 296 295 295 294 295 295 296 296 295 294 295 293 293 294 294 295 294 293 292 294 294 295 294 295 294 295 294 294 295 297 295 294 295 294 294 295 294 294 295 294 295 294  
757 758 757 758 758 758 758 757 758 757 756 758 756 757 757 759 758 758 758 759 758 758 758 758 756 758 758 758 758 758 759 757 758 756 756 758 758 757 757 757 756 757

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 92 91 91 91 91 91 91 91 91 91 90 92 90 91 90 92 91 90 91 90 91 90 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 90 91 91 91 90 91 91  
132 132 132 131 131 131 132 131 131 130 131 131 131 131 131 130 131 131 131 131 131 131 131 131 131 132 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131 131

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
340 340 340 340 340 340 339 340 339 340 339 340 339 340 340 339 340 339 339 340 340 340 340 340 339 339 340 340 340 340 339 339 340 339 340 340 341 340 341 340 340 340  
794 794 795 795 795 794 795 795 794 794 796 796 794 794 795 795 794 796 796 794 794 794 794 794 795 795 794 796 795 795 795 794 795 795 794 796 794 795 795 795 794 795 795 795 795 795

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
90 91  
128 129 130 129 129 130 128 128 130 130 128 130 129 129 129 130 130 129 129 130 129 129 129 129 129 129 129 129 129 129 128 130 129 128 130 129 128 130 129 129 129 130 129 128

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
361 361 362 360 361 361 362 361 361 361 361 362 361 361 361 361 360 361 361 361 361 361 361 361 362 361 361 362 361 361 361 361 361 361 361 361 361 361 361 361 361 361  
802 802 802 802 804 804 803 802 802 802 804 802 802 804 802 802 803 803 803 803 802 803 803 803 802 802 802 802 803 803 803 803 803 803 803 803 802 803 804 802 802 804 802 802

9600 9610 9620 9630 9640 9650 9660 9670 9680 9690 9700 9710 9720 9730 9740 9750 9760 9770 9780 9790 9800 9810 9820 9830 9840 9850 9860 9870 9880 9890 9900 9910 9920 9930 9940 9950 9960 9970 9980 9990 10000 10010  
91 91 91 90 91 91 91 90 91 91 91 91 91 91 91 90 92 90 92 90 91  
128 128 129 130 129 130 130 130 130 130 128 129 129 130 129 130 129 130 128 129 128 130 129 130 129 128 128 130 130 130 130 129 130 130 129 128 129 130 129 129 129 129 129 129



# Anexo J

Comité de ética para la investigación con seres humanos y animales – CEI(sha)  
Vicerrectorado de Investigación – PUCP

---

## **PROPUESTA DE PROTOCOLO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPANTES: EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PROTOTIPO DE PRÓTESIS MIOELÉCTRICA DE MIEMBRO SUPERIOR CON USUARIO.**

El propósito de este protocolo es brindar a los y las participantes en esta investigación, una explicación clara de la naturaleza de la misma, así como del rol que tienen en ella.

### **1. Introducción**

La presente investigación conducida por Julio Tafur, investigador responsable de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se encuentra en el marco del **Proyecto de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico ID681 - Contrato 059-2018 FONDECYT: Diseño, Desarrollo e Implementación de Prótesis Mioeléctricas personalizadas de mano con retroalimentación háptica empleando tecnologías de fabricación digital en filamentos de plástico PET reciclado de bajo costo..** Este proyecto tiene como meta desarrollar un prototipo de prótesis mioeléctrica de miembro superior, la cual será controlada por medio de la actividad eléctrica de los músculos remanentes del muñón del usuario voluntario y permitirá, el control de posición y fuerza de la mano forma independiente.

Una prótesis mioeléctrica de miembro superior es un brazo o mano artificial, energizada por una fuente externa (ej. baterías eléctricas), que el usuario controla con señales eléctricas generadas, de forma natural, por sus propios músculos (señales EMG). Este tipo de prótesis está diseñado para suplir las funciones del miembro perdido y así mejorar la funcionalidad de la persona con discapacidad, permitiéndole manipular objetos e interactuar con su medio. A diferencia de sus contrapartes mecánicas, las prótesis mioeléctricas ofrecen la ventaja de no requerir de la fuerza de otras partes del cuerpo, como hombros y músculos de la espalda. Así mismo este tipo de control es más intuitivo, lo cual permite al usuario manipular los objetos de forma más natural.

En este proyecto de investigación, se desarrollará una prótesis mioeléctrica de miembro superior transradial, la cual es capaz de generar múltiples gestos de mano y permite el control de fuerza de la misma. La prótesis está compuesta por cinco dedos con movimientos conjunto y un motor. El dedo pulgar puede rotar y flexionarse (cerrarse), mientras que los demás dedos pueden flexionarse y extenderse (cerrarse y abrirse). El mecanismo de los dedos de la prótesis les permite adaptarse en cierto grado a la geometría del objeto a coger. El material del que están fabricados los componentes de la prótesis es el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), un plástico de uso doméstico. Dichos componentes son fabricados por impresión 3D.

Con el fin de transmitir la intención de movimiento del usuario a la mano robótica, es necesario adquirir las señales musculares. Para ello, esta prótesis cuenta con un arreglo sensores electromiográficos (sensores EMG), implementados como parte de la investigación, los cuales toman las señales de múltiples músculos del antebrazo. Posteriormente, estas señales son llevadas y procesadas en un controlador embebido (computador) dentro de la prótesis, el cual interpreta el movimiento de mano que pretende realizar el usuario.

Este controlador se encarga de hacer girar el motor para mover los dedos de acuerdo al gesto de mano predefinido que indiquen los sensores EMG. Este sistema comprende un controlador principal y varios secundarios. El principal establece la comunicación con el sistema mioeléctrico, sensores de posición y fuerza, motores y reguladores de velocidad. Los controladores locales poseen un algoritmo de control de impedancia, el cual es una estrategia de control de la posición y de la fuerza ejercida en los puntos de contacto de los dedos.

Los sensores EMG están contenidos en el encaje protésico, el cual es la interfaz que protege y está en

contacto con el muñón del usuario, uniéndose a la mano robótica de la prótesis. El encaje está conformado por un marco rígido y una pieza en silicona antialérgica .

Este estudio tiene como objetivo la evaluación funcional de la prótesis desarrollada. Estas pruebas contemplan una primera evaluación de la prótesis con el usuario en su versión más simplificada. La cual incluye un algoritmo de control de posición.

Las pruebas consisten en una primera etapa acostumbrar al voluntario al control mioeléctrico y a la correcta generación de gestos de manos a voluntad. Una vez entrenado ,el voluntario, esté podrá en practica los gestos manipulando objetos de diferentes formas y tamaños, esto

## **2. Objetivo**

Evaluación funcional del prototipo de prótesis mioeléctrica de miembro superior con usuario.

## **3. Objetivos específicos**

- Evaluación de la controlabilidad (generación de gestos)
- Evaluación de la destreza de la prótesis para coger objetos (con control de posición)

## **4. Población y muestra**

El usuario requerido para este estudio es una persona adulta entre las edades de 18 y 45 años con amputación del antebrazo (transradial) de miembro superior. Con amputación unilateral. La persona será escogida por un médico especialista.

## **5. Materiales y Métodos**

En la siguiente sección se describen las pruebas a realizar con los voluntarios detallando cada parte de su proceso. Como parte de todas estas pruebas se harán registros audiovisuales, grabación con cámaras digitales y fotografías.

La prueba se realizará en el Laboratorio de Investigación de Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA) que se encuentra en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Las pruebas se realizarán en **3** sesiones separadas y durarán en promedio **2h** como máximo.

### **5.1. Posicionamiento ubicación espacial en el laboratorio**

El participante estará sentado en una silla junto a un escritorio en una posición relajada y manteniendo los codos flexionados aproximadamente 90° al inicio con las manos sobre la mesa.

### **5.2. Pruebas de entrenamiento de uso de la prótesis.**

Se realizará el entrenamiento de uso de la prótesis , considerando la versión más básica de la misma.

#### **5.2.1 Calibración de las señales EMG.**

Se pedirá al participante usar un arreglo de sensores EMG alrededor del antebrazo de la mano

amputada, y un sensor en el codo del mismo brazo. Estos estarán sobre la piel y se fijarán por medio de un estructura plástica que fija los sensores sobre la piel, adicionalmente sobre esta se usara una cinta elástica para minimizar el movimiento de los sensores y evitar la repetición de la prueba. Luego se fijará la mano saludable sobre los sensores de fuerza, que consiste en una plataforma con un sensor por dedo, y el codo estará apoyado sobre una pieza de madera.

El participante, realizará un entrenamiento bilateral, este consiste en solicitarle al usuario realizar flexiones coordinadas con “ambas” manos a fin de registrar la fuerza y gesto de mano saludable y la actividad electromiográfica del muñón.

Seguido, el participante realizará ejercicios de flexión y extensión de los dedos así como patrones mixtos (ej. flexión de índice y pulgar, flexión de anular e índice, etc), mientras mira un monitor el cual le muestre qué patrón de fuerza debe realizar. Este ejercicio se repetirá 5 veces con pausas entre 3-5 minutos, todo el proceso de lectura tomará 25 minutos. Sin embargo puede tomar un poco más de tiempo, de repetirse una o más tomas de datos (por mala lectura). Una vez adquiridos los datos, el voluntario será desconectado de los equipos y se le solicitaría que descansa, mientras tanto se procederá a generar el modelo de estimación de gestos, este proceso demorara un máximo de 10 min. La toma de datos será supervisada por un investigador especializado el cual ayudará, al participante en la instalación de los equipos a fin de que la prueba se pueda realizar lo más rápido y cómodo posible.

Seguido a esto se pedirá al participante, practicar cuatro tipos de posturas de manos, así como el cierre de cada una. Esto proceso se llevará a cabo con la ayuda de un un software y los sensores EMG, donde el software le mostrará qué gesto debe de realizar, mientras las sensores toman las señales para su procesamiento en tiempo real.

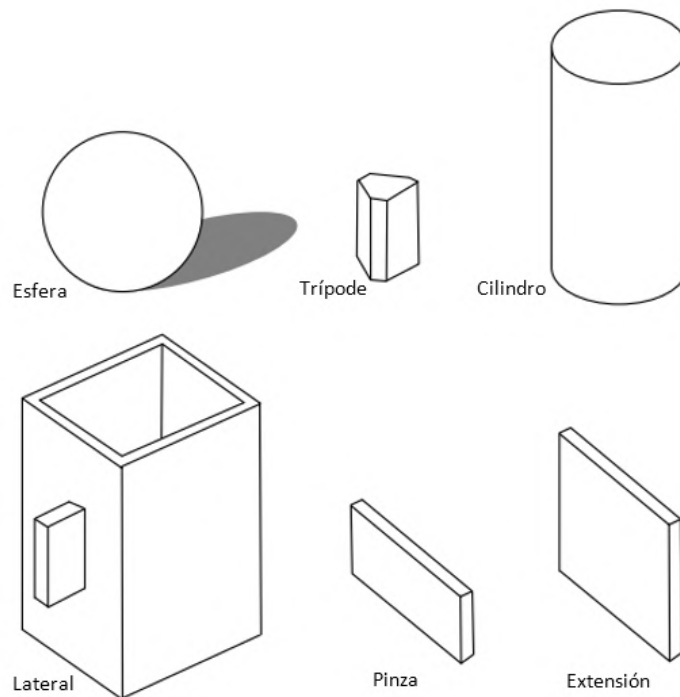
El voluntario imitará cada gesto de mano, por un periodo máximo de 5 minutos, después de cada imitación, el participante tomará un descanso de 2 minutos. Si el proceso de imitación presenta una tasa baja de éxito, se procederá a generar un nuevo modelo y se repetirá la práctica de los gestos.

### **5.2.2 Evaluación de gestos de mano con la prótesis.**

Posterior a la calibración de los sensores EMG para el paciente, el funcionamiento de la prótesis será evaluado en dos fases, las cuales son descritas a continuación:

- a. **Control de gestos de la mano:** El voluntario, con ayuda del asistente de investigación, se colocará la prótesis mioeléctrica. Se le solicitará al participante generar gestos de manos con su respectivo cierre. Para ello el asistente de investigación le indicará al participante qué gesto de mano realizar y se observará la acción que realice la prótesis. Se comprobará la ejecución del gesto correcto de la mano. Cada gesto de mano, se practicará un periodo máximo de 5 minutos, con descansos de 2 minutos, los cuales pueden prorrogarse si el usuario experimentara fatiga.
- b. **Manipulación de objetos abstractos:** En esta fase, se pondrá a disposición dos conjuntos de 6 objetos con diferentes formas (ver imagen debajo). Cada tipo de objeto tiene una versión ligera y otra más pesada. Estos se usarán para practicar la manipulación de objetos y su desplazamiento. Para esta prueba, el participante acercará la mano prostética al objeto a mover, y generará el gesto de mano adecuado para manipular el mismo, y cerrará la mano para sujetarlo. Una vez que el objeto haya sido sujetado con firmeza, será levantado aproximadamente 20 cm sobre la mesa, y desplazado 10 cm de forma horizontal; Finalmente se deposita con delicadeza sobre la mesa, evitando botarlo. Después de cada desplazamiento se descansara un minuto. Este proceso será repetido 3 veces por objeto, empezando por los

objetos livianos y luego los pesados. De ser necesario, se repetirá más veces hasta que el voluntario alcance su destreza máxima. Finalizada la prueba el voluntario descansará 15 min.



Fuente: Southampton Hand Assessment Procedure (modificado)

Terminada la prueba anterior, el participante se parará de la silla, y repetirá la misma prueba de manipulación de objetos, siendo la única variante el estar parado. Finalizada la prueba el voluntario descansará 15 min sentado.

## 6. Riesgos y Beneficios

Debido a que la prótesis de mano es un prototipo que se busca validar funcionalmente más no clínicamente, los investigadores no pueden prescribirla al paciente en tanto sus efectos a largo plazo no han sido medidos y podrían ser perjudiciales. Es posible que durante las pruebas el usuario experimente cansancio muscular debido al peso adicional que conlleva la prótesis. Si este cansancio fuera considerable a pesar de los tiempos de descanso programados el paciente puede solicitar la prolongación de los tiempos o la suspensión de la participación.

## 7. Aspectos Éticos

La data extraída será anónima, por ello será codificada utilizando un número de identificación. Si la naturaleza del estudio requiriera su identificación, ello solo será posible si es que usted da su consentimiento expreso para proceder de esa manera.

Si tuviera alguna duda con relación al desarrollo del proyecto, usted es libre de formular las preguntas que considere pertinentes. Además, puede finalizar su participación en cualquier momento del estudio sin que

esto represente algún perjuicio para usted. Si se sintiera incómoda o incómodo, frente a alguna de las preguntas, puede ponerlo en conocimiento de la persona a cargo de la investigación y abstenerse de responder.

Muchas gracias por su participación.

---

Yo, \_\_\_\_\_ doy mi consentimiento para participar en el estudio y soy consciente de que mi participación es enteramente voluntaria.

He recibido información en forma verbal sobre el estudio mencionado anteriormente y he leído la información escrita adjunta. He tenido la oportunidad de discutir sobre el estudio y hacer preguntas.

Al firmar este protocolo estoy de acuerdo con que mis datos personales, incluyendo datos relacionados a mi sexo, salud física y mental , podrían ser usados según lo descrito en la hoja de información que detalla la investigación en la que estoy participando. Entiendo que puedo solicitar la censura de mi rostro en el material audiovisual extraído en esta prueba. A su vez soy consciente que los datos que se obtenga en la prueba a desarrollar podrán ser utilizados para investigaciones y proyectos futuros.

Entiendo que puedo finalizar mi participación en el estudio en cualquier momento, sin que esto represente algún perjuicio para mí.

Entiendo que recibiré una copia de este formulario de consentimiento e información del estudio y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo comunicarme con \_\_\_\_\_ al correo \_\_\_\_\_ o al teléfono \_\_\_\_\_.

---

Nombre completo del (de la) participante

Firma

Fecha

---

Nombre del Investigador responsable

Firma

Fecha