

**INSTRUMENTACION PARA DISPOSITIVO BIOMECANICO CORRECTOR DE PIE CAIDO
TIPO "AFO"**

MIGUEL FERNANDO CORREDOR PASTOR

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

**INSTRUMENTACION PARA DISPOSITIVO BIOMECANICO CORRECTOR DE PIE CAIDO
TIPO “AFO”**

MIGUEL FERNANDO CORREDOR PASTOR

**Trabajo de grado para optar al título en
Ingeniería Electrónica**

**Directores
Diego Patiño
Ingeniero Electrónico. Ph.D
Martha Zequera
Diseñadora industrial. Ph.D**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

Nota de aceptación:

Firma de los directores

Firma del evaluador

Bogotá, 2 de noviembre de 2017

NOTA DE ADVERTENCIA

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado, solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque los trabajos no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vea en ellos el anhelo de buscar la verdad y justicia”

Artículo 23 de la Resolución No 13, del 6 de julio de 1946, por el cual se reglamenta lo concerniente a Tesis y Exámenes de Grado en la Pontificia Universidad Javeriana.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	9
2. MARCO TEORICO	11
2.1. Anatomía del pie y el tobillo	11
2.2. Marcha Humana	13
2.4.1 Fase de oscilación de la marcha	
2.3. Biomecánica tobillo marcha	14
2.4. Pie caído	15
2.4.1. Hemiplejia	15
2.5 Ortesis AFO (tratamiento para pie caído)	16
3. OBJETIVO DEL PROYECTO	17
4. DESARROLLO	18
4.1 Ortesis	18
4.2 Elección de los dispositivos de instrumentación	19
4.3 IMUs conexiones y especificaciones	20
4.4. Potenciómetro conexiones y especificaciones	22
4.5 Tarjeta de desarrollo	24
4.6 Montaje de las IMUs	27
4.7 Montaje del potenciómetro	28
4.8 Montaje del sistema de transmisión	28
4.9. Diagrama de flujo del software para medir el ángulo de dorsiflexión	29
5. PROTOCOLO DE PRUEBAS	31
5.1 DESCRIPCION DEL SUJETO DE PRUEBA	31
5.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA LA REALIZACION DE LA PRUEBA	31
5.3 METODOLOGIA PARA REALIZAR LA PRUEBA	32
5.4 INSTRUCCIONES AL SUJETO DE PRUEBA	33
6. ANALISIS DE RESULTADOS	34
6.1 COMPARACION CON UN ESTUDIO GUBERNAMENTAL	34
6.2 DESCRIPCION DETALLADA DE LA PRUEBA	37
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
8. BIBLIOGRAFÍA	40
9. ANEXOS	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Articulaciones que forman el tobillo	Pág.11
Figura 2. Huesos del pie	Pág.12
Figura 3. Ciclo de marcha humana	Pág.12
Figura 4. (a) Despegue de los dedos 70% del ciclo de marcha. (b) separación mínima en oscilación media 85% del ciclo. (c) Tibia vertical 87% del ciclo (d) Contacto del talón 100% del ciclo	Pág.13
Figura 5. Descripción el movimiento de la articulación del tobillo en tres intervalos en el plano sagital	Pág.14
Figura 6. Principales músculos y nervios involucrados en la afección del pie caído.	Pág.16
Figura 7. Diagrama de elección de la ortesis AFO termoformada.	Pág.18
Figura 8. Foto de ortesis empleada.	Pág.19
Figura 9. Elección de las IMUs y el encoder como dispositivos de medición.	Pág.19
Figura 10. Pines de la polulu MiniMU-9 v3.	Pág.21
Figura 11. Diagrama de conexión de las IMUs al Arduino.	Pág.22
Figura 12. Gráfica de posición vs resistencia del potenciómetro	Pág.23
Figura 13. Gráfica conexión del potenciómetro al arduino	Pág.23
Figura 14. Resumen con los datos técnicos del microcontrolador arduino.	Pág.25
Figura 15. Raspberry con sus partes.	Pág.26
Figura 16. Pines en la Raspberry pi 3.	Pág.27
Figura 17. Montaje IMUs a) enfrente una de otra a cero grados, b) cuando gira una respecto a la otra, c) dispositivo para introducir las IMUs para que giren en la ortesis.	Pág.27
Figura 18. Montaje de las IMUs Vista de frente	Pág.28
Figura 19. Representación y fotografía del montaje del potenciómetro en la ortesis.	Pág.28
Figura 20. Caja de sistema de transmisión.	Pág.29
Figura 21. Diagrama de flujo para la medición del ángulo de dorsiflexión.	Pág.29
Figura 22. Explicación de longitud de paso completa en la marcha	Pág.31
Figura 23. Secuencia previa para la medición del ángulo de dorsiflexión.	Pág.32
Figura 24. Postura de la ortesis en el pie de la niña.	Pág.33

- Figura 25.** Grupos de estudio en el artículo de la NCBI. Pág.34
- Figura 26.** Fase de postura (stance phase) y la fase de oscilación (swing phase). Pág.35
- Figura 27.** Valores extremos de los ángulos de dorsiflexión (máximo), para los grupos de pie caído y control. Pág.36
-
- Figura 28.** Porcentaje en la marcha vs ángulo en el tobillo (ankle) para el estudio del NCBI Pág.36
- Figura 29.** Imágenes de la prueba realizando la marcha de cinco longitudes de pasos completas. Pág.37
- Figura 30.** Prueba porcentaje marcha vs ángulo de dorsiflexión, en una de las pruebas realizada con la niña con la ortesis. Pág.38
-
- Figura 31.** Comparación de las gráficas de marcha vs ángulo de dorsiflexión, de tres de las pruebas realizadas con la niña con la ortesis contra la gráfica del estudio realizado en el NCBI Pág.38

1. INTRODUCCIÓN

Una de las enfermedades que afectan al adulto mayor en Colombia, es el pie caído. Enfermedad que se manifiesta con la debilidad o parálisis de los músculos intervienen para levantar la parte anterior del pie. Una de las principales causas que origina el pie caído, es la compresión de un nervio de una de las piernas, que controla los músculos que intervienen para levantar el pie. Este nervio también puede lesionarse durante la cirugía de reemplazo de cadera o de rodilla del paciente. [1]

La debilidad de los músculos responsables de la dorsiflexión del pie causa dificultad en la marcha del paciente, particularmente para levantar la punta del pie y se expone continuamente a tropiezos y caídas.

Existen diferentes tratamientos para tratar el pie equino: iniciando con fisioterapia y posteriormente el uso de férulas o tratamientos ortésicos asistidos para suplir la musculatura afectada, mantener el pie en un ángulo de 90 grados para evitar su arrastre al dar el paso. Este tratamiento ortésico se realiza de manera gradual, modificando progresivamente el ángulo del dispositivo dependiendo de la rigidez o flexibilidad de los músculos del pie del paciente para llevarlo sucesivamente a la posición de 90 grados. Este proceso se puede acompañar con estimulación eléctrica funcional y se aplica corriente eléctrica de bajo voltaje sobre el nervio motor que levanta el pie. Estos dispositivos suelen ser muy caros y no siempre funcionan. [1]. [3].

Por lo anterior es necesario desarrollar nuevas ortesis que permitan facilitar la marcha del paciente con pie caído, que permitan la corrección gradual de la postura del pie mediante un soporte biomecánico en la planta del pie articulado con otro soporte a nivel de la pantorrilla. Este sistema debe contar con un dispositivo que permita registrar gradualmente la variación del ángulo de la articulación del pie en dorsiflexión durante la marcha, además de mantener el pie en un ángulo de 90 grados para evitar que el pie se arrastre y los dedos choquen contra el piso durante la marcha y así evitar el riesgo de caídas. [1].

Dado que las ortesis disponibles en el mercado colombiano son mecánicas y no permiten el registro de la variación del ángulo de la articulación del tobillo durante su uso, el Laboratorio Foot Lab del grupo BASPI ha venido desarrollando en su línea de investigación dispositivos para asistir en la rehabilitación y movilidad y propone la instrumentación de una ortesis con la aplicación de la Electrónica para facilitar el seguimiento de pacientes con pie caído, mediante el diseño de un sistema híbrido, mecánico - electrónico que permita el registro y adquisición del rango de ángulos entre las dos interfaces móviles de la órtesis, y el envío de datos a una plataforma para la visualización.

Así mismo se quieren lograr los siguientes objetivos específicos:

Implementar mediante la tarjeta de Raspberry pi3 el registro de la variación del ángulo de dorsiflexión en la AFO.

Realizar la interfaz entre las tarjetas IMU y la tarjeta de desarrollo por medio del protocolo de comunicaciones I2C.

Realizar un muestreo con una frecuencia de 30 datos por segundo, estos datos se guardarán en un registro para su posterior visualización en la pantalla.

Desarrollar un ambiente que muestre gráficamente los valores de ángulo y posición de la ortesis tipo AFO mediante un lenguaje de programación.

Evaluar el dispositivo realizando pruebas de calibración en los ángulos de dorsiflexión para verificar su correcto funcionamiento mediante un sistema de medición más preciso que el sistema IMU, se escogerá un sistema conveniente, esto se refiere a que se obtenga una precisión de al menos 0.5° .

Para desarrollar estos objetivos se logró diseñar e implementar un sistema híbrido, mecánico - electrónico que permitió el registro y adquisición del rango de ángulos entre las dos interfaces móviles de la órtesis, y el envío de datos a una plataforma para la visualización, análisis y seguimiento por parte del especialista responsable de asistir a pacientes con pie caído.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación se mencionan algunos conceptos fundamentales que se consideraron en el desarrollo del presente proyecto desde las funciones del pie, la articulación del tobillo, su funcionamiento biomecánico básico en la marcha, las fases de la marcha, posteriormente se describen las causas de la patología del pie caído y su efecto en la alteración de la posición anatómica del pie y de los rangos de movimiento durante la marcha patológica y posteriormente posibles tratamientos ortésicos reportados en la literatura, Cómo el tratamiento ortésico puede contribuir en la modificación y normalización de los rangos de los ángulos de la articulación pie - tobillo esperados en la evolución de la enfermedad, como tratamiento para evitar caídas del paciente, sistemas de registro y control para la optimización de las Órtesis AFO (Ankle Foot Orthoses), objeto de interés de este trabajo y dispositivos electrónicos disponibles para su registro e integración.

2.1 Anatomía del pie y el tobillo

El pie es el principal sistema biológico para permitir la locomoción o la marcha humana. La articulación del tobillo está compuesta por la zona inferior de la tibia y el peroné, formando una capsula que contiene; el maléolo interno y maléolo externo respectivamente, en combinación con otros huesos fundamentales como son el retropié: el calcáneo y el astrágalo. En la figura 1. Ver imagen de las articulaciones del tobillo. [11]

El pie está compuesto por 26 huesos pequeños que se articulan entre sí en forma de bóveda como se muestra en la figura 2. [11] Se pueden distribuir en:

Retropié: calcáneo y astrágalo. Mediopié: escafoides, cuboides y 3 cuñas. Antepié: 5 metatarsianos y 14 falanges. [11]

La fascia plantar es una Estructura fibrosa y muy resistente de tejido conectivo que recorre la planta del pie desde el calcáneo hasta la base de los dedos. Es una prolongación del tendón de Aquiles y es el principal estabilizador de la bóveda plantar. [5] [11]



Figura 1. Articulaciones que forman el tobillo. [5].

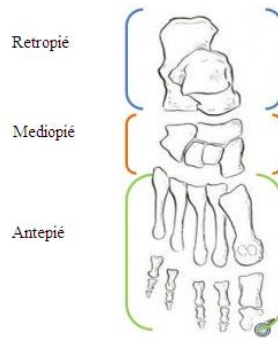


Figura 2. Huesos del pie. [11].

2.2 Marcha Humana

La marcha humana es el producto de una secuencia de movimientos cíclicos de las extremidades en combinación con el tronco, con el fin de obtener un desplazamiento. Cuando se camina el cuerpo debe ser capaz de mantener el equilibrio incluso cuando se apoya en una pierna, esta debe soportar todo el peso del cuerpo, mientras la pierna oscilante avanza en la posición lineal, hasta que esta se convierta en la pierna de apoyo, estas fluctuaciones deben aportar estabilidad al cuerpo. Este intercambio continuo de estabilidad implica una buena movilidad articular y una apropiada acción muscular [1].

La marcha patológica puede ser debida a desordenes de tipo neuromuscular o estructural del sistema locomotor, pueden presentarse cinco etiologías: desalineaciones y disimetrías, alteraciones neurológicas y musculares, inestabilidad articular, rigidez articular y fibrosis de partes blandas [11], [12]. La marcha hemipléjica se debe a alteraciones neurológicas, y el patrón difiere del normal por las compensaciones que realiza el individuo para desplazarse. [11].

Para realizar el análisis de la marcha se estudia el ciclo de marcha que es su unidad fundamental. Un ciclo completo de marcha se divide en dos fases principales: la fase de apoyo y la fase de oscilación. La fase de apoyo constituye aproximadamente el 60% del ciclo de marcha y la de oscilación el 40% restante [19]. El ciclo comienza cuando el pie entra en contacto con el suelo en el punto 0% que se denomina contacto del talón y termina en el punto 100% cuando el mismo pie entra en contacto nuevamente con el suelo. (Figura 3). [2]

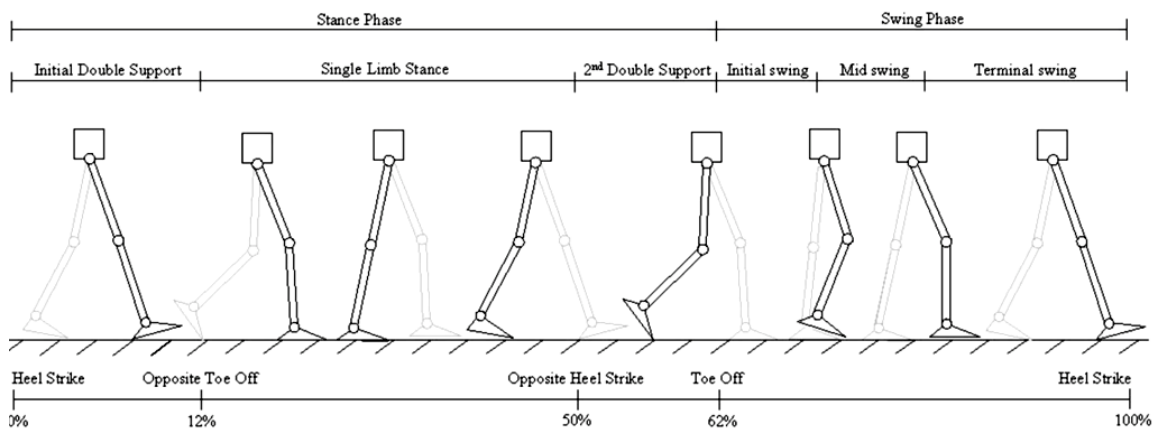


Figura 3. Ciclo de marcha humana. Tomado de [2]

La fase de apoyo se subdivide en apoyo inicial, apoyo medio y apoyo final. Al primero le corresponde el contacto inicial, cuando el pie entra por vez primera en contacto con el suelo en el 0% del ciclo. El apoyo medio corresponde al 10% del ciclo y ocurre cuando despega el pie opuesto. Durante el 30% se produce el levantamiento del talón del pie contrario. El apoyo final comienza en el punto 50% con el contacto inicial del pie opuesto y finaliza en el punto 60% en el cual se inicia la fase de oscilación.

2.2.1 Fase de oscilación de la marcha

La fase de oscilación inicia en el 60% del ciclo hasta el 100%, y se subdivide en: oscilación inicial, media y oscilación final. [7]

Oscilación inicial: se presenta aproximadamente entre el 60% y el 73% del ciclo. Durante esta fase el pie deja el suelo y se presenta la acción de los músculos flexores (ver Figura 4). Mientras el pie está en el aire no hay fuerzas de reacción y las únicas fuerzas externas actuantes sobre la extremidad son el peso y las fuerzas de inercia [7]. En la fase de oscilación inicial la cadera se extiende a 10° y luego se flexiona debido a la contracción de los músculos 20° con rotación lateral. [16] [17] La rodilla se flexiona a $40-60^\circ$, y el tobillo va de 20° de flexión plantar a dorsiflexión, para terminar en una posición neutral. [16]

Oscilación media: Se encuentra entre el 73% y el 87% del ciclo y su objetivo es mantener la separación entre el pie y el suelo, y este factor depende del mantenimiento de una pelvis relativamente horizontal, de una suficiente flexión de cadera y de una dorsiflexión de tobillo adecuada. En una marcha normal, la separación mínima entre el pie y el suelo es de 1.29 ± 0.45 cm [21]. En el plano sagital la extremidad en oscilación se comporta como un péndulo compuesto y es un periodo durante el cual la acción muscular es mínima, sólo el tibial anterior actúa reduciendo la flexión plantar [21]. En la oscilación media la flexión de cadera es de 35° , la rodilla con flexión de 30° , y el tobillo está en su posición neutral con un ángulo tibial-plantar de 90° , cuando la tibia de la pierna oscilante está orientada en dirección vertical en el 87% del ciclo (Figura 4). [8]. En la fase de oscilación media, la cadera flexiona a 30° (por contracción de los abductores) y el tobillo se vuelve dorsiflexor debido a una contracción del músculo tibial anterior. La rodilla flexiona 60° , pero luego se extiende aproximadamente 30° debido a la contracción del músculo sartorio. [16] [17] Esta extensión es causada por los músculos del cuádriceps. [16] [17].

Oscilación final: Ocurre entre el 87% y el 100% del ciclo. Aquí se desacelera la pierna y se posiciona correctamente el pie para establecer contacto con el suelo. En el plano sagital es necesaria una extensión completa de la rodilla y una posición neutra del pie con respecto a la pierna para realizar el contacto efectivo del talón y el comienzo en el siguiente ciclo, además de una flexión máxima en la cadera y el pie en su posición neutra. El evento final es el contacto inicial cuando el pie entra en contacto con el suelo (Figura 4). [9]. La fase de oscilación final comienza con una flexión de la cadera de $25-30^\circ$, una extensión bloqueada de la rodilla y una posición neutra del tobillo. [16]

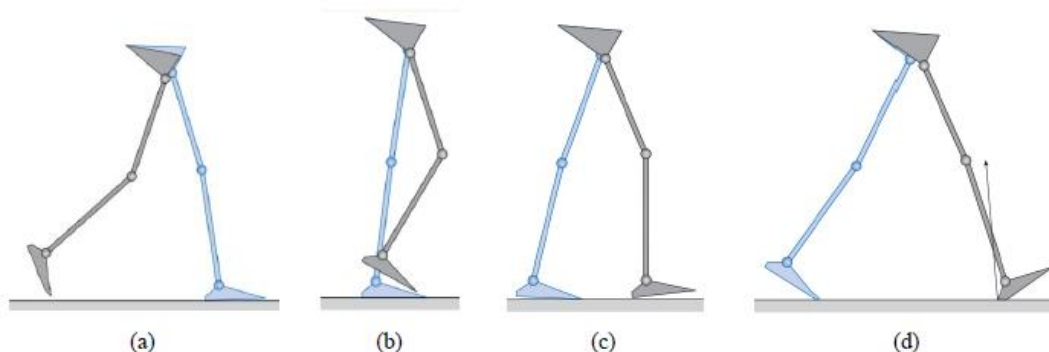


Figura 4. (a) Despegue de los dedos 70% del ciclo de marcha. (b) separación mínima en oscilación media 85% del ciclo. (c) Tibia vertical 87% del ciclo (d) Contacto del talón 100% del ciclo. Fuente: Adaptado de [5]

2.3 Biomecánica tobillo marcha

La biomecánica del pie estudia la relación del pie con la parte inferior de la pierna. Los pacientes con patología de pie caído, mantienen una marcha anormal con elevado gasto energético, pues con la modificación de los patrones de movimientos se modifica dicho coste metabólico. [4]

El Dr. Pedro Vera Luna del Instituto de Biomecánica de Valencia en su libro “Biomecánica de la marcha humana normal y patológica” describe el movimiento de la articulación del tobillo en tres intervalos en el plano sagital:

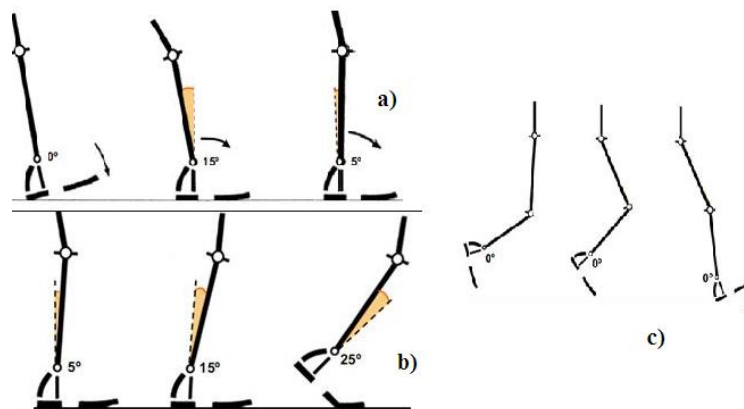


Figura 5. Descripción el movimiento de la articulación del tobillo en tres intervalos en el plano sagital. [4]

Intervalo I. Entre el contacto del talón con el suelo y el punto de apoyo medio. (Figura 5a)

En el momento de contacto del talón con el suelo, la articulación del tobillo está en posición neutra (0°). Justo entre la dorsiflexión y la flexión plantar. Simultáneamente con el contacto del talón. La articulación del tobillo empieza a moverse en dirección de la flexión plantar. En el momento en que la planta del pie hace contacto con el suelo, la articulación del tobillo se mueve 15° de la posición neutra a la flexión plantar. En la fase media, la articulación del tobillo pasa rápidamente a aproximadamente 5° de dorsiflexión.

Intervalo II. Entre el apoyo medio y despegue del pie del suelo. (Figura 5b)

En el apoyo medio, la articulación del tobillo pasa rápidamente a aproximadamente 5° de dorsiflexión. En el momento que el talón despega del suelo. La articulación del tobillo está aproximadamente a 15° de dorsiflexión. En el intervalo de elevación del talón y el despegue del pie, el tobillo se mueve rápidamente 35° , con lo que al despegar el pie del suelo la articulación está aproximadamente en 25° de flexión plantar.[10].

Intervalo III. Describe el movimiento de las articulaciones en el plano sagital en la etapa de balanceo. (Figura 5c) [18].

Durante la etapa de balanceo, el pie se mueve de su posición inicial de flexión plantar al desprenderse del suelo a una posición esencialmente neutra (0°) que se mantiene durante toda la etapa de balanceo. [10].

2.4 Pie caído

El pie caído describe un trastorno neuromuscular (nervio y músculo) anormal que afecta la capacidad del paciente de levantar el pie a la altura del tobillo. El pie pendular se caracteriza además por una incapacidad de apuntar los dedos del pie hacia el cuerpo (dorsiflexión) o mover el pie a la altura del tobillo hacia adentro o hacia afuera. La pérdida de funciones puede estar acompañada por dolor, debilidad y entumecimiento. Caminar se convierte en un desafío debido a la incapacidad del paciente de controlar el pie en el tobillo. El pie parece blando y el paciente puede arrastrar el pie y los dedos al caminar. Muchas veces el pie pendular es causa de una lesión al nervio peroneo profundamente dentro de la columna lumbar y sacra. El nervio peroneo es una división del nervio ciático. El nervio peroneo viaja a lo largo de la parte externa de la parte inferior de la pierna (debajo de la rodilla) y se ramifica en cada tobillo, pie y en los dos primeros dedos. Inerva o transmite señales a los grupos musculares responsables del movimiento y la sensibilidad de los tobillos, los pies y los dedos. [1] [7].

Los pacientes con patología de pie caído presentan una marcha estepante o en steppage que se caracteriza porque el paciente muestra una dificultad para realizar la flexión dorsal del pie o dorsiflexión, por lo que, para no arrastrarlo durante la marcha, levanta exageradamente la rodilla, y al apoyar el pie, lo hace tocando primero el suelo con la punta de los dedos. Por lo que para un paciente con este tipo de marcha, es necesario un dispositivo ortésico que limite la flexión dorsal del pie generada al final de la fase de apoyo, y que limite el ángulo de flexión plantar para evitar que la punta del pie sea arrastrada durante la fase de balanceo, ofreciéndole al paciente llevar una marcha más cómoda y confiable, lo cual favorece una mejor calidad de vida, sin ningún tipo de dificultad en su vida cotidiana. [18].

Se ha decidido descartar todo tipo de solución que involucre otra articulación que no sea la rodilla y el tobillo, es decir que se abarcaran soluciones tipo AFO y DAFO pues cumplen con los requerimientos biomecánicos que se pretenden conseguir en el proyecto, ya que, restringe el movimiento de flexión del pie. Adicionalmente se busca que el conjunto de elementos del dispositivo ortésico sea bastante ligero, lo que representa una característica importante a la hora de disminuir el coste energético del ciclo de marcha. [18].

2.4.1 Hemiplejía

La hemiplejía es la parálisis de un lado del cuerpo que aparece por una lesión de las vías de conducción de impulsos nerviosos del encéfalo o de la médula espinal. Esta afección es debida a un desorden de la labor de los músculos del lado opuesto al hemisferio cerebral afectado. La sintomatología comprende: parálisis y debilidad muscular, espasticidad muscular alterada, trastornos del movimiento, debilidad y rigidez ocasionada por la incapacidad de controlar músculos de la zona destruida del cerebro, que aunque no estén dañados, se vuelven rígidos y pueden atrofiarse por la falta de uso. En el caso de la extremidad inferior, la deformidad más común en pacientes con hemiplejía es la de pie caído o “droop foot” [3]

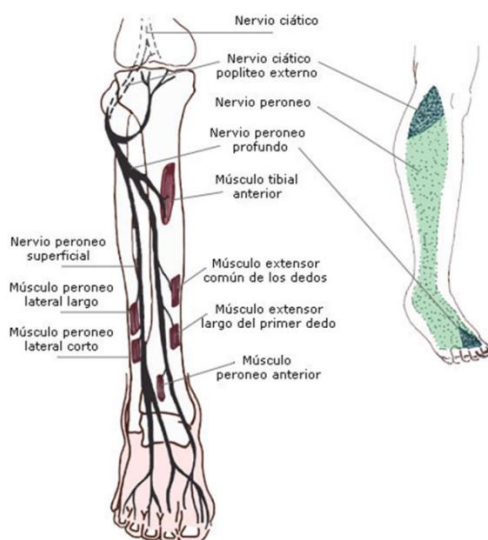


Figura 6. Principales músculos y nervios involucrados en la afección del pie caído. [18].

El pie caído pueden tener diversas causas, dentro de las principales se encuentran, la lesión nerviosa, los trastornos del cerebro o la medula espinal, y los trastornos musculares. [18].

Las principales causas son la distrofia muscular, el polio, y la esclerosis lateral amiotrofia (enfermedad de Lou Gehrig). En la figura 6. Se muestran los principales músculos y nervios involucrados en la afección del pie caído:

2.5 Ortesis AFO (tratamiento para pie caído)

Una ortesis se puede definir como un dispositivo externo, empleado para modificar las características funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético. También se puede definir como un aparato que da apoyo, alinea, previene o corrige las deformidades o mejora la función de partes móviles del cuerpo. Dado la enorme cantidad de dispositivos existentes, es necesario realizar clasificaciones que ayuden a entender y aplicar todas las ortesis. Otra definición es la siguiente: una ortesis es cualquier dispositivo aplicado externamente sobre el cuerpo humano, que se utiliza para modificar las características estructurales o funcionales del sistema neuromuscular-esquelético, con la finalidad de mantener, mejorar o recuperar la función. Según estudios un AFO debidamente empleada, puede mejorar la marcha en pacientes con padecimientos como la hemiplejia [10], [13]. Por ejemplo, es posible incrementar la longitud del paso y la velocidad.

3. OBJETIVO DEL PROYECTO

3.1 Descripción del problema

El pie caído tiene como consecuencias la afectación del ángulo de dorsiflexión. Para realizar un seguimiento de la evolución del paciente cuando emplea ortesis AFO, para corregir el pie caído, se propone medir el ángulo de dorsiflexión mediante una instrumentación que se pueda comprar en el país, y generar un registro, con una tarjeta comercial. Los siguientes son los objetivos que se deben cumplir en el proyecto.

3.2 Objetivo principal del proyecto

El principal objetivo del trabajo es medir la variación del ángulo del movimiento en dorsiflexión plantar en pacientes que usan ortesis tipo AFO.

3.3. Objetivos específicos del proyecto

- Implementar mediante la tarjeta de Raspberry pi3, el registro de la variación del ángulo de interés en la AFO.
- Realizar la interfaz IMU – tarjeta de desarrollo por medio del protocolo de comunicaciones I2C.
- Realizar un muestreo con una frecuencia de 30 datos por segundo, estos datos se guardaran en un registro para su posterior visualización en la pantalla.
- Desarrollar un ambiente que muestre gráficamente los valores de ángulo y posición de la ortesis tipo AFO mediante algún lenguaje de programación.
- Evaluar el dispositivo realizando pruebas de calibración en los ángulos de dorsiflexión para verificar su correcto funcionamiento mediante un sistema de medición más preciso que el sistema IMU, se escogerá un sistema conveniente, esto se refiere a que se obtenga una precisión de al menos 0.5° y que se asequible.

4. DESARROLLO

A continuación se describe el proceso y la configuración definitiva con la que se lograron cumplir los objetivos propuestos.

4.1 ORTESIS

La ortesis para pie caído es un dispositivo externo de corrección que consta de dos partes que rotan gracias a un eje que coincide con el tobillo del paciente. Este diseño mecánico permite adaptar la posición del pie caído, permitiendo llevarlo a una nueva posición, según la opinión del ortopedista.

Existen dos tipos de ortesis las pasivas y las activas, en el caso del desarrollo del trabajo se empleó una ortesis pasiva, denominada así porque es un dispositivo que provee asistencia pasiva al tobillo cuando el paciente aplica una fuerza en su desplazamiento. Se encuentran varios tipos de AFOs, las prefabricadas y las personalizadas, con apoyo externo del tobillo, rígido y articulado, con elevadores de talón, de caña media baja y alta. [1].

En Colombia se emplean ortesis metálicas y termoformadas, estas últimas son más comunes, puesto que se manufacturan a partir del molde del mismo pie y pierna, además son muy livianas. En la figura 7 se muestra un diagrama donde se muestra la razón de esta elección.

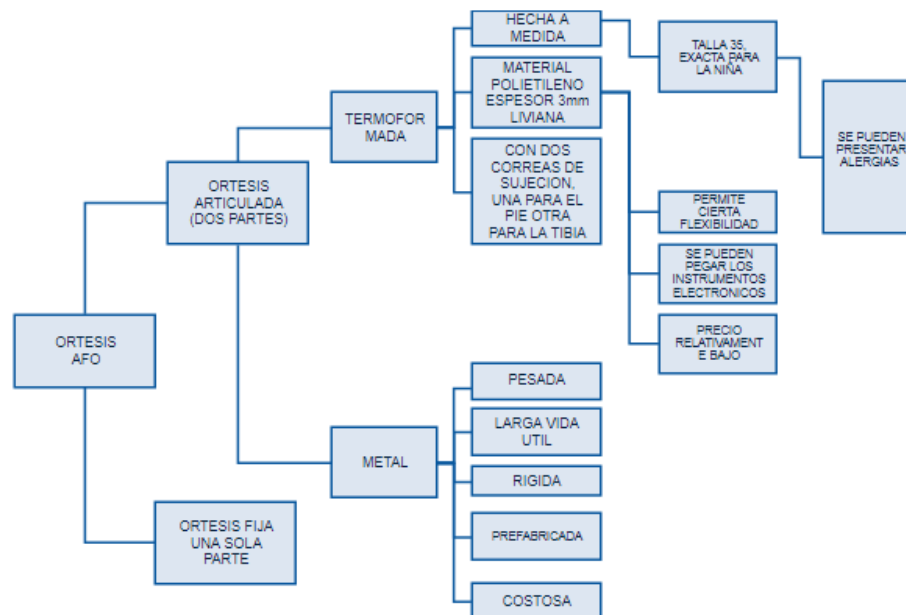


Figura 7. Diagrama de elección de la ortesis AFO termoformada.

En la figura 8, se muestra una ortesis termoformada articulada sin ningún tipo de instrumentación.



Figura 8. Foto de ortesis empleada.

4.2 ELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTACION

Mediante el diagrama de bloques de la figura 9 se expone la elección de las IMUs y potenciómetros como dispositivos para realizar la medida del ángulo de dorsiflexión, sobre el encoder y el goniómetro.

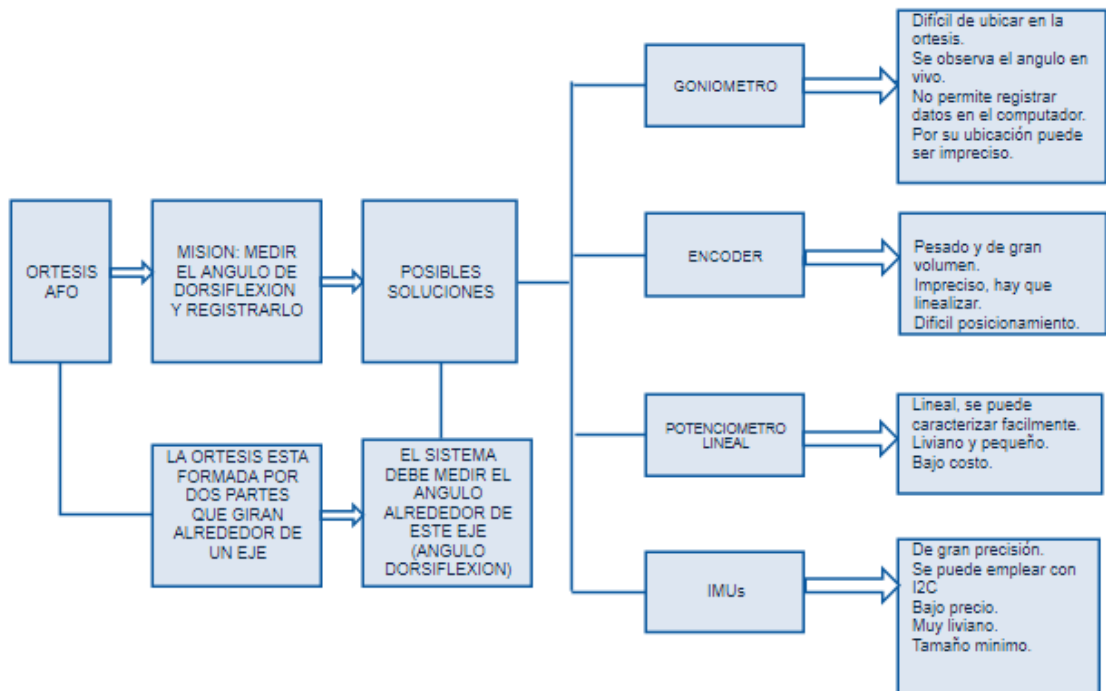


Figura 9. Elección de las IMUs y el encoder como dispositivos de medición.

Las IMUs son de fácil adquisición en el mercado nacional, además según el datasheet [19] las IMUs entregan 16 bits en el acelerómetro, son de bajo peso y pequeñas dimensiones y tienen mínimo consumo de energía, como se puede observar en las especificaciones que se encuentran en la descripción en el siguiente capítulo, además son de fácil conexión a algunas tarjetas como microcontroladores arduino o a las entradas digitales de la raspberry. Adicionalmente el potenciómetro lineal también es de muy fácil adquisición en el mercado, es muy liviano, y es muy fácil de conectar al microcontrolador. En contraste aunque existen goniómetros que pueden ser empleados en esta aplicación, en el mercado. Además el encoder para esta aplicación tiene como punto en contra su peso, para probar se compró uno de 1800 pulsos, pesa 220 gramos, y afecta la prueba, pues crea un torque que afecta la marcha.

4.3 IMUs CONEXIÓN Y ESPECIFICACIONES

Las IMUs tienen las siguientes especificaciones:

Dimensiones: 0.8" x 0.5" x 0.1" (20 mm x 13 mm x 3 mm).

Peso sin los protectores de los pines: 0.7 g (0.02 oz).

Voltaje de operación: 2.5 V a 5.5 V.

Fuente de corriente: 6 mA.

Formato de salida (I²C):

Giroscopio: 16 bits por eje.

Acelerómetro: 16 bits por eje.

Magnetómetro: 16 bits por eje.

Conexiones de las IMUs

Un mínimo de cuatro conexiones son necesarias para conectar la MiniMU-9 v3, VIN, que es el voltaje de entrada GND que es la tierra, SCL y SDA, la entrada debe ser conectada de 2.5 a 5 V, la tierra a 0V, y SDA debe ser conectado a un bus que tenga un bus I2C que tenga el mismo nivel VIN. La figura 10 muestra la ubicación de cada uno de estos pines en la tarjeta:

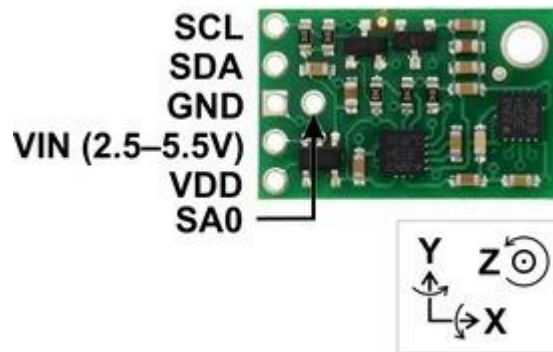


Figura 10. Pines de la polulu MiniMU-9 v3. [19]

SCL. Nivel de Adelanto I2C, línea de reloj, High es VIN y LOW son 0 V.

SDA. La tierra son 0V, para el I2C se debe conectar con una tierra común.

VIN. Este va de 2.5 a 5.5 V. El nivel superior del SCL y del SDA debe ponerse a VIN.

VDD. Salida regulada de voltaje de 3.3V.

Tomado de [19].

Conexión de las IMUs con el microcontrolador mediante el Protocolo de comunicaciones I2C

(Para cumplir el objetivo específico numero 2)

El giroscopio de la L3GD20H, el acelerómetro y magnetómetro de la LSM303D se pueden configurar a través del bus I²C. Cada uno de los tres sensores actúa como un dispositivo esclavo en el mismo bus I²C (es decir, sus líneas de reloj y datos están unidas para facilitar la comunicación). Además, los cambiadores de nivel en el reloj I²C (SCL) y las líneas de datos (SDA) permiten la comunicación I²C con microcontroladores que funcionan con el mismo voltaje que VIN (2.5 V a 5.5 V). Como se realizó con el microcontrolador arduino. [19]

Diagrama de conexión de las IMUs al Arduino

En la figura11 se muestra el diagrama de conexión de las IMUs al arduino se observa que las IMUs se conectan en paralelo, y se emplean los pines SCL, SDA, GND y VIN igual a 3.3 V. [19]

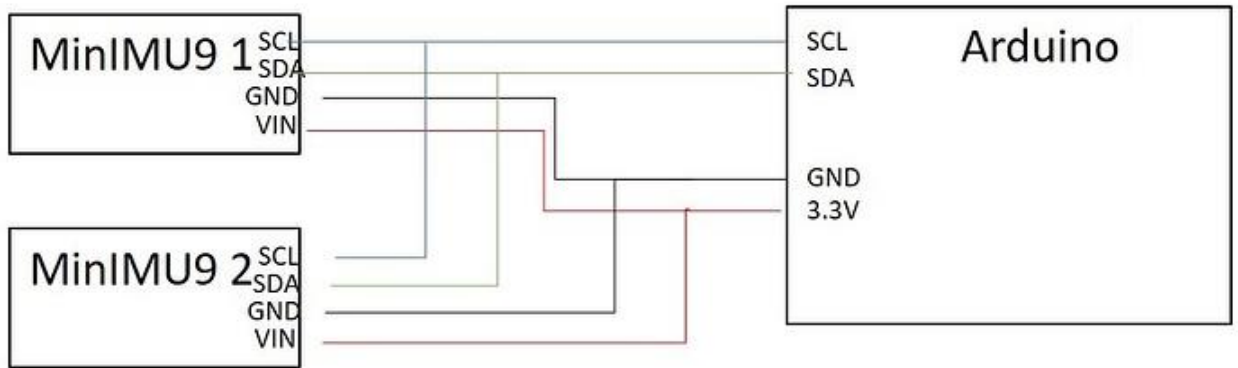


Figura 11. Diagrama de conexión de las IMUs al Arduino. [19]

4.4 POTENCIOMETRO CONEXIÓN Y ESPECIFICACIONES

El potenciómetro es un elemento que permite variar su resistencia de forma mecánica de un valor mínimo a uno máximo, en este caso 10 K ohmios, se escogió un potenciómetro lineal.

El potenciómetro internamente está conformado por un contacto deslizante que se mueve a través de una pista resistiva. Así cuando se mueve el contacto a lo largo de la pista, se varía el largo de la pista cambiando la resistencia.

Este dispositivo tiene tres terminales. Las dos extremas están unidas a los dos lados de la pista, aquí se registra la resistencia máxima R_{max} . El otro terminal corresponde a la parte móvil, entonces este punto respecto a uno de los extremos es el que cambia y representa la resistencia variable.

Por último, en cuanto a la relación entre posición y resistencia, se encuentran potenciómetros de tipo lineal, parabólico o exponencial. Los lineales como el que se usa en este trabajo presentan una proporcionalidad entre resistencia y desplazamiento, lo cual significa un comportamiento más intuitivo. Mientras, los exponenciales permiten mayor precisión en valores de resistencia bajos, por lo que resultan adecuados cuando hace falta un ajuste fino en un amplio rango. En la figura 12 se presenta la gráfica de posición vs resistencia del potenciómetro. [20]

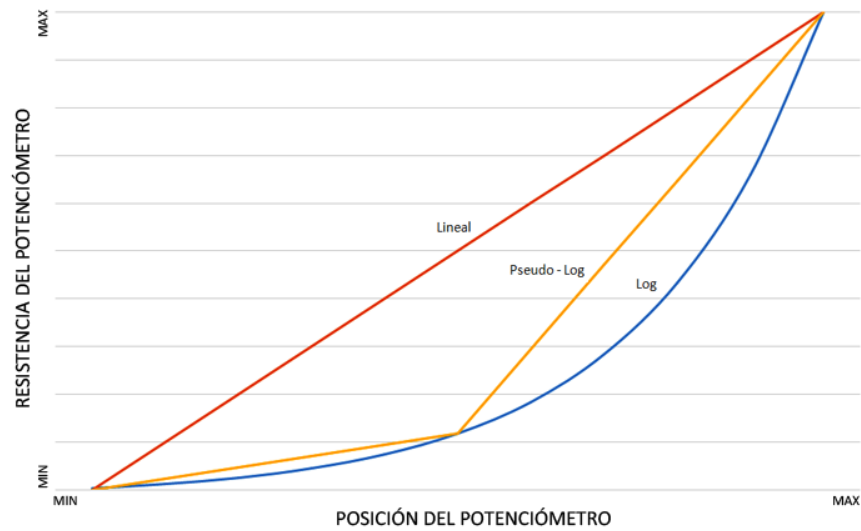


Figura 12. Gráfica de posición vs resistencia del potenciómetro. [20]

Plano de conexión del potenciómetro

El esquema es muy parecido al que se emplea para medir una resistencia variable, con una diferencia, no se necesita de una resistencia de calibrado, debido a que el mismo potenciómetro actúa como divisor de tensión. [20]

La figura 13 muestra la conexión del potenciómetro al arduino.

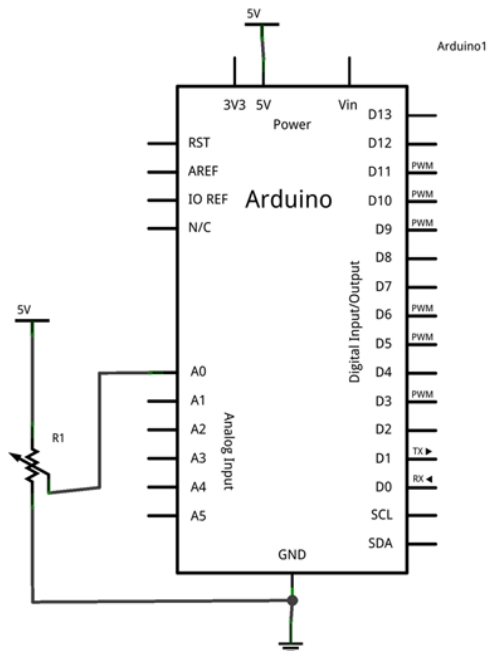


Figura 13. Gráfica conexión del potenciómetro al arduino. [20]

4.5 TARJETA DE DESARROLLO

Para esta aplicación se emplearán tanto la raspberry pi 3, como un arduino uno. La tarjeta raspberry se elige por su velocidad de proceso, que es muy útil para la recepción de los datos que envía el microcontrolador, en tanto que el microcontrolador arduino se elige por su versatilidad, pues se pueden conectar las dos IMUs y el potenciómetro de forma análoga, para posteriormente enviar las señales a la raspberry. [19] [20]

Estas son algunas de las especificaciones para el arduino uno y la raspberry:

ARDUINO UNO

Arduino es una placa con un microcontrolador tipo Atmel, que incluye reguladores de tensión, Un puerto USB conectado a un módulo adaptador USB – Serie que permite programar el microcontrolador desde un PC. Este microcontrolador dispone de 14 pines que se pueden configurar como entrada o salida y a los que pueda conectarse algún dispositivo que reciba o genere señales digitales entre 0 y 5 V. También tiene entradas y salidas analógicas. Mediante estas entradas es posible obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. [20]

Cada uno de los 14 pines se puede usar como entrada o salida. Se energizan a 5V, cada pin puede generar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada es de 40 mA.

El microcontrolador posee varios tipos de entrada y salida:

RX y TX, Que se emplea para transmisión de señales TTL.

Los pines 2 y 3, sirven como interrupciones de disparo cuando se encuentra un valor bajo en algunas de las entradas con flancos de subida o bajada de la entrada.

PWM, el arduino dispone de 6 salidas que pueden formar señales hasta de 8 bits.

Pines 10, 11, 12, 13, que pueden emplearse para llevar a cabo comunicaciones SPI.

I2C, permite realizar comunicaciones a través de un bus I2C.

En la figura 14 se muestra un resumen con los datos técnicos del microcontrolador.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Limite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Figura 14. Resumen con los datos técnicos del microcontrolador arduino.

TARJETA RASPBERRY PI 3

Es un computador liviano de tamaño reducido, de placa única, ideal para ser portable. Sus versiones incluye un procesador Broadcom, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO y un conector para cámara. Además se puede anexar una tarjeta MicroSD1910. Por otro lado, este nuevo procesador estará compuesto por cuatro núcleos ARM Cortex-A53 a una velocidad de reloj de 1,2 GHz. Con este procesador y memoria, fácilmente se pueden procesar los datos que se necesitan para la realización del proyecto. [19]

Se nombran las principales características técnicas de la tarjeta:

Chipset Broadcom BCM2837 a 1.2 GHz.

ARM Cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos.

LAN inalámbrica 802.11 b/g/n.

Bluetooth 4.1 (Classic y Low Energy).

Coprosesador multimedia de doble núcleo Videocore IV.

Memoria LPDDR2 de 1 GB.

Compatible con todas las últimas distribuciones de ARM GNU/Linux y Windows 10 IoT.

Conector micro USB para fuente de alimentación de 2,5 A

1 puerto Ethernet 10/100

1 conector de vídeo/audio HDMI

1 conector de vídeo/audio RCA

1 conector de cámara CSI

4 x puertos USB 2.0

40 pines GPIO

Antena de chip

Conector de pantalla DSI

Ranura de tarjeta microSD

Dimensiones: 85 x 56 x 17 mm

En la figura 15, se muestra la raspberry, y se señalan sus partes.

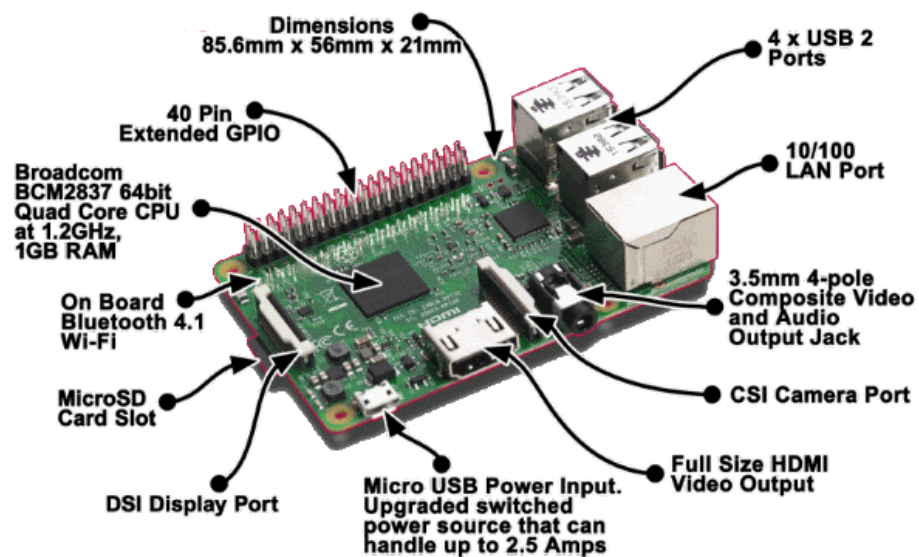


Figura 15. Raspberry con sus partes.

En la figura 16, se muestra el orden de los pines en la tarjeta raspberry pi 3.

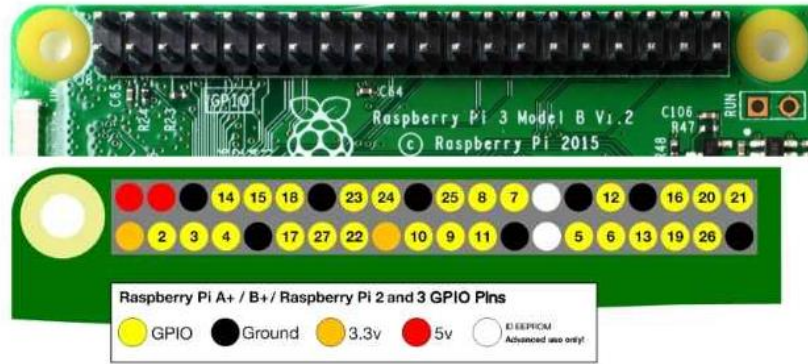


Figura 16. Pines en la Raspberry pi 3.

4.6 MONTAJE DE LAS IMUs

La estructura del mecanismo que permite que las IMUs puedan girar una respecto a la otra se realizó con impresión 3D y posteriormente se efectuó un tratamiento químico para evitar su fractura, en la figura 17 se muestra un esquema donde se explica el funcionamiento de este mecanismo. En la figura 17 a. se presentan la posición de las IMUs en la ortesis, una de ellas esta concéntrica al eje del tobillo y va fija al zapato la otra también se encuentra concéntrica al tobillo pero fija a la parte de la ortesis que va unida a la pierna, en la figura 17b se observa como gira una respecto a la otra cuando las partes de la ortesis giran una respecto a la otra en el movimiento de dorsiflexión. En la figura 17c. Se presenta como se ve este arreglo en la ortesis vista desde atrás.

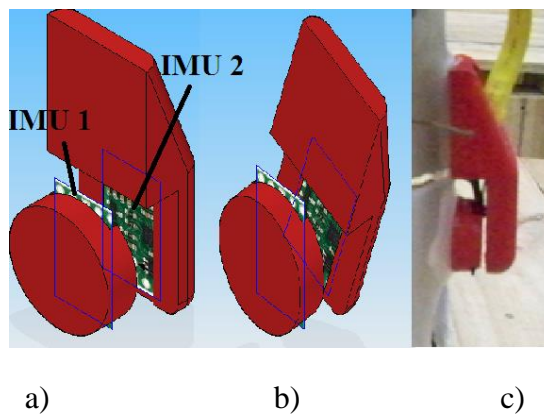


Figura 17. Montaje IMUs a) enfrente una de otra a cero grados, b) cuando gira una respecto a la otra, c) dispositivo para introducir las IMUs para que giren en la ortesis.

La figura 18, muestra las IMUs imaginando la impresión 3D en material transparente y en vista frontal. Cuando las dos partes tienen movimiento relativo entre sí y forman un ángulo beta.

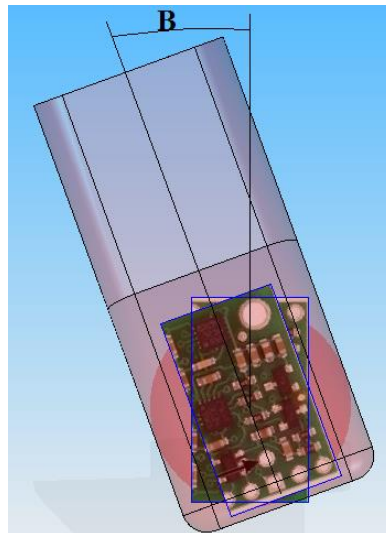


Figura 18. Montaje de las IMUs Vista de frente

4.7 MONTAJE DEL POTENCIOMETRO

La figura 19. Muestra un esquema en corte y una fotografía del montaje del potenciómetro en la ortesis, aquí el cuerpo del potenciómetro va fijo a la estructura impresa en 3D que se sujeta a la parte superior de la ortesis, y el eje va fijo mediante un cilindro también impreso y concéntrico al tobillo que pertenece a la parte inferior de la ortesis

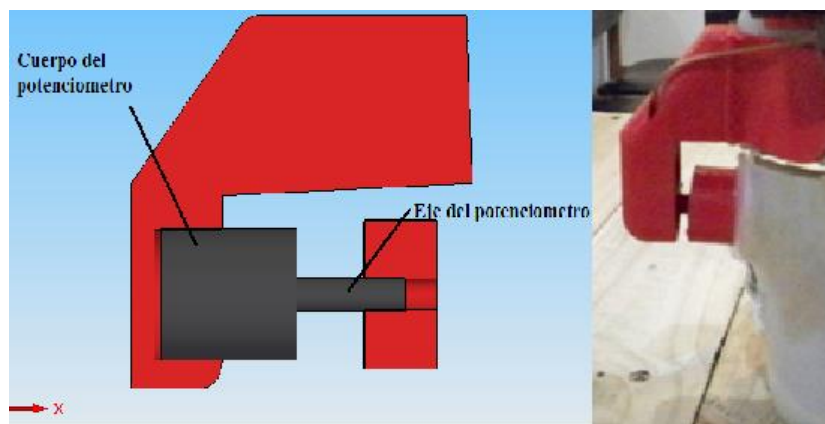


Figura 19. Representación en corte y fotografía del montaje del potenciómetro en la ortesis.

4.8 MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISION

Se diseñó una caja que va unida a la parte superior de la ortesis, aquí se aloja el microcontrolador que permite la transmisión de datos provenientes de las IMUs mediante el protocolo I^2C además de la señal

del potenciómetro, posteriormente se envían a la raspberry mediante un cable. La figura 20 muestra este sistema en la caja.



Figura 20. Caja de sistema de transmisión.

4.9 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE PARA MEDIR EL ANGULO DE DORSIFLEXION

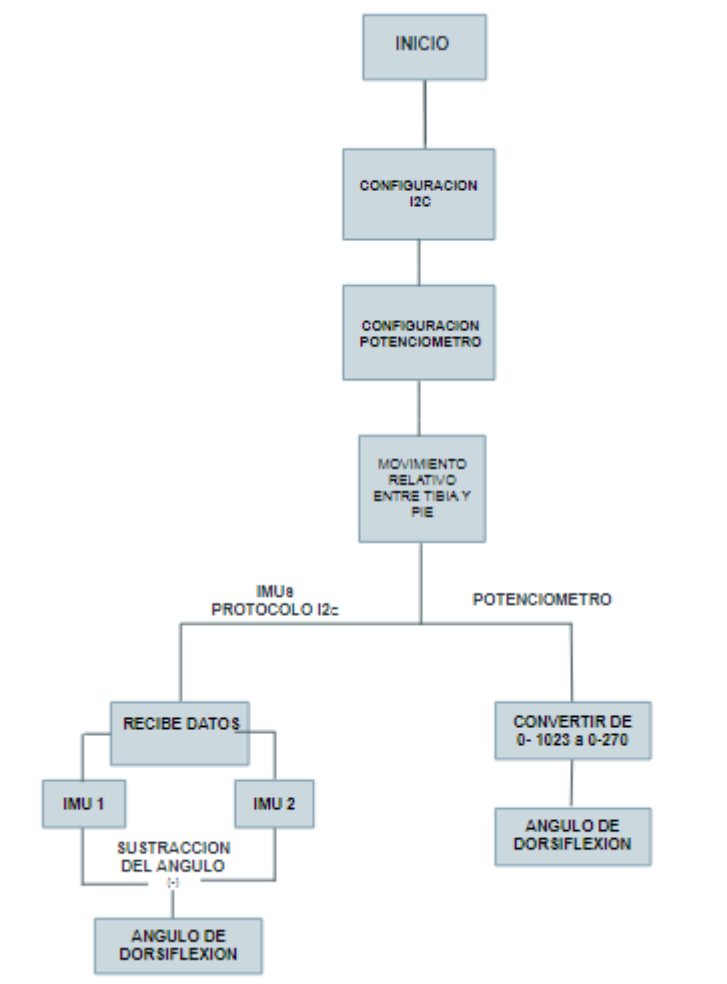


Figura 21. Diagrama de flujo para la medición del ángulo de dorsiflexión.

Acerca del código realizado para encontrar el ángulo de dorsiflexión, se halló por dos métodos diferentes, como se muestra en la figura 21, el sistema se programó para que los datos se transmitieran a través del protocolo I2C. Por otro lado dado que se va a medir el ángulo entre la tibia y el pie, se encuentra una IMU fija a cada una de estas partes en la ortesis, debido a esto, cuando exista una rotación entre estas partes en la marcha, se va a generar un movimiento rotativo entre la IMUs, estos datos se envían al sistema que se encarga de realizar la sustracción, este valor es igual al ángulo de dorsiflexión requerido, posteriormente se almacena para su correspondiente visualización.

5. PROTOCOLO DE PRUEBAS

A continuación se describen los procedimientos realizados para llevar a cabo las pruebas y tomar los datos de los ángulos de dorsiflexión durante una marcha predeterminada. Para este fin se debe tener en cuenta el paciente, las instalaciones donde se realizan las pruebas, las características de la marcha y otras consideraciones que a continuación se exponen.

5.1 DESCRIPCION DEL SUJETO DE PRUEBA

El sujeto de prueba es una niña de nueve años, que no tiene ninguna discapacidad, de talla y peso normal, la cual con consentimiento de sus padres (carta anexa), ayudo a la realización de las pruebas. La talla de su calzado es 35 y coincide con la talla de la ortesis.

5.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA LA REALIZACION DE LA PRUEBA.

Para empezar las pruebas se deben tener en cuenta las siguientes definiciones:

La niña debe realizar cinco marchas de cinco veces la longitud de paso completo, la definición de este paso es tal como se muestra en la figura 22.

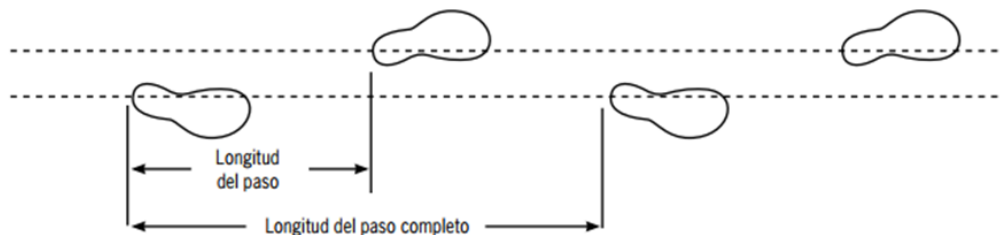


Figura 22. Explicación de longitud de paso completa en la marcha.

La finalidad de esta prueba, es evaluar el ángulo de dorsiflexión en las cinco marchas propuestas, adicionalmente registrar estos datos para realizar posteriormente una gráfica, de porcentaje de marcha contra ángulo de dorsiflexión.

La prueba con una niña se realiza con el propósito de incluir a una población muy importante que sufre de pie caído, a causa de diversos factores, así como por ejemplo la parálisis cerebral que genera diversos trastornos, que afectan la capacidad de un niño para moverse, mantener el equilibrio y la postura. Por ello se hace necesario el uso de dispositivos de apoyo como las ortesis como la que se emplea en este trabajo.

También tienen que ser tenidos en cuenta varios criterios de exclusión, es decir que la niña no ha tenido cirugías ni alteraciones biomecánicas, o metabólicas, que en consecuencia afecten la marcha normal, por ejemplo el sobrepeso.

5.3 METODOLOGIA PARA REALIZAR LA PRUEBA

La secuencia previa para medir el ángulo de dorsiflexión se muestra en el diagrama de la figura 23.

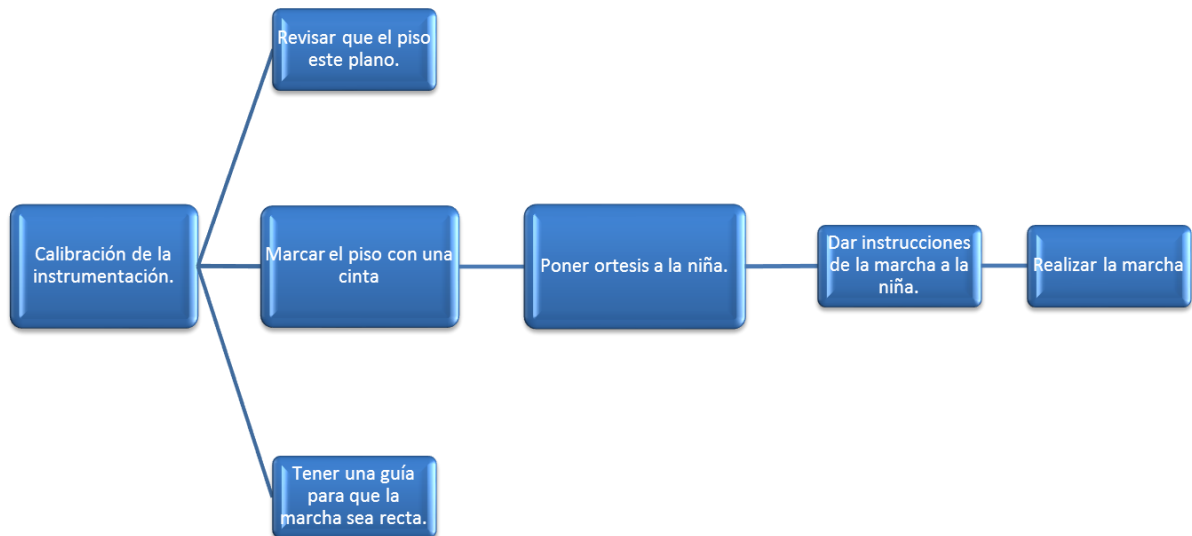


Figura 23. Secuencia previa para la medición del ángulo de dorsiflexión.

Para ubicar la ortesis en el pie de la niña se aseguró que el punto de rotación del tobillo de la niña coincidiera con el molde realizado del tobillo en la ortesis, después se aseguró el elemento a su pierna con la correa superior y para terminar, la ortesis se afirmó al pie mediante la correa inferior, esto se muestra en la figura 24.

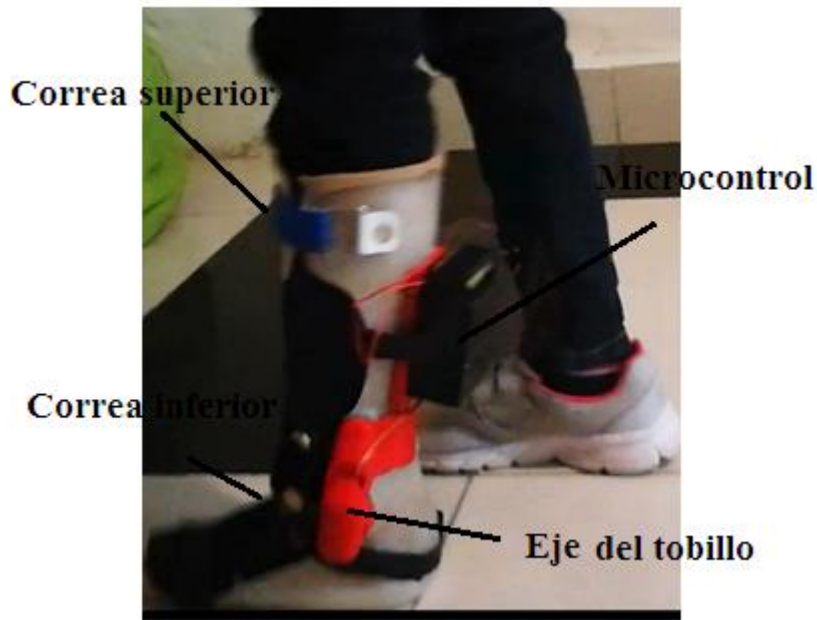


Figura 24. Postura de la ortesis en el pie de la niña.

5.4 INSTRUCCIONES AL PACIENTE

Las siguientes instrucciones fueron dadas a la niña antes de efectuar la marcha: Empezar cada una de las cinco marchas tratando siempre de poner el primer paso con la ortesis donde se ubicó la cinta.

A la niña se le señaló que caminara en línea recta, esta trayectoria se toma paralela a la pared.

Del mismo modo se le aconsejó caminar naturalmente, sin embargo antes de la realización de la prueba siempre se efectuaron tres o cuatro marchas libres con la ortesis para que la niña se adaptara a la marcha.

Aunque la marcha consistía de cinco veces la longitud de paso completo, siempre se le indicó a la niña que ejecutara más de siete veces esta longitud, para evitar posibles efectos de la desaceleración cuando parara si hubieran sido únicamente cinco pasos.

Además se realiza una carta que se encuentra en los anexos donde se solicita el consentimiento de la prueba a los padres de la niña.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 COMPARACION CON UN ESTUDIO GUBERNAMENTAL

Después de realizar las pruebas de marcha se tienen los resultados de los ángulos de dorsiflexión obtenidos mediante el sistema de encoder y de las IMUs, ahora con estos datos se pretende comparar con unos resultados realizados por el National Center for Biotechnology Information (NCBI), o Centro Nacional para la Información Biotecnológica. Los grupos de este estudio y algunas de las características se muestran en la figura 25.

Para acceder al estudio de las bases de datos del NCBI, se pueden observar en línea de manera gratuita.

Groups	Age (years) (mean ± SD)	Height (cm) (mean ± SD)	Body mass (kg) (mean ± SD)
DF (n = 10)	45.5 ± 17.4	173.9 ± 12.7	75.7 ± 22.4
C (n = 10)	22.6 ± 4.6	174.1 ± 8.6	69.4 ± 11.7

SD; standard deviation; DF: drop foot group; C: control group.

Figura 25. Grupos de estudio en el artículo de la NCBI.

Los pacientes de este estudio son personas norteamericanas, con antropometría similar a la colombiana, en estatura y peso, pero hay que notar que la marcha es indistinta de estatura y edad, hay factores que podrían variar como la velocidad de marcha, que no afecta la forma de la curva de porcentaje de marcha contra ángulo de dorsiflexión.

De la tabla 1, el grupo DF se refiere a personas con la falencia Droop Foot o pie caído, y C al grupo de control, que es un grupo de personas sanas, cada uno de estos grupos cuenta con un número de miembros igual a 10 (n=10). Además la edad del grupo con droop foot es de 45.5 +/- 17.4 años, que es muy superior a los 22.6 +/- 4.6 años del grupo de control, de aquí se puede deducir que el grupo de mayor edad pudo haber sufrido accidentes cerebrales o lesiones corporales que les produjo esta falencia.

Para entender la figura 25, es necesario revisar la figura 26 donde se muestra la fase de postura (stance phase) y la fase de oscilación (swing phase), en una marcha normal sin ortesis.

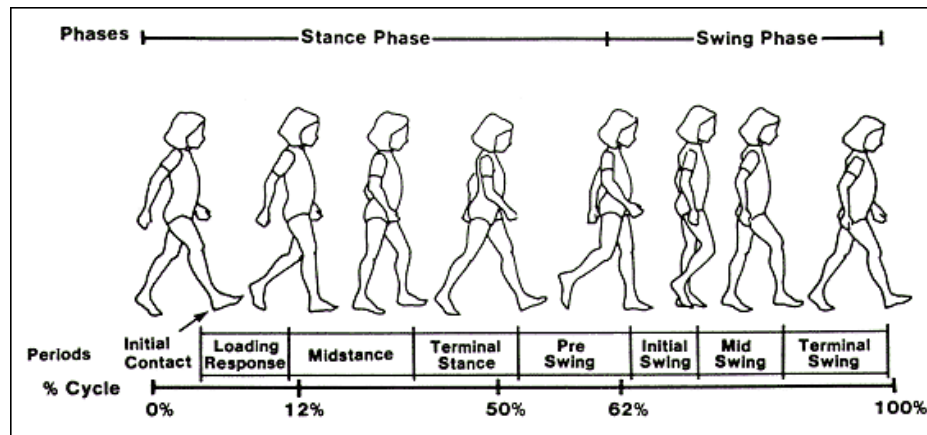


Figura 26. Fase de postura (stance phase) y la fase de oscilación (swing phase).
Tomado de: [15]

Donde la fase de postura, es la fase durante la cual el pie permanece en contacto con el suelo, y la fase de oscilación es la fase durante la cual el pie no está en contacto con el suelo.

El estudio realizado obtuvo los valores extremos en ángulo mostrados en la figura 27, para estas fases para el grupo con pie caído y para el grupo sano C.

En este trabajo no es de interés el valor de los torques pero si el valor extremo en los ángulos del tobillo (ankle), en el estudio realizado por el NCBI, hay un valor muy marcado que diferencia del ángulo del tobillo o dorsiflexión entre el grupo de pie caído DF y el grupo C que no presenta esta falencia, los resultados son de -10.42° contra los -2.37° , respectivamente.

De los datos obtenidos en el estudio durante la marcha se generó la gráfica que se muestra en la figura 28, en el eje de las abscisas se da el porcentaje de la marcha (de 0% a 100%), y en las ordenadas el ángulo de dorsiflexión (Parte positiva) y plantiflexión (ángulo negativo), para los pacientes con pie caído DF y para los pacientes que son grupo de control C, sus colores son línea continua y roja para los primeros, y línea negra y punteada para los otros respectivamente.

Extreme values of angles and torques in lower limb joints during gait of studied groups.

Kinematic and kinetic parameters	Joint	Stance phase		Swing phase	
		min \pm SD	max \pm SD	min \pm SD	max \pm SD
<i>C group</i>					
Angle ($^{\circ}$)	Ankle	-2.37 \pm 1.47	12.67 \pm 0.7	-19.81 \pm 0.9	1.83 \pm 1.3
	Knee	0.19 \pm 1.28	20.39 \pm 1.2	0.07 \pm 1.3	55.96 \pm 1.2
	Hip	-8.78 \pm 1.16	36.05 \pm 0.9	0.59 \pm 1.10	35.86 \pm 1.3
Torque (Nm/kg)	Ankle	-0.26 \pm 0.06	1.52 \pm 0.78	-0.09 \pm 0.78	0.02 \pm 0.92
	Knee	-0.37 \pm 0.14	0.56 \pm 0.21	-0.45 \pm 0.45	0.24 \pm 0.78
	Hip	-0.93 \pm 0.13	0.54 \pm 0.34	-0.54 \pm 0.65	0.66 \pm 1.01
<i>DF group</i>					
Angle ($^{\circ}$)	Ankle	-10.42 \pm 5.7	14.71 \pm 2.3	-15.19 \pm 3.1	0.52 \pm 2.11
	Knee	0.91 \pm 1.28	14.33 \pm 1.1	1.74 \pm 1.3	40.18 \pm 1.1
	Hip	-9.08 \pm 2.46	21.82 \pm 2.3	-5.4 \pm 2.18	36.51 \pm 2.1
Torque (Nm/kg)	Ankle	0.2 \pm 0.1	1.28 \pm 0.67	-0.01 \pm 0.13	0.11 \pm 0.1
	Knee	-0.4 \pm 0.28	-0.01 \pm 0.56	-0.12 \pm 0.23	0.01 \pm 0.78
	Hip	-0.23 \pm 0.25	0.67 \pm 0.13	-0.19 \pm 0.13	0.13 \pm 0.45

SD: standard deviation; DF: drop foot group; C: control group.

Figura 27. Valores extremos de los ángulos de dorsiflexión (máximo), para los grupos de pie caído y control.

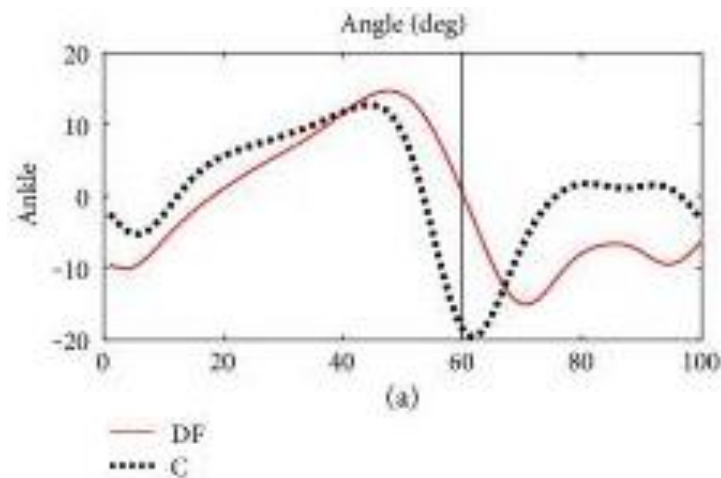


Figura 28. Porcentaje en la marcha vs ángulo en el tobillo (ankle) para el estudio del NCBI.

Ya habiendo explicado el estudio realizado por el NCBI, se explica a continuación como se desarrolla la prueba.

6.2 DESCRIPCION DETALLADA DE LA PRUEBA

Para la realización de la prueba, se siguió el protocolo de pruebas, además se registraron los datos del ángulo de dorsiflexión. Las imágenes que se muestran en la figura 29, presentan parte de la prueba, de aquí se pueden tener varias observaciones. Posteriormente se procesaron los datos y se realizó una gráfica de porcentaje en la marcha vs ángulo en el tobillo.



Figura 29. Imágenes de la prueba realizando la marcha de cinco longitudes de pasos completas.

Estas son algunas de las observaciones que se encontraron durante las pruebas:

Se marcó el piso con cinta y la niña realizó la marcha en línea recta paralela a la línea del piso tablado, cabe aclarar que el piso es totalmente plano. Por otra parte el uso del cable no generó ninguna incomodidad durante la marcha.

El tacón de la ortesis estaba a la misma altura del talón del pie derecho de la niña, razón por la cual no se puso el talón sobre la ortesis.

A pesar de aconsejar a la niña y de realizar varias marchas, los pasos no son uniformes se llegó a tener ángulos de dorsiflexión que van de los 12.2 a los 23.4 grados, en la gráfica de la figura 30, se muestra la curva de porcentaje de marcha vs ángulo de dorsiflexión.

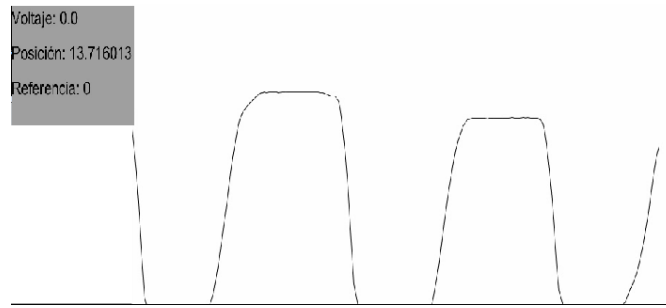


Figura 30. Prueba porcentaje marcha vs ángulo de dorsiflexión, en una de las pruebas realizada con la niña con la ortesis.

En la figura 31 se muestra la comparación de las gráficas de marcha vs ángulo de dorsiflexión, de tres de las pruebas realizadas con la niña con la ortesis contra la gráfica del estudio realizado en el NCBI. La parte recta de la gráfica se debe a que la ortesis no permite que exista plantiflexión debido al tope mecánico.

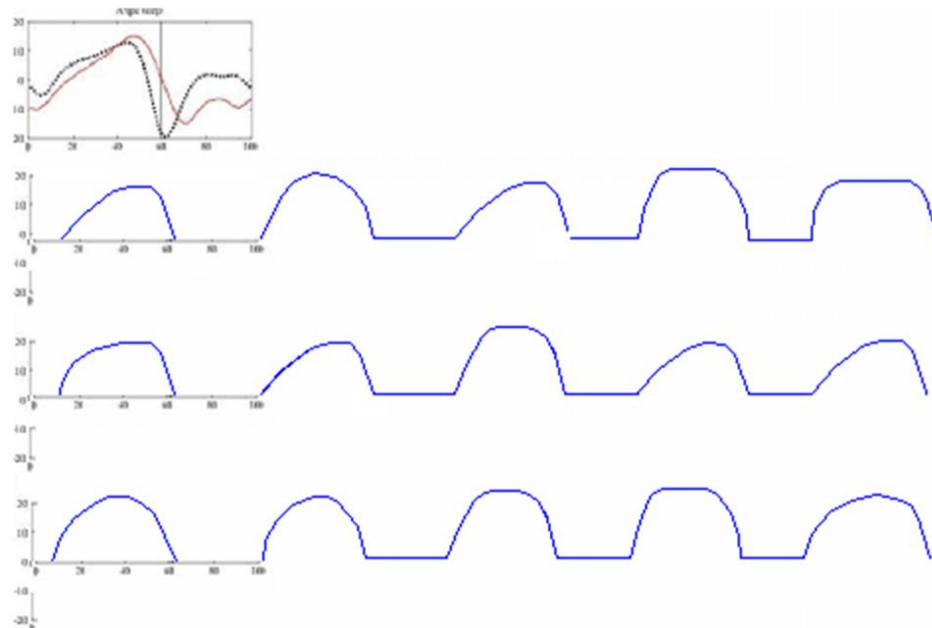


Figura 31. Comparación de las gráficas de marcha vs ángulo de dorsiflexión, de tres de las pruebas realizadas con la niña con la ortesis contra la gráfica del estudio realizado en el NCBI

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió el objetivo general ya que se logró generar una gráfica similar a la que se realizó en el estudio de la NCBI. Esta grafica tiene una desviación estándar de 4.158 grados en la primera prueba, 3,015 grados en la segunda y 4.24 grados en la tercera prueba.

La tarjeta raspberry junto con el micro controlador ejecutan el programa eficientemente, y generan más de los 30 datos por segundo, que son los que un programa arruinó genera normalmente con este tipo de IMU, de tipo Polulu.

Se usó la antena del micro controlador con el objetivo de evitar el uso del cable, para realizar una prueba más natural, con esto el paciente únicamente portaba una pequeña pila, pero como consecuencia, se reducían drásticamente el número de datos.

El problema de usar únicamente la raspberry en el cuerpo del paciente es que este tipo de tarjetas tiene un consumo bastante grande, lo que implica que hay que tener un suministro muy pesado. Además las entradas únicamente son digitales con lo que no hubiera sido posible conectar el potenciómetro. Este estudio podría servir de base a investigaciones futuras que si tengan como objetivo el estudio del efecto de las ortesis en el mejoramiento de las personas con el padecimiento de pie caído, debido a que se podría realizar un seguimiento en tiempo para saber cómo cambia la marcha en dorsiflexión.

Los algoritmos que configuran las IMUs pueden ser aprovechados para ser usados en otras aplicaciones como el conteo de los pasos.

Con el sistema se logra obtener una precisión mucho mayor a 0.5 grados, el sistema de IMUs es más exacto que el del potenciómetro, debido a que al comparar el dato dado en una posición fija coincidió con la medida de un goniómetro que usado especialmente de patrón y genera datos de centésimas de grado, la medida se repitió varias veces y volvió a coincidir.

Se recomienda para futuros proyectos el empleo de una tarjeta de menor consumo, adicionalmente el empleo de software que ya ha sido diseñado para este propósito. Este trabajo puede servir como ejemplo de la aplicación innovadora de algunos de los muchos dispositivos que se encuentran hoy en día en el mercado junto con sus interfaces, que pueden reemplazar sistemas muy costosos, que serían subutilizados. Para futuros trabajos similares, es recomendable que en el anteproyecto se estudien con una mayor profundidad los sensores o sistemas que se van a emplear para medir por ejemplo, así en este trabajo inicialmente se pensó que un microcontrolador podría recibir la señal de las dos IMUs, pero no fue posible, o no se tuvo el conocimiento para realizarlo, además el uso del encoder no fue una buena idea al momento de medir ángulos por su no linealidad. Se hubiera ahorrado bastante esfuerzo si se hubiera estudiado más a fondo sus ventajas y desventajas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Villa Parra, Ana Cecilia. SISTEMA DE CONTROL PARA ASISTIR EL MOVIMIENTO DE DORSIFLEXION DE PIE CAIDO EN LA FASE DE OSCILACION DE LA MARCHA EN PACIENTES HEMIPLEJICOS. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA (2011).
- [2] M. Freeman. Physical Therapy of Cerebral Palsy. Springer New York. 2007.
- [3] Perry J. Gait Analysis. Normal and Pathological Function. SLACK Incorporated. USA. 1992.
- [4] Marrero M. C. Rodrigo. Biomecánica Clínica de las Patologías del Aparato Locomotor. Editorial Masson Elsevier. España. 2007.
- [5] M.W. Whittle. Gait Analysis An Introduction. Elsevier Ltd. Cuarta Edición. 2007.
- [6] A. Dollar, H. Herr. Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art. IEEE Transactions on Robotics. 2008.
- [7] Autores varios. Miembro Inferior y Marcha Humana. Curso de formación de técnicos orto protésicos “EUROFORM”. Fondo Social Europeo. España. 1994.
- [8] G. Harris, P. Smith, R. Marks. Foot and Ankle Motion Analysis. Clinical Treatment and Technology. The Biomedical Engineering Series. Taylor & Francis Group, LLC. 2008. Florida.
- [9] Neumann D. Fundamentos de Rehabilitación Física. Editorial Paidotribo. España. 2004.
- [10] C. Crabtree. Modeling neuromuscular effects of ankle foot orthoses (AFOS) in computer simulations of gait. Gait & Posture. 2008.
- [11] Balance. (2015). PIE (ESTRUCTURA Y FUNCIÓN). Tomado de: <http://balancesportclinic.com/pie-estructura-y-funcion/>
- [12] Basic Biomechanics. (2012). <http://www.wefixfeet.ca/sites/default/files/biomechanics.pdf>
- [13] H. Menz. Foot Problems in Older People: Assessment and Management. Elsevier. 2008.
- [14] Ida Wiszomirska, Michalina Błażkiewicz, Katarzyna Kaczmarczyk, Grażyna Brzuszkiewicz-Kuźmicka, (2004). Effect of Drop Foot on Spatiotemporal, Kinematic, and Kinetic Parameters during Gait. Tomado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5405572/>
- [15] Gait Analysis.(2010).Tomado de: <http://www.goodlifegr.com/gait-analysis.html>
- [16] Shultz SJ et al. Examination of musculoskeletal injuries. 2nd ed, North Carolina: Human Kinetics, 2005. p55-60.
- [17] Loudon J, et al. The clinical orthopedic assessment guide. 2nd ed. Kansas: Human Kinetics, 2008. p.395-408.
- [18]. Patiño, Viviana, Zuleta, Diana, (2010). Órtesis dinámica para pie caído. Tomado de: <https://ortesisdinamica.wordpress.com/author/alejabor/>

[19]. Página Pololu, (2017). Tomado de <https://www.pololu.com/product/2468>

[20] Página Arduino (2017). Tomado de <https://www.luisllamas.es/lectura-de-un-potenciometro-con-arduino/>

9. ANEXOS

ANEXO A – ENTREGABLES

El entregable incluye:

- Ortesis con sistemas de 2 IMUs y potenciómetro.
- 1 Tarjeta raspberry, con adaptador.
- Teclado y mouse inalámbrico con su respectiva USB.
- 2 cables
- Sistema de antenas TX y RX.

También se incluye un CD-ROM el cual contiene:

- Copia del Informe Final
- Copia del Artículo IEEE
- Carpeta del banco de muestras.
- Carta de consentimiento prueba a padres de la niña.
- Copia de videos.
- Copia del código.

ANEXO B. Código principal Aplicación

FORMATO DE CONSENTIMIENTO

10 DE NOVIEMBRE DE 2017

BOGOTA, CUNDINAMARCA

Respetados Señores:

Mediante la presente carta doy consentimiento escrito para que mi hija Claudia Milena Arias Restrepo, realice las pruebas de marcha con una ortesis AFO instrumentada. En esta prueba la niña va a realizar varias marchas (específicamente cinco) caminando a una velocidad normal, además, Miguel Corredor Pastor identificado con cedula número 80.577.283 de Madrid Cundinamarca se hace responsable de no causar ningún daño físico o psicológico durante la prueba, y se compromete a que la prueba no dure más de 90 minutos.

Gracias por la atención Prestada

Cordialmente:

Luis Arias Castro

C.C. 79.092.968 de Bogotá

Responsable

Miguel Fernando Corredor Pastor

80.577.283 de Madrid

VIDEO ENLACE

<https://www.youtube.com/watch?v=8qfu-SvzjHc>

video 2

<https://youtu.be/0zeC46Fmp94>

Video graficas online.

<https://youtu.be/mmmPjSr2Mv4E>

CODIGO

```
#include "I2Cdev.h"

// Uncomment the following line to use a MinIMU-9 v5 or AltIMU-10 v5. Leave commented for older
IMUs (up through v4).

// #define IMU_V5

// Uncomment the below line to use this axis definition:

// X axis pointing forward
// Y axis pointing to the right
// and Z axis pointing down.

// Positive pitch : nose up
// Positive roll : right wing down
// Positive yaw : clockwise

int SENSOR_SIGN[9] = {1,1,1,-1,-1,-1,1,1,1}; //Correct directions x,y,z - gyro, accelerometer,
magnetometer

// Uncomment the below line to use this axis definition:

// X axis pointing forward
// Y axis pointing to the left
// and Z axis pointing up.

// Positive pitch : nose down
```

```

// Positive roll : right wing down
// Positive yaw : counterclockwise
//int SENSOR_SIGN[9] = {1,-1,-1,-1,1,1,1,-1,-1}; //Correct directions x,y,z - gyro, accelerometer,
magnetometer

// tested with Arduino Uno with ATmega328 and Arduino Duemilanove with ATmega168
#include <Wire.h>

// accelerometer: 8 g sensitivity
// 3.9 mg/digit; 1 g = 256

#define GRAVITY 256 //this equivalent to 1G in the raw data coming from the accelerometer

#define ToRad(x) ((x)*0.01745329252) // *pi/180
#define ToDeg(x) ((x)*57.2957795131) // *180/pi

// gyro: 2000 dps full scale
// 70 mdps/digit; 1 dps = 0.07

#define Gyro_Gain_X 0.07 //X axis Gyro gain
#define Gyro_Gain_Y 0.07 //Y axis Gyro gain
#define Gyro_Gain_Z 0.07 //Z axis Gyro gain

#define Gyro_Scaled_X(x) ((x)*ToRad(Gyro_Gain_X)) //Return the scaled ADC raw data of the gyro in
radians for second

#define Gyro_Scaled_Y(x) ((x)*ToRad(Gyro_Gain_Y)) //Return the scaled ADC raw data of the gyro in
radians for second

#define Gyro_Scaled_Z(x) ((x)*ToRad(Gyro_Gain_Z)) //Return the scaled ADC raw data of the gyro in
radians for second

// LSM303/LIS3MDL magnetometer calibration constants; use the Calibrate example from
// the Pololu LSM303 or LIS3MDL library to find the right values for your board

#define M_X_MIN -1000
#define M_Y_MIN -1000
#define M_Z_MIN -1000
#define M_X_MAX +1000
#define M_Y_MAX +1000
#define M_Z_MAX +1000

```

```

const int transmit_pin = 11;
const int transmit_en_pin = 3;
const int receive_pin = 12;
char msg[6];

#define Kp_ROLLPITCH 0.02
#define Ki_ROLLPITCH 0.00002
#define Kp_YAW 1.2
#define Ki_YAW 0.00002

/*For debugging purposes*/
//OUTPUTMODE=1 will print the corrected data,
//OUTPUTMODE=0 will print uncorrected data of the gyros (with drift)
#define OUTPUTMODE 1
#define PRINT_DCM 0 //Will print the whole direction cosine matrix
#define PRINT_ANALOGS 1 //Will print the analog raw data
#define PRINT_EULER 0 //Will print the Euler angles Roll, Pitch and Yaw
#define STATUS_LED 13

float G_Dt=0.02; // Integration time (DCM algorithm) We will run the integration loop at 50Hz if
possible
long timer=0; //general purpose timer
long timer_old;
long timer24=0; //Second timer used to print values
int AN[6]; //array that stores the gyro and accelerometer data
int AN_OFFSET[6]={0,0,0,0,0,0}; //Array that stores the Offset of the sensors
int gyro_x;
int gyro_y;
int gyro_z;
int accel_x;
int accel_y;
int accel_z;

```

```

int magnetom_x;
int magnetom_y;
int magnetom_z;
float c_magnetom_x;
float c_magnetom_y;
float c_magnetom_z;
float MAG_Heading;
float Accel_Vector[3]= {0,0,0}; //Store the acceleration in a vector
float Gyro_Vector[3]= {0,0,0}; //Store the gyros turn rate in a vector
float Omega_Vector[3]= {0,0,0}; //Corrected Gyro_Vector data
float Omega_P[3]= {0,0,0}; //Omega Proportional correction
float Omega_I[3]= {0,0,0}; //Omega Integrator
float Omega[3]= {0,0,0};

// Euler angles
float roll;
float pitch;
float yaw;

float errorRollPitch[3]= {0,0,0};
float errorYaw[3]= {0,0,0};

unsigned int counter=0;
byte gyro_sat=0;

float DCM_Matrix[3][3]= {
{
1,0,0 }
,
{
0,1,0 }

```

```

    ,{
      0,0,1 }
    };
float Update_Matrix[3][3]={{0,1,2},{3,4,5},{6,7,8}}; //Gyros here

float Temporary_Matrix[3][3]={
  {
    0,0,0 }
  ,{
    0,0,0 }
  ,{
    0,0,0 }
  };
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode (STATUS_LED,OUTPUT); // Status LED
  I2C_Init();
  Serial.println("Pololu MinIMU-9 + Arduino AHRS");
  digitalWrite(STATUS_LED,LOW);
  delay(1500);

  Accel_Init();
  Compass_Init();
  Gyro_Init();
  delay(20);

  for(int i=0;i<32;i++) // We take some readings...
  {
    Read_Gyro();

```



```

Read_Accel();
for(int y=0; y<6; y++) // Cumulate values
  AN_OFFSET[y] += AN[y];
delay(20);
}

for(int y=0; y<6; y++)
  AN_OFFSET[y] = AN_OFFSET[y]/32;

AN_OFFSET[5]-=GRAVITY*SENSOR_SIGN[5];

//Serial.println("Offset:");
for(int y=0; y<6; y++)
  Serial.println(AN_OFFSET[y]);

delay(2000);
digitalWrite(STATUS_LED,HIGH);

timer=millis();
delay(20);
counter=0;
}

void loop() //Main Loop
{
  if((millis()-timer)>=20) // Main loop runs at 50Hz
  {
    counter++;
    timer_old = timer;
    timer=millis();

```

```

if (timer>timer_old)
{
    G_Dt = (timer-timer_old)/1000.0; // Real time of loop run. We use this on the DCM algorithm (gyro
integration time)
    if (G_Dt > 0.2)
        G_Dt = 0; // ignore integration times over 200 ms
}
else
    G_Dt = 0;
// *** DCM algorithm
// Data acquisition
Read_Gyro(); // This read gyro data
Read_Accel(); // Read I2C accelerometer

if (counter > 5) // Read compass data at 10Hz... (5 loop runs)
{
    counter=0;
    Read_Compass(); // Read I2C magnetometer
    Compass_Heading(); // Calculate magnetic heading
}

// Calculations...
Matrix_update();
Normalize();
Drift_correction();
Euler_angles();
// ***

printdata();

```

```

}
void Compass_Heading()
{
float MAG_X;
float MAG_Y;
float cos_roll;
float sin_roll;
float cos_pitch;
float sin_pitch;

cos_roll = cos(roll);
sin_roll = sin(roll);
cos_pitch = cos(pitch);
sin_pitch = sin(pitch);

// adjust for LSM303 compass axis offsets/sensitivity differences by scaling to +/-0.5 range
c_magnetom_x = (float)(magnetom_x - SENSOR_SIGN[6]*M_X_MIN) / (M_X_MAX - M_X_MIN) -
SENSOR_SIGN[6]*0.5;
c_magnetom_y = (float)(magnetom_y - SENSOR_SIGN[7]*M_Y_MIN) / (M_Y_MAX - M_Y_MIN) -
SENSOR_SIGN[7]*0.5;
c_magnetom_z = (float)(magnetom_z - SENSOR_SIGN[8]*M_Z_MIN) / (M_Z_MAX - M_Z_MIN) -
SENSOR_SIGN[8]*0.5;

// Tilt compensated Magnetic filed X:
MAG_X =
c_magnetom_x*cos_pitch+c_magnetom_y*sin_roll*sin_pitch+c_magnetom_z*cos_roll*sin_pitch;
// Tilt compensated Magnetic filed Y:
MAG_Y = c_magnetom_y*cos_roll-c_magnetom_z*sin_roll;
// Magnetic Heading
MAG_Heading = atan2(-MAG_Y,MAG_X);
}

```

```

void Normalize(void)
{
    float error=0;
    float temporary[3][3];
    float renorm=0;

    error= -Vector_Dot_Product(&DCM_Matrix[0][0],&DCM_Matrix[1][0])* .5; //eq.19

    Vector_Scale(&temporary[0][0], &DCM_Matrix[1][0], error); //eq.19
    Vector_Scale(&temporary[1][0], &DCM_Matrix[0][0], error); //eq.19

    Vector_Add(&temporary[0][0], &temporary[0][0], &DCM_Matrix[0][0]); //eq.19
    Vector_Add(&temporary[1][0], &temporary[1][0], &DCM_Matrix[1][0]); //eq.19

    Vector_Cross_Product(&temporary[2][0],&temporary[0][0],&temporary[1][0]); // c= a x b //eq.20

    renorm= .5 *(3 - Vector_Dot_Product(&temporary[0][0],&temporary[0][0])); //eq.21
    Vector_Scale(&DCM_Matrix[0][0], &temporary[0][0], renorm);

    renorm= .5 *(3 - Vector_Dot_Product(&temporary[1][0],&temporary[1][0])); //eq.21
    Vector_Scale(&DCM_Matrix[1][0], &temporary[1][0], renorm);

    renorm= .5 *(3 - Vector_Dot_Product(&temporary[2][0],&temporary[2][0])); //eq.21
    Vector_Scale(&DCM_Matrix[2][0], &temporary[2][0], renorm);

```

```

}

/*****/
void Drift_correction(void)
{
    float mag_heading_x;
    float mag_heading_y;
    float errorCourse;
    //Compensation the Roll, Pitch and Yaw drift.
    static float Scaled_Omega_P[3];
    static float Scaled_Omega_I[3];
    float Accel_magnitude;
    float Accel_weight;

    //*****Roll and Pitch*****
    // Calculate the magnitude of the accelerometer vector
    Accel_magnitude = sqrt(Accel_Vector[0]*Accel_Vector[0] + Accel_Vector[1]*Accel_Vector[1] +
    Accel_Vector[2]*Accel_Vector[2]);
    Accel_magnitude = Accel_magnitude / GRAVITY; // Scale to gravity.
    // Dynamic weighting of accelerometer info (reliability filter)
    // Weight for accelerometer info (<0.5G = 0.0, 1G = 1.0 , >1.5G = 0.0)
    Accel_weight = constrain(1 - 2*abs(1 - Accel_magnitude),0,1); //
    Vector_Cross_Product(&errorRollPitch[0],&Accel_Vector[0],&DCM_Matrix[2][0]); //adjust the ground
of reference
    Vector_Scale(&Omega_P[0],&errorRollPitch[0],Kp_ROLLPITCH*Accel_weight);
    Vector_Scale(&Scaled_Omega_I[0],&errorRollPitch[0],Ki_ROLLPITCH*Accel_weight);
    Vector_Add(Omega_I,Omega_I,Scaled_Omega_I);

    //*****YAW*****
    // We make the gyro YAW drift correction based on compass magnetic heading

```

```

mag_heading_x = cos(MAG_Heading);
mag_heading_y = sin(MAG_Heading);

errorCourse=(DCM_Matrix[0][0]*mag_heading_y) - (DCM_Matrix[1][0]*mag_heading_x); //Calculating
YAW error

Vector_Scale(errorYaw,&DCM_Matrix[2][0],errorCourse); //Applies the yaw correction to the XYZ
rotation of the aircraft, depending on the position.

Vector_Scale(&Scaled_Omega_P[0],&errorYaw[0],Kp_YAW); //.01proportional of YAW.
Vector_Add(Omega_P,Omega_P,Scaled_Omega_P); //Adding Proportional.

Vector_Scale(&Scaled_Omega_I[0],&errorYaw[0],Ki_YAW); //.00001Integrator
Vector_Add(Omega_I,Omega_I,Scaled_Omega_I); //adding integrator to the Omega_I
}

/*****/

/*
void Accel_adjust(void)
{
Accel_Vector[1] += Accel_Scale(speed_3d*Omega[2]); // Centrifugal force on Acc_y =
GPS_speed*GyroZ
Accel_Vector[2] -= Accel_Scale(speed_3d*Omega[1]); // Centrifugal force on Acc_z = GPS_speed*GyroY
}

*/

/*****/

void Matrix_update(void)
{
Gyro_Vector[0]=Gyro_Scaled_X(gyro_x); //gyro x roll
Gyro_Vector[1]=Gyro_Scaled_Y(gyro_y); //gyro y pitch
Gyro_Vector[2]=Gyro_Scaled_Z(gyro_z); //gyro Z yaw

Accel_Vector[0]=accel_x;
Accel_Vector[1]=accel_y;
Accel_Vector[2]=accel_z;

```

```
Vector_Add(&Omega[0], &Gyro_Vector[0], &Omega_I[0]); //adding proportional term
Vector_Add(&Omega_Vector[0], &Omega[0], &Omega_P[0]); //adding Integrator term
```

```
//Accel_adjust(); //Remove centrifugal acceleration. We are not using this function in this version -
we have no speed measurement
```

```
#if OUTPUTMODE==1
```

```
Update_Matrix[0][0]=0;
```

```
Update_Matrix[0][1]=-G_Dt*Omega_Vector[2];//-z
```

```
Update_Matrix[0][2]=G_Dt*Omega_Vector[1];//y
```

```
Update_Matrix[1][0]=G_Dt*Omega_Vector[2];//z
```

```
Update_Matrix[1][1]=0;
```

```
Update_Matrix[1][2]=-G_Dt*Omega_Vector[0];//-x
```

```
Update_Matrix[2][0]=-G_Dt*Omega_Vector[1];//-y
```

```
Update_Matrix[2][1]=G_Dt*Omega_Vector[0];//x
```

```
Update_Matrix[2][2]=0;
```

```
#else // Uncorrected data (no drift correction)
```

```
Update_Matrix[0][0]=0;
```

```
Update_Matrix[0][1]=-G_Dt*Gyro_Vector[2];//-z
```

```
Update_Matrix[0][2]=G_Dt*Gyro_Vector[1];//y
```

```
Update_Matrix[1][0]=G_Dt*Gyro_Vector[2];//z
```

```
Update_Matrix[1][1]=0;
```

```
Update_Matrix[1][2]=-G_Dt*Gyro_Vector[0];
```

```
Update_Matrix[2][0]=-G_Dt*Gyro_Vector[1];
```

```
Update_Matrix[2][1]=G_Dt*Gyro_Vector[0];
```

```
Update_Matrix[2][2]=0;
```

```
#endif
```

```
Matrix_Multiply(DCM_Matrix,Update_Matrix,Temporary_Matrix); //a*b=c
```

```

for(int x=0; x<3; x++) //Matrix Addition (update)
{
    for(int y=0; y<3; y++)
    {
        DCM_Matrix[x][y]+=Temporary_Matrix[x][y];
    }
}

void Euler_angles(void)
{
    pitch = -asin(DCM_Matrix[2][0]);
    roll = atan2(DCM_Matrix[2][1],DCM_Matrix[2][2]);
    yaw = atan2(DCM_Matrix[1][0],DCM_Matrix[0][0]);
}

```

```

#ifdef IMU_V5
#include <LSM6.h>
#include <LIS3MDL.h>
LSM6 gyro_acc;
LIS3MDL mag;
#else // older IMUs through v4
#include <L3G.h>
#include <LSM303.h>
L3G gyro;
LSM303 compass;
#endif

void I2C_Init()
{
    Wire.begin();
}

```



```
}
```

```
void Gyro_Init()
```

```
{
```

```
#ifdef IMU_V5
```

```
    // Accel_Init() should have already called gyro_acc.init() and enableDefault()
```

```
    gyro_acc.writeReg(LSM6::CTRL2_G, 0x4C); // 104 Hz, 2000 dps full scale
```

```
#else
```

```
    gyro.init();
```

```
    gyro.enableDefault();
```

```
    gyro.writeReg(L3G::CTRL_REG4, 0x20); // 2000 dps full scale
```

```
    gyro.writeReg(L3G::CTRL_REG1, 0x0F); // normal power mode, all axes enabled, 100 Hz
```

```
#endif
```

```
}
```

```
void Read_Gyro()
```

```
{
```

```
#ifdef IMU_V5
```

```
    gyro_acc.readGyro();
```

```
    AN[0] = gyro_acc.g.x;
```

```
    AN[1] = gyro_acc.g.y;
```

```
    AN[2] = gyro_acc.g.z;
```

```
#else
```

```
    gyro.read();
```

```
    AN[0] = gyro.g.x;
```

```
    AN[1] = gyro.g.y;
```

```
    AN[2] = gyro.g.z;
```

```
#endif
```

```

gyro_x = SENSOR_SIGN[0] * (AN[0] - AN_OFFSET[0]);
gyro_y = SENSOR_SIGN[1] * (AN[1] - AN_OFFSET[1]);
gyro_z = SENSOR_SIGN[2] * (AN[2] - AN_OFFSET[2]);
}

void Accel_Init()
{
#ifdef IMU_V5
    gyro_acc.init();
    gyro_acc.enableDefault();
    gyro_acc.writeReg(LSM6::CTRL1_XL, 0x3C); // 52 Hz, 8 g full scale
#else
    compass.init();
    compass.enableDefault();
    switch (compass.getDeviceType())
    {
        case LSM303::device_D:
            compass.writeReg(LSM303::CTRL2, 0x18); // 8 g full scale: AFS = 011
            break;

        case LSM303::device_DLHC:
            compass.writeReg(LSM303::CTRL_REG4_A, 0x28); // 8 g full scale: FS = 10; high resolution output
            mode
            break;

        default: // DLM, DLH
            compass.writeReg(LSM303::CTRL_REG4_A, 0x30); // 8 g full scale: FS = 11
    }
#endif
}

// Reads x,y and z accelerometer registers

```

```

void Read_Accel()
{
#ifdef IMU_V5
    gyro_acc.readAcc();

    AN[3] = gyro_acc.a.x >> 4; // shift left 4 bits to use 12-bit representation (1 g = 256)
    AN[4] = gyro_acc.a.y >> 4;
    AN[5] = gyro_acc.a.z >> 4;
#else
    compass.readAcc();

    AN[3] = compass.a.x >> 4; // shift left 4 bits to use 12-bit representation (1 g = 256)
    AN[4] = compass.a.y >> 4;
    AN[5] = compass.a.z >> 4;
#endif

    accel_x = SENSOR_SIGN[3] * (AN[3] - AN_OFFSET[3]);
    accel_y = SENSOR_SIGN[4] * (AN[4] - AN_OFFSET[4]);
    accel_z = SENSOR_SIGN[5] * (AN[5] - AN_OFFSET[5]);
}

void Compass_Init()
{
#ifdef IMU_V5
    mag.init();
    mag.enableDefault();
#else
    // LSM303: doesn't need to do anything because Accel_Init() should have already called
    compass.enableDefault()
#endif
}

void Read_Compass()
{

```

```

#ifdef IMU_V5
    mag.read();
    magnetom_x = SENSOR_SIGN[6] * mag.m.x;
    magnetom_y = SENSOR_SIGN[7] * mag.m.y;
    magnetom_z = SENSOR_SIGN[8] * mag.m.z;
#else
    compass.readMag();

    magnetom_x = SENSOR_SIGN[6] * compass.m.x;
    magnetom_y = SENSOR_SIGN[7] * compass.m.y;
    magnetom_z = SENSOR_SIGN[8] * compass.m.z;
#endif
}

float angulo = 0;

void printdata(void)
{
    Serial.print("!");
    #if PRINT_EULER == 1
    Serial.print("ANG:");
    Serial.print(ToDeg(roll));
    Serial.print(",");
    Serial.print(ToDeg(pitch));
    Serial.print(",");
    Serial.print(ToDeg(yaw));
    #endif
    #if PRINT_ANALOGS==1

    int sensorValue = analogRead(A0);
    // print out the value you read
    angulo = (sensorValue*0.264)-94.51;

```

```

    //Serial.print("AN:");
//  //Serial.print(AN[0]); //(int)read_adc(0)
//  //Serial.print(",");
//  Serial.print(AN[1]);
//  Serial.print(",");
    Serial.print(AN[2]);
    Serial.print(",");
    Serial.print(AN[3]);
    Serial.print(",");
    Serial.print(AN[4]);
    Serial.print(",");

    Serial.print(AN[5]);

    Serial.print(",");

    Serial.println(angulo);
//  Serial.print(c_magnetom_x);
//  Serial.print(",");
//  Serial.print(c_magnetom_y);
//  Serial.print(",");
//  Serial.print(c_magnetom_z);
#endif
#if PRINT_DCM == 1
    Serial.print(",DCM:");
    Serial.print(DCM_Matrix[0][0]);
    Serial.print(",");
    Serial.print(DCM_Matrix[0][1]);
    Serial.print(",");
    Serial.print(DCM_Matrix[0][2]);

```

```

Serial.print(",");
Serial.print(DCM_Matrix[1][0]);
Serial.print(",");
Serial.print(DCM_Matrix[1][1]);
Serial.print(",");
Serial.print(DCM_Matrix[1][2]);
Serial.print(",");
Serial.print(DCM_Matrix[2][0]);
Serial.print(",");
Serial.print(DCM_Matrix[2][1]);
Serial.print(",");
Serial.print(DCM_Matrix[2][2]);
#endif
Serial.println();

}

/*long convert_to_dec(float x)
{
return x*10000000;
}*/

//Computes the dot product of two vectors
float Vector_Dot_Product(float vector1[3],float vector2[3])
{
float op=0;

for(int c=0; c<3; c++)
{
op+=vector1[c]*vector2[c];
}
}

```

```

    return op;
}
//Computes the cross product of two vectors
void Vector_Cross_Product(float vectorOut[3], float v1[3],float v2[3])
{
    vectorOut[0]= (v1[1]*v2[2]) - (v1[2]*v2[1]);
    vectorOut[1]= (v1[2]*v2[0]) - (v1[0]*v2[2]);
    vectorOut[2]= (v1[0]*v2[1]) - (v1[1]*v2[0]);
}

//Multiply the vector by a scalar.
void Vector_Scale(float vectorOut[3],float vectorIn[3], float scale2)
{
    for(int c=0; c<3; c++)
    {
        vectorOut[c]=vectorIn[c]*scale2;
    }
}
void Vector_Add(float vectorOut[3],float vectorIn1[3], float vectorIn2[3])
{
    for(int c=0; c<3; c++)
    {
        vectorOut[c]=vectorIn1[c]+vectorIn2[c];
    }
}
void Matrix_Multiply(float a[3][3], float b[3][3], float mat[3][3])
{
    for(int x = 0; x < 3; x++)
    {

```

```
for(int y = 0; y < 3; y++)
{
    mat[x][y] = 0;

    for(int w = 0; w < 3; w++)
    {
        mat[x][y] += a[x][w] * b[w][y];
    }
}
}
```

voltaje. , sensorValue, valor;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, NaN, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 2.5, 0;

0.0, 12.5, 0;
0.0, 27.0, 0;
0.0, 34.5, 0;
0.0, 42.0, 0;
0.0, 52.5, 0;
0.0, 61.5, 0;
0.0, 72.0, 0;
0.0, 81.5, 0;
0.0, 90.5, 0;
0.0, 99.0, 0;
0.0, 109.0, 0;
0.0, 113.0, 0;
0.0, 121.5, 0;
0.0, 127.0, 0;
0.0, 136.0, 0;
0.0, 147.5, 0;
0.0, 151.5, 0;
0.0, 161.5, 0;
0.0, 174.5, 0;
0.0, 178.5, 0;
0.0, 183.0, 0;
0.0, 188.0, 0;
0.0, 192.5, 0;
0.0, 196.5, 0;
0.0, 198.0, 0;
0.0, 201.5, 0;
0.0, 203.5, 0;

0.0, 206.5, 0;
0.0, 208.0, 0;
0.0, 211.5, 0;
0.0, 213.0, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 214.0, 0;
0.0, 214.0, 0;
0.0, 214.0, 0;
0.0, 214.0, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 210.0, 0;
0.0, 198.5, 0;
0.0, 191.5, 0;
0.0, 183.5, 0;
0.0, 152.0, 0;
0.0, 138.5, 0;
0.0, 105.0, 0;
0.0, 78.5, 0;
0.0, 43.0, 0;
0.0, 9.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 9.5, 0;
0.0, 28.0, 0;
0.0, 47.5, 0;
0.0, 57.5, 0;
0.0, 85.5, 0;
0.0, 95.5, 0;

0.0, 107.0, 0;
0.0, 132.0, 0;
0.0, 154.0, 0;
0.0, 166.0, 0;
0.0, 191.5, 0;
0.0, 201.5, 0;
0.0, 215.0, 0;
0.0, 220.5, 0;
0.0, 227.5, 0;
0.0, 230.0, 0;
0.0, 230.5, 0;
0.0, 231.0, 0;
0.0, 231.0, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 230.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 232.0, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.0, 0;
0.0, 232.0, 0;
0.0, 231.0, 0;
0.0, 231.0, 0;
0.0, 232.0, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;

0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 231.5, 0;
0.0, 230.5, 0;
0.0, 228.0, 0;
0.0, 226.0, 0;
0.0, 219.0, 0;
0.0, 202.0, 0;
0.0, 186.0, 0;
0.0, 162.0, 0;
0.0, 109.0, 0;
0.0, 58.0, 0;
0.0, 21.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 6.0, 0;
0.0, 30.0, 0;
0.0, 41.0, 0;
0.0, 73.5, 0;
0.0, 96.0, 0;
0.0, 117.5, 0;
0.0, 131.0, 0;
0.0, 165.0, 0;
0.0, 180.0, 0;
0.0, 193.5, 0;
0.0, 224.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 243.5, 0;

0.0, 250.5, 0;
0.0, 255.5, 0;
0.0, 258.0, 0;
0.0, 261.5, 0;
0.0, 262.5, 0;
0.0, 265.0, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.5, 0;

0.0, 272.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 271.0, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 242.0, 0;
0.0, 228.5, 0;
0.0, 196.5, 0;
0.0, 177.0, 0;
0.0, 116.5, 0;
0.0, 62.5, 0;
0.0, 28.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 8.0, 0;
0.0, 30.0, 0;
0.0, 45.5, 0;
0.0, 77.5, 0;
0.0, 93.5, 0;
0.0, 126.0, 0;
0.0, 150.5, 0;
0.0, 184.5, 0;
0.0, 201.5, 0;
0.0, 237.0, 0;
0.0, 253.0, 0;
0.0, 259.0, 0;
0.0, 269.0, 0;
0.0, 271.0, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 274.0, 0;
0.0, 274.0, 0;
0.0, 273.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;

0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.0, 0;
0.0, 274.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 271.0, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 263.5, 0;
0.0, 253.0, 0;
0.0, 244.0, 0;
0.0, 209.5, 0;
0.0, 189.5, 0;
0.0, 166.0, 0;
0.0, 107.0, 0;

0.0, 58.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 12.0, 0;
0.0, 50.0, 0;
0.0, 89.5, 0;
0.0, 125.0, 0;
0.0, 148.5, 0;

0.0, 164.0, 0;
0.0, 192.5, 0;
0.0, 209.0, 0;
0.0, 224.5, 0;
0.0, 230.0, 0;
0.0, 233.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.5, 0;

0.0, 235.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.0, 0;
0.0, 234.5, 0;
0.0, 234.0, 0;
0.0, 233.0, 0;
0.0, 232.0, 0;
0.0, 230.0, 0;
0.0, 224.0, 0;
0.0, 220.0, 0;
0.0, 198.5, 0;
0.0, 185.5, 0;
0.0, 153.5, 0;
0.0, 133.0, 0;
0.0, 68.0, 0;
0.0, 7.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 10.0, 0;
0.0, 18.0, 0;
0.0, 29.5, 0;
0.0, 53.5, 0;
0.0, 67.0, 0;
0.0, 94.0, 0;
0.0, 113.5, 0;
0.0, 138.0, 0;
0.0, 152.0, 0;
0.0, 191.0, 0;
0.0, 205.0, 0;

0.0, 228.5, 0;
0.0, 240.0, 0;
0.0, 261.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 285.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 299.0, 0;
0.0, 303.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;

0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.0, 0;
0.0, 303.0, 0;
0.0, 297.5, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 266.0, 0;
0.0, 233.5, 0;
0.0, 212.0, 0;
0.0, 189.0, 0;
0.0, 115.5, 0;
0.0, 37.0, 0;
0.0, 12.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 3.0, 0;
0.0, 32.5, 0;
0.0, 43.5, 0;
0.0, 78.0, 0;
0.0, 108.0, 0;
0.0, 121.0, 0;
0.0, 143.5, 0;
0.0, 172.5, 0;
0.0, 204.0, 0;
0.0, 236.5, 0;
0.0, 247.0, 0;
0.0, 258.0, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 278.0, 0;
0.0, 280.0, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 291.0, 0;
0.0, 292.5, 0;
0.0, 297.0, 0;
0.0, 302.0, 0;

0.0, 303.0, 0;
0.0, 303.5, 0;
0.0, 303.5, 0;
0.0, 304.0, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.0, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 305.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;

0.0, 304.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 299.5, 0;
0.0, 299.0, 0;
0.0, 298.5, 0;
0.0, 296.5, 0;
0.0, 292.0, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 251.0, 0;
0.0, 198.5, 0;
0.0, 172.5, 0;
0.0, 142.0, 0;
0.0, 58.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 9.5, 0;
0.0, 26.0, 0;
0.0, 37.5, 0;
0.0, 70.5, 0;
0.0, 85.5, 0;
0.0, 125.5, 0;
0.0, 141.0, 0;
0.0, 168.0, 0;
0.0, 180.5, 0;
0.0, 204.5, 0;
0.0, 220.5, 0;
0.0, 228.5, 0;
0.0, 240.0, 0;
0.0, 250.5, 0;

0.0, 257.0, 0;
0.0, 263.5, 0;
0.0, 265.5, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.0, 0;

0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 263.0, 0;
0.0, 260.0, 0;
0.0, 230.5, 0;
0.0, 212.5, 0;
0.0, 173.5, 0;
0.0, 150.5, 0;
0.0, 83.0, 0;
0.0, 31.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 5.0, 0;
0.0, 19.0, 0;
0.0, 23.5, 0;
0.0, 38.0, 0;
0.0, 47.0, 0;
0.0, 62.0, 0;
0.0, 81.0, 0;
0.0, 108.5, 0;
0.0, 119.0, 0;
0.0, 147.5, 0;
0.0, 162.5, 0;
0.0, 199.0, 0;
0.0, 210.5, 0;
0.0, 227.0, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 244.5, 0;
0.0, 259.0, 0;
0.0, 272.5, 0;

0.0, 279.5, 0;
0.0, 286.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 292.0, 0;
0.0, 294.0, 0;
0.0, 297.5, 0;
0.0, 298.5, 0;
0.0, 300.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 303.0, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 302.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 297.5, 0;

0.0, 284.0, 0;
0.0, 271.0, 0;
0.0, 226.0, 0;
0.0, 205.5, 0;
0.0, 155.0, 0;
0.0, 109.5, 0;
0.0, 61.0, 0;
0.0, 11.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 2.0, 0;
0.0, 8.0, 0;
0.0, 14.0, 0;
0.0, 18.5, 0;
0.0, 29.0, 0;
0.0, 37.5, 0;
0.0, 47.5, 0;
0.0, 67.5, 0;
0.0, 80.0, 0;
0.0, 108.5, 0;
0.0, 131.5, 0;
0.0, 172.0, 0;
0.0, 206.5, 0;
0.0, 225.5, 0;
0.0, 245.0, 0;
0.0, 255.0, 0;
0.0, 271.0, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 276.0, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 276.0, 0;

0.0, 275.0, 0;
0.0, 276.0, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 274.0, 0;
0.0, 273.5, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 269.0, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 266.0, 0;
0.0, 263.0, 0;
0.0, 260.5, 0;
0.0, 259.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 9.5, 0;
0.0, 17.5, 0;
0.0, 37.5, 0;
0.0, 49.5, 0;
0.0, 70.0, 0;
0.0, 87.0, 0;
0.0, 97.5, 0;
0.0, 108.0, 0;
0.0, 126.5, 0;
0.0, 142.0, 0;
0.0, 153.0, 0;
0.0, 173.5, 0;
0.0, 183.0, 0;
0.0, 200.0, 0;
0.0, 205.0, 0;
0.0, 213.0, 0;
0.0, 226.5, 0;
0.0, 233.0, 0;
0.0, 241.0, 0;
0.0, 250.5, 0;

0.0, 262.0, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 273.5, 0;
0.0, 276.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;

0.0, 279.5, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 277.5, 0;
0.0, 277.0, 0;
0.0, 277.0, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 273.5, 0;
0.0, 271.5, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 260.5, 0;
0.0, 250.0, 0;
0.0, 241.5, 0;
0.0, 219.0, 0;
0.0, 206.5, 0;
0.0, 162.0, 0;
0.0, 137.5, 0;
0.0, 110.5, 0;
0.0, 36.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 14.0, 0;
0.0, 36.0, 0;
0.0, 45.5, 0;
0.0, 62.0, 0;
0.0, 82.5, 0;
0.0, 93.0, 0;
0.0, 118.5, 0;
0.0, 130.5, 0;
0.0, 148.0, 0;
0.0, 166.5, 0;

0.0, 183.5, 0;
0.0, 201.5, 0;
0.0, 208.0, 0;
0.0, 215.0, 0;
0.0, 225.0, 0;
0.0, 229.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 238.0, 0;
0.0, 239.0, 0;
0.0, 240.0, 0;
0.0, 241.0, 0;
0.0, 241.5, 0;
0.0, 242.0, 0;
0.0, 242.0, 0;
0.0, 242.0, 0;
0.0, 243.0, 0;
0.0, 242.5, 0;
0.0, 244.5, 0;
0.0, 245.0, 0;
0.0, 249.5, 0;
0.0, 256.0, 0;
0.0, 259.5, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 271.5, 0;
0.0, 273.5, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 279.5, 0;

0.0, 285.0, 0;
0.0, 286.5, 0;
0.0, 287.0, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 288.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 288.0, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 288.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 287.5, 0;
0.0, 288.0, 0;

0.0, 287.5, 0;
0.0, 286.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 253.5, 0;
0.0, 230.0, 0;
0.0, 209.0, 0;
0.0, 163.0, 0;
0.0, 135.0, 0;
0.0, 91.0, 0;
0.0, 36.5, 0;
0.0, 6.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 26.5, 0;
0.0, 43.5, 0;
0.0, 72.5, 0;
0.0, 95.5, 0;
0.0, 123.0, 0;
0.0, 137.5, 0;
0.0, 152.0, 0;
0.0, 186.5, 0;
0.0, 199.0, 0;
0.0, 220.0, 0;
0.0, 232.5, 0;
0.0, 249.0, 0;
0.0, 260.0, 0;
0.0, 276.5, 0;
0.0, 283.0, 0;
0.0, 289.5, 0;
0.0, 294.5, 0;
0.0, 297.0, 0;
0.0, 297.5, 0;
0.0, 299.0, 0;
0.0, 299.5, 0;
0.0, 300.0, 0;

0.0, 300.0, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 300.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 298.0, 0;
0.0, 289.0, 0;
0.0, 280.0, 0;
0.0, 262.5, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 5.5, 0;
0.0, 23.0, 0;
0.0, 42.5, 0;
0.0, 58.5, 0;
0.0, 71.0, 0;
0.0, 99.5, 0;
0.0, 138.0, 0;
0.0, 156.5, 0;
0.0, 190.0, 0;
0.0, 217.5, 0;
0.0, 233.0, 0;
0.0, 250.0, 0;
0.0, 257.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 284.0, 0;
0.0, 289.0, 0;
0.0, 298.5, 0;
0.0, 299.5, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;

0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 301.5, 0;
0.0, 302.0, 0;
0.0, 301.0, 0;
0.0, 297.5, 0;
0.0, 291.0, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 241.0, 0;
0.0, 220.5, 0;
0.0, 178.0, 0;
0.0, 111.5, 0;
0.0, 76.0, 0;
0.0, 5.5, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 16.5, 0;
0.0, 38.0, 0;
0.0, 85.5, 0;
0.0, 136.0, 0;
0.0, 163.0, 0;
0.0, 189.5, 0;
0.0, 211.0, 0;

0.0, 249.0, 0;
0.0, 256.0, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 272.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 277.5, 0;
0.0, 277.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 278.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 279.0, 0;
0.0, 278.0, 0;
0.0, 277.5, 0;

0.0, 272.5, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 269.0, 0;
0.0, 264.5, 0;
0.0, 259.5, 0;
0.0, 248.5, 0;
0.0, 241.0, 0;
0.0, 211.0, 0;
0.0, 193.5, 0;
0.0, 172.5, 0;
0.0, 147.0, 0;
0.0, 63.0, 0;
0.0, 30.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 14.0, 0;
0.0, 20.0, 0;
0.0, 30.5, 0;
0.0, 54.0, 0;
0.0, 82.5, 0;
0.0, 101.0, 0;
0.0, 117.0, 0;
0.0, 166.5, 0;
0.0, 202.5, 0;
0.0, 217.5, 0;
0.0, 250.5, 0;
0.0, 261.0, 0;
0.0, 276.0, 0;
0.0, 283.5, 0;

0.0, 287.5, 0;
0.0, 286.5, 0;
0.0, 288.5, 0;
0.0, 289.0, 0;
0.0, 289.0, 0;
0.0, 290.5, 0;
0.0, 291.0, 0;
0.0, 291.0, 0;
0.0, 292.0, 0;
0.0, 293.0, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.0, 0;
0.0, 294.0, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.0, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 293.0, 0;
0.0, 292.0, 0;
0.0, 292.0, 0;
0.0, 291.0, 0;
0.0, 287.0, 0;
0.0, 284.0, 0;

0.0, 278.5, 0;
0.0, 250.5, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 191.0, 0;
0.0, 122.0, 0;
0.0, 92.0, 0;
0.0, 22.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 11.0, 0;
0.0, 25.0, 0;
0.0, 51.0, 0;
0.0, 65.0, 0;
0.0, 98.0, 0;
0.0, 115.5, 0;
0.0, 145.5, 0;
0.0, 177.5, 0;
0.0, 205.5, 0;
0.0, 223.0, 0;
0.0, 260.0, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 293.0, 0;

0.0, 307.5, 0;
0.0, 314.5, 0;
0.0, 323.0, 0;
0.0, 324.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 326.0, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 324.5, 0;
0.0, 324.0, 0;
0.0, 321.5, 0;
0.0, 320.0, 0;

0.0, 314.5, 0;
0.0, 308.5, 0;
0.0, 292.5, 0;
0.0, 257.0, 0;
0.0, 235.5, 0;
0.0, 211.0, 0;
0.0, 148.5, 0;
0.0, 119.0, 0;
0.0, 75.0, 0;
0.0, 29.0, 0;
0.0, 1.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 10.0, 0;
0.0, 22.0, 0;
0.0, 50.5, 0;
0.0, 75.0, 0;
0.0, 108.0, 0;
0.0, 140.5, 0;
0.0, 158.5, 0;
0.0, 202.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 247.5, 0;
0.0, 273.5, 0;
0.0, 285.0, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 321.5, 0;
0.0, 329.5, 0;
0.0, 335.5, 0;
0.0, 352.0, 0;

0.0, 364.5, 0;
0.0, 370.0, 0;
0.0, 381.0, 0;
0.0, 384.0, 0;
0.0, 386.5, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 386.5, 0;
0.0, 386.5, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 386.5, 0;
0.0, 386.5, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 386.5, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 386.0, 0;
0.0, 385.0, 0;
0.0, 384.0, 0;
0.0, 382.0, 0;
0.0, 380.0, 0;
0.0, 377.0, 0;
0.0, 374.5, 0;

0.0, 370.5, 0;
0.0, 364.5, 0;
0.0, 358.5, 0;
0.0, 351.5, 0;
0.0, 324.5, 0;
0.0, 273.0, 0;
0.0, 219.0, 0;
0.0, 190.5, 0;
0.0, 117.0, 0;
0.0, 71.5, 0;
0.0, 21.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 5.5, 0;
0.0, 10.0, 0;
0.0, 26.5, 0;
0.0, 35.5, 0;
0.0, 50.5, 0;
0.0, 58.5, 0;
0.0, 70.0, 0;
0.0, 85.5, 0;
0.0, 94.0, 0;
0.0, 109.0, 0;
0.0, 116.0, 0;
0.0, 137.5, 0;
0.0, 157.5, 0;
0.0, 167.5, 0;
0.0, 181.5, 0;

0.0, 199.5, 0;
0.0, 206.5, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 235.5, 0;
0.0, 243.0, 0;
0.0, 251.5, 0;
0.0, 276.5, 0;
0.0, 287.0, 0;
0.0, 308.0, 0;
0.0, 337.0, 0;
0.0, 359.5, 0;
0.0, 369.0, 0;
0.0, 382.5, 0;
0.0, 391.0, 0;
0.0, 393.5, 0;
0.0, 395.5, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 397.0, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 397.0, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 397.0, 0;
0.0, 397.0, 0;

0.0, 396.5, 0;
0.0, 396.5, 0;
0.0, 395.5, 0;
0.0, 393.5, 0;
0.0, 387.0, 0;
0.0, 384.0, 0;
0.0, 379.0, 0;
0.0, 373.0, 0;
0.0, 368.0, 0;
0.0, 362.5, 0;
0.0, 348.0, 0;
0.0, 340.0, 0;
0.0, 321.0, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 249.0, 0;
0.0, 222.0, 0;
0.0, 155.5, 0;
0.0, 103.0, 0;
0.0, 78.0, 0;
0.0, 28.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 7.5, 0;
0.0, 26.0, 0;
0.0, 38.5, 0;
0.0, 46.5, 0;
0.0, 69.5, 0;
0.0, 78.5, 0;
0.0, 99.5, 0;
0.0, 110.0, 0;
0.0, 140.5, 0;

0.0, 165.5, 0;
0.0, 175.5, 0;
0.0, 202.0, 0;
0.0, 211.0, 0;
0.0, 226.5, 0;
0.0, 238.5, 0;
0.0, 250.0, 0;
0.0, 257.5, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 281.0, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 300.0, 0;
0.0, 309.5, 0;
0.0, 323.5, 0;
0.0, 331.0, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 349.0, 0;
0.0, 354.0, 0;
0.0, 360.0, 0;
0.0, 362.0, 0;
0.0, 364.5, 0;
0.0, 365.0, 0;
0.0, 366.5, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 367.5, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 367.5, 0;

0.0, 367.5, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 367.5, 0;
0.0, 367.5, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 367.5, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 367.0, 0;
0.0, 366.0, 0;
0.0, 366.0, 0;
0.0, 365.5, 0;
0.0, 365.0, 0;
0.0, 361.5, 0;
0.0, 357.0, 0;
0.0, 340.0, 0;
0.0, 318.0, 0;
0.0, 298.0, 0;
0.0, 226.5, 0;
0.0, 184.5, 0;
0.0, 148.5, 0;
0.0, 126.5, 0;
0.0, 71.0, 0;
0.0, 50.0, 0;
0.0, 12.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 3.5, 0;
0.0, 8.5, 0;
0.0, 23.5, 0;
0.0, 32.0, 0;
0.0, 38.5, 0;
0.0, 54.0, 0;
0.0, 61.5, 0;
0.0, 79.0, 0;
0.0, 87.5, 0;
0.0, 104.5, 0;
0.0, 117.5, 0;
0.0, 127.5, 0;
0.0, 148.0, 0;
0.0, 157.0, 0;
0.0, 174.5, 0;
0.0, 186.5, 0;
0.0, 196.0, 0;
0.0, 207.0, 0;
0.0, 216.5, 0;
0.0, 220.0, 0;
0.0, 230.5, 0;
0.0, 235.0, 0;
0.0, 242.5, 0;
0.0, 249.0, 0;
0.0, 250.0, 0;

0.0, 256.0, 0;
0.0, 257.0, 0;
0.0, 258.5, 0;
0.0, 262.5, 0;
0.0, 263.5, 0;
0.0, 265.0, 0;
0.0, 266.0, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 269.5, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 266.0, 0;
0.0, 260.5, 0;
0.0, 245.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 5.5, 0;
0.0, 15.5, 0;
0.0, 23.5, 0;
0.0, 27.5, 0;
0.0, 35.0, 0;
0.0, 49.0, 0;
0.0, 55.0, 0;
0.0, 76.0, 0;
0.0, 85.0, 0;
0.0, 106.0, 0;
0.0, 117.5, 0;
0.0, 151.0, 0;
0.0, 173.0, 0;
0.0, 191.5, 0;
0.0, 206.0, 0;
0.0, 214.5, 0;
0.0, 231.0, 0;
0.0, 240.5, 0;
0.0, 263.5, 0;
0.0, 271.5, 0;
0.0, 281.0, 0;
0.0, 290.5, 0;
0.0, 296.5, 0;
0.0, 307.5, 0;
0.0, 311.5, 0;

0.0, 320.5, 0;
0.0, 327.0, 0;
0.0, 333.0, 0;
0.0, 336.5, 0;
0.0, 339.5, 0;
0.0, 340.0, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 342.0, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 340.5, 0;
0.0, 340.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 335.5, 0;
0.0, 332.0, 0;

0.0, 329.0, 0;
0.0, 310.5, 0;
0.0, 298.0, 0;
0.0, 269.5, 0;
0.0, 235.5, 0;
0.0, 199.0, 0;
0.0, 157.5, 0;
0.0, 137.0, 0;
0.0, 115.5, 0;
0.0, 63.5, 0;
0.0, 44.5, 0;
0.0, 13.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 1.0, 0;
0.0, 9.0, 0;
0.0, 21.5, 0;
0.0, 31.5, 0;
0.0, 42.0, 0;
0.0, 55.0, 0;
0.0, 62.5, 0;
0.0, 71.5, 0;
0.0, 85.0, 0;
0.0, 97.0, 0;
0.0, 103.5, 0;
0.0, 117.0, 0;
0.0, 130.0, 0;
0.0, 150.5, 0;
0.0, 167.5, 0;
0.0, 181.0, 0;
0.0, 206.0, 0;
0.0, 218.5, 0;

0.0, 251.0, 0;
0.0, 263.5, 0;
0.0, 284.5, 0;
0.0, 298.0, 0;
0.0, 311.5, 0;
0.0, 318.0, 0;
0.0, 334.5, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 343.0, 0;
0.0, 345.0, 0;
0.0, 344.5, 0;
0.0, 345.0, 0;
0.0, 345.0, 0;
0.0, 345.5, 0;
0.0, 344.5, 0;
0.0, 343.0, 0;
0.0, 342.5, 0;
0.0, 341.5, 0;
0.0, 341.0, 0;
0.0, 340.0, 0;
0.0, 340.5, 0;
0.0, 340.0, 0;
0.0, 339.5, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 339.0, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.0, 0;

0.0, 337.0, 0;
0.0, 336.5, 0;
0.0, 334.5, 0;
0.0, 333.0, 0;
0.0, 330.5, 0;
0.0, 324.0, 0;
0.0, 319.5, 0;
0.0, 306.5, 0;
0.0, 274.5, 0;
0.0, 254.0, 0;
0.0, 204.5, 0;
0.0, 165.0, 0;
0.0, 113.0, 0;
0.0, 44.0, 0;
0.0, 23.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 1.3, 1.3;
0.0, 1.4, 1.375;
0.0, 1.475, 1.45;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 3.0, 0;
0.0, 12.5, 0;
0.0, 20.5, 0;
0.0, 26.0, 0;
0.0, 41.0, 0;
0.0, 49.0, 0;
0.0, 63.5, 0;
0.0, 71.5, 0;
0.0, 92.5, 0;
0.0, 105.5, 0;
0.0, 119.0, 0;
0.0, 134.5, 0;
0.0, 157.5, 0;
0.0, 169.0, 0;
0.0, 193.5, 0;
0.0, 202.0, 0;

0.0, 214.5, 0;
0.0, 221.0, 0;
0.0, 240.5, 0;
0.0, 247.0, 0;
0.0, 253.5, 0;
0.0, 259.5, 0;
0.0, 275.0, 0;
0.0, 280.0, 0;
0.0, 293.5, 0;
0.0, 303.0, 0;
0.0, 308.5, 0;
0.0, 318.0, 0;
0.0, 321.5, 0;
0.0, 329.5, 0;
0.0, 333.5, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 336.5, 0;
0.0, 337.0, 337;
0.0, 337.0, 337;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.0, 0;

0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.5, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 338.0, 0;
0.0, 337.0, 0;
0.0, 335.5, 0;
0.0, 335.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 324.5, 0;
0.0, 311.0, 0;
0.0, 299.0, 0;
0.0, 255.5, 0;
0.0, 212.0, 0;
0.0, 182.0, 0;
0.0, 141.0, 0;
0.0, 88.5, 0;
0.0, 61.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 5.5, 0;
0.0, 10.5, 0;
0.0, 31.0, 0;
0.0, 37.5, 0;
0.0, 56.5, 0;
0.0, 66.5, 0;

0.0, 76.0, 0;
0.0, 99.5, 0;
0.0, 109.0, 0;
0.0, 129.5, 0;
0.0, 160.0, 0;
0.0, 176.5, 0;
0.0, 190.0, 0;
0.0, 198.5, 0;
0.0, 221.0, 0;
0.0, 228.5, 0;
0.0, 245.0, 0;
0.0, 258.5, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 279.5, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 294.0, 0;
0.0, 304.0, 0;
0.0, 308.5, 0;
0.0, 316.0, 0;
0.0, 323.0, 0;
0.0, 328.0, 0;
0.0, 330.0, 0;
0.0, 332.5, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 333.5, 0;
0.0, 333.5, 0;
0.0, 334.0, 0;

0.0, 333.5, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 333.5, 0;
0.0, 334.5, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 334.0, 0;
0.0, 331.5, 0;
0.0, 330.0, 0;
0.0, 324.0, 0;
0.0, 313.5, 0;
0.0, 304.5, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 248.0, 0;
0.0, 227.0, 0;
0.0, 180.0, 0;
0.0, 122.0, 0;
0.0, 94.0, 0;
0.0, 65.5, 0;
0.0, 36.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 4.0, 0;
0.0, 13.0, 0;
0.0, 42.0, 0;
0.0, 65.0, 0;
0.0, 97.5, 0;
0.0, 131.0, 0;
0.0, 160.5, 0;
0.0, 197.0, 0;
0.0, 227.0, 0;

0.0, 243.5, 0;
0.0, 265.0, 0;
0.0, 276.0, 0;
0.0, 287.0, 0;
0.0, 306.0, 0;
0.0, 312.5, 0;
0.0, 317.5, 0;
0.0, 321.0, 0;
0.0, 327.0, 0;
0.0, 327.5, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 329.0, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 329.0, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 329.0, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 329.0, 0;
0.0, 329.0, 0;
0.0, 329.0, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 328.5, 0;
0.0, 328.0, 0;
0.0, 327.5, 0;

0.0, 327.5, 0;
0.0, 326.0, 0;
0.0, 325.5, 0;
0.0, 325.0, 0;
0.0, 324.5, 0;
0.0, 323.5, 0;
0.0, 323.0, 0;
0.0, 323.0, 0;
0.0, 322.5, 0;
0.0, 322.0, 0;
0.0, 321.0, 0;
0.0, 320.0, 0;
0.0, 319.0, 0;
0.0, 314.0, 0;
0.0, 309.5, 0;
0.0, 298.5, 0;
0.0, 266.5, 0;
0.0, 243.0, 0;
0.0, 220.0, 0;
0.0, 165.5, 0;
0.0, 146.0, 0;
0.0, 118.5, 0;
0.0, 81.5, 0;
0.0, 62.0, 0;
0.0, 16.5, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 0.0, 0;
0.0, 15.0, 0;
0.0, 24.0, 0;
0.0, 36.5, 0;
0.0, 58.0, 0;
0.0, 76.5, 0;
0.0, 101.0, 0;

0.0, 113.0, 0;
0.0, 125.5, 0;
0.0, 151.5, 0;
0.0, 170.5, 0;
0.0, 186.5, 0;
0.0, 202.5, 0;
0.0, 209.0, 0;
0.0, 219.0, 0;
0.0, 223.5, 0;
0.0, 230.0, 0;
0.0, 237.0, 0;
0.0, 238.0, 0;
0.0, 244.0, 0;
0.0, 247.5, 0;
0.0, 250.0, 0;
0.0, 252.5, 0;
0.0, 257.0, 0;
0.0, 257.5, 0;
0.0, 262.5, 0;
0.0, 265.0, 0;
0.0, 267.0, 0;
0.0, 267.5, 0;
0.0, 268.0, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 268.5, 0;
0.0, 269.0, 0;
0.0, 269.0, 0;

0.0, 270.0, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 269.5, 0;
0.0, 270.0, 0;
0.0, 270.5, 0;
0.0, 271.5, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 272.0, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 278.0, 0;
0.0, 280.0, 0;
0.0, 284.5, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 285.5, 0;
0.0, 286.0, 0;
0.0, 280.5, 0;
0.0, 275.5, 0;
0.0, 269.5, 0;

0.0, 242.0, 0;

0.0, 205.0, 0;

0.0, 175.0, 0;

0.0, 135.5, 0;

0.0, 116.0, 0;

0.0, 72.5, 0;

0.0, 38.5, 0;

0.0, 19.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;

0.0, 0.0, 0;
