



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

**“DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS DE CABEZA
UTILIZANDO ACELERÓMETRO Y GIROSCOPIO,
MEDIANTE ÍNDICE DE CORRELACIÓN DE
PEARSON”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

DAVID OCTAVIO ROA RICO

DIRECTOR:

DR. RICARDO JESÚS RENATO GUERRA FRAUSTRO

CO-DIRECTOR:

M. C. JOSÉ JAIME ESQUEDA ELIZONDO

TIJUANA B. C., SEPTIEMBRE DE 2016

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios, por darme la vida.

A mis padres Juan Jesús Roa Valenzuela y Guadalupe Beatriz Rico Aviña, quienes me enseñaron a luchar por alcanzar mis metas, quienes me brindaron todo su amor, apoyo y alentaron a seguir avanzando.

A mis hermanos Noé, Iván, Abraham y Bruno, quienes sin saberlo, me ayudaron en tiempos difíciles y confiaron siempre en mí. A mis cuñadas Karen, Brenda y Aneel, que me apoyaron junto a mis hermanos. A Diego, Valerie y Damián por traerme alegría y compañía mientras escribía estas líneas.

A mi maestro José Jaime Esqueda Elizondo, quien ha guiado mis pasos en la elaboración de esta tesis, por su paciencia, estímulo, dedicación y ejemplo, porque su clase no se limita a un salón de clases, porque sigo aprendiendo de él.

Al Doctor Guerra, por alentarme y ayudarme a dar los pasos finales de la elaboración de esta tesis, por su esmero y paciencia. Por ayudarme en tiempos difíciles, por preocuparse por mí.

Al Maestro Daniel García, por enseñarme e interesarse por mí, por brindarme su amistad.

A mis amigos y compañeros de posgrado, Pedro Ayala Muñoz y Manuel Enoch Cardona Contreras, con quienes inicié este camino, por sus consejos y ayuda en los trabajos de experimentación. A Cesar Ortega por darme consejos en la elaboración de esta tesis.

A Fernanda Michell Ordoñez Ramírez por revisar la redacción de esta tesis, por su apoyo incondicional.

A mis alumnos que me alentaron a seguir adelante, a Mariana Alexandra Valdovinos Ayala.

A mis revisores de Tesis, Jaime Esqueda, Ricardo Guerra, Laura Beristáin, Diego Trujillo, Roberto Reyes y Marco Antonio Pinto, por su tiempo y valiosos comentarios.

A M.

RESUMEN

En este trabajo se presentan dos métodos de detección de movimientos de cabeza. Primero, se presenta un método utilizando un acelerómetro como sensor principal de movimiento, mediante la comparación de señales adquiridas con señales previamente guardadas en memoria. Para este caso se utiliza un acelerómetro MMA7260qt, y como interfaz la plataforma NI ELVIS II de NATIONAL INSTRUMENTS. En el segundo método se expone la teoría referente al índice de correlación de Pearson, el cual se utiliza como medida de comparación entre las señales adquiridas y las señales previamente guardadas en memoria. Para este segundo método, se toma como sensor principal primeramente el acelerómetro, que después es reemplazado por el giroscopio. En este método se utiliza un acelerómetro ADXL345, un giroscopio ITG-3200, y el microcontrolador Arduino UNO. Ambos métodos se controlan mediante el programa LABVIEW, por medio de interfaces gráficas, una distinta para cada método.

ABSTRACT

Two methods of detection of head movements are presented in this work. First, a method using an accelerometer as main motion sensor, by comparing the acquired signals with previously stored signals in memory occurs. For this case an accelerometer MMA7260QT main sensor, and NI ELVIS platform NATIONAL INSTRUMENTS used as interface. In the second method the theory concerning the Pearson correlation index, which is used as a measure of comparison between the acquired signals and signals stored in memory. For this second method is used as first main accelerometer sensor, which is then replaced by the gyroscope. In this method, an ADXL345 accelerometer, ITG- 3200 gyroscope, and Arduino UNO microcontroller are used. Both methods are controlled by the LABVIEW program, through graphical interfaces, one for each method.

CONTENIDO

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
CONTENIDO	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I CONCEPTOS GENERALES	4
1.1. INTRODUCCIÓN	4
1.2. DEFINICIONES	4
1.2.1. SEÑAL	4
1.2.2. SISTEMA	5
1.2.3. SENSOR	6
1.2.4. Clasificación de los sensores	6
1.2.4.1. ACELERÓMETRO	7
1.2.4.2. GIROSCOPIO	8
1.3.1. CONVOLUCIÓN	9
1.3.2. NORMALIZACIÓN	10
1.3.3. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	10
1.3.4. CORRELACIÓN	12
CAPITULO II EL CUELLO HUMANO	15
2.1. INTRODUCCIÓN	15
2.2. EL CUELLO HUMANO, MOVIMIENTOS	15
2.3. OSTEOCINEMATICA DE LA FLEXIÓN HACIA ABAJO Y HACIA ARRIBA	16
2.4. OSTEOCINEMATICA DE LA FLEXIÓN LATERAL	17
2.5. OSTEOCINEMATICA DE LA ROTACIÓN	18
2.6. LIMITES DE MOVIMIENTO DE CABEZA	19
CAPITULO III MÉTODO 1 DETECCIÓN POR PENDIENTES	20
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	20
3.1.1. ACELERÓMETRO MMA7260QT	20
3.1.2. NI ELVIS II	21
3.1.3. INTERFAZ GRÁFICA	22
3.1.4. PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL	23

3.2.	CARACTERIZACIÓN DEL ACELERÓMETRO -----	25
3.2.1.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ACELERÓMETRO.-----	25
3.3.	CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE CABEZA-----	27
3.3.1.	<i>Resultados de la caracterización DEL MOVIMIENTO DE CABEZA</i> -----	28
3.3.2.	<i>Pendientes obtenidas para movimiento de negación</i> -----	29
3.3.3.	<i>Pendientes obtenidas para movimiento de afirmación</i> -----	30
3.3.4.	<i>Pendientes obtenidas para movimiento de indecisión</i> -----	31
3.4.	RESULTADOS DEL MÉTODO 1: DETECCIÓN POR PENDIENTES-----	32
	CAPITULO IV MÉTODO 2 DETECCIÓN POR PEARSON -----	33
4.1.	INTRODUCCIÓN-----	33
4.2.	DESARROLLO -----	34
4.3.	INTERFAZ GRÁFICA DE DETECCIÓN POR PEARSON -----	37
4.4.	REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE MEDICIÓN -----	39
4.5.	CARACTERIZACIÓN DE POSICIÓN INICIAL DE ACELERÓMETRO -----	39
	<i>Acelerómetro en posición inicial: de pie.</i> -----	40
	<i>Acelerómetro en posición inicial: de cabeza.</i> -----	40
	<i>Acelerómetro en posición inicial: Lateral Izquierdo.</i> -----	41
	<i>Acelerómetro en posición inicial: Lateral Derecho.</i> -----	41
4.6.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS -----	42
4.7.	CARACTERIZACIÓN DE POSICIÓN INICIAL DE GIROSCOPIO-----	43
4.8.	CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTO DE CABEZA -----	44
	<i>Pendientes encontradas en posición de pie.</i> -----	44
	<i>Pendientes encontradas en posición de cabeza.</i> -----	45
	<i>Pendientes encontradas en posición lateral izquierdo.</i> -----	45
	<i>Pendientes encontradas en posición lateral derecho.</i> -----	46
4.9.	RESULTADOS -----	47
	CAPITULO V CONCLUSIONES -----	50
5.1	COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MÉTODO DE DETECCIÓN POR PENDIENTES Y MÉTODO DE DETECCIÓN POR PEARSON -----	50
5.2	CONCLUSIONES-----	51
	ANEXO I PROGRAMA EN ARDUINO UNO-----	52
6.1.	ENLACE DE COMUNICACIÓN LABVIEW-ARDUINO UNO -----	52
6.2.	PROGRAMA LIFA_BASE -----	53
	ANEXO 2 ARTÍCULO EN ELECTRO 2012-----	55
	ANEXO 3 ARTÍCULO EN ELECTRO 2013-----	61
	REFERENCIAS -----	67
	ACERCA DEL AUTOR-----	69

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2-1 Flexión y Extensión en la región craneocervical	16
Fig. 2-2 Cinemática de la extensión craneocervical	17
Fig. 2-3 Cinemática de la flexión craneocervical	17
Fig. 2-4 Cinemática de la flexión lateral craneocervical.....	18
Fig. 2-5 Cinemática de la rotación hacia la izquierda y derecha.	18
Fig. 2-6 Protracción y retracción del cráneo.	19
Fig. 2-7 Región de movimientos posibles del cuello humano	19
Fig. 3-1 Diagrama a bloques de sistema con acelerómetro.....	20
Fig. 3-2 Interfaz gráfica para detectar el movimiento de cabeza.....	22
Fig. 3-3 Diagrama a bloques de interfaz gráfica.....	24
Fig. 3-4 Mecanismo de 3 grados de libertad.	25
Fig. 3-5 Curvas características y mediciones obtenidas.....	26
Fig. 3-6 Izquierda: NO, Centro: SI, Derecha: TAL VEZ.....	27
Fig. 3-7 Posición inicial del acelerómetro.....	27
Fig. 3-8 (a) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de NEGACIÓN. (b) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de AFIRMACIÓN.	28
Fig. 3-9 Caracterización del movimiento NO	29
Fig. 3-10 Caracterización del movimiento SI.....	30
Fig. 3-11 Caracterización del movimiento TAL VEZ	31
Fig. 4-1 Diagrama a bloques de sistema de detección de movimientos específicos.	34
Fig. 4-2 Diagrama extendido de funcionamiento de sistema de detección de movimientos específicos.	35
Fig. 4-3 SUPERIOR. Imagen de sistema completo: diadema en su posición, arduino UNO y PC. ABAJO IZQUIERDA. Posición de sensores (ADXL345 e ITG9200). ABAJO DERECHA. Arduino UNO	36
Fig. 4-4 Caratula de Interfaz gráfica utilizada para detectar movimiento mediante coeficiente de Pearson.....	37
Fig. 4-5 Lectura de posición inicial DE PIE.	40
Fig. 4-6 Lectura de posición inicial DE CABEZA.	40

Fig. 4-7 Lectura de posición inicial LATERAL IZQUIERDO.	41
Fig. 4-8 Lectura de posición inicial LATERAL DERECHO.	41
Fig. 4-9 Lectura de giroscopio en cualquier posición inicial.	43
Fig. 4-10 Pendientes de movimientos en condición inicial DE PIE.	44
Fig. 4-11 Pendientes de movimientos en condición inicial DE CABEZA.	45
Fig. 4-12 Pendientes de movimientos en condición inicial LATERAL IZQUIERDO.	46
Fig. 4-13 Pendientes de movimientos en condición inicial LATERAL DERECHO.	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Pendientes de movimientos características.	32
Tabla 4-1 Coordenadas aproximadas en posición inicial.	42
Tabla 4-2 Coeficientes de correlación utilizando acelerómetro	48
Tabla 4-3 Coeficientes de correlación utilizando giroscopio	48
Tabla 5-1 Diferencias entre el Método 1 y el Método 2 de detección de movimiento.	50

INTRODUCCIÓN

De forma intuitiva, el ser humano complementa la comunicación oral con diferentes movimientos de manos y cabeza. A través de los avances en la tecnología se han logrado obtener mediciones y registros de muchos de esos movimientos, lo que ha valido para desarrollar diferentes tecnologías en campos como la medicina, la cinematografía, la bioingeniería, inclusive en los videojuegos más avanzados, como el caso del Kinect de Microsoft donde algunos de los algoritmos utilizados pueden reconocer patrones de movimiento. Existen también productos en el mercado como la Smart TV de Samsung (series PNE8000, UNES7500 y UNES8000) que combinan control por voz, reconocimiento facial y control o navegación por comandos de movimiento de forma similar al Kinect, además de internet. Estos sistemas se basan en la detección del movimiento por imágenes, donde basta con que el jugador o usuario se coloque frente a la consola o la Smart TV que incorpora un sistema de detección, para que se pueda dar la iteración entre el sistema y el jugador o usuario.

En este trabajo se utiliza el acelerómetro y el giroscopio como los sensores de movimiento que permitan la detección del mismo para su uso en diferentes aplicaciones y a diferencia de la detección de movimiento por medio de imágenes (ya que no se necesita estar frente de la cámara o sistema de detección), se enfatiza la movilidad que puede tener el operador, así como la gran portabilidad, ya que el operador puede moverse libremente sin necesidad de estar frente a una cámara, como en el caso del Kinect.

A continuación una reseña de las investigaciones actuales, que son relevantes al tema de tesis:

- Wei-Zhong Wang [1] utiliza un sensor de 9 grados de libertad, para caracterizar del caminar. Utiliza filtros pasa bajas del tipo Butterworth y Kalman. Mediante la relación Señal a Ruido (SNR) y el coeficiente de correlación entre la señal filtrada y la señal de referencia, y al realizar las pruebas a 12 individuos sanos, logra la caracterización del caminar.

- Chison Joiakim James [2] Utiliza varios acelerómetros del tipo piezo-resistivos para detectar movimientos y posturas de varios pacientes, para revisar la vida cotidiana de los mismos. Chison recomienda el uso de Acelerómetros para monitorear el movimiento del cuerpo.
- Liu Jian-Zheng [3] se basa en la posición de la nariz como punto de partida para determinar el movimiento de cabeza, utilizando métodos de Procesamiento Digital de Imágenes. Es necesario el uso de una cámara.
- Son T. Nguyen [4] utiliza un acelerómetro dual, mediante un sistema Bayesiano Óptimo de Redes Neuronales para dirigir una silla de ruedas. El usuario se coloca un casco con el cual le permite desplazarse hacia la derecha, izquierda, enfrente o atrás. El sistema necesita ser entrenado, difiere de persona a persona.
- Zhao Yan [5] utiliza 6 ejes (acelerómetro y giroscopio) para determinar la posición de la cabeza de un chofer con relación al automóvil, mediante el método de Euler. Se logra filtrar el ruido producido por el acelerómetro ocasionado por el movimiento del automóvil.
- Goh Chun Fan [6] utiliza acelerómetros para encontrar patrones de movimiento corporal. Los movimientos traslacionales se identifican partiendo del hecho de que empiezan con aceleración tangencial y terminan con desaceleración tangencial. Por otra parte, movimientos rotacionales se detectan al registrar cambios continuos de orientación.
- Kurt Seifert [7] describe cómo se puede implementar un algoritmo para detectar la posición utilizando un acelerómetro MMA260QT, esto debido a que la aceleración es la razón de cambio de la velocidad, al mismo tiempo que la velocidad es la razón de cambio de la posición, por lo que al hacer la integración doble de la aceleración se puede obtener la posición (asumiendo que la posición y velocidad inicial es 0).

Este trabajo de tesis abarca 5 capítulos, a continuación se da una breve explicación del contenido de cada uno de ellos:

En el capítulo 1, conceptos generales, comprende el marco teórico. Incluye definiciones, modelos matemáticos, y conceptos que se utilizan en la elaboración de esta tesis.

En el capítulo 2, el cuello humano, se explica en detalle la cinemática del cuello, las restricciones de movimiento y los tipos de movimiento que se pueden realizar. En base a este capítulo podemos delimitar los experimentos realizados en este trabajo de tesis.

En el capítulo 3, Método 1 Detección por pendientes, se explora la factibilidad de detectar movimientos de cabeza utilizando la comparación de pendientes generadas al comparar los datos obtenidos mediante el acelerómetro MMA7260QT al realizar diferentes movimientos.

En el capítulo 4, Método 2 Detección por Pearson, se explora la factibilidad de detectar movimiento de cabeza, bajo el mismo esquema de comparación que el método 1 (Detección por pendientes), pero ahora utilizando el índice de correlación de Pearson. Se abarcan diferentes posiciones iniciales, así como la detección de NO movimiento. Se utilizan el acelerómetro ADXL345 y el giroscopio ITG9200.

En el capítulo 5, Conclusiones, se comparan los resultados obtenidos entre el método 1 y el método 2 de detección de movimientos. Se analizan las ventajas y desventajas de cada método. Al final, se dan conclusiones a raíz de lo observado en este trabajo de tesis.

Se agregan 3 anexos, el primero trata de la comunicación entre el arduino y la computadora personal. El anexo 2 y 3 exponen los trabajos de divulgación realizados a lo largo de la elaboración de esta tesis.

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es analizar el grado de la relación entre las señales de entrada (variables dependientes) utilizadas en este trabajo de tesis utilizando modelos matemáticos y representaciones gráficas. También, se abarcan conceptos generales por la naturaleza del tema de tesis.

1.2. DEFINICIONES

A continuación se dan algunas definiciones que forman el marco teórico de este trabajo de tesis

1.2.1. SEÑAL

Una señal [8] es una cantidad física (variable dependiente) que cambia en función del tiempo o de alguna otra función (variable independiente). En electrónica, generalmente las señales provienen de un sensor en forma de voltaje o corriente, reflejan el comportamiento de un sistema y debe ser medible.

Las señales se pueden clasificar en función de sus fuentes (sensores que las generan) y en función de sus variables independientes.

- Señal unicanal: es la señal que proviene de una sola fuente o sensor. Ejemplo: La señal eléctrica que proviene de un micrófono.
- Señal multicanal: es aquella que proviene de diferentes fuentes o sensores. Ejemplo: Un audio estéreo.

De acuerdo a sus variables independientes, las señales se pueden clasificar en:

- Unidimensionales: Son aquellas que tienen solo una variable independiente, la cual generalmente es el tiempo. Ejemplo, audio monoaural.

- Bidimensionales: Son aquellas que están en función de dos variables independientes. Ejemplo: imágenes en escala de grises.
- M-dimensionales: Son aquellas que tienen m-variables independientes. Ejemplo: video a color.

1.2.2. SISTEMA

Un sistema [9] es todo proceso, físico o no, que transforma entradas en salidas.

Matemáticamente un sistema se define como una relación funcional $T(\cdot)$ que transforma una señal de entrada $x(n)$ en una señal de salida $y(n)$. Los sistemas se clasifican de acuerdo a las siguientes propiedades:

- Propiedad de Estabilidad. Un sistema discreto es estable si para una entrada $x(t)$ acotada, el sistema produce una salida $y(t)$ acotada, es decir:

$$|x(t)| < M < \infty \Rightarrow |y(t)| < N < \infty$$

(ec. 1-1)

- Propiedad de Causalidad. Es una propiedad intrínseca de los sistemas físicos. Un sistema discreto es causal o no anticipatorio o realizable en tiempo real, si $y(t)$ para $t = t_0$ depende sólo de la entrada $x(t)$ para $t \leq t_0$. Es decir, un sistema causal sólo puede presentar una salida tiempo después de que se presentó la entrada.
- Propiedad de linealidad (L). Un sistema discreto es lineal si cumple la propiedad de superposición (aditividad y escalamiento) dada por:

$$T[ax_1(t) + bx_2(t)] = aT[x_1(t)] + bT[x_2(t)] = ay_1(t) + by_2(t)$$

(ec. 1-2)

- Propiedad de invariancia al desplazamiento (ID). Un sistema es invariante al desplazamiento si satisface la siguiente relación:

$$y(t - t_0) = T[x(t - t_0)]$$

(ec. 1-3)

$y(t - t_0)$ Implica reemplazar $t = t - t_0$ en la expresión de $y(t)$. Mientras que $T[x(t - t_0)]$ implica reemplazar $x(t) = x(t - t_0)$ en la expresión de $y(t)$.

- Propiedad de Inversión. Un sistema LID con respuesta al impulso $h(t)$ es invertible, si es posible encontrar otro sistema LID con respuesta al impulso $h_1(t)$ tal que al convolucionarse (véase la sección 1.3.1) con el primer sistema se cumpla que:

$$h(t) * h_1(t) = \delta(t)$$

(ec. 1-4)

Una propiedad de los sistemas LID es que la salida es cero cuando la entrada es cero, es decir:

$$x(t) = 0 \rightarrow y(t) = 0$$

(ec. 1-5)

1.2.3. SENSOR

Un sensor [10] es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, una corriente eléctrica, una tensión eléctrica, una capacitancia eléctrica o una corriente eléctrica, entre otras.

1.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

De acuerdo a las características propias del sensor, así, los sensores se clasifican en:

- Según la magnitud obtenida: posición lineal o angular, desplazamiento y deformación, velocidad lineal y angular, aceleración, presión, caudal, temperatura, sensores de presencia, sensores táctiles, visión artificial, sensor de proximidad, sensor acústico (presión sonora), sensores de acidez, sensor de luz y sensores captura de movimiento.
- Según el principio de funcionamiento: Activos (los que generan señales representativas de las magnitudes a medir en forma autónoma, sin requerir de fuente alguna de alimentación) y Pasivos (los que generan señales representativas de las magnitudes a medir por intermedio de una fuente auxiliar).

- Según el tipo de señal que generan: señal analógica, señal digital, o señal temporal (entregan una señal variable en el tiempo la cual puede ser una onda sinusoidal, triangula o cuadrada).
- Según el rango de valores de salida: sensores on/off (entregan una salida booleana) y sensores de medida (la salida es proporcional a la entrada).
- Según el nivel de integración: Discretos (componentes electrónicos separados e interconectados entre sí), Integrados (elemento sensor y circuito acondicionador contruidos en un único circuito) o Inteligentes (realiza al menos una de las siguientes funciones: cálculos numéricos, comunicación en red, auto calibración y auto diagnostico).
- Según el tipo de variable física medida: Mecánicos, eléctricos, magnéticos, térmicos, acústicos, ultrasónicos, químicos, ópticos, radiación o láser.

Algunos sensores se utilizan para obtener información contextual de la posición y movimiento de un objeto. Estos sensores son, entre otros, los siguientes:

1.2.4.1. ACELERÓMETRO

Los acelerómetros son sensores inerciales que son usados para medir la segunda derivada de la posición, la aceleración. Un acelerómetro mide la fuerza de inercia generada cuando una masa es afectada por un cambio de velocidad. Por lo general los elementos básicos de un acelerómetro son: una masa o peso, un mecanismo de suspensión y una parte que efectúa la medición. De acuerdo a su funcionamiento, los acelerómetros [11] se clasifican en:

- Acelerómetros mecánicos: Emplean una masa inerte y resortes elásticos. Los cambios se miden con galgas extensiométricas, incluyendo sistemas de amortiguación que evitan la propia oscilación.
- Acelerómetros capacitivos: Modifican la posición relativa de las placas de un micro condensador cuando está sometido a aceleración. El movimiento paralelo de una de las placas del condensador hace varias su capacidad. Los acelerómetros capacitivos basan su funcionamiento en la variación de la

capacidad entre dos o más conductores entre los que se encuentra un dieléctrico, en respuesta a la variación de la aceleración.

- Acelerómetros piezoeléctricos: Su funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico. Una deformación física del material causa un cambio en la estructura cristalina y así cambian las características eléctricas. Su principal inconveniente radica en su frecuencia máxima de trabajo y en la incapacidad de mantener un nivel permanente de salida ante una entrada común.
- Acelerómetros piezoresistivos: Una deformación física del material cambia el valor de las resistencias del puente.

1.2.4.2. GIROSCOPIO

Los giroscopios son sensores que miden la orientación en el espacio de algún aparato u objeto.

Los giroscopios se clasifican según su funcionamiento en:

- Giroscopios piezoeléctricos: Se basa en la utilización de un cristal que oscila. Esta oscilación surge cuando actúa sobre él una aceleración que hace que los elementos que lo soportan (piezoeléctricos) se deformen y por lo tanto varíe su resistencia eléctrica. Estos cambios de resistencia son medibles y permiten saber el valor de la fuerza que ha actuado y también la aceleración.
- Giroscopios capacitivos: Está compuesto por dos partes: una móvil que realiza un movimiento de vibración entrante/saliente con respecto al eje de rotación del giróscopo y otra fija, perpendicular a este movimiento. Estas dos partes forman una estructura capacitiva que puede almacenar una carga eléctrica (como un condensador). Cuando el sistema no está girando la capacidad del elemento no varía, ya que la separación entre las partes móvil y fija es la misma todo el tiempo. Sin embargo, cuando el eje del giróscopo está girando, el elemento vibratorio tiene un movimiento entrante/saliente con respecto al eje, y por lo tanto hay aceleraciones y desaceleraciones que provocan esfuerzos que acercan o alejan la masa vibratoria del elemento fijo. Al variar esta distancia, varía la capacitancia del sistema. Los sensores que lleva asociados, detectan esta diferencia de capacidad, calculando la velocidad de rotación que lleva el

giroscopio en ese momento y traduciéndola a una señal de salida en forma de voltaje.

- Giroscopios Coriolis: Se basan en el *principio de Coriolis* [12] . Básicamente lo que dice este principio es que si un cuerpo está girando y nosotros estamos en el centro queriendo salir al exterior en línea recta, tendremos que ir hacia adelante y al mismo tiempo de forma lateral para contrarrestar esta rotación. Además, entre más cerca estemos del exterior, mayor deberá ser esta velocidad lateral. Hasta hace algún tiempo, los giroscopios eran únicamente mecánicos. Con el avance de la tecnología ahora existen giroscopios electrónicos.

1.3. CONCEPTOS MATEMÁTICOS

A continuación se presentan conceptos matemáticos que se utilizaron durante la realización de este trabajo de tesis.

1.3.1. CONVOLUCIÓN

La convolución [8] entre dos funciones es un concepto físico importante en muchas ramas de la ciencia. Sin embargo, como sucede con muchas relaciones matemáticas importantes, no es sencillo comprender sus alcances e implicaciones. Para el caso de sistemas lineales e invariantes en el tiempo, la integral de convolución permite determinar la respuesta del sistema ante cualquier entrada, a partir del conocimiento de la respuesta del sistema ante una única entrada particular, el impulso. Si la respuesta del sistema ante un impulso (la respuesta al impulso) se denota como $h(t)$, la salida de un sistema lineal e invariante en el tiempo (SLIT) excitado con una entrada cualquiera $x(t)$ está dada por la expresión:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \tau)h(\tau)d\tau$$

(ec. 1-6)

Y se dice que la función $y(t)$ es la convolución de las funciones $x(t)$ y $h(t)$, que se denota $y(t) = x(t) * h(t)$.

1.3.1.1. PROPIEDADES DE LA CONVOLUCIÓN

La convolución discreta tiene las siguientes propiedades:

- Conmutativa: $x(t) * h(t) = h(t) * x(t)$ (ec. 1-7)
- Asociativa: $x(t) * h_1(t) * h_2(t) = [x(t) * h_1(t)] * h_2(t)$ (ec. 1-8)
- Distributiva: $x(t) * [h_1(t) + h_2(t)] = x(t) * h_1(t) + x(t) * h_2(t)$ (ec. 1-9)
- Sifting: $x(t) * \delta(t) = x(t)$ (ec. 1-10)
- Desplazamiento: $x(t) * \delta(t - t_0) = x(t - t_0)$ (ec. 1-11)
- Leibniz: $\frac{d}{dt} [x(t) * h(t)] = \dot{x}(t) * h(t) + x(t) * \dot{h}(t)$ (ec. 1-12)
- Transformada L: $L\{x(t) * h(t)\} = X(s)H(s)$ (ec. 1-13)

1.3.2. NORMALIZACIÓN

La normalización matemática [13] , muchas veces confundida con la estandarización, se define como el procesamiento de la información para que dos conjuntos diferentes de datos sean comparables. La normalización unitaria se logra cuando después del procesamiento se tiene como valor máximo en el conjunto de información la unidad. Esto se logra al dividir cada elemento del conjunto de datos entre el elemento de mayor magnitud del mismo conjunto. Al realizar este procesamiento, se entiende que la magnitud máxima del conjunto de elementos es la unidad. La normalización se puede representar como:

$$\overline{xnorm}(n) = \frac{x(n)}{|x(\text{MAX})|} \text{ para } n = 1, 2, \dots, N$$

(ec. 1-14)

Siendo $x(\text{MAX})$ el elemento del conjunto de datos con mayor magnitud, $x(n)$ el conjunto de elementos y $\overline{xnorm}(n)$ el conjunto de elementos normalizados unitariamente.

1.3.3. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

El análisis de regresión [14] es una técnica estadística para investigar la relación funcional entre dos o más variables, ajustando algún modelo matemático. La regresión lineal simple utiliza una sola variable de regresión y el caso más sencillo es el modelo de línea recta. Supóngase que se tiene un conjunto de n pares de observaciones (x, y) , se busca encontrar una recta que describa de la mejor manera cada uno de esos pares

observados. Se considera que la variable x es la variable independiente o regresiva y se mide sin error, mientras que y es la variable respuesta para cada valor específico de x_n . Si la recta de regresión es: $y = a + bx$, cada valor y observado para un x puede considerarse como el valor esperado de y dado x más un error, de esta forma se obtiene el modelo lineal simple:

$$y = a + bx + \epsilon$$

(ec. 1-15)

Donde a y b son constantes desconocidas (parámetros del modelo de regresión), y los ϵ_n se suponen errores aleatorios con distribución normal, media cero y varianza σ^2 .

Uno de los métodos para encontrar los parámetros a y b del modelo de regresión es el método de mínimos cuadrados [15], que consiste en lo siguiente: Para obtener estimadores de a y b , se determina aquellos estimadores de a y b que minimizan la suma de cuadrados de los errores ϵ ; es decir, los estimadores a y b deben ser tales que: $\sum_{n=1}^N \epsilon^2$ sea mínima.

Del modelo lineal simple: $y = a + bx + \epsilon$, de donde $\epsilon = y - a - bx$. Elevando al cuadrado: $\sum_{n=1}^N \epsilon^2 = \sum_{n=1}^N (y - a - bx)^2$.

Según el método de mínimos cuadrados, los estimadores a y b se determinan al resolver simultáneamente las ecuaciones, que se denominan ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados:

$$\sum y = an + b \sum x$$

(ec. 1-16)

$$\sum xy = a \sum x + \sum x^2$$

(ec. 1-17)

Los valores de a y b obtenidos a partir de estas ecuaciones normales, son entonces:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

(ec. 1-18)

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

(ec. 1-19)

El resultado de b se expresa como

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2}$$

(ec. 1-20)

Donde $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ (media). Al dividir ambos lados de la ecuación $y = a + b \sum x$ (ec. 1-16) entre n , se produce:

$$\bar{y} = a + b\bar{x}$$

(ec. 1-21)

Que es la recta de regresión obtenida, donde la constante b es la *pendiente* de la recta, obteniendo así, la recta que mejor se aproxima al modelo de relación entre una variable dependiente y variables independientes, contemplando un error.

1.3.4. CORRELACIÓN

Con frecuencia es necesario cuantificar el grado de similitud entre varias señales o procesos. Este grado de dependencia, que vamos a denominar correlación, se puede definir matemáticamente, lo que nos dará una medida objetiva. Se puede encontrar aplicaciones que emplean técnicas basadas en correlación en campos como bioingeniería para la detección de señales inmensas en ruido, sistemas de radar y sonar para la localización de la posición y velocidad de objetos, en la detección de códigos en comunicaciones etc. Consideremos dos secuencias de datos, correspondientes a dos procesos que queremos comparar. La correlación [16] existente entre ambas secuencias o correlación cruzada ("Cross correlation") se define de acuerdo a la siguiente expresión:

$$r_{xy}(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n-k)$$

(ec. 1-22)

De primera instancia puede parecer que una manera de estimar la similitud entre dos señales es calcular directamente el promedio de la suma de los productos, es decir eliminar el índice k del sumatorio anterior y que el resultado sea solo un número. De esta forma cuando las dos secuencias sean parecidas la suma de los productos tenderá a incrementar este valor. Valores grandes y positivos indicará que ambas señales son parecidas y crecen a la vez, y valores negativos indican que el crecimiento de una variable está asociado con el decrecimiento de la otra. Por otra parte valores próximos a cero indican que las señales no tienen parecido, como ocurrirá al correlacionar dos señales de ruido aleatorio ya que las contribuciones positivas y negativas tenderán a cancelarse.

La expresión numérica para la correlación discreta es:

$$R_{xy}(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x(n)y(n+m) = 0,1,2, \dots, M < N$$

(ec. 1-23)

La expresión numérica para la autocorrelación discreta es:

$$R_{xx}(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x(n)x(n+m) = 0,1,2, \dots, M < N$$

(ec. 1-24)

Box y Jenkins [17] recomiendan que $N \geq 50$ y $M < \frac{N}{4}$ para obtener buenas estimaciones de $R_{xx}(m)$.

1.3.5. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON.

El coeficiente de correlación [18] (llamado también coeficiente de correlación de Pearson) es un índice que mide el grado de covariancia (similitud) entre distintas variables relacionadas linealmente. El coeficiente de correlación es un índice de fácil ejecución e interpretación. Por convención, sus valores oscilan entre -1 y 1. Esto es, si

tenemos dos variables X e Y, y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como p_{xy} entonces: $-1 \leq p_{xy} \leq 1$

La magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de +1 como de -1. En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Decimos que la correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta. Se dice que la relación es perfecta negativa cuando exactamente en la medida que aumenta una variable disminuye la otra (desfasamiento). Cuando la relación entre las dos variables es muy débil, el coeficiente tiende a ser nulo. La fórmula [19] para calcular el coeficiente de correlación de Pearson es:

$$p_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

(ec. 1-25)

Con este marco teórico, se tiene la base para elaborar el trabajo de tesis, pues se emplean sensores de movimientos (acelerómetros y giroscopios), correlación, normalización, índice de correlación de Pearson, así como regresión lineal, para determinar el movimiento realizado.

En el próximo capítulo se aporta el marco teórico de los movimientos que puede realizar la cabeza, para tener la base de las limitaciones de nuestro caso de estudio.

CAPITULO II

EL CUELLO HUMANO

2.1. INTRODUCCIÓN

Por naturaleza, el cuello humano [20] es el sostén de la cabeza y permite que se balancee en diferentes posiciones. Debido a la relación del cuello con los posibles movimientos que puede realizar la cabeza, se presenta a continuación los límites de movimiento del cuello.

2.2. EL CUELLO HUMANO, MOVIMIENTOS

El cuello humano realiza esencialmente 6 movimientos. Todos los movimientos del cuello son combinaciones y variaciones porcentuales de estos seis movimientos. Estos movimientos gentilmente hechos son:

- Flexión hacia abajo
- Extensión hacia arriba
- Rotación hacia la derecha
- Rotación hacia la izquierda
- Flexión hacia la derecha
- Flexión hacia la izquierda

A continuación se describen cada uno de los movimientos:

- Flexión hacia abajo. El movimiento donde la barbilla se mueve hacia abajo hasta alcanzar el pecho. Donde los ojos ven hacia el piso. El giro máximo se da entre los 45° y 50° referentes a la base del cuello.
- Extensión hacia arriba. El cuello es extendido hacia arriba, donde los ojos ven hacia el cielo. El giro máximo es de 85° referentes al pecho.
- Flexión hacia la derecha. El movimiento donde la oreja se inclina hacia el hombro derecho. El giro máximo se registra en 40° referentes a la base del cuello.
- Flexión hacia la izquierda. El movimiento donde la oreja se inclina hacia el hombro izquierdo. El giro máximo se registra en 40° referentes a la base del cuello.

- Rotación hacia la derecha. Cuando el cuello gira hacia la derecha, donde los ojos ven hacia el hombro derecho. El giro máximo se da a los 90°.
- Rotación hacia la izquierda. Cuando el cuello gira hacia la izquierda, donde los ojos ven hacia el hombro izquierdo. El giro máximo se da a los 90°.

2.3. OSTEOCINEMATICA DE LA FLEXIÓN HACIA ABAJO Y EXTENSIÓN HACIA ARRIBA

Como definición, la osteocinematica [21] es la parte de la biomecánica que estudia el desplazamiento de los huesos en el espacio sin importar los músculos que se contraen para lograrlo (macro movimientos).

Aunque muy variable, se produce unos 130 a 135 grados de flexión y extensión en la región craneocervical. La postura neutral en reposo de la región craneocervical es unos 30 a 35 grados de extensión. Desde la posición extendida, la región craneocervical se extiende 85 grados adicionales y se flexiona 45 a 50 grados (Fig. 2-1). En general, la flexión y la extensión se producen en forma secuencial en dirección craneal a caudal.

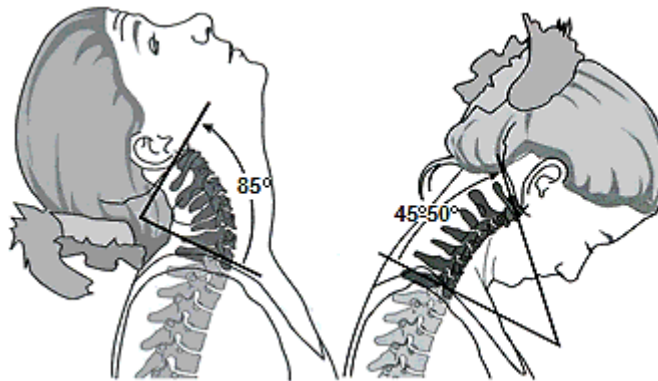


Fig. 2-1 Flexión y Extensión en la región craneocervical [20] .

En torno al 20-25% de todo movimiento en el plano sagital de la región craneocervical se produce en la articulación atlatooccipital y en el complejo de la articulación atlantoaxial, y el resto en las articulaciones cigapofisarias de C₂₋₇ (véase Fig. 2-2 y Fig. 2-3). El eje de rotación de la flexión y extensión se extiende aproximadamente en dirección medial-lateral en cada una de las tres regiones articulares: los cóndilos del occipital en la articulación atlantooccipital, la apófisis odontoides del axis en el complejo de la

articulación atlantoaxial y los cuerpos de C₂₋₇. Los extremos de la flexión y extensión se limitan sobre todo por la tensión de los tejidos localizados posterior o anteriormente a los distintos ejes de rotación. [22]

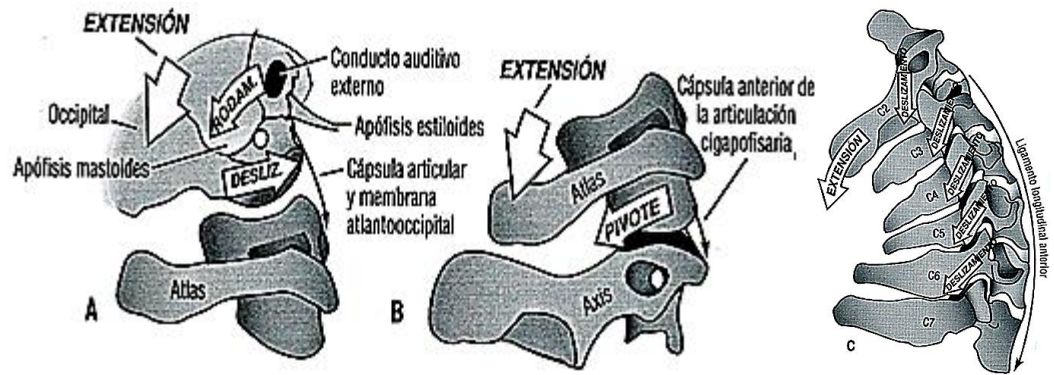


Fig. 2-2 Cinemática de la extensión craneocervical A). Articulación atlantooccipital. B). Complejo de la articulación atlantoaxial. C). Región intracervical (C₂₋₇) [20]

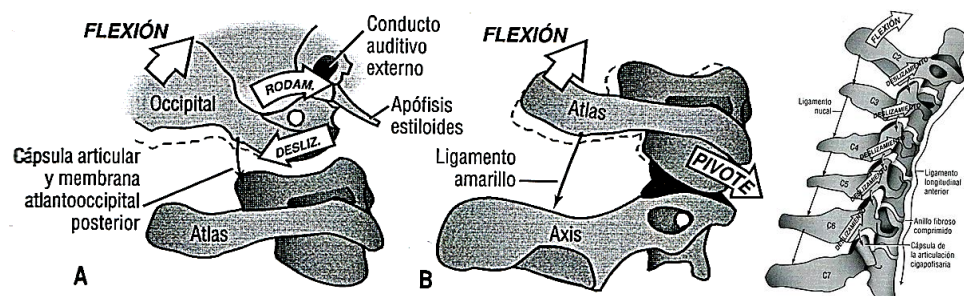


Fig. 2-3 Cinemática de la flexión craneocervical A). Articulación atlantooccipital. B). Complejo de la articulación atlantoaxial. C). Región intracervical (C₂₋₇). [20]

En la Fig. 2-3 Se nota que en la figura C la flexión relaja el ligamento longitudinal anterior y aumenta el espacio entre las láminas y apófisis espinosas adyacentes.

2.4. OSTEONEMÁTICA DE LA FLEXIÓN LATERAL (DERECHA E IZQUIERDA)

Aproximadamente existen 40 grados de flexión lateral por ambos lados en la región craneocervical (véase Fig. 2-4 a). Los extremos de este movimiento se evidencian al tratar de tocar el hombro con la oreja. La mayor parte de este movimiento se produce en la región C₂₋₇ (articulaciones intracervicales, véase figura Fig. 2-4 b) sin embargo, puede

haber unos 5 grados en la articulación atlantooccipital. La flexión lateral del complejo de la articulación atlantoaxial es desdeñable. [22]

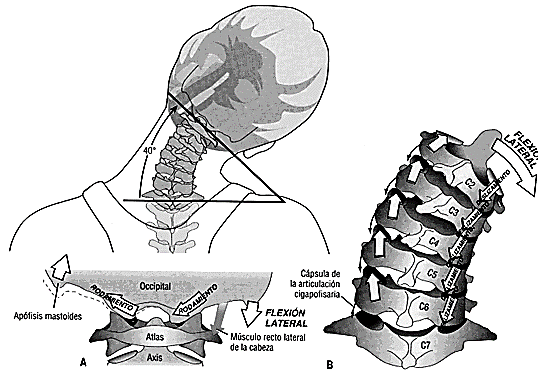


Fig. 2-4 Cinemática de la flexión lateral craneocervical. A), Articulación atlantooccipital. B). Región Intracervical (C₂-7) [20]

2.5. OSTEOCINEMATICA DE LA ROTACIÓN HACIA LA IZQUIERDA Y DERECHA.

Aproximadamente existen entre 85 a 90 grados de flexión lateral por ambos lados en la región craneocervical. Los extremos de este movimiento se evidencian al tratar de colocar la nariz en línea con un hombro (Fig. 2-5).

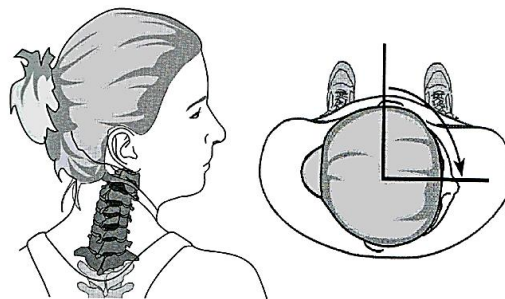


Fig. 2-5 Cinemática de la rotación hacia la izquierda y derecha. [20]

Algunos autores añaden dos movimientos, llamados protracción y retracción (Fig. 2-6), que se realiza al mover el cuello de atrás hacia enfrente, y viceversa, con la espalda derecha, sin mover la cabeza. En estos movimientos la cabeza solo cambia su posición, pero su orientación permanece constante, a diferencia de los 6 movimientos descritos con anterioridad. Durante la protracción del cráneo, la columna cervical inferior-a-media se

flexiona mientras se extiende la región craneocervical superior. Durante la retracción del cráneo, por el contrario, la columna cervical inferior-a-media se extiende mientras se flexiona la región craneocervical superior. [22] Nótese el cambio de la distancia entre las apófisis espinosa de C¹⁻² durante los dos movimientos (Véase Fig. 2-6)

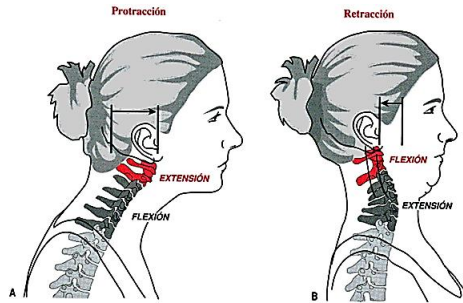


Fig. 2-6 Protracción y retracción del cráneo. A) Protracción. B). Retracción. [20]

2.6. LIMITES DE MOVIMIENTO DE CABEZA

De acuerdo con los límites de movimiento que tiene el cuello, se tiene una región de movimientos posibles, sin cambiar el torso como marco de referencia, como se muestra a continuación en la Fig. 2-7.

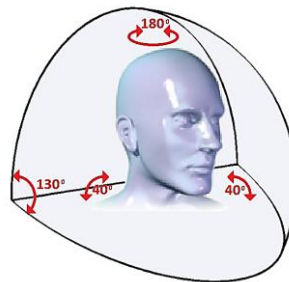


Fig. 2-7 Región de movimientos posibles del cuello humano

En este capítulo se observa las limitaciones de movimiento del cuello humano, para movimiento de negación, 180° en total, para afirmación, 130° en total y para indecisión, 80° en total.

En el próximo capítulo, se presenta el método 1 de detección de movimientos de cabeza, utilizando comparación de pendientes, mediante acelerómetro.

CAPITULO III

MÉTODO 1 DETECCIÓN POR PENDIENTES

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la Fig. 3-1 se muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto. Como elemento sensor de movimiento, se utiliza un acelerómetro de 3 ejes. Como etapa de adquisición de datos, se utiliza la plataforma NI ELVIS II de National Instruments, específicamente tres canales (para cada eje del acelerómetro) de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) incluida y también para alimentar el acelerómetro. Las señales adquiridas se procesan en un programa desarrollado en Labview, el cual controla la adquisición de los datos y despliega los resultados en la pantalla de la computadora a través de una interfaz gráfica.



Fig. 3-1 Diagrama a bloques de sistema con acelerómetro.

En las secciones subsecuentes se detalla cada uno de los elementos del sistema propuesto.

3.1.1. ACELERÓMETRO MMA7260QT

Se utiliza el acelerómetro MMA7260QT de Freescale [23] para realizar las mediciones de movimiento correspondientes. Este sensor es de tipo capacitivo, (donde la capacitancia del elemento sensor interno varía en función de la aceleración aplicada), consiste en un arreglo mecánico, de tal forma que al exponerse a una fuerza

en una dirección se produce un cambio en la capacitancia interna y a la salida entrega un nivel de voltaje referenciado a la alimentación del circuito.

A este acelerómetro se le puede configurar el nivel de sensibilidad usando dos pines, llamados g-select1 y g-select2. Mediante su configuración, es posible elegir entre 4 niveles de sensibilidad distintos (800mV/g, 600mV/g, 300mV/g, 200mV/g); esto es muy útil ya que dependiendo de nuestra aplicación final, se puede aumentar la sensibilidad para resultados más precisos. Dada la sensibilidad que requiere esta aplicación, se utilizó la configuración estándar de 800mV/g.

El voltaje en reposo del acelerómetro es en corriente directa (CD) y es directamente proporcional a la posición inicial de cada eje, que también es proporcional al ángulo medido con respecto a la horizontal de referencia (poniendo la base del acelerómetro paralela al piso, con el lado donde se encuentran los componentes viendo hacia arriba).

3.1.2. NI ELVIS II

El ELVIS II de National Instruments es una plataforma diseñada para la adquisición y manipulación de señales a través del software LabVIEW que permite la interacción de dispositivos y señales tanto analógicos como digitales con la computadora mediante puertos de entrada/salida tanto analógicos como digitales. Cuenta además con una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) con convertidores analógico-digital (ADC) y digital-analógico (DAC) con una resolución máxima de 16 bits que pueden operar de -10 a 10 V.

En este caso, la DAQ de la plataforma NI ELVIS II se configura a una resolución de 16 bits por canal y un CMRR de 90 dB, se toman 100 muestras por canal a 10 KHz. Los canales utilizados son A_0 para el eje X, A_1 para el eje Y, y A_2 para el eje Z. Las muestras tomadas se guardan en una pequeña base de datos para su procesamiento.

3.1.3. INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica realizada para este método de detección fue elaborada en la plataforma Labview 8.1, y a continuación se explica su funcionamiento:

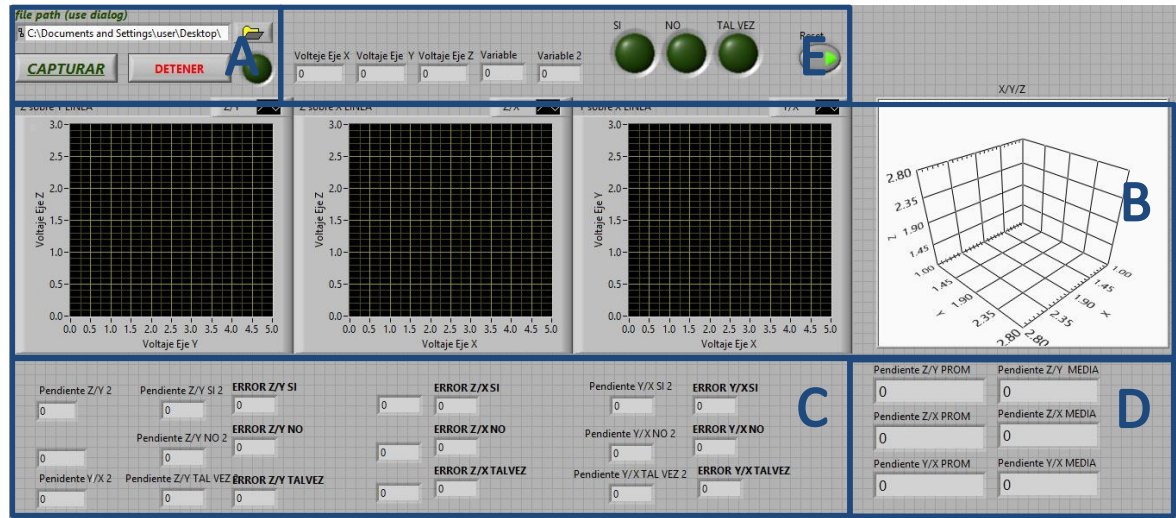


Fig. 3-2 Interfaz gráfica para detectar el movimiento de cabeza

La carátula de la interfaz gráfica se puede dividir en 5 secciones, como se muestra en la Fig. 3-2. A continuación se describen las 5 secciones:

- Sección A
 - Ruta de acceso: Es la dirección en memoria donde se almacenan los datos recabados al finalizar el experimento.
 - Botón capturar: Inicia la captura de datos del acelerómetro (con este botón se inicia el experimento).
 - Botón detener: Termina la captura de datos del acelerómetro (con este botón se detiene el experimento).
 - Indicador de uso. Este indicador se activa cuando se está recibiendo información del acelerómetro.
- Sección B

- Gráficas de pendientes: Se grafican los datos obtenidos del acelerómetro, en pares (datos eje Z, datos eje Y), (datos eje Z, datos eje X) y (datos eje Y, datos eje X)
- Gráfica 3 ejes: Se grafican los datos obtenidos del acelerómetro en conjunto (datos eje X, datos eje Y y datos eje Z).
- Sección C
 - Se indica las pendientes grabadas en memoria de cada recta de comparación para cada movimiento (datos eje Z, datos eje Y), (datos eje Z, datos eje X) y (datos eje Y, datos eje X).
 - Se indica la diferencia entre pendientes almacenadas y pendientes obtenidas para cada recta de comparación para cada movimiento. Esta diferencia la identificamos en los indicadores llamados *error*.
- Sección D
 - Se indica las pendientes obtenidas de cada recta de comparación (datos eje Z, datos eje Y), (datos eje Z, datos eje X) y (datos eje Y, datos eje X).
- Sección E
 - Botón de reset: Se utiliza para grabar pendientes de referencia de comparación para cada movimiento.
 - Se indica el voltaje en tiempo real de cada eje del acelerómetro.
 - Se indica el movimiento detectado después de procesar la información.

El procesamiento de la información recopilada del acelerómetro se explica a continuación.

3.1.4. PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

Ya con las muestras de voltaje de cada eje, se procede a procesar la información. Se comparan las muestras de un canal (a las que asignamos como muestras dependientes) con las muestras de otro canal (a las que asignamos como independientes).

La comparación se realizó de la siguiente manera: muestras de eje Z contra muestras de eje Y, muestras de eje Z contra muestras de eje X, muestras de eje Y contra muestras de eje X. Como resultado de cada comparación, es generada una recta con una inclinación.

Se utilizó la regresión lineal para obtener la pendiente de cada recta generada, y cada pendiente obtenida se almacenó en una base de datos para su análisis posterior.

Se tomaron 20 grupos de muestras para cada canal, por lo que se generaron 20 pendientes por cada comparación, y se promedió para obtener una pendiente promedio para cada comparación.

El funcionamiento de la interfaz gráfica descrita en las subsecciones previas se muestra en la Fig. 3-3.

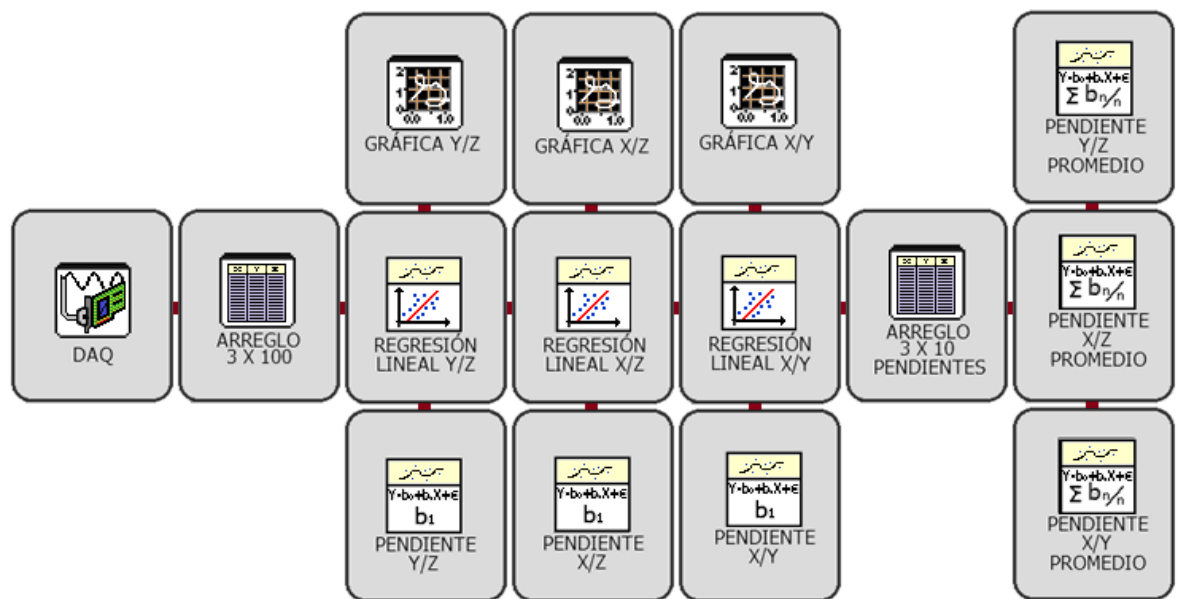


Fig. 3-3 Diagrama a bloques de interfaz gráfica.

Los resultados se grafican de la siguiente manera: valores de eje Z sobre valores de eje Y, valores de eje Z sobre valores de eje X y valores de eje Y sobre valores de eje X. También se despliega el promedio de las pendientes encontradas.

A continuación se presenta la caracterización del acelerómetro.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL ACELERÓMETRO

Para su estudio y caracterización se utiliza un armazón de 3 grados de libertad con graduación angular. En la Fig. 3-4 se muestra la base de prueba de 3 grados de libertad utilizada.

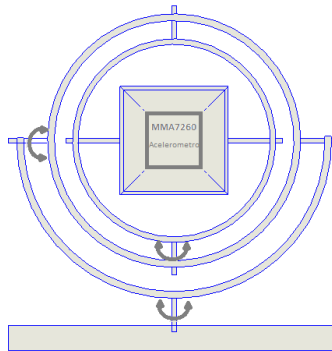


Fig. 3-4 Mecanismo de 3 grados de libertad utilizada para la caracterización del acelerómetro.

El acelerómetro entrega un valor de voltaje para cada inclinación y permanece en ese valor, hasta que nuevamente se mueve de ese estado de inclinación, donde a su salida tendrá otro valor de voltaje, por lo que se logra tener lecturas muy precisas y repetitivas, lo que facilita su caracterización.

Se realizan lecturas del acelerómetro cada 10 grados, desde -60 a 60 grados para cada eje. La forma en que se hicieron las lecturas es de la siguiente: se tomaron lecturas con el acelerómetro puesto en la base de pruebas en forma horizontal, y se procedió a inclinar en dirección de las manecillas del reloj y en sentido contrario, cada 10 grados se tomaron lecturas de la salida del acelerómetro, para cada eje.

3.2.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL ACELERÓMETRO.

En la Fig. 3-5 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas descritas anteriormente, en las cuales se observa la factibilidad de poder usar los acelerómetros para discernir los movimientos en los diferentes ejes. Se observa que hay cambios sensibles al cambiar la inclinación de los mismos.

En los resultados mostrados en la Fig. 3-5, se toma como referencia a la horizontal (0 grados de inclinación), 0° . Se observa como el acelerómetro se comporta de manera

casi lineal, lo cual permite que se pueda ajustar su comportamiento con un nivel de error mediante una recta a través de la regresión lineal.

A continuación se presentan las rectas de operación del acelerómetro, como resultado de su caracterización.

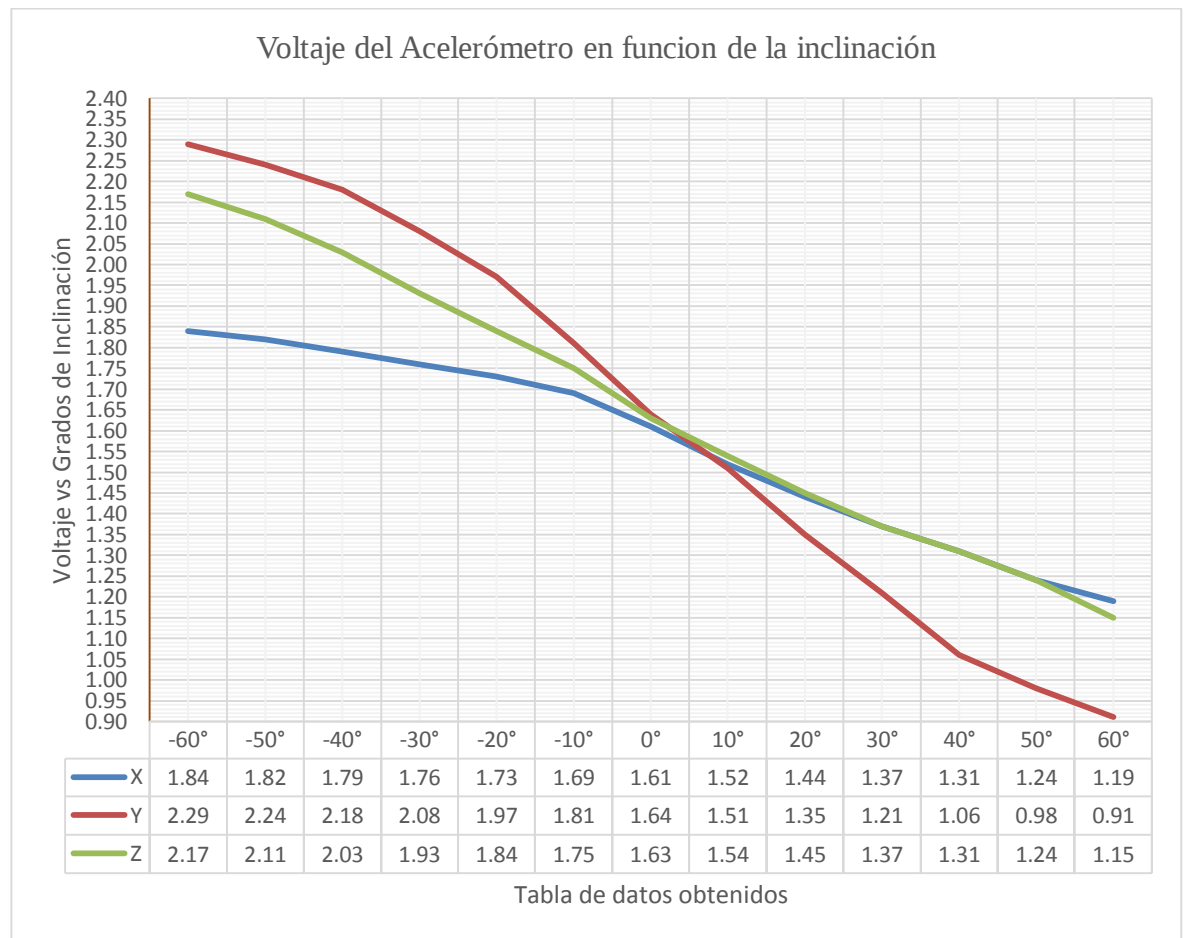


Fig. 3-5 Curvas características y mediciones obtenidas.

Se observa que el comportamiento del acelerómetro es casi lineal, y que la resolución del eje x, eje y, y eje z es de .05, .115 y .085 v por cada 10 grados de inclinación, respectivamente. También se observa que el eje y tiene mayor rango dinámico, de .9 volts a 2.3 v, al inclinarlo 60 grados en cada dirección.

A continuación se presenta la caracterización del movimiento de cabeza.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE CABEZA

Debido a que el acelerómetro incorpora tres ejes de medición, se logra obtener mediciones de movimientos del mismo en el espacio tridimensional. Esto es significativo ya que debido a este comportamiento particular se logran caracterizar también algunos movimientos de la cabeza, específicamente el movimiento de negación (NO), el de afirmación (SI) y un tercer movimiento al que le llamaremos indecisión (TALVEZ), los cuales se muestra en la Fig. 3-6.



Fig. 3-6 Izquierda: NO, Centro: SI, Derecha: TAL VEZ.

Para esto, se utiliza una diadema tipo headset o audífonos donde se monta el acelerómetro para utilizarse como referencia en una posición inicial como se muestra en la Fig. 3-7.

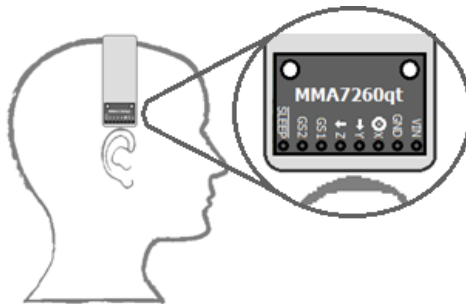


Fig. 3-7 Posición inicial del acelerómetro.

Se adquiere la señal de cada eje del acelerómetro al momento de realizar el movimiento de negación, afirmación e indecisión con los parámetros descritos. Los resultados obtenidos se graficaron un eje con respecto a otro (voltaje en eje Z sobre voltaje en eje Y, voltaje en eje Z sobre voltaje en eje X, y voltaje en eje Y sobre eje X).

A continuación se describe la caracterización del movimiento de cabeza.

3.3.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE CABEZA

Al momento de comparar las pendientes obtenidas para cada movimiento, se aprecia una diferencia entre la pendiente de un movimiento, y la pendiente de otro movimiento como se ve en la Fig. 3-8

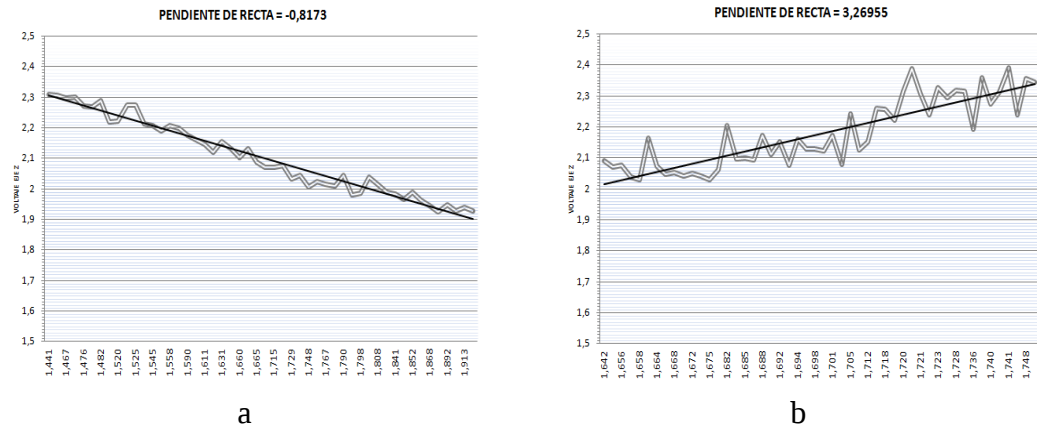


Fig. 3-8 (a) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de NEGACIÓN. (b) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de AFIRMACIÓN.

Se observa como para un movimiento de negación, al comparar el voltaje del eje Z con el voltaje del eje X se obtiene una pendiente negativa (pendiente de recta comparativa: -0.81730), a diferencia a la pendiente positiva para un movimiento de afirmación (Pendiente de recta comparativa: 3.26955).

Comparando estos resultados se puede discernir que existe un patrón para cada uno de los movimientos de cabeza, al obtener la pendiente de cada recta de comparación.

A continuación se presentan las pendientes obtenidas para cada movimiento estudiado, las pruebas se hicieron en un ambiente controlado, evitando perturbaciones mecánicas que pudieran dar lecturas equivocadas del acelerómetro.

Se realizaron 20 repeticiones de cada experimento, obteniendo resultados muy cercanos a los mostrados entre sí, se promediaron estos resultados, y a continuación se muestran las pendientes obtenidas para cada movimiento.

3.3.2. PENDIENTES OBTENIDAS PARA MOVIMIENTO DE NEGACIÓN

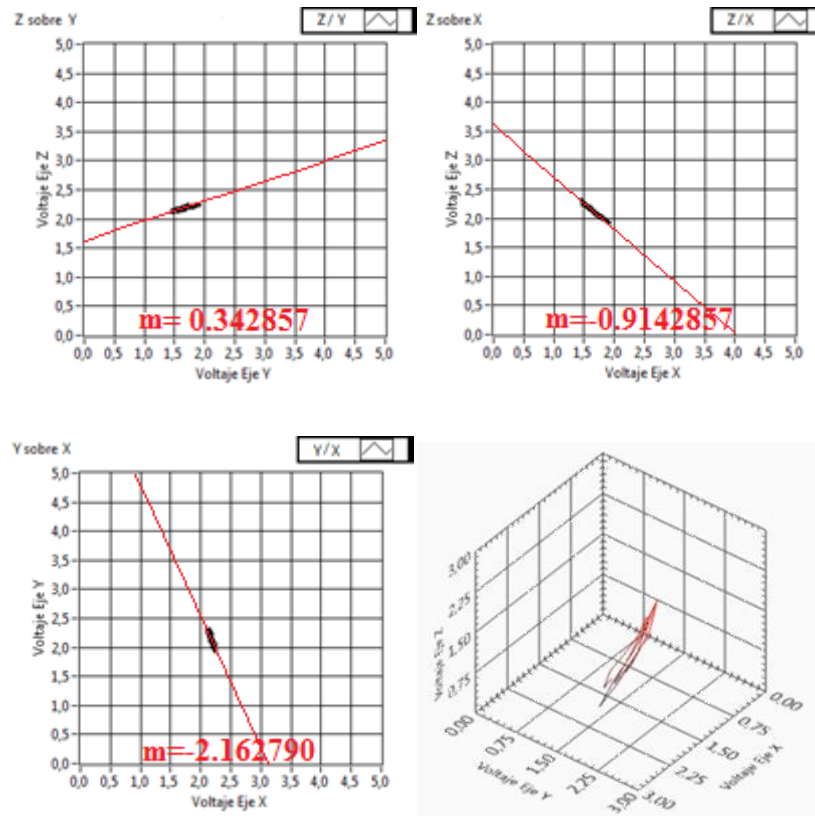


Fig. 3-9 Caracterización del movimiento NO

Para el movimiento NO, se tiene las pendientes 0.342857, -0.9142857 y -2.162790 para las rectas de comparación Z/Y, Z/X y Y/X respectivamente.

Al graficar el voltaje en el eje Y sobre el voltaje del eje X, así como al graficar el voltaje sobre el eje Z sobre el eje X, se aprecia una pendiente negativa.

El voltaje del eje Z sobre el voltaje del eje Y tiene una pendiente ligeramente positiva.

Si agrupamos las pendientes en el orden Z/Y, Z/X y Y/X, los signos de los valores de las pendientes son: POSITIVO, NEGATIVO, NEGATIVO.

Esto como referencia secundaria para distinguir el movimiento de NEGACIÓN con los movimiento de AFIRMACIÓN e INDECISIÓN.

3.3.3. PENDIENTES OBTENIDAS PARA MOVIMIENTO DE AFIRMACIÓN

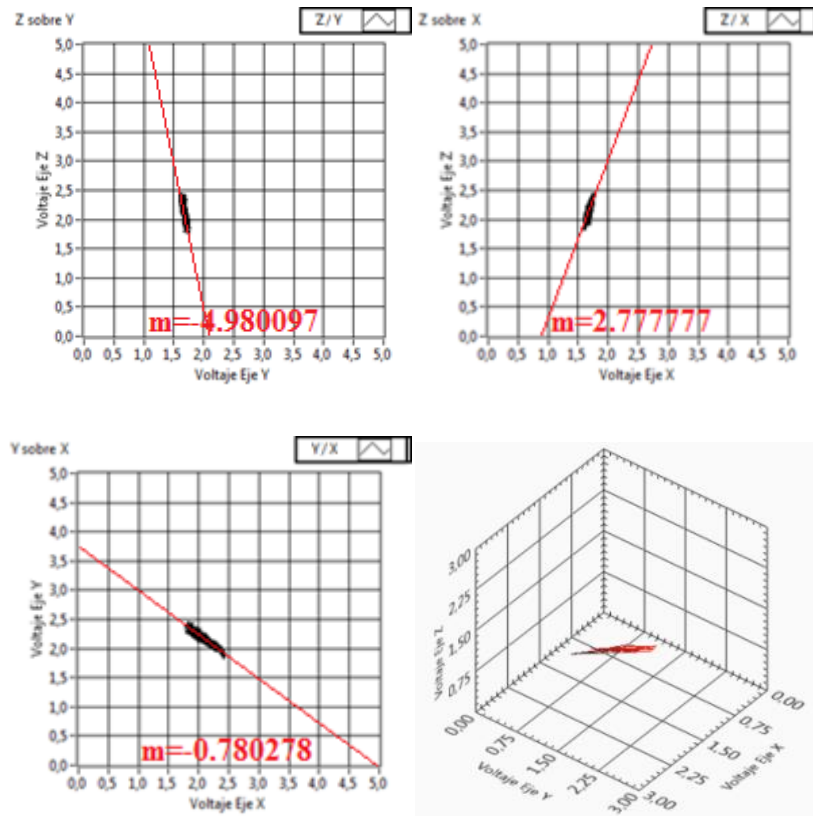


Fig. 3-10 Caracterización del movimiento SI

Para el movimiento SI, se tiene las pendientes -4.980097 , 2.777777 y -0.780278 para las rectas de comparación Z/Y, Z/X y Y/X respectivamente.

Al graficar el voltaje en el eje Y sobre el voltaje del eje X se obtiene una pendiente negativa.

Si agrupamos las pendientes en el orden Z/Y, Z/X y Y/X, los signos de los valores de las pendientes son: NEGATIVO, POSITIVO, NEGATIVO.

Esto como referencia secundaria para distinguir el movimiento de AFIRMACIÓN con los movimiento de NEGACIÓN e INDECISIÓN.

3.3.4. PENDIENTES OBTENIDAS PARA MOVIMIENTO DE INDECISIÓN

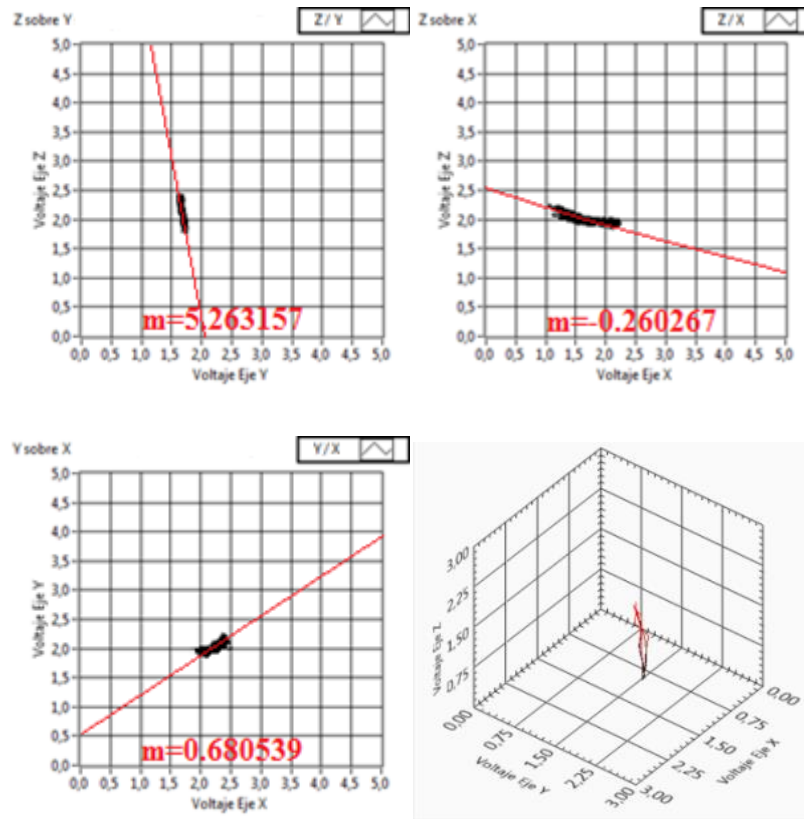


Fig. 3-11 Caracterización del movimiento TAL VEZ

Para el movimiento TAL VEZ, se tiene las pendientes 5.263157, 0.260267 y 0.680539 para las rectas de comparación Z/Y, Z/X y Y/X respectivamente.

Al graficar el voltaje en el eje Z sobre el voltaje del eje X y el voltaje del eje Y sobre el voltaje del eje X, se obtienen pendientes ligeramente negativas, casi horizontales. Al graficar el voltaje del eje Z sobre el voltaje del eje Y se obtiene una pendiente casi vertical.

Si agrupamos las pendientes en el orden Z/Y, Z/X y Y/X, los signos de los valores de las pendientes son: NEGATIVO, POSITIVO, POSITIVO.

Esto como referencia secundaria para distinguir el movimiento de INDECISIÓN con los movimiento de AFIRMACIÓN y NEGACIÓN.

3.4. RESULTADOS DEL MÉTODO 1: DETECCIÓN POR PENDIENTES

En las Fig. 3-9, Fig. 3-10 y Fig. 3-11 se observa que cada movimiento genera diferentes pendientes para cada recta de comparación. Además de la diferencia en magnitud de cada pendiente para cada movimiento, se observa que el signo de los valores de cada pendiente para cada movimiento tiene una secuencia, que en la siguiente Tabla 3-1 se aprecia:

Tabla 3-1 Pendientes de movimientos características.

	Pendiente Z vs X	Pendiente Z vs Y	Pendiente Y vs X
Negación	+ 0.342857	− 0.914285	− 2.162790
Afirmación	− 4.980097	+ 2.777777	− 0.780278
Indecisión	− 5.263157	+ 0.260267	+ 0.680539

Como vemos, para el movimiento de NEGACIÓN se tiene una secuencia en signos de valor de pendiente de POSITIVO, NEGATIVO, NEGATIVO. Diferentes para el movimiento de AFIRMACIÓN e INDECISIÓN.

Estos valores de pendientes para cada movimiento se guardan en memoria del sistema para compararlos con las pendientes generadas por un movimiento adquirido. Esta comparación logra identificar qué tipo de movimiento es el movimiento adquirido. Se observa que existe un error al comparar varios movimientos del mismo tipo, producido por factores externos como la velocidad de movimiento, cambio en la orientación de la cabeza (pequeño), y los producidos por las etapas de adquisición de datos.

Se observa como para condiciones de reposo el comportamiento del acelerómetro es casi lineal en voltaje y sirve de marco de referencia para estimar la posición del mismo. Al implementar el acelerómetro a una diadema, se puede estimar la posición de la cabeza del usuario de dicha diadema. Este método de detección funciona siempre y cuando el usuario de la diadema este en posición DE PIE. Si el usuario cambia de posición (si se acuesta, si se inclina hacia un lado, entre otros) el método de detección por pendientes deja de ser consistente. Este método no incluye detección de NO MOVIMIENTO.

En el siguiente capítulo, se expone el método 2 de detección, por índice de correlación de Pearson, que analiza otras posiciones iniciales.

CAPITULO IV

MÉTODO 2 DETECCIÓN POR PEARSON

4.1. INTRODUCCIÓN

Como se explicó en la sección 1.3.4, la correlación cruzada es una medida entre la similitud de un proceso con respecto a otro proceso desfasado en el tiempo y en función del tiempo del desfasamiento. Entonces, si se tienen dos señales distintas de un mismo sistema, se puede correlacionar ambas señales para medir la similitud entre ellas y deducir si se trató de un mismo evento para ambas señales.

La aceleración es la razón de cambio de la velocidad de un objeto. Al mismo tiempo, la velocidad es la razón de cambio de la posición de ese mismo objeto. En otras palabras, la velocidad es la derivada de la posición y la aceleración es la derivada de la velocidad, así:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, y \vec{v} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \therefore \vec{a} = \frac{d^2\vec{p}}{dt^2}$$

(ec. 4-1)

Si se conoce la aceleración de un objeto, es posible obtener la posición si se integra dos veces, tomando como punto de referencia, o condición inicial, la lectura que el acelerómetro de en reposo, en base a su inclinación con respecto a la horizontal.

La desviación estándar [24] es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de datos (o población). Mientras mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de la población, la desviación estándar mide el grado de dispersión o variabilidad.

El índice de correlación de Pearson [19] mide el grado de similitud entre dos conjuntos de valores, si es cercano a 1 se dice que hay gran similitud.

4.2. DESARROLLO

Se utiliza el acelerómetro ADXL345 [25] como sensor inicial para realizar las mediciones de posición inicial de la cabeza. Este sensor de tipo capacitivo consiste en un arreglo mecánico, donde la capacitancia del elemento sensor interno varía en función de la aceleración aplicada, de tal forma que al exponerse a una fuerza en una dirección se produce un cambio en la capacitancia interna y a la salida entrega un nivel de voltaje referenciado a la alimentación del circuito. Su respuesta es lineal. La comunicación es mediante el protocolo de I^2C . El giroscopio ITG-3200 [26] se utiliza como sensor principal para detectar los movimientos de cabeza. Debido a que ambos sensores tienen su respuesta lineal, y trabajan también con el protocolo de I^2C , es posible trabajar en un mismo sistema.



Fig. 4-1 Diagrama a bloques de sistema de detección de movimientos específicos.

Entonces, el sistema está conformado de la siguiente forma: Con Labview, mediante el microcontrolador Arduino UNO, se da la instrucción a los sensores para que se adquiera la información del acelerómetro para determinar la posición de la cabeza, después se toma lectura del acelerómetro y giroscopio por un lapso extendido de tiempo, para obtener muestras suficientes para analizarlas.

Como en ocasiones no se realiza movimiento, esto se puede detectar al calcular también la desviación estándar de la señal producida por el acelerómetro y giroscopio, que al ser cercana a 0, se determina que no hubo movimiento. Si no se cumple esta condición, se puede asegurar que hubo un movimiento realizado, por lo que se generan, a partir de las muestras obtenidas por el giroscopio, 3 rectas de comparación (entre cada eje), se determina su pendiente, las cuales se agrupan y se normalizan, para que después se correlacionen (se obtiene el índice de correlación de Pearson) con cada movimiento

previamente identificado. Se compara el índice de correlación de Pearson obtenido de cada correlación para definir el tipo de movimiento efectuado. De esta forma, se logra detectar el movimiento realizado. A continuación un diagrama a bloques extendido del funcionamiento del sistema:

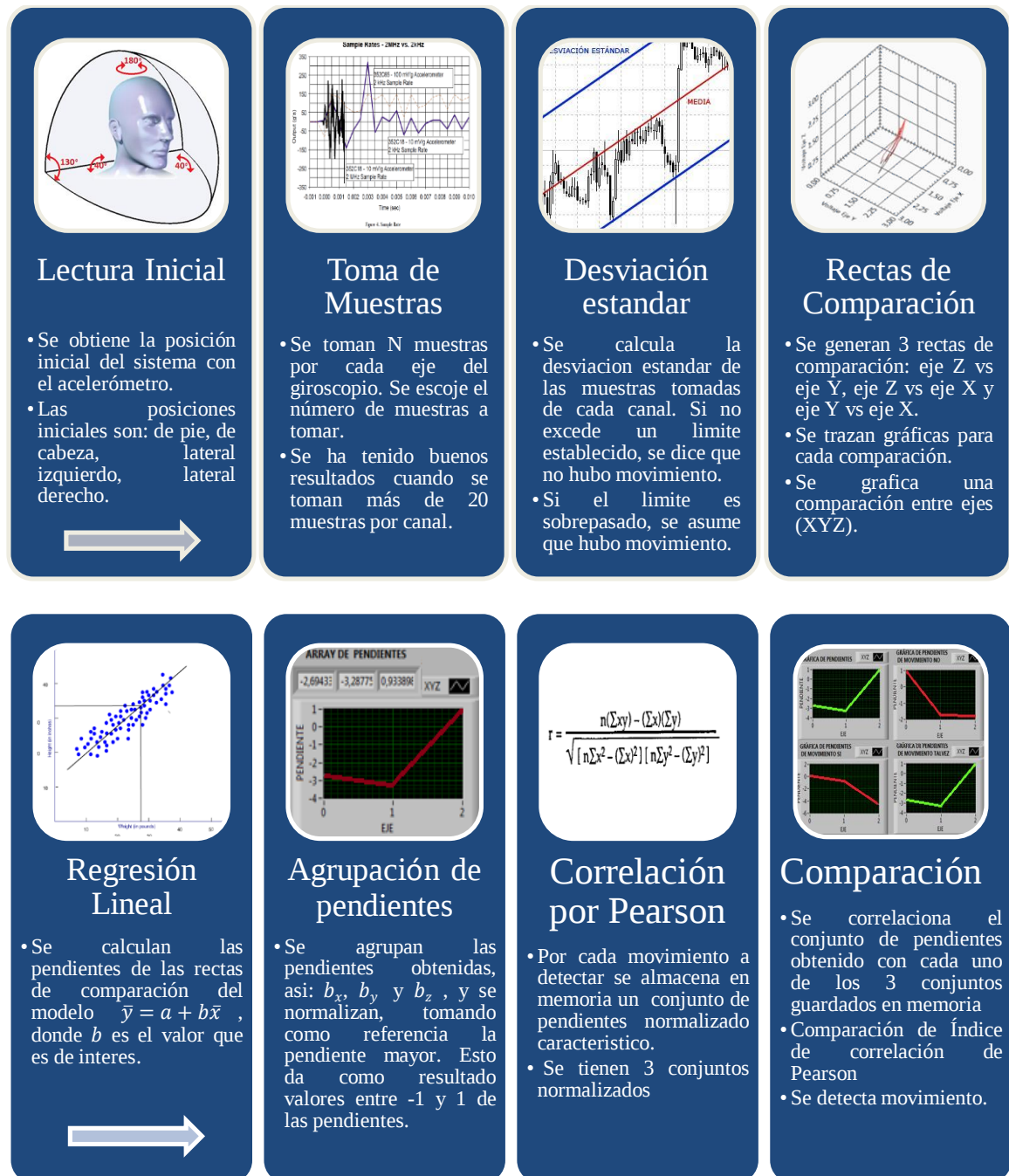


Fig. 4-2 Diagrama extendido de funcionamiento de sistema de detección de movimientos específicos.

Una imagen real del sistema descrito se puede observar a continuación:

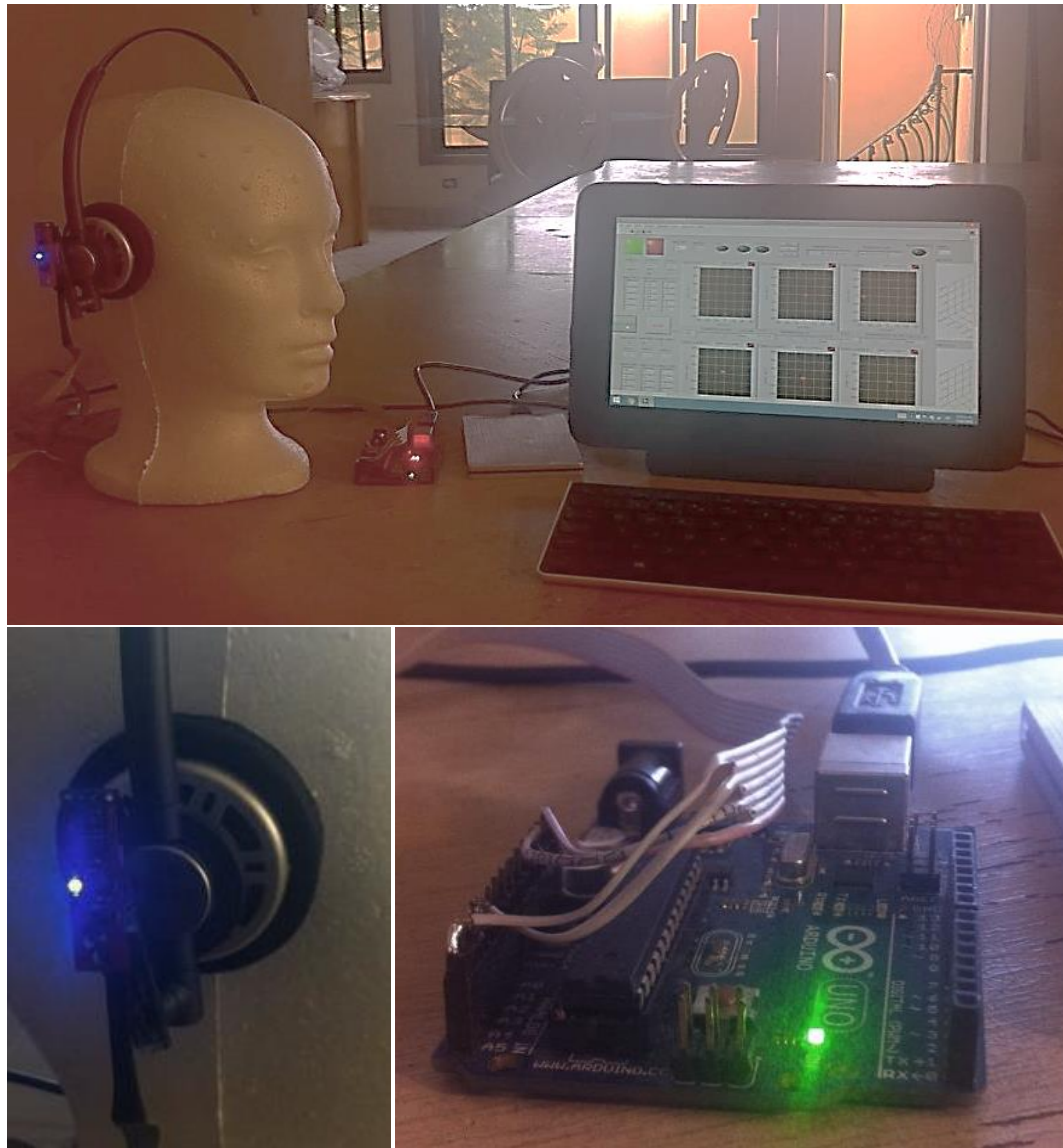


Fig. 4-3 SUPERIOR. Imagen de sistema completo: diadema en su posición, arduino UNO y PC. ABAJO IZQUIERDA. Posición de sensores (ADXL345 e ITG9200). ABAJO DERECHA. Arduino UNO

Se observa en la Fig. 4-3 que el sistema es portable. El controlador Arduino utiliza solo los pines A4 y A5 para comunicación con los sensores (comunicación i^2c) y los pines de 3.3v y tierra para alimentar los sensores. La interfaz gráfica puede ser instalada en una PC que tenga Windows 7 en adelante y Labview 2010.

4.3. INTERFAZ GRÁFICA DE DETECCIÓN POR PEARSON

A continuación se presenta la interfaz gráfica utilizada para detectar movimientos mediante el uso del coeficiente de Pearson.

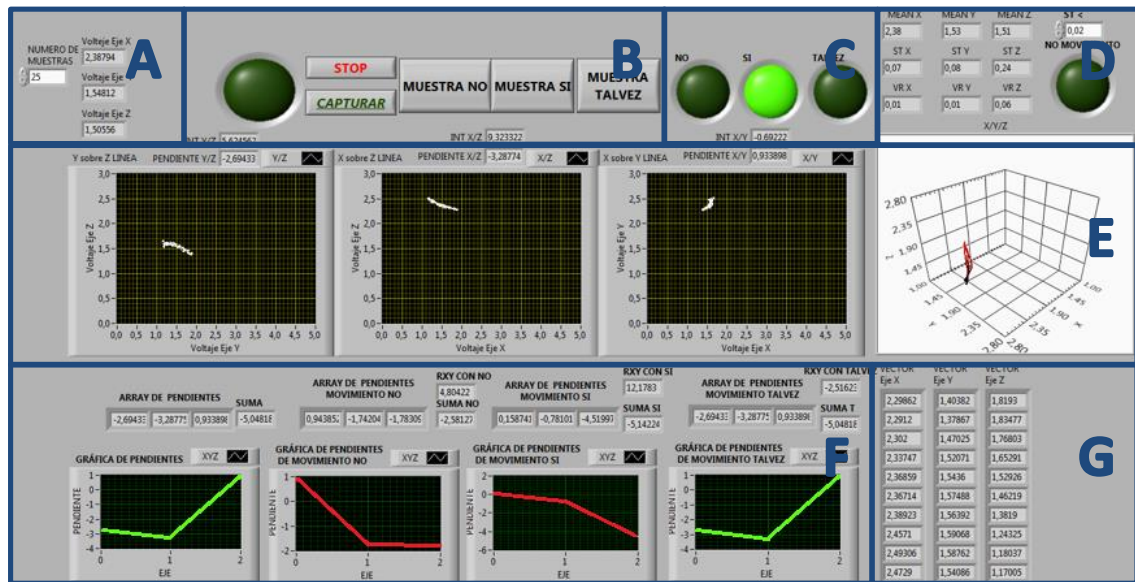


Fig. 4-4 Caratula de Interfaz gráfica utilizada para detectar movimiento mediante coeficiente de Pearson

La caratula de la interfaz gráfica se puede dividir en 7 secciones que a continuación se describen.

- Sección A
 - Numero de muestras e iteración. Se puede seleccionar el número de muestras que se desea adquirir de cada canal del acelerómetro y giroscopio.
 - Indicadores en tiempo real. Muestran el valor en tiempo real del giroscopio. Se muestran los primeros 10 valores de cada eje.
- Sección B
 - Botones de captura. Se tienen 2 botones: uno que sirven para empezar a capturar las muestras del acelerómetro y el giroscopio, y otro para detener la captura.

- Indicador de adquisición. Indica cuando el sistema está adquiriendo muestras del acelerómetro y giroscopio.
- Botones de memoria. Se tienen 3 botones que sirven para almacenar en memoria las pendientes obtenidas como referencia de un movimiento en particular.
- Sección C
 - Indicadores de movimiento. Se tiene 3 indicadores de movimiento, que se activan si se detecta un movimiento específico (NO, SI, TALVEZ). Sólo se activa un indicador a la vez.
- Sección D
 - Indicadores de desviación estándar. Se muestran las desviaciones estándar de cada conjunto de muestras de cada eje del giroscopio (3 desviaciones).
 - Límite de desviación estándar. Es un control para definir el límite que debe de superar la desviación estándar para definir que hubo movimiento.
 - Indicador de NO MOVIMIENTO. Si ningún conjunto de muestras por canal supera el límite establecido de desviación estándar, se considera que no hubo movimiento, entonces se activa este indicador.
- Sección E
 - Gráficas de rectas de comparación. Se grafican las rectas de comparación X vs Z, Y vs Z y X vs Y en tiempo real y se estiman las pendientes obtenidas.
 - Gráfica de recta de comparación XYZ. Se grafica una recta de comparación entre ejes (X vs Y vs Z).
- SECCIÓN F
 - Conjunto de pendientes obtenidas. Se indica el conjunto de pendientes de las rectas de comparación obtenidas en el experimento.

- Se muestran las pendientes almacenadas en memoria de cada recta de comparación para cada movimiento, del acelerómetro y del giroscopio.
- SECCIÓN G
 - Muestras en memoria. Se almacenan las muestras en memoria de cada canal en un arreglo vectorial.

De esta forma, se indica la detección de movimiento.

4.4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE MEDICIÓN

Se realizaron varias pruebas en un ambiente controlado, con el usuario en 4 posiciones iniciales: DE PIE, DE CABEZA, LATERAL IZQUIERDO y LATERAL DERECHO.

Estas pruebas se hicieron en un ambiente controlado, sin perturbaciones de movimiento, con varios sujetos de prueba. El acelerómetro y giroscopio se colocaron en una diadema tipo “headset” como se muestra en la Fig. 3-7 del capítulo 3.

Para cada posición inicial, se tomaron 20 mediciones para cada movimiento, en total 60 mediciones.

Bajo estas condiciones, se encontraron los siguientes resultados. Primero, la caracterización del acelerómetro para diferentes posiciones iniciales. Segundo, la caracterización del giroscopio para diferentes movimientos.

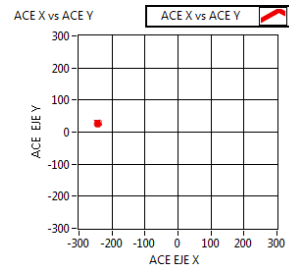
4.5. CARACTERIZACIÓN DE POSICIÓN INICIAL DE ACELERÓMETRO

Se muestran los resultados obtenidos para la posición inicial, según 4 posiciones establecidas: De pie, De cabeza, Lateral Izquierdo, Lateral derecho.

Para cada prueba se mantuvo el acelerómetro en la posición descrita, por un intervalo de tiempo, a fin de que el acelerómetro se estabilice completamente, quitando toda perturbación mecánica que dificulte la lectura.

Se hicieron 20 pruebas por cada posición inicial. Los siguientes resultados es la representación del promedio de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

ACELERÓMETRO EN POSICIÓN INICIAL: DE PIE.



De Pie

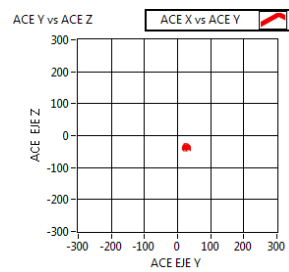
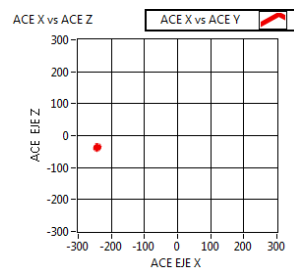
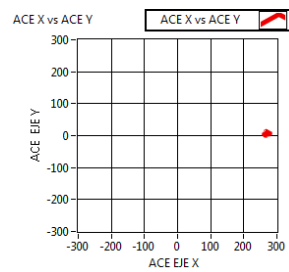


Fig. 4-5 Lectura de posición inicial DE PIE.

ACELERÓMETRO EN POSICIÓN INICIAL: DE CABEZA.



De Cabeza

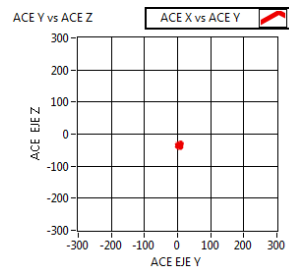
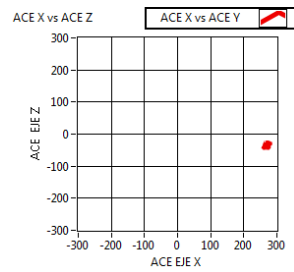


Fig. 4-6 Lectura de posición inicial DE CABEZA.

ACELERÓMETRO EN POSICIÓN INICIAL: LATERAL IZQUIERDO.

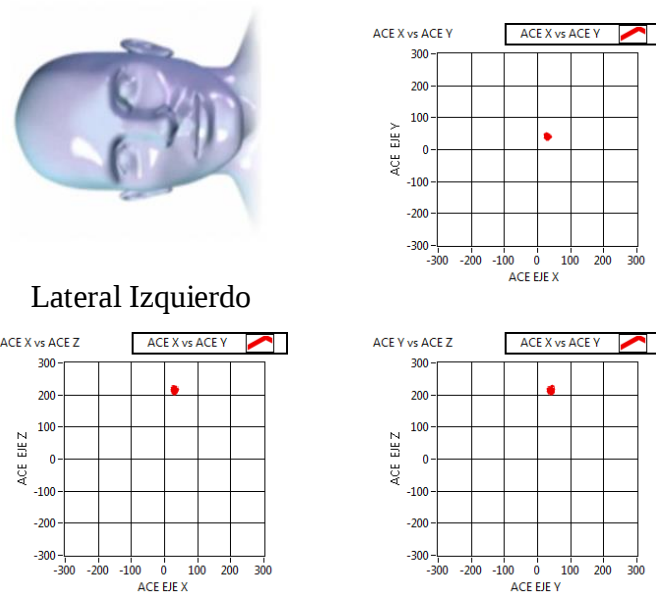


Fig. 4-7 Lectura de posición inicial LATERAL IZQUIERDO.

ACELERÓMETRO EN POSICIÓN INICIAL: LATERAL DERECHO.

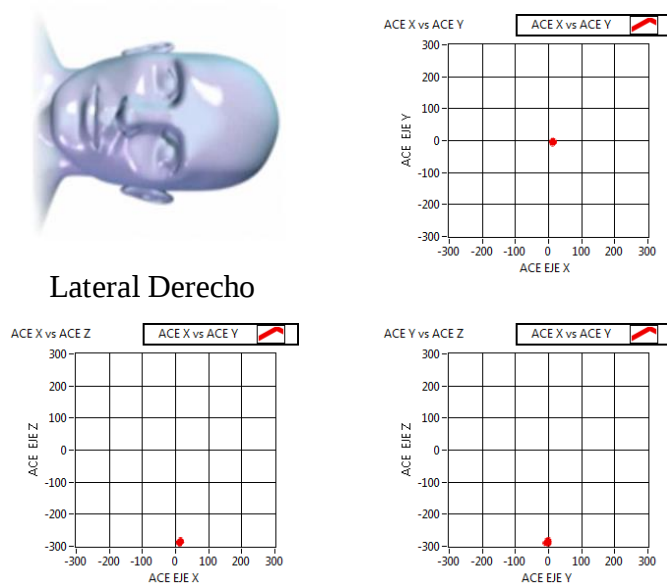


Fig. 4-8 Lectura de posición inicial LATERAL DERECHO.

4.6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 4-1, se observa que para las posiciones iniciales de pie y de cabeza las relaciones aproximadas entre el eje x y sus contraparte el eje y y el eje z existe una rotación entre los ejes de 180 grados, mientras que la relación eje y y eje z se mantiene sin cambio.

De manera similar, para las posiciones iniciales lateral izquierdo y lateral derecho la relación aproximada del eje z con respecto al eje x y el eje y son también de 180 grados y la relación existente del eje x y eje y permanece casi sin cambios.

La relación existente entre posición inicial de pie y de cabeza con respecto a lateral izquierdo y derecho es ± 90 grados aproximadamente.

Tabla 4-1 Coordenadas aproximadas en posición inicial.

	Eje Z vs Eje X	Eje Z vs Eje Y	Eje Y vs Eje X
De pie	-250,-25	25,-25	-250,25
De cabeza	250,-25	0,-25	250,0
Lat. Izquierdo	25,250	25,250	25,25
Lat. Derecho	0,-250	0,-250	0,0

Se observa cómo para diferentes posiciones iniciales, el acelerómetro cambia su respuesta de manera lineal, con alta repetitividad.

De esta manera, se puede determinar en qué posición se encuentra la cabeza al momento de medir para determinar qué movimiento se realizó.

4.7. CARACTERIZACIÓN DE POSICIÓN INICIAL DE GIROSCOPIO

En condiciones de reposo, sin perturbación de movimiento, la lectura del giroscopio es la siguiente:

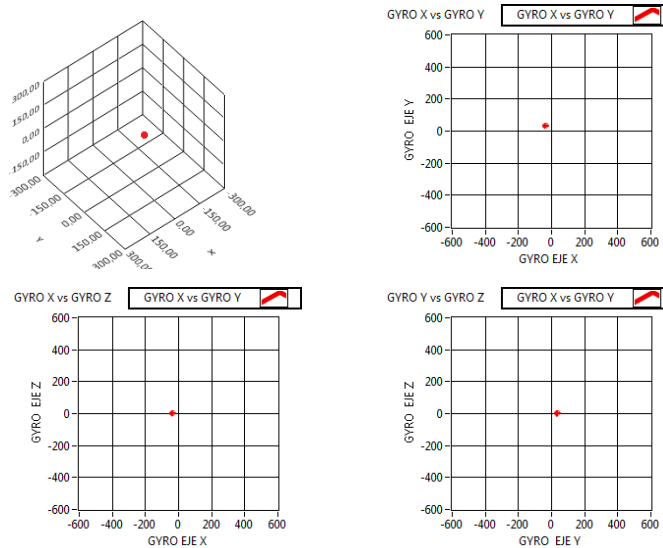


Fig. 4-9 Lectura de giroscopio en cualquier posición inicial.

Se observa cómo para cualquier posición inicial, la lectura del giroscopio prevalece, que es muy cercana al origen, esto es, en cada eje de libertad, se tiene cerca de 0 volts.

Esto es algo que se espera obtener del sensor pues no hay fuerza giratoria presente, a diferencia del acelerómetro que tiene presente siempre la fuerza de gravedad terrestre. Para toda posición inicial al estar la cabeza en reposo, la lectura del giroscopio es de (0,0,0), al no detectar giro.

4.8. CARACTERIZACIÓN DE MOVIMIENTO DE CABEZA

A continuación se presentan las pendientes generadas de las rectas de comparación, para 3 movimientos (NO, SI, TALVEZ), con diferentes condiciones iniciales.

PENDIENTES ENCONTRADAS EN POSICIÓN DE PIE.

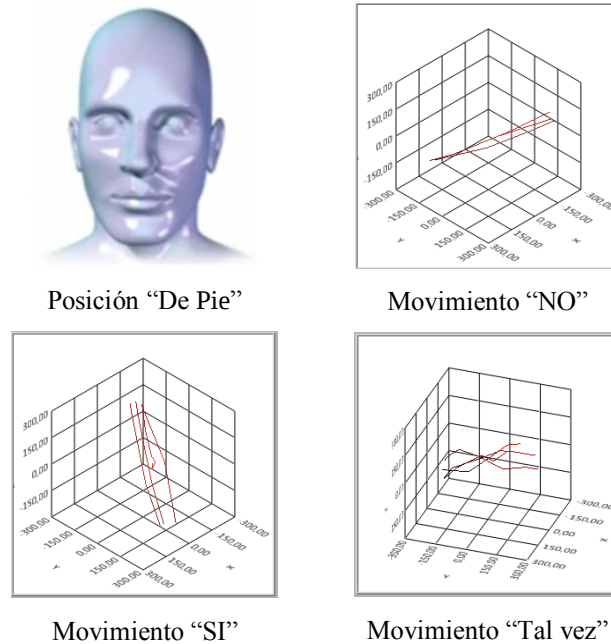


Fig. 4-10 Pendientes de movimientos en condición inicial DE PIE.

Se observa que el conjunto de pendientes para el movimiento NO es muy diferente al conjunto de pendientes para el movimiento SI y Tal vez. En el caso del movimiento NO la pendiente es ligeramente positiva.

También se aprecia en cada movimiento que existen diferentes rectas, muy cercanas unas de otras, esto debido a que el movimiento producido fue de varios "NO", "SI" y "TAL VEZ", lo que ocasiona diferentes rectas, pero todas con casi la misma pendiente.

PENDIENTES ENCONTRADAS EN POSICIÓN DE CABEZA.

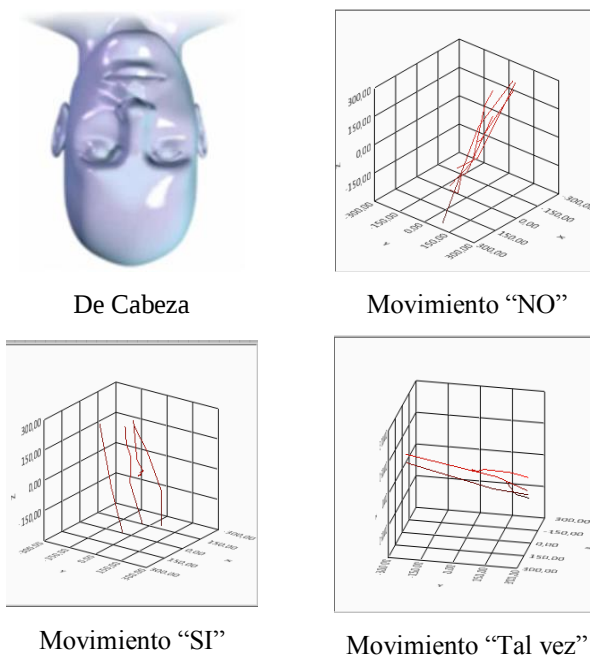
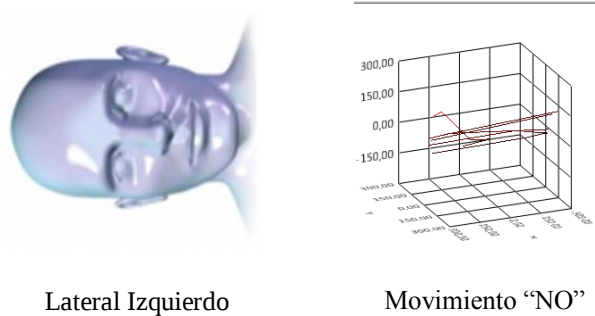
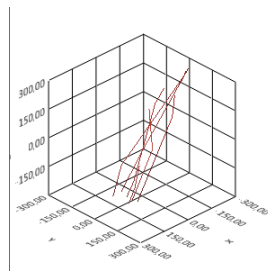


Fig. 4-11 Pendientes de movimientos en condición inicial DE CABEZA.

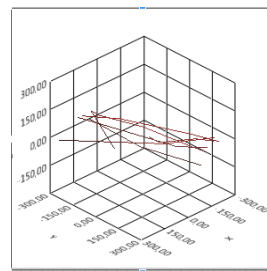
Se observa que el conjunto de pendientes para el movimiento NO es muy diferente al conjunto de pendientes para el movimiento SI y Tal vez. En el caso del movimiento NO la pendiente es altamente positiva.

PENDIENTES ENCONTRADAS EN POSICIÓN LATERAL IZQUIERDO.





Movimiento “SI”



Movimiento “Tal vez”

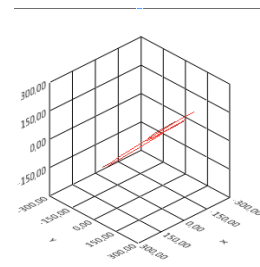
Fig. 4-12 Pendientes de movimientos en condición inicial LATERAL IZQUIERDO.

Se observa que el conjunto de pendientes para el movimiento NO es muy diferente al conjunto de pendientes para el movimiento SI y TAL VEZ. En el caso del movimiento SI la pendiente es altamente positiva.

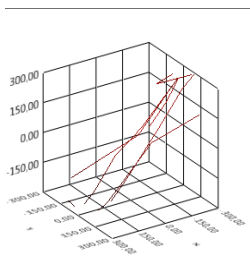
PENDIENTES ENCONTRADAS EN POSICIÓN LATERAL DERECHO.



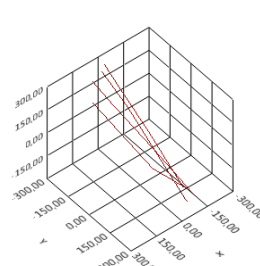
Posición “Lateral
Derecho”



Movimiento “NO”



Movimiento “SI”



Movimiento “Tal vez”

Fig. 4-13 Pendientes de movimientos en condición inicial LATERAL DERECHO.

Se observa que el conjunto de pendientes para el movimiento NO es muy diferente al conjunto de pendientes para el movimiento SI y TAL VEZ. En el caso del movimiento SI la pendiente es altamente positiva.

4.9. RESULTADOS

Al comparar los resultados obtenidos de cada movimiento para cada posición inicial, la pendiente de cada recta de comparación difiere de un movimiento a otro.

Por ejemplo, en la Fig. 4-10 se ve una clara diferencia en la pendiente producida para el movimiento NO, con respecto al movimiento SI, de donde al saber que la posición inicial es DE PIE, es factible determinar en base a la pendiente observada qué movimiento se realizó.

También al analizar la Fig. 4-11 y Fig. 4-12, se observa cómo para diferentes posiciones iniciales, se obtienen diferentes pendientes para cada movimiento, por ejemplo en el caso del movimiento NO, en la Fig. 4-11 se observa una tendencia positiva, diferente en el caso de la Fig. 4-12. Por lo que es posible determinar qué movimiento se realizó al saber qué posición inicial tiene la cabeza.

Para analizar la similitud de las pendientes encontradas con las previamente establecidas, se utilizó la correlación cruzada y el índice de correlación de Pearson.

Los primeros resultados se obtuvieron al analizar 3 movimientos diferentes entre sí, mediante la correlación cruzada. Se obtuvo el cálculo de la diferencia entre la pendiente del movimiento 1 con el mismo movimiento 1 (con diferencias debido a la casi repetitividad cuando hacemos cierto movimiento), con el movimiento 2 y el movimiento 3.

El error encontrado es menor cuando se trata de un mismo movimiento, a diferencia de un movimiento diferente, que nos arroja un error muy grande, por lo que es posible determinar, en base a estas comparaciones, qué movimiento se realizó.

En la Tabla 4-2. Se muestran los coeficientes de correlación entre el patrón guardado y la pendiente obtenida comparando los datos del acelerómetro. Estos datos se incluyen como una prueba secundaria para realizar la comparación entre acelerómetro y giroscopio.

Tabla 4-2 Coeficientes de correlación utilizando acelerómetro

De pie	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	.999683	0.61800	.13435
Afirmación	.677604	0.99959	-.65692
Indecisión	-.78943	-.99064	.523842
De cabeza	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	.98442	.2736	-.9901
Afirmación	.370155	.96139	-.6415
Indecisión	-.99038	-.23693	.98411
Izquierda	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	.99982	-.99976	-.88264
Afirmación	-.99964	.999906	-.8781
Indecisión	-.75208	.75029	.977760
Derecha	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	.987854	-.78606	-.86212
Afirmación	-.70853	.998670	.31608
Indecisión	-.9320	.45115	.99549

En la Tabla 4-3. Se muestran los coeficientes de correlación entre el patrón guardado y la pendiente obtenida comparando los datos del giroscopio.

Tabla 4-3 Coeficientes de correlación utilizando giroscopio

De pie	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	0.9868	-0.8425	0.7766
Afirmación	-0.5285	0.9844	-0.4356
Indecisión	-0.9543	0.0766	0.9865
De cabeza	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	0.9999	-0.9618	-0.5875
Afirmación	-0.8653	0.9911	-0.3444
Indecisión	0.8546	-0.9881	0.9903
Izquierda	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	0.9999	-0.6210	-0.4229
Afirmación	-0.3578	0.9983	-0.7015
Indecisión	0.2634	-0.9991	0.7688
Derecha	Negación	Afirmación	Indecisión
Negación	0.9235	-0.5880	-0.8418
Afirmación	-0.8507	0.9999	0.0539
Indecisión	-0.5314	0.0116	0.9988

Se observa que para todos los casos estudiados, cuando se compara el índice de correlación entre las pendientes generadas obtenidas para un movimiento, con otro

conjunto de pendientes previamente guardadas en memoria, se puede discernir si se trata de un mismo movimiento o no.

El acelerómetro es útil para analizar movimientos de un cuerpo, y al acompañarlo de un giroscopio, se puede analizar dichos movimientos aunque el cuerpo cambie su orientación. Esto es muy útil ya que en el caso de nuestra cabeza, es un cuerpo que cambia constantemente de posición, en ocasiones al estar observando hacia arriba, hacia abajo, de forma inclinada, aun así, efectuamos en todas estas posiciones, los mismos movimientos básicos.

Una vez obtenido el punto de referencia, es posible detectar el movimiento (y el no movimiento mediante el cálculo de la desviación estándar) al analizar las muestras obtenidas del acelerómetro.

En el siguiente capítulo se hace la comparación de los resultados obtenidos entre el método 1 de detección de movimiento por pendientes y el método 2 de detección de movimiento por índice de correlación de Pearson.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Después de realizar varias pruebas con los dos métodos de detección de movimiento, se encuentran ventajas y desventajas entre ellos. A continuación se presenta un resumen de esta comparación.

5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MÉTODO DE DETECCIÓN POR PENDIENTES Y MÉTODO DE DETECCIÓN POR PEARSON

Las principales diferencias entre los métodos 1 y 2 se muestran en la siguiente tabla comparativa

Tabla 5-1 Diferencias entre el Método 1 y el Método 2 de detección de movimiento

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MÉTODO 1 (Pendientes)	• Requiere el uso de un solo sensor (acelerómetro) • Requiere menos canales (3 canales) • Requiere menos muestras • Menor procesamiento	• Esta limitado a una posición inicial • No detecta el NO MOVIMIENTO • Mayor porcentaje de error • Menor repetitividad • Solo detecta 3 movimientos
MÉTODO 2 (Pearson)	• No está limitado a una posición inicial • Detecta si no hubo movimiento • El porcentaje de error es mínimo • Tiene mayor repetitividad • Puede detectar otros movimientos	• Requiere el uso de más sensores (acelerómetro y giroscopio) • Requiere 6 canales • Requiere más muestras por canal • Mayor procesamiento

5.2 CONCLUSIONES

Después de comparar los dos métodos de detección se tienen las siguientes conclusiones:

- Que, a pesar de requerir mayor procesamiento, espacio en memoria, cantidad de sensores y programación, el método 2 resulta superior al método 1.
- Con el método 2 es posible detectar más de 3 movimientos. Sólo se debe guardar en memoria el movimiento que se desea detectar.
- El método 2 puede detectar el movimiento sin importar la orientación (condición inicial) de la cabeza.
- En el método 2, la normalización de las pendientes redujo significativamente el error al momento de hacer la comparación.
- En el método 2, el índice de correlación de Pearson fue de mayor utilidad para la identificación del movimiento realizado que la información que nos da la correlación cruzada.
- Se puede detectar el movimiento realizado con el acelerómetro y con el giroscopio, bajo algunas restricciones, como la posición inicial.

Como conclusión general de este trabajo de Tesis, el cuello humano puede realizar 4 movimientos básicos, de los cuales 3 son de mayor importancia. Con el uso de un acelerómetro y un giroscopio, se puede seguir el movimiento de la cabeza, y al hacer comparación de pendientes mediante el índice de correlación de Pearson con pendientes previamente guardadas en memoria, es posible detectar qué tipo de movimiento se realizó, en cualquier posición inicial de la cabeza.

ANEXO I

PROGRAMA EN ARDUINO UNO

Para el método de detección por correlación de Pearson, se trabajan con dos microcontroladores: El de la computadora (MAESTRO) y el del microcontrolador ARDUINO UNO (ESCLAVO). La comunicación de la computadora con los sensores utilizados (ADX354 e ITG9200) es a través del microcontrolador ARDUINO UNO, y el proceso de la información adquirida se realiza en la computadora. En estos casos donde existen varios microcontroladores en un mismo sistema, se precisa el uso de un enlace de comunicación. A continuación se describe este enlace de comunicación.

6.1. ENLACE DE COMUNICACIÓN LABVIEW-ARDUINO UNO

El enlace está formado por un paquete de librerías de National Instruments y un programa llamado *LIFA_BASE* de arduino.

Para realizar el enlace, primero se debe de instalar la extensión de programa de National Instruments llamado *VISA NI*, y a través de esta extensión, instalamos un programa llamado *JKI VI Package Manager*. Dentro de *VISA NI*, bajo la opción buscar, encontramos una librería llamada *LabVIEW Interface for Arduino*. Estos son los pasos necesarios de hacer en la computadora. Todos los archivos se pueden descargar de la página de internet oficial de National Instruments (<http://www.ni.com/>)

En el microcontrolador ARDUINO UNO se debe de cargar un programa llamado *LIFA_BASE*. Este se encuentra disponible para su descarga en la página de internet oficial de ARDUINO (<https://www.arduino.cc/>).

Labview tendrá nuevos bloques de construcción para utilizar el arduino.

6.2. PROGRAMA LIFA_BASE

En el microcontrolador ARDUINO UNO, se cargó el programa LIFA_BASE. Este programa fue realizado por Sam Kristoff de National Instruments.

El programa LIFA_BASE se divide en 5 secciones:

LIBRERÍAS

```
#include <Wire.h> // Librería propia de Arduino
#include <SPI.h> // Librería propia de Arduino
```

DECLARACIÓN DE CONSTANTES

```
#define FIRMWARE_MAJOR 02
#define FIRMWARE_MINOR 00
#if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
#define DEFAULTBAUDRATE 9600
#else
#define DEFAULTBAUDRATE 115200
#endif
#define MODE_DEFAULT 0
#define COMMANDLENGTH 15
```

DECLARACIÓN DE VARIABLES

```
unsigned char currentCommand[COMMANDLENGTH]
unsigned char acqMode;
unsigned char contAcqPin;
float contAcqSpeed;
float acquisitionPeriod;
float iterationsFlt;
int iterations;
float delayTime;
```

RUTINAS

```
void syncLV(); Sincroniza Labview y envía la información de la plataforma y firmware
int checkForCommand(void); Revisa si hay instrucciones nuevas de LabVIEW
void processCommand(unsigned char command[]); Procesa una instrucción dada
void writeDigitalPort(unsigned char command[]); Escribe valores a los pins 0 – 13 de las salidas digitales del arduino. Los pins primero se configuran como salidas.
void analogReadPort(); Da lectura a los 6 puertos analógicos de entrada, construye un paquete de 8 bytes y los envía via RS-232
```

void spi_setClockDivider(unsigned char divider); Configura el divisor del reloj SPI. (Puede ser 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128)

void spi_sendReceive(unsigned char command[]); Envía y recibe datos SPI. Este comando envía un byte serial de regreso a LabVIEW por cada byte de datos recibido.

unsigned char checksum_Compute(unsigned char command[]); Computa el paquete Checksum

int checksum_Test(unsigned char command[]); Computa el paquete Checksum y prueba contra el Checsum incluido

void sampleContinously(void); Regresa varios puntos analógicos de entrada a la vez.

void finiteAcquisition(int analogPin, float acquisitionSpeed, int numberOfSamples); Regresa el numero especificado de muestras a la taza especificada.

PRINCIPAL

```
void setup()
{
    // Inicializa el puerto serial a la taza correcta
    syncLV();
}
void loop()
{
    // Verifica si hay instrucciones nuevas de LabVIEW y, si existen, las procesa
    checkForCommand();
    if(acqMode==1)
    { sampleContinously();}}
```

Con estos programas instalados, es posible la comunicación entre Labview y los sensores a través del microcontrolador arduino.

ANEXO 2

ARTÍCULO EN ELECTRO 2012

DETECCIÓN Y MEDICIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA CABEZA CON EL ACCELERÓMETRO MMA7260QT

David Octavio Roa Rico, Pedro Ayala Muñoz, José Jaime Esqueda Elizondo, Marco Antonio Pinto Ramos, Laura Jiménez Beristáin, Ricardo Jesús Renato Guerra Fraustro

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Calzada Tecnológico 14418, Mesa de Otay, Tijuana, B. C., CP 22390
(664) 979 7500 ext. 54333

correo-e: droa.orico@gmail.com, ayala.pedro@hotmail.com, jjesqueda@uabc.edu.mx, mpinto@uabc.edu.mx, ljimenezb@uabc.edu.mx, jguerra@uabc.edu.mx

1. RESUMEN

Se presenta la medición y detección del movimiento de cabeza usando la plataforma NI ELVIS II de National Instruments y el acelerómetro MMA7260QT de Freescale. Este acelerómetro se utiliza para medir y detectar los movimientos de la cabeza de sí, no y tal vez. De esta forma, las señales detectadas por el acelerómetro pueden ser usadas posteriormente para controlar dispositivos a manos libres o simplemente registrar los movimientos de la cabeza.

2. INTRODUCCIÓN

De forma intuitiva, el ser humano complementa la comunicación oral con diferentes movimientos de manos y cabeza. A través de los avances en la tecnología se ha logrado obtener mediciones y registros de muchos de esos movimientos, lo que ha valido para desarrollar diferentes tecnologías en campos como la medicina, cinematografía, bioingeniería, inclusive en los videojuegos más

avanzados, como el caso del Kinect de Microsoft donde algunos de los algoritmos utilizados pueden reconocer patrones de movimiento [6]. Existen también productos en el mercado como la Smart TV de Samsung que combinan control por voz, reconocimiento facial y control o navegación por comandos de movimiento de forma similar al Kinect, además de internet. Estos sistemas se basan en la detección del movimiento por imágenes, donde basta con que el jugador o usuario se coloque frente a la consola o la Smart TV que incorpora un sistema de detección, para que se pueda dar la interacción entre el sistema y el jugador o usuario.

En este trabajo se usan los acelerómetros como los sensores de movimiento que permitan la detección del mismo para su uso en diferentes aplicaciones y a diferencia de la detección de movimiento por medio de imágenes, se enfatiza la movilidad que puede tener el operador, así como la gran portabilidad al lograr la miniaturización ya que el operador puede moverse libremente sin necesidad de estar frente a una cámara, como en el caso del Kinect.

3. DIAGRAMA A BLOQUES

En la Figura 1 se muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto. Como elemento sensor de movimiento, se utiliza un acelerómetro de 3 ejes. Como etapa de adquisición de datos, se utiliza la plataforma NI ELVIS II de National Instruments, específicamente tres canales (para cada eje del acelerómetro) de la DAQ incluida y para alimentar el acelerómetro. Las señales adquiridas se procesan en una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW, la cual controla la adquisición de los datos y el despliegue de resultados en la computadora.

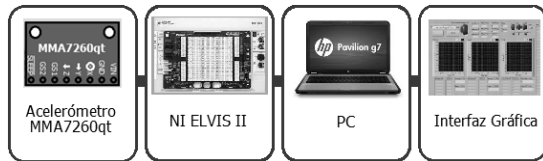


Figura 1. Diagrama a bloques de sistema propuesto.

En las secciones subsecuentes se detalla cada uno de los elementos del sistema propuesto.

4. ACELERÓMETRO

Se utiliza el acelerómetro MMA7260QT de Freescale para realizar las mediciones de movimiento correspondientes [1]. Este sensor es de tipo capacitivo, donde la capacitancia del elemento sensor interno varía en función de la aceleración aplicada, consiste en un arreglo mecánico, de tal forma que al exponerse a una fuerza en una dirección se produce un cambio en la capacitancia interna y a la salida entrega un nivel de voltaje referenciado a la alimentación del circuito.

A este acelerómetro se le puede configurar el nivel de sensibilidad usando dos pines, llamados g-select1 y g-select2 [3] [5]. Mediante su configuración, es posible elegir entre 4 niveles de sensibilidad distintos (800mV/g, 600mV/g, 300mV/g, 200mV/g); esto es muy útil ya que dependiendo de nuestra aplicación final, se puede aumentar la sensibilidad para resultados más precisos. Dada la sensibilidad que requiere esta aplicación, se utiliza la configuración estándar de 800mV/g.

El voltaje en reposo del acelerómetro es en corriente directa (CD) y es directamente proporcional a la posición inicial de cada eje, que también es proporcional al ángulo medido con respecto a la horizontal de referencia (poniendo la base del acelerómetro paralela al piso, con el lado donde se encuentran los componentes viendo hacia arriba).

NI ELVIS II

El ELVIS II de National Instruments [2] es una plataforma diseñada para la adquisición y manipulación de señales a través del software LabVIEW que permite la interacción de dispositivos y señales tanto analógicos como digitales con la computadora mediante puertos de entrada/salida. Cuenta además con una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) con convertidores analógico-digital (ADC) y digital-analógico (DAC) con una resolución máxima de 16 bits que pueden operar de -10 a 10 V.

Adquisición de datos

En este caso, la DAQ de la plataforma NI ELVIS II se configura a una resolución de 16 bits por canal y un CMRR de 90 dB, se toman 100 muestras por canal a 10 KHz. Los canales utilizados son A_0 para el eje X, A_1 para el eje Y, y A_2 para el eje Z. Las muestras tomadas se guardan en una pequeña base de datos para su procesamiento.

Interfaz gráfica

En esta sección se describe la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW versión 8.6 [1].

Procesamiento de la señal

Se comparan las muestras adquiridas de un canal (designadas como muestras dependientes) con las muestras de otro canal (muestras independientes).

La comparación se realiza de la siguiente manera: muestras de eje Y contra muestras de eje Z, muestras de eje X contra muestras de eje Z, muestras de eje X contra muestras de eje Y. Como resultado de cada comparación, se genera una recta con una inclinación particular.

Se utiliza la regresión lineal para obtener la pendiente de cada recta generada, y cada pendiente obtenida se almacena en una base de datos para su análisis posterior.

Se toman 20 grupos de muestras para cada canal, por lo que se generan 20 pendientes por cada comparación y se promedia para obtener una pendiente promedio para cada comparación.

Despliegue de los resultados

Los resultados se grafican de la siguiente manera: valores de eje Y sobre valores de eje Z, valores de eje X sobre valores de eje Z y valores de eje X sobre valores de eje Y. También se despliega el promedio de las pendientes encontradas. El funcionamiento de la interfaz gráfica descrita en las sub secciones previas se muestra en la figura 2.

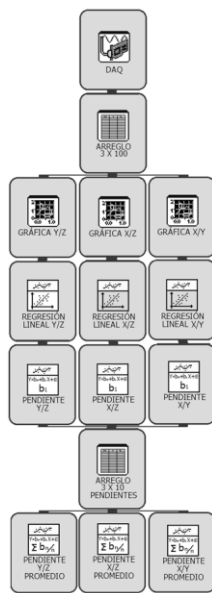


Figura 2. Diagrama a bloques de interfaz gráfica.

5. CARACTERIZACIÓN

Para el estudio y caracterización de los acelerómetros se utiliza un armazón de 3 grados de libertad con graduación angular y el sistema descrito en la sección 2. En la figura 3 se muestra la base de prueba de 3 grados de libertad utilizada.

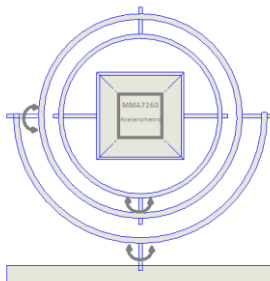


Figura 3. Mecanismo de 3 grados de libertad utilizada para la caracterización del acelerómetro.

Caracterización del acelerómetro.

El acelerómetro entrega un valor de voltaje para cada inclinación, se estabiliza la salida y permanece en ese valor hasta que nuevamente se mueve de ese estado de inclinación a otra, donde a su salida tendrá otro valor de voltaje, por lo que se logra tener lecturas muy precisas y repetitivas, lo que facilita su caracterización.

Se realizan lecturas del acelerómetro cada 10 grados, desde -60 a 60 grados para cada eje, de inicio se toma la lectura con el acelerómetro puesto en la base de pruebas en forma horizontal, y posteriormente se inclina en dirección de las manecillas del reloj y en sentido contrario, se registra la lectura cada 10 grados de la salida del acelerómetro, para cada eje.

Resultados de la caracterización del acelerómetro.

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas descritas anteriormente, en las cuales se observa la factibilidad de poder usar los acelerómetros para discernir los movimientos en los diferentes ejes. Se observa que hay cambios sensibles al cambiar la inclinación de los mismos.

En los resultados mostrados en la Figura 4, se toma como referencia a la horizontal (0 grados de inclinación), denominada 0*. Se observa como el acelerómetro se comporta de manera casi lineal, lo cual permite que se pueda ajustar su comportamiento con un nivel de error mediante una recta a través de la regresión lineal.

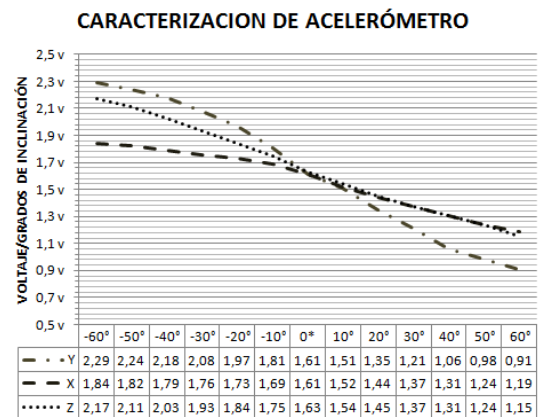


Figura 4. Curvas características y mediciones obtenidas.

Regresión Lineal

La regresión lineal simple [7] o ajuste lineal simple es un método matemático ampliamente usado para modelar la relación entre una variable dependiente Y, una variable independiente X un término aleatorio ε con una línea recta. Este modelo se puede representar como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon,$$

En esta expresión estamos admitiendo que todos los factores o causas que influyen en la variable respuesta Y pueden dividirse en tres grupos: el primero contiene la condición inicial β_0 (también llamada intercepción), el segundo una variable explicativa $\beta_1 X$ (siendo β_1 la pendiente de la recta generada) y el término ε incluye un conjunto amplio de factores no controlados que englobaremos bajo el nombre de perturbación o error aleatorio, que provoca que la dependencia entre las variables dependiente e independiente no sea perfecta, sino que esté sujeta a incertidumbre.

Caracterización del movimiento de cabeza

Debido a que el acelerómetro incorpora tres ejes de medición, se logra obtener mediciones de movimientos en el espacio tridimensional. Esto es significativo ya que debido a este comportamiento particular se logra caracterizar también algunos movimientos de la cabeza, específicamente el movimiento de negación (NO), el de afirmación (SI) y un tercer movimiento denominado indecisión (TALVEZ), los cuales se muestran en la figura 5.



Figura No 5 Izquierda: NO, Centro: SI, Derecha: TAL VEZ.

Para esto, se utiliza una diadema tipo “headset” o audífonos donde se monta el acelerómetro para utilizarse como referencia en una posición inicial como se muestra en la figura 6.

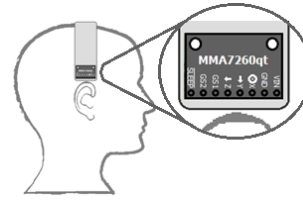


Figura No 6 Posición inicial del acelerómetro.

Se adquiere la señal del voltaje de cada eje del acelerómetro al momento de realizar el movimiento de negación, afirmación e indecisión con los parámetros descritos en la sección 2.2. Los resultados obtenidos se graficaron un eje con respecto a otro (voltaje en eje Y sobre voltaje en eje Z, voltaje en eje X sobre voltaje en eje Z, y voltaje en eje X sobre eje Y).

Resultados de la caracterización del movimiento de cabeza

Comparando estos resultados se puede discernir que existe un patrón para cada uno de los movimientos de cabeza, al obtener la pendiente de cada recta de comparación.

Como caso demostrativo, se tiene la figura 7 que muestra las rectas comparativas del eje X y el eje Z, para dos movimientos: el de NEGACIÓN y el de AFIRMACIÓN:



Figura 7. (a) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de NEGACIÓN; Pendiente de recta comparativa: -0.81730. (b) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de AFIRMACIÓN; Pendiente de recta comparativa: 3.26955. Se muestra la diferencia entre las pendientes obtenidas.

A continuación se muestran las rectas características:

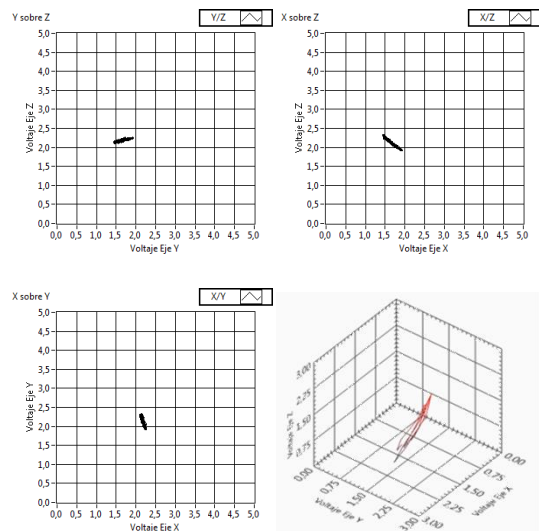


Figura No 8. Caracterización del movimiento NO

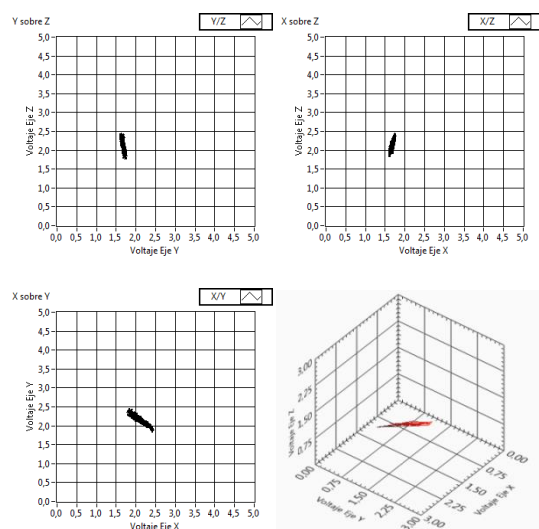


Figura No 9. Caracterización del movimiento SI

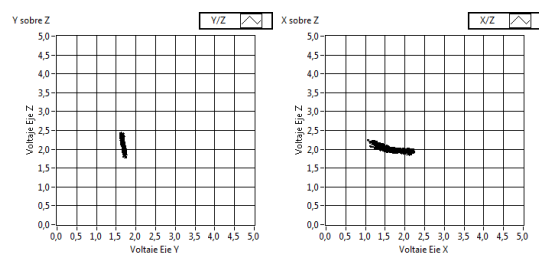


Figura No 10. Caracterización del movimiento TALVEZ

Las Figuras 8,9 y 10 muestran los resultados de las mediciones efectuadas, comparando el eje Y con el eje Z, el eje X con el eje Z, y el eje X, con el eje Y. También se compara el valor de los tres ejes entre ellos mismos. Se observa cómo en diferentes posiciones iniciales se conserva la pendiente característica de los tres movimientos (SI, NO, TALVEZ), se observa que existe un error al comparar varios movimientos del mismo tipo, producido por factores externos como la velocidad de movimiento, un pequeño cambio en la orientación de la cabeza y los producidos por las etapas de adquisición de datos. Se pretende más adelante, utilizar la correlación entre varias rectas obtenidas del mismo movimiento para determinar la relación entre si y caracterizar también de esa forma el movimiento de cabeza.

Se observa como para condiciones de reposo el comportamiento del acelerómetro es casi lineal en voltaje y sirve de marco de referencia para estimar la posición del mismo. Al acoplar el acelerómetro a una diadema, se puede estimar la posición de la cabeza del usuario de dicha diadema. Además, al usar regresión lineal, se puede discernir qué movimiento tiene la cabeza al comparar los valores de voltaje de los tres ejes entre sí, ya que la pendiente generada es característica para cada movimiento considerado. Por lo que es posible utilizar el acelerómetro para este fin.

Debido a que la pendiente de cada recta de comparación es característica, considerando el error ($\pm 10\%$), se puede discernir en futuros movimientos de cabeza qué movimiento se hizo, al comparar las pendientes de comparación generadas del nuevo movimiento, con las pendientes características obtenidas en esta investigación.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La salida del acelerómetro es casi lineal y se puede caracterizar inclusive en grados para cada eje. Aunque el acelerómetro mide aceleración, también es útil para detectar movimiento. Es por eso que se puede lograr la caracterización y detección del movimiento de la cabeza utilizando un acelerómetro de 3 grados de libertad, implementándose a una diadema.

El método utilizado para caracterizar el movimiento de cabeza es el de regresión lineal, que considera un margen de error. Debido al comportamiento del acelerómetro, vale la pena utilizar también el método de regresión cuadrática o de orden superior para disminuir el error.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación de los alumnos: Héctor Manuel Peralta Suchilt del Instituto Tecnológico de Morelia, Saira Lucero Polanco Venegas de la Universidad Autónoma de Nayarit y Luis Ramón Sánchez Villela del Instituto Tecnológico de Cd. Juárez, quienes participaron en el desarrollo de este trabajo a través de su estancia por medio del Verano Científico del Programa Delfín 2012.

8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] National Instruments Technical Staff, *LABVIEW: User Manual*, National Instruments, 2003.
- [2] National Instruments Technical Staff, NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite II Series (NI ELVISTM II Series) User Manual, National Instruments, 2011.
- [3] Freescale Semiconductor, “ $\pm 1.5g$ - 6g Three Axis Low-g Micro machined Accelerometer”, MMA7260QT Datasheet, [Revision Marzo 2008].
- [4] Freescale Semiconductor, Appl. Note AN3397, pp. 1-3.
- [5] R.E. Rolon, “ACELERÓMETRO CON MMA7260QT: Aplicaciones en Comunicaciones y Académicas” Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, Sin Fecha.
- [6] A. Drake, “*Kinect hand recognition and tracking.*” Washington University in St. Louis, U.S.A, 2012.
- [7] D. Montoro. “Regresión Lineal Simple” Mayo, 2008 [Online]
Disponible:
<http://www4.ujaen.es/~dmontoro/Metodos/Tema%2009.pdf>
[Accesado Julio 28, 2012]

ANEXO 3

ARTÍCULO EN ELECTRO 2013

DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS DE CABEZA CON EL ACELEROMETRO MMA7260QT MEDIANTE CORRELACIÓN CRUZADA

David Octavio Roa Rico, Isabella Carrete Cortés, Pedro Ayala Muñoz, José Jaime Esqueda Elizondo, Ricardo J. R. Guerra Fraustro

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Calzada Tecnológico 14418, Mesa de Otay, Tijuana, B. C., CP 22390
(664) 979 7500 ext 54333

correo-e: droa.orico@gmail.com, isa_caci@hotmail.com, ayala.pedro@hotmail.com,
jjesqueda@uabc.edu.mx, jguerra@uabc.edu.mx

1. RESUMEN.

Se presenta la medición y detección del movimiento de cabeza usando la plataforma NI ELVIS II de National Instruments y el acelerómetro MMA7260QT de Freescale. Este acelerómetro se utiliza para medir y detectar los movimientos de la cabeza de AFIRMACIÓN, NEGACIÓN e INDECISIÓN. De esta forma, las señales detectadas por el acelerómetro pueden ser usadas posteriormente para controlar dispositivos a manos libres o simplemente registrar los movimientos de la cabeza.

2. INTRODUCCIÓN

De forma intuitiva, el ser humano complementa la comunicación oral con diferentes movimientos de manos y cabeza. A través de los avances en la tecnología se ha logrado obtener mediciones y registros de muchos de esos movimientos, lo que ha valido para desarrollar diferentes tecnologías en campos como la medicina, cinematografía, bioingeniería, inclusive en los videojuegos más avanzados, como el caso del Kinect de Microsoft donde algunos de los algoritmos utilizados pueden reconocer patrones de movimiento [6]. Existen

también productos en el mercado como la Smart TV de Samsung que combinan control por voz, reconocimiento facial y control o navegación por comandos de movimiento de forma similar al Kinect, además de internet. Estos sistemas se basan en la detección del movimiento por imágenes, donde basta con que el jugador o usuario se coloque frente a la consola o la Smart TV que incorpora un sistema de detección, para que se pueda dar la interacción entre el sistema y el jugador o usuario.

En este trabajo se usan los acelerómetros como los sensores de movimiento que permitan la detección del mismo para su uso en diferentes aplicaciones y a diferencia de la detección de movimiento por medio de imágenes (ya que no se necesita estar frente de la cámara o sistema de detección), se enfatiza la movilidad que puede tener el operador, así como la gran portabilidad al lograr la miniaturización ya que el operador puede moverse libremente sin necesidad de estar frente a una cámara, como en el caso del Kinect.

3. MARCO TEORICO

Regresión Lineal

La regresión lineal simple [7] o ajuste lineal simple es un método matemático ampliamente usado para que modelar la relación entre una variable dependiente Y, una variable independiente X un término aleatorio ε con una línea recta. Este modelo se puede representar como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon,$$

En esta expresión estamos admitiendo que todos los factores o causas que influyen en la variable respuesta Y pueden dividirse en tres grupos: el primero contiene la condición inicial β_0 (también llamada intercepción), el segundo una variable explicativa $\beta_1 X$ (siendo β_1 la pendiente de la recta generada) y el término ε incluye un conjunto amplio de factores no controlados que englobaremos bajo el nombre de perturbación o error aleatorio ε , que provoca que la dependencia entre las variables dependiente e independiente no sea perfecta, sino que esté sujeta a incertidumbre.

Correlación Cruzada

En procesamiento de señales, la correlación cruzada es una medida de la similitud de un proceso con respecto a otro proceso diferente desfasado en el tiempo y en función del tiempo de desfasamiento. Su expresión matemática para señales periódicas es la siguiente:

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{p} \int_0^p x(t) y(t + \tau) dt$$

Donde τ es el desplazamiento y p es el periodo de observación

4. DIAGRAMA A BLOQUES

En la Figura 1 se muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto. Como elemento sensor de movimiento, se utiliza un acelerómetro de 3 ejes. Como etapa de adquisición de datos, se utiliza la plataforma NI ELVIS II de National Instruments, específicamente tres canales (para cada eje del acelerómetro) de la DAQ incluida y para alimentar el

acelerómetro. Las señales adquiridas se procesan en una interfaz gráfica desarrollada en Labview, la cual controla la adquisición de los datos y el despliegue de resultados en la computadora.

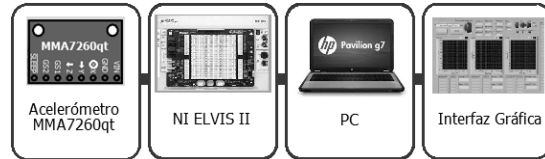


Figura 1. Diagrama a bloques de sistema propuesto.

En las secciones subsecuentes se detalla cada uno de los elementos del sistema propuesto.

5. ACELERÓMETRO

Se utiliza el acelerómetro MMA7260QT de Freescale para realizar las mediciones de movimiento correspondientes [1]. Este sensor es de tipo capacitivo, donde la capacitancia del elemento sensor interno varía en función de la aceleración aplicada), consiste en un arreglo mecánico, de tal forma que al exponerse a una fuerza en una dirección se produce un cambio en la capacitancia interna y a la salida entrega un nivel de voltaje referenciado a la alimentación del circuito.

A este acelerómetro se le puede configurar el nivel de sensibilidad usando dos pines, llamados g-select1 y g-select2 [3] [5]. Mediante su configuración, es posible elegir entre 4 niveles de sensibilidad distintos (800mV/g, 600mV/g, 300mV/g, 200mV/g); esto es muy útil ya que dependiendo de nuestra aplicación final, se puede aumentar la sensibilidad para resultados más precisos. Dada la sensibilidad que requiere esta aplicación, se utiliza la configuración estándar de 800mV/g.

El voltaje en reposo del acelerómetro es en corriente directa (CD) y es directamente proporcional a la posición inicial de cada eje, que también es proporcional al ángulo medido con respecto a la horizontal de referencia (poniendo la base del acelerómetro paralela al piso, con el lado donde se encuentran los componentes viendo hacia arriba).

NI ELVIS II

El ELVIS II de National Instruments [2] es una plataforma diseñada para la adquisición y manipulación de señales a través del software LabVIEW que permite la interacción de dispositivos y señales tanto analógicos como digitales con la computadora mediante puertos de entrada/salida tanto analógicos como digitales. Cuenta además con una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) con convertidores analógico-digital (ADC) y digital-analógico (DAC) con una resolución máxima de 16 bits que pueden operar de -10 a 10 V.

Adquisición de datos

En este caso, la DAQ de la plataforma NI ELVIS II se configura a una resolución de 16 bits por canal y un CMRR de 90 dB, se toman 100 muestras por canal a 10 KHz. Los canales utilizados son A_0 para el eje X, A_1 para el eje Y, y A_2 para el eje Z. Las muestras tomadas se guardan en una pequeña base de datos para su procesamiento

INTERFAZ GRÁFICA

En esta sección se describe la interfaz gráfica desarrollada en labview versión 8.6 [1].

Procesamiento de la señal

Se comparan las muestras adquiridas de un canal (designadas como muestras dependientes) con las muestras de otro canal (muestras independientes).

La comparación se realiza de la siguiente manera: muestras de eje Y contra muestras de eje Z, muestras de eje X contra muestras de eje Z, muestras de eje X contra muestras de eje Y. Como resultado de cada comparación, se genera una recta con una inclinación particular.

Se utiliza la regresión lineal para obtener la pendiente de cada recta generada, de tal forma que se generan tres pendientes, las cuales se consideran como un conjunto específico.

Se correlaciona ese conjunto de tres pendientes con otros conjuntos previamente almacenados referentes a los movimientos de AFIRMACIÓN, NEGACIÓN e INDECISIÓN, con lo que se puede discernir qué tipo de movimiento se realizó.

Despliegue de los resultados

Los resultados se grafican de la siguiente manera: valores de eje Y sobre valores de eje Z, valores de eje X sobre valores de eje Z y valores de eje X sobre valores de eje Y. También se despliega el conjunto de pendientes analizadas.

6. CARACTERIZACIÓN

Para el estudio y caracterización de los acelerómetros se utiliza un armazón de 3 grados de libertad con graduación angular y el sistema descrito en la sección 2. En la figura 2 se muestra la base de prueba de 3 grados de libertad utilizada.

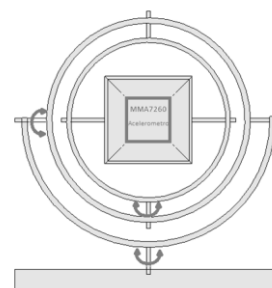


Figura 2. Mecanismo de 3 grados de libertad utilizada para la caracterización del acelerómetro.

Caracterización del acelerómetro.

El acelerómetro entrega un valor de voltaje para cada inclinación, se estabiliza la salida y permanece en ese valor hasta que nuevamente se mueve de ese estado de inclinación a otra, donde a su salida tendrá otro valor de voltaje, por lo que se logra tener lecturas muy precisas y repetitivas, lo que facilita su caracterización.

Se realizan lecturas del acelerómetro cada 10 grados, desde -60 a 60 grados para cada eje, de inicio se toma la lectura con el acelerómetro puesto en la base de pruebas en forma horizontal, y posteriormente se inclina en dirección de las manecillas del reloj y en sentido contrario, se registra la lectura cada 10 grados de la salida del acelerómetro, para cada eje.

Resultados de la caracterización del acelerómetro.

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas descritas anteriormente, en las cuales se observa la factibilidad de poder usar los acelerómetros para discernir los movimientos en los

diferentes ejes. Se observa que hay cambios sensibles al cambiar la inclinación de los mismos.

En los resultados mostrados en la Figura 3, se toma como referencia a la horizontal (0 grados de inclinación), denominada 0*. Se observa como el acelerómetro se comporta de manera casi lineal, lo cual permite que se pueda ajustar su comportamiento con un nivel de error mediante una recta a través de la regresión lineal.

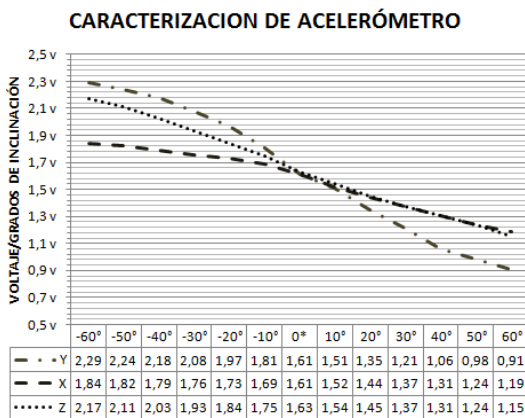


Figura 3. Curvas características y mediciones obtenidas.

Caracterización del movimiento de cabeza

Debido a que el acelerómetro incorpora tres ejes de medición, se logra obtener mediciones de movimientos en el espacio tridimensional. Esto es significativo ya que debido a este comportamiento particular se logra caracterizar también algunos movimientos de la cabeza, específicamente el movimiento de NEGACIÓN (NO), el de AFIRMACIÓN (SI) y un tercer movimiento denominado INDECISIÓN (TALVEZ), los cuales se muestran en la figura 3.



Figura No 4 Izquierda: NO, Centro: SI, Derecha: TAL VEZ.

Para esto, se utiliza una diadema tipo headset o audífonos donde se monta el acelerómetro para utilizarse como referencia en una posición inicial como se muestra en la figura 6.

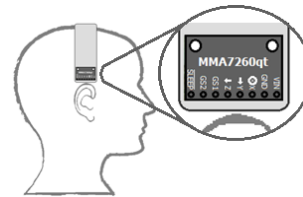


Figura No 5 Posición inicial del acelerómetro.

Se adquiere la señal del voltaje de cada eje del acelerómetro al momento de realizar el movimiento de negación, afirmación e indecisión con los parámetros descritos en la sección 2.2. Los resultados obtenidos se graficaron un eje con respecto a otro (voltaje en eje Y sobre voltaje en eje Z, voltaje en eje X sobre voltaje en eje Z, y voltaje en eje X sobre eje Y).

Resultados de la caracterización del movimiento de cabeza

Comparando estos resultados se puede discernir que existe un patrón para cada uno de los movimientos de cabeza, al obtener la pendiente de cada recta de comparación.

Como caso demostrativo, se tiene la figura 6 que muestra las rectas comparativas del eje X y el eje Z, para dos movimientos: el de NEGACIÓN y el de AFIRMACIÓN:

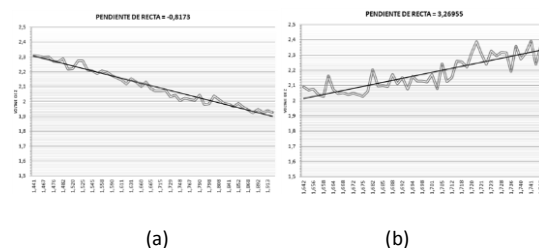


Figura 6. (a) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de NEGACIÓN; Pendiente de recta comparativa: -0.81730. (b) Recta comparativa de eje X y eje Z para movimiento de AFIRMACIÓN; Pendiente

de recta comparativa: 3.26955. Se muestra la diferencia entre las pendientes obtenidas.

Por lo que al comparar un conjunto de pendientes con los conjuntos de pendientes previamente almacenados, se puede discernir el movimiento efectuado. Para esta comparación se utilizó la Correlación Cruzada.

Este resultado se puede observar en la figura 7:

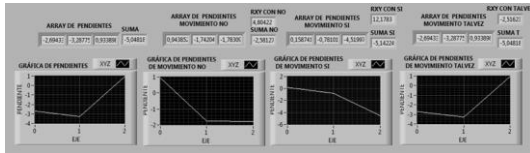


Figura 7. Se observan los conjuntos (arrays) de pendientes de los movimientos de NEGACIÓN, AFIRMACIÓN, e INDECISIÓN. Se puede apreciar que cada uno de estos conjuntos de pendientes son distintos entre sí. Además, del lado izquierdo se presenta el conjunto de pendientes a comparar, el cual al correlacionar con los demás conjuntos se obtiene que la mayor similitud existe con respecto al conjunto de INDECISIÓN, por lo que en este caso el movimiento detectado es el de INDECISIÓN, lo que se puede apreciar a simple vista.

A continuación se muestran las rectas características encontradas para cada movimiento:

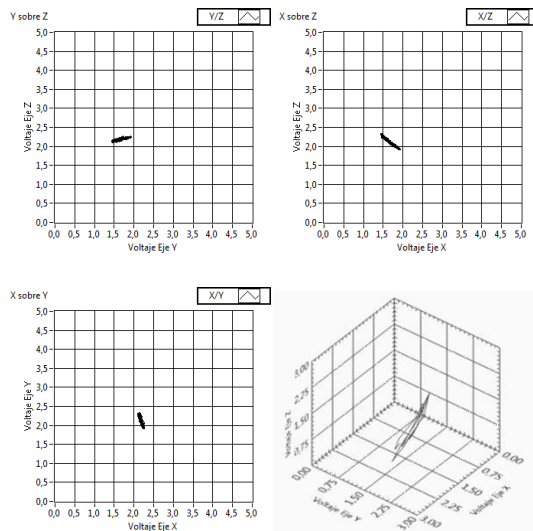


Figura No 8. Caracterización del movimiento NO

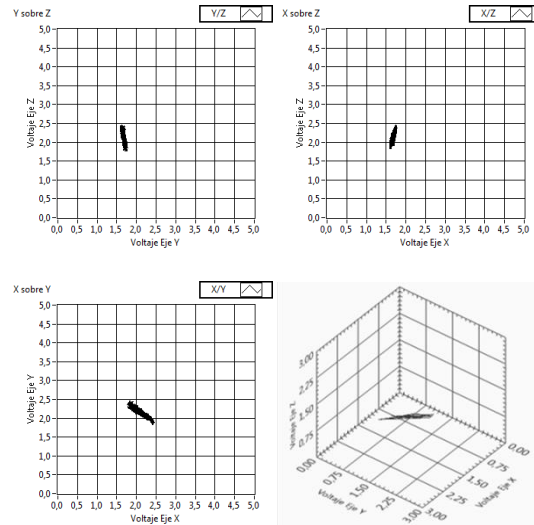


Figura No 9. Caracterización del movimiento SI

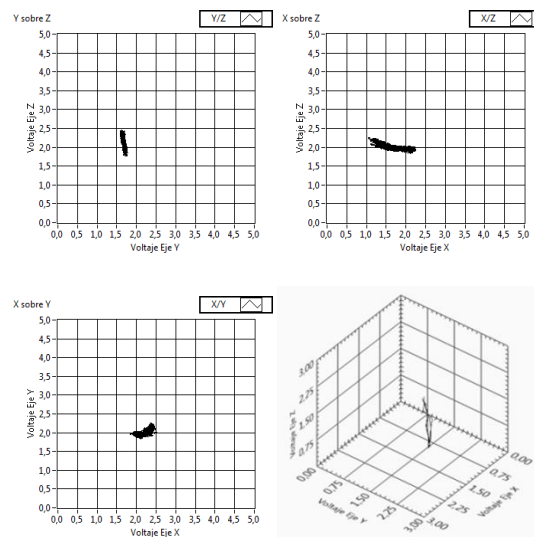


Figura No 10. Caracterización del movimiento TAL VEZ

Las Figuras 8,9 y 10 muestran los resultados de las mediciones efectuadas, comparando el eje Y con el eje Z, el eje X con el eje Z, y el eje X, con el eje Y. Debido a que con la correlación cruzada se puede identificar el grado de similitud entre dos pendientes, lo mismo ocurre para comparar conjuntos de pendientes. Por lo tanto, al identificar las pendientes características de cada movimiento esperado, se puede discernir el movimiento hecho al comparar las pendientes generadas con las características de cada movimiento.

7. DESARROLLO DE PLATAFORMA DE PRUEBAS

Se realizó el diseño y construcción de una cabeza robótica que imite los movimientos de la cabeza para expresar afirmación, negación y duda. Esto con el fin de realizar pruebas de detección de movimiento en diferentes espacios controlados. Para lograr lo anterior, se hizo un programa en LabVIEW para controlar la cabeza, utilizando como DAQ un Arduino UNO.

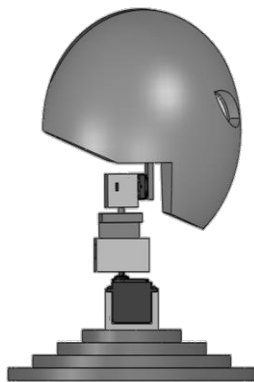


Figura 11. Cabeza Robot. Diseñada con tres ejes de libertad que mimeticen los movimientos básicos de la cabeza humana.

8. CONCLUSIONES

La salida del acelerómetro es casi lineal y se puede caracterizar inclusive en grados para cada eje. Aunque el acelerómetro mide aceleración, también

es útil para detectar movimiento. Es por eso que se puede lograr la caracterización y detección del movimiento de la cabeza utilizando un acelerómetro de 3 grados de libertad, implementándose a una diadema.

El método utilizado para discernir el movimiento de cabeza es el de regresión lineal y correlación cruzada, al comparar las pendientes obtenidas. Nuestra gama de movimientos a detectar puede ser expandida si analizamos todo el conjunto de movimientos que puede realizar el cuerpo humano.

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] NI “LABVIEW User manual”, Austin, Texas, National Instruments Corporation, 2003.
- [2] NI “NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite II Series (NI ELVISTM II Series) User Manual”, Austin, Texas, National Instruments Corporation, 2011.
- [3] FS, “MMA7260QT Datasheet, $\pm 1.5g$ - $6g$ Three Axis Low-g Micro machined Accelerometer”, Freescale Semiconductor, Technical Data, 2008.
- [4] Kurt Seifert, Oscar Camacho, “Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers”, Freescale Semiconductor, Application Note, 2007.
- [5] R.E. Rolon, “ACELERÓMETRO CON MMA7260QT, Aplicaciones en Comunicaciones y Académicas”, Paraná, Argentina, Universidad Tecnológica Nacional.
- [6] A. Drake, “Kinect hand recognition and tracking”, St Louis, Washington, University in St Louis, School of engineer and applied science, 2012.
- [7] Delia. Montoro. “Apuntes de Métodos estadísticos en la ingeniería”, capítulo 9: Regresión Lineal Simple, Universidad de Jaen, 2008

REFERENCIAS

- [1] W.-Z. Wang, G. Yan-Wei y H. Bang-Yu, *Analysis of Filtering Methods for 3D Acceleration Signals in Body Sensor Network*, Suzhou: IEEE, Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), 2011, pp. 263 - 266.
- [2] J. Chrison Joiakim y S. Kumar, *DETECTION OF POSTURE AND MOTION BY ACCELEROMETER SENSORS*, Kanyakumari: Electronics Computer Technology (ICECT), IEEE, 2011.
- [3] J.-Z. Liu y Z. Zhao, *Head Movement Recognition Based on LK Algorithm and Gentleboost*, Gyeongju: Networked Computing and Advanced Information Management (NCM), IEEE, 2011.
- [4] S. T. Nguyen, H. T. Nguyen, P. B. Taylor y J. Middleton, *Improved Head Direction Command Classification using an Optimised Bayesian Neural Network*, New York: EMBS Annual International Conference, IEEE, 2006.
- [5] Z. Yan, L. Yan, Q. Zheng y Y. Li, «Attitude Measurement of Driver's Head Based on Accelerometer and Magnetoresistive Sensor,» IEEE, BEIJING, 1991.
- [6] G. C. Fan, Filtriani y G. Wooi-Bon, «GENERIC MOTION GESTURE DETECTION SCHEME USING ONLY A TRIAXIAL ACCELEROMETER,» IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics, Singapore, 2011.
- [7] K. Seifert y O. Camacho, «Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers,» Freescale Semiconductor, Inc, Arizona, 2007.
- [8] J. Garcia Lopez, *Procesamiento Digital de Señales*, Tijuana: IPN, 1999.
- [9] J. Moron, *SEÑALES Y SISTEMAS*, Maracaibo, Venezuela: Biblioteca Universidad Rafael Urdaneta, 2011.
- [10] L. E. Avendaño, *FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACION*, PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2008.
- [11] M. Arenas Mas, «<http://bib.us.es/>,» 2008. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf>. [Último acceso: 10 01 2013].

- [12] A. Creus Sole, Instrumentacion Industrial, Mexico: Alfaomega, 2011.
- [13] S. Barba-Romero y J. Pomerol, Decisiones Multicriterio, Fundamentos Teoricos y Utilizacion Practica, Alcala: Universidad de Alcala, 1997.
- [14] D. C. Montgomery y G. C. Runger, Probabilidad y estadistica aplicadas a la ingenieria, Mexico, D.F.: LIMUSA WILEY, 2013.
- [15] M. R. Spiegel y et al., Probabilidad y Estadistica, Mexico, D.F.: Mc Graw Hill, 2013.
- [16] D. K. Linder, «Funciones de correlacion,» de *Introduccion a las señales y los sistemas*, Colombia, Mc Graw Hill, 2002, pp. 779-781.
- [17] G. Box y G. Jenkins, «Some comments on a paper by Chatfield and Prothero and on a review by Kendall,» *Journal of the Royal Statical Society, Series A*, pp. 337-352, 1973.
- [18] S. M. Ross, «Coeficiente de correlacion muestral,» de *Introduccion a la estadistica*, España, REVERTE, 2007, pp. 121-129.
- [19] A. N. Hurtado y F. C. Dominguez Salchez, «Analisis de correlacion y regresion,» de *Probabilidad y Estadistica para Ingenieria*, Mexico, D.F., Mc Graw Hill, 2009, pp. 13-15.
- [20] M. Palastanga, D. Field y R. Soames, «ANATOMIA Y MOVIMIENTO HUMANO,» de *Estructura y Funcionamiento*, Baladona, Paidotribo, 2007, p. 406.
- [21] D. A. Neumann, «FUNDAMENTOS DE REHABILITACION FISICA,» de *Cinesiologia del sistema musculoesqueletico*, España, Paidotribo, 2002, p. 5.
- [22] D. A. Neumann, FUNDAMENTOS DE REHABILITACION FISICA, España: Paidotribo, 2002.
- [23] $\pm 1.5g - 6g$ Three Axis Low-g, Texas, Arizona: FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008.
- [24] A. Estuardo, Estadistica y Probabilidades, Chile: Instituto Profesional VIRGINIO GOMEZ, 2012.
- [25] *Digital Accelerometer ADXL345*, ANALOG DEVICES.
- [26] *ITG3200*, California: InvenSense, 2010.

ACERCA DEL AUTOR



David Octavio Roa Rico es Ingeniero en Electrónica, graduado de la Máxima casa de Estudios, La Universidad Autónoma de Baja California, en el año 2009. Laboró en el área técnica de atención a clientes de Nextel de México de 2010 a 2011. Docente de Asignatura

desde el 2012 en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniera de la UABC, impartiendo clases de álgebra, cálculo diferencial, cálculo integral, ecuaciones diferenciales, señales y sistemas y laboratorio de procesamiento digital de señales. Dedicado a formar mejores profesionistas dentro y fuera del aula. Seguro de que la educación es el camino a un futuro mejor.