

# Sistema indicador de exceso de cargas y posturas inadecuadas a nivel dorsal

## Indicator of excess loads and bad postures at dorsal level

Edwin Leonardo Martínez Poveda<sup>1</sup>, Jennifer Yurany Moreno Díaz<sup>2</sup> y Alfredo Espitia Beltrán<sup>3</sup>

### Resumen

Los problemas musculoesqueléticos surgen en niños, jóvenes y adultos como consecuencia de mala postura, diseño inapropiado de maletas y cargas excesivas. El estudio describe el proceso de diseño de un dispositivo indicador de exceso de carga y malas posturas para la prevención del dolor y las patologías causadas por el uso de morrales. Al adherirse a una maleta, el dispositivo identifica su peso y la posición ergonómica ejercida; si la posición no es correcta o el morral supera el límite de peso, el dispositivo genera alertas. Las fases del proyecto incluyeron una descripción de conceptos y patologías, una revisión de las tecnologías existentes, la fabricación de dos modelos físicos (peso y posición) y la caracterización de sensores y respuestas esperadas en los sistemas.

**Palabras clave:** exceso de cargas, mala postura, maletas, patologías musculoesqueléticas.

### Abstract

Musculoskeletal problems develop in children, youngsters and adults as a

consequence of bad posture, inappropriate design of backpacks and excessive loading. This study describes the design process of a device that warns about excessive loads and bad posture for the prevention of pain and pathologies caused by the use of backpacks. Adhered to a backpack, the device identifies its weight and the adopted ergonomic position; if the position is not correct or the bag exceeds the weight limit, the device will generate alerts. The phases of the project include a description of concepts and pathologies, a review of existing technologies, the construction of two physical models (weight and position), and the characterization of sensors and expected responses in the systems.

**Keywords:** excessive loading, bad posture, backpacks, musculoskeletal disorders.

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo electrónico: emartinezp4@ucentral.edu.co.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo electrónico: jmorenod3@ucentral.edu.co.

<sup>3</sup> Docente del Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo electrónico: aespitiab1@ucentral.edu.co.

## 1. Introducción

El uso de maletas inicia en la edad escolar como forma de transportar los útiles. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que el peso de las maletas escolares no supere el 10% del peso del niño, de lo contrario podrían desencadenarse dolencias y lesiones dorsales que resulten en problemas crónicos (Rosero, 2014).

Según Rosero (2014), el factor que condiciona la postura y el dolor lumbar en los niños de 11-12 años de la Escuela Fiscal Mixta Pedro Bouguer de Quito es el uso de maletas con un peso mayor que el permitido por la OMS. Según Panuera (2015), en un estudio realizado en Arequipa (Perú), los estudiantes que utilizaban maletas con ruedas sufrían diferentes patologías a los que usaban maletas tradicionales y se observó una diferencia de dolencias entre sexos. Autores como Morán, Cedeño y Del Pezo (2014) también realizaron estudios sobre factores de dolencias lumbares y hallaron que el peso de las maletas desencadena patologías en los escolares de 8-14 años de edad.

Considerando que la bioingeniería aplica conceptos dirigidos a la medicina con el fin de contribuir al diagnóstico, prevención y tratamiento de diferentes enfermedades, en este estudio se empleó tecnología de este tipo para desarrollar un dispositivo de prevención de problemas a nivel dorsal causados por el uso de maletas escolares.

## 2. Conceptos básicos

La parte del cuerpo más afectada por llevar grandes cargas y tener posturas inadecuadas es la columna vertebral. Según Tomalá

(2015), la columna vertebral está compuesta de 33 vértebras unidas por un gran número de discos intervertebrales. Se extiende desde la base del cráneo hasta el cóccix y su longitud oscila, según la estatura de las personas, alrededor de los 60 cm en mujeres y los 70 cm en hombres. La columna es de gran importancia, ya que brinda flexibilidad de movimientos, soporte y equilibrio. Asimismo, las curvaturas y los discos intervertebrales asisten en la distribución y absorción del esfuerzo de las actividades cotidianas como caminar, correr o saltar.

Las alteraciones de la postura son malformaciones de la columna vertebral que ocasionan modificaciones en las funciones de los órganos, aparatos y sistemas corporales. Para Peralta y Sarmiento (2014), la postura es la posición del cuerpo respecto al espacio que lo rodea. El centro de gravedad es el punto en el que se intersectan todos los planos del cuerpo (figura 1) y varía en hombres, mujeres y niños según el tamaño de sus extremidades y tronco.

Entre las patologías de la columna vertebral originadas por las malas posiciones y el exceso de cargas se encuentra la escoliosis, una curvatura en la columna vertebral observada desde el plano frontal que puede tener forma de S o C. Las curvas de más de 10° son normales, las que tienen entre 20° y 40° se tratan con correctores de postura y las superiores a 40° requieren cirugía. Por su parte, la cifosis o joroba de viuda es una desviación de la columna vertebral que se visualiza sobre el plano sagital; una joroba superior a 40° se genera por posturas incorrectas y sobrecarga. Finalmente, la lordosis es una concavidad posterior exagerada en la zona cervical que produce dolor muscular (Pozo, 2014).



Figura 1. Planos del cuerpo.  
Fuente: elaboración propia.

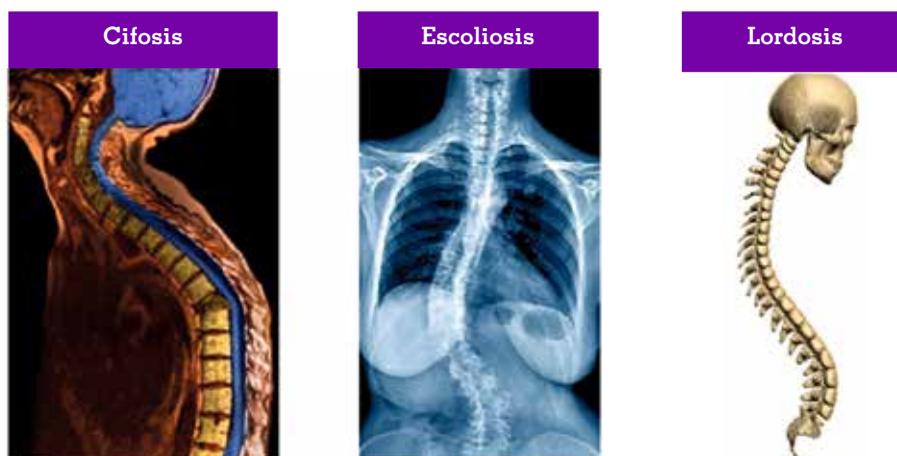


Figura 2. Enfermedades dorsales.  
Fuente: Photo Researchers (2016), Science Photo Library (2016, 2017).

### 3. Estado de la cuestión

En la revisión de la literatura se encontraron seis dispositivos; tres de ellos detectan la posición de la columna y tres registran el peso de las maletas. Dos de los dispositivos que perciben la posición de la columna utilizan acelerómetros y realizan alertas mediante vibradores; uno de ellos genera alertas solo al registrar 3° de diferencia de la posición adecuada (iPosture.com, 2008) y el otro registra las dos curvas principales de la columna para

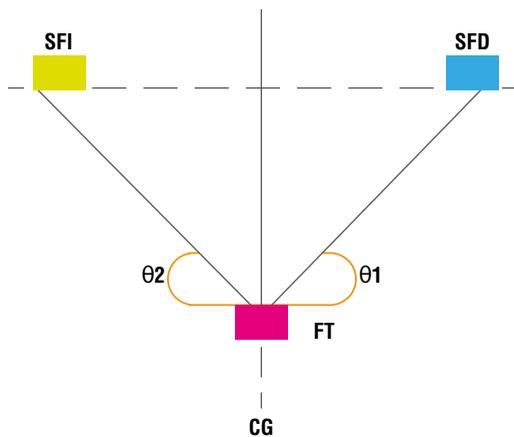
su visualización en tiempo real mediante un aplicativo (TruPosture, 2015). El último dispositivo que identifica la posición cervical es una camiseta inteligente con sensores de flexión que monitorea la espalda en cinco puntos.

Dos de los dispositivos que detectan el peso son maletas; una de ellas cuenta con un GPS para seguir el recorrido del usuario (Redacción Tecnología, 2014) y la otra cuenta con una pantalla LCD que muestra el peso cuando se cierra la cremallera (Redacción Silicon, 2014). El último dispositivo tiene las

dimensiones de un reloj de pulsera y registra el peso máximo que una maleta puede cargar acoplándolo a esta. En la revisión no se encontró ningún dispositivo que registre las variables de peso y postura en un mismo sistema.

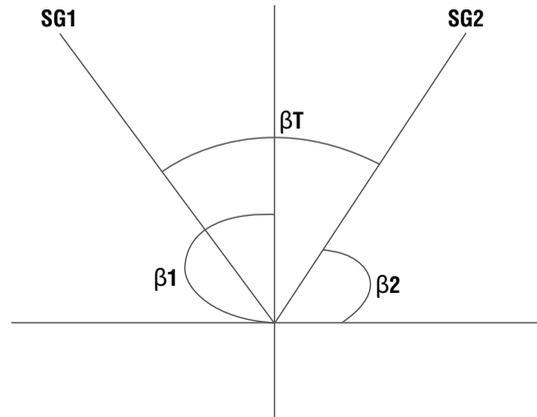
#### 4. Modelos

Para medir el peso que los estudiantes llevan en sus maletas, se planteó un modelo físico como base para realizar pruebas teniendo en cuenta la ubicación de las fuerzas ejercidas sobre los hombros. El esquema de las fuerzas empleadas se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Diagrama de tensión de cuerdas modelo para la medición de peso en la maleta. SFI: sensor de fuerza sobre el hombro izquierdo; SFD: sensor de fuerza sobre el hombro derecho; FT: peso total de la maleta; CG: centro de gravedad;  $\theta_1$  y  $\theta_2$ : ángulos formados por la distancia de las hombreras. Fuente: elaboración propia.

Se analizaron los sensores SFI y SFD ubicados en las hombreras de una maleta para comprobar que el centro de gravedad se encuentra en el mismo punto al tener la misma respuesta en los sensores. La figura 4 muestra el diagrama de ángulos utilizado para detectar las posiciones que adquieren los escolares al cargar sus maletas.



**Figura 4.** Diagrama modelo para la medición de los ángulos de la maleta. SG1 y SG2: sensores para medición de grados de inclinación;  $\beta_1$  y  $\beta_2$ : ángulos formados por los sensores;  $\beta_T$ : ángulo que aumenta si el usuario adquiere una mala postura. Se analizan las respuestas de los sensores y se realiza una diferencia obteniendo como resultado la inclinación en la columna. Fuente: elaboración propia.

#### 5. Prototipo de pruebas

Los modelos físicos se utilizaron como parámetros para la construcción del prototipo de pruebas. El objetivo era construir un solo molde simulador de la columna vertebral que soportara el peso de varios libros y generara movimientos, pero dado que no se encontró un material adecuado, se desarrollaron dos modelos independientes: uno en acero para el peso y otro en acrílico para el movimiento.

En el modelo para medir el peso se utilizaron dos barras verticales (20 y 24 mm de diámetro) y una barra horizontal (20 mm de diámetro). La barra de 20 mm se insertó en la de 24 mm y sirvió para ajustar la altura. La barra horizontal se acopló a la vertical mediante dos pasadores y sobre esta se colocaron los moldes hechos en gel balístico para simular los hombros y posicionar los sensores que midieron el peso (figura 5).



Figura 5. Modelo para medición de peso.  
Fuente: elaboración propia.

Dado que la columna vertebral está constituida de tres partes principales (cervical, torácica, lumbar), en la construcción del modelo para detección de movimiento se diseñaron piezas bidimensionales que al ser unidas rígidamente formaron tres eslabones y sus articulaciones (piezas tridimensionales). El material utilizado fue acrílico transparente de 5 mm de espesor; para los pernos que unían las articulaciones se utilizó un tornillo de 5 mm de diámetro (figura 6).

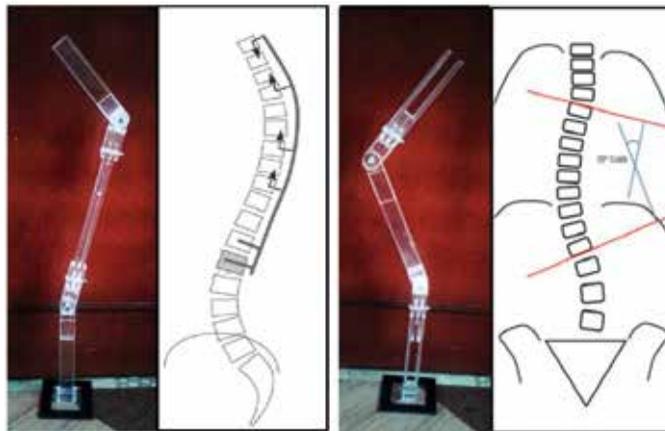


Figura 6. Modelo para detección de movimiento.  
Fuente: elaboración propia.

## 6. Pruebas

Para las pruebas de peso se llevó a cabo una adquisición de señales entre el microcontrolador y la celda de carga, la cual genera cambios en sus resistencias al ser deformada por el peso. Luego se ubicó el sensor sobre el gel balístico y allí se colocó la hombrera de la maleta con ocho pesos diferentes en su interior (figura 7). Con ayuda del programa IAR Embedded Workbench, se registraron diez datos por cada suministro de peso para hallar el valor medio y el error de la respuesta del sistema (tabla 1).



Figura 7. Diseño de pruebas del sistema de peso y movimiento.  
Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Datos de celda de carga

Peso/ patrón (g)	Resultados									
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
458	2391,4	2374,3	2370,9	2370,9	2377,8	2370,9	2360,7	2374,3	2384,6	2367,5
655	2217	2169,1	2179,3	2158,8	2179,3	2179,3	2169,1	2169,1	2158,8	2148,5
829	1922,7	1902,2	1905,6	1898,8	1909	1902,2	1895,4	1909	1912,5	1905,6
1109	1850,9	1833,8	1823,5	1816,7	1816,7	1809,8	1813,2	1809,8	1803	1813,2
1524	1454	1447,2	1440,3	1436,9	1433,5	1430,1	1416,4	1430,1	1423,2	146,4
1829	1252,1	1238,5	1245,3	1241,9	1235	1238,5	1235	1238,5	1231,6	1231,6
2124	1033,2	1033,2	1029,8	1019,5	1019,5	1019,5	1022,9	1016,1	1016,1	1016,1
2635	725,3	715	715	715	715	711,6	711,6	711,6	704,7	708,2

Fuente: elaboración propia.

Para las pruebas de inclinación, se realizó un acople entre el sistema de movimiento y los sensores acelerómetros (figura 7) mediante el programa IAR Embedded Workbench. La respuesta del sistema de inclinación se obtuvo

al ejecutar distintos ángulos en el plano sagital (0-120°) y el plano frontal (40-140°). Los datos hallados en los ejes X, Y y Z del módulo acelerómetro se registran en las tablas 2, 3 y 4, respectivamente.

Tabla 2. Datos del eje X

< Plano sagital	< Plano frontal	Resultados									
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
0°	45°	2754,1	2750,7	2754,1	2747,3	2754,1	2754,1	2750,7	2757,5	2757,5	2750,7
0°	60°	2822,5	2822,5	2826	2822,5	2829,4	2822,5	2826	2822,5	2822,5	2819,1
0°	75°	2880,7	2887,5	2884,1	2884,1	2884,1	2880,7	2884,1	2884,1	2887,5	2884,1
0°	90°	2949,1	2949,1	2949,1	2949,1	2952,5	2949,1	2956	2945,7	2949,1	2949,1
0°	105°	3024,4	3024,4	3027,8	3031,2	3027,8	3027,8	3027,8	3027,8	3031,2	3027,8
0°	120°	3082,6	3086	3082,6	3082,6	3082,6	3082,6	3086	3086	3082,6	3079,1
0°	135°	3123,6	3120,2	3130,4	3123,6	3123,6	3127	3130,4	3123,6	3123,6	3127
20°	45°	2740,4	2740,4	2747,3	2747,3	2743,8	2743,8	2743,8	2737	2737	2740,4
20°	60°	2802	2802	2802	2798,6	2798,6	2795,2	2795,2	2795,2	2802	2798,6
20°	75°	2860,2	2860,2	2863,6	2856,7	2860,2	2856,7	2860,2	2863,6	2860,2	2863,6
20°	90°	2935,4	2932	2928,6	2938,9	2935,4	2932	2925,2	2928,6	2935,4	2928,6
20°	105°	3024,4	3017,5	3017,5	3017,5	3017,5	3017,5	3021	3014,1	3024,4	3024,4
20°	120°	3072,3	3079,1	3072,3	3072,3	3075,7	3072,3	3072,3	3075,7	3072,3	3075,7
20°	135°	3109,9	3120,2	3116,8	3120,2	3116,8	3116,8	3120,2	3120,2	3120,2	3123,6

< Plano sagital	< Plano frontal	Resultados									
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
40°	45°	2750,7	2757,5	2754,1	2757,5	2747,3	2750,7	2757,5	2750,7	2757,5	2754,1
40°	60°	2815,7	2815,7	2815,7	2815,7	2812,3	2812,3	2819,1	2812,3	2812,3	2815,7
40°	75°	2880,7	2880,7	2887,5	2880,7	2884,1	2891	2884,1	2884,1	2884,1	2880,7
40°	90°	2945,7	2949,1	2949,1	2952,5	2949,1	2949,1	2949,1	2942,3	2949,1	2945,7
40°	105°	3014,1	3014,1	3017,5	3007,3	3014,1	317,5	3010,7	3014,1	3017,5	3021
40°	120°	3065,4	3075,7	3075,7	3075,7	3075,7	3075,7	3072,3	3075,7	3072,3	3075,7
40°	135°	3120,2	3116,8	3120,2	3116,8	3116,8	3116,8	3116,8	3109,9	3116,8	3116,8
60°	45°	2747,3	2747,3	2747,3	2747,3	2747,3	2747,3	2743,8	2743,8	2704,4	2747,3
60°	60°	2802	2805,4	2802	2802	2808,8	2802	2802	2802	2802	2802
60°	75°	2867	2870,4	2870,4	2870,4	2873,9	2867	2867	2873,9	2873,9	2873,9
60°	90°	2935,4	2945,7	2932	2932	2932	2938,9	2932	2935,4	2932	2921,7
60°	105°	3017,5	3007,3	3007,3	3010,7	3010,7	3010,7	3003,9	3003,9	3000,4	3010,7
60°	120°	3065,4	3065,4	3065,4	3065,4	3065,4	3065,4	3065,4	3065,4	3062	3065,4
60°	135°	3086	3079,1	3072,3	3082,6	3086	3079,1	3079,1	3082,6	3086	3079,1
80°	45°	2737	2743,8	2743,8	2733,6	2740,4	2737	2740,4	2737	2740,4	2733,6
80°	60°	2795,2	2805,4	2795,2	2798,6	2795,2	2798,6	2798,6	2791,7	2795,2	2798,6
80°	75°	2863,6	2849,9	2856,7	2960,2	2867	2849,9	2856,7	2860,2	2865,7	2860,2
80°	90°	2908,1	2911,5	2904,6	2911,5	2918,3	2911,5	2911,5	2911,5	2914,9	2908,1
80°	105°	2997	2993,6	2990,2	2990,2	2997	2997	2997	2997	2993,6	2976,5
80°	120°	3055,2	3051,8	3051,8	3048,3	3051,8	3051,8	3051,8	3051,8	3058,6	3051,8
80°	135°	3089,4	3099,7	3096,2	3096,2	3099,7	3096,2	3096,2	3099,7	3099,7	3096,2
100°	45°	2726,7	2723,3	2723,3	2730,2	2730,2	2730,2	2726,7	2726,7	2730,2	2733,6
100°	60°	2778,1	2781,5	2781,5	2778,1	2781,5	2774,6	2778,1	2781,5	2774,6	2788,3
100°	75°	2839,6	2836,2	2832,8	2836,2	2836,2	2832,8	2829,4	2832,8	2836,2	2832,8
100°	90°	2901,2	2901,2	2904,6	2897,8	2904,6	2901,2	2901,2	2901,2	2901,2	2901,2
100°	105°	2962,8	2966,2	2969,6	2973,1	2969,6	2973,1	2969,6	2973,1	2973,1	2969,6
100°	120°	3031,2	3024,4	3027,8	3031,2	3034,7	3041,5	3034,7	3034,7	3031,2	3031,2
100°	135°	3086	3089,4	3092,8	3089,4	3082,6	3089,4	3096,2	3092,8	3099,7	3086
120°	45°	2716,5	2716,5	2716,5	2716,5	2713	2716,3	2719,9	2716,5	2719,9	2716,5
120°	60°	2771,2	2767,8	2774,6	2760,9	2778,1	2778,1	2774,6	2771,2	2767,8	2774,6
120°	75°	2832,8	2826	2829,4	2836,2	2832,8	2836,2	2829,4	2839,6	2832,8	2832,8
120°	90°	2894,4	2894,4	2897,8	2891	2894,4	2894,4	2891	2894,4	2894,4	2901,2
120°	105°	2969,6	2966,2	2962,8	2966,2	2959,4	2962,8	2969,6	2969,6	2969,6	2969,6
120°	120°	3031,2	3024,4	3021	3027,8	3024,4	3027,8	3027,8	3027,8	3027,8	3024,4
120°	135°	3086	3086	3092,8	3086	3086	3072,3	3086	3086	3086	3089,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Datos del eje Y

< Plano sagittal	< Plano frontal	Resultados									
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
0°	45°	2945,7	2956	2949,1	2952,5	2952,5	2956	2965	2949,1	2956	2952,5
0°	60°	2949,1	2949,1	2949,1	2952,5	2952,5	2949,1	2956	2945,7	2945,7	2952,5
0°	75°	2949,1	2949,1	2945,7	2949,1	2949,1	2952,5	2949,1	2959,4	2949,1	2945,7
0°	90°	2952,5	2949,1	2945,7	2945,7	2942,3	2949,1	2945,7	2952,5	2945,7	2952,5
0°	105°	2952,5	2959,9	2945,7	2949,1	2949,1	2949,1	2942,3	2949,1	2952,5	2949,1
0°	120°	2945,7	2949,1	2945,7	2945,7	2949,1	2945,7	2949,1	2952,5	2942,3	2949,1
0°	135°	2952,5	2949,1	2942,3	2949,1	2949,1	2949,1	2945,7	2949,1	2949,1	2945,7
20°	45°	2894,4	2897,8	2897,8	2894,4	2901,2	2894,4	2894,4	2894,4	2904,6	2894,4
20°	60°	2877,3	2877,3	2880,7	2880,7	2873,9	2877,3	2880,7	2877,3	2884,1	2884,1
20°	75°	2867	2863,6	2863,6	2867	2867	2863,6	2863,6	2867	2860,2	2867
20°	90°	2853,3	2860,2	2856,7	2856,7	2860,2	2853,3	2853,3	2860,2	2849,9	2856,7
20°	105°	2860,2	2860,2	2860,2	2853,3	2860,2	2856,7	2863,6	2863,6	2856,7	2856,7
20°	120°	2867	2867	2870,4	2863,6	2860,2	2870,4	2870,4	2863,6	2870,4	2870,4
20°	135°	2884,1	2880,7	2880,7	2894,4	2887,5	2880,7	2880,7	2884,1	2880,7	2880,7
40°	45°	2846,5	2843,1	2843,1	2843,1	2843,1	2846,5	2849,9	2836,2	2846,5	2839,6
40°	60°	2812,3	2808,8	2815,7	2808,8	2808,8	2812,3	2808,8	2808,8	2805,4	2812,3
40°	75°	2805,4	2784,9	2788,3	2788,3	2788,3	2784,9	2791,7	2795,2	2791,7	2788,3
40°	90°	2778,1	2774,6	2784,9	2781,5	2778,1	2781,5	2778,1	2788,3	2778,1	2784,9
40°	105°	2802	2784,9	2791,7	2784,9	2784,9	2788,3	2781,5	2788,3	2788,3	2784,9
40°	120°	2795,2	2802	2812,3	2798,6	2805,4	2805,4	2808,8	2808,8	2805,4	2802
40°	135°	2836,2	2862,8	2829,4	2829,4	2832,8	2829,4	2832,8	2836,2	2829,4	2836,2
60°	45°	2798,6	2791,7	2798,6	2795,2	2798,6	2798,6	2798,6	2795,2	2798,6	2798,6
60°	60°	2754,1	2750,7	2757,5	2760,9	2764,4	2757,5	2754,1	2757,5	2757,5	2747,3
60°	75°	2726,7	2730,2	2733,6	2730,2	2730,2	2726,7	2726,7	2726,7	2730,2	2733,6
60°	90°	2723,3	2723,3	2719,9	2716,5	2719,9	2719,9	2723,3	2716,5	2719,9	2716,5
60°	105°	2695,9	2730,2	2730,2	2730,2	2730,2	2730,2	2730,2	2730,2	2733,6	2730,2
60°	120°	2757,5	2747,3	2750,7	2754,1	2754,1	2754,1	2750,7	2754,1	2750,7	2750,7
60°	135°	2771,2	2760,9	2764,4	2764,1	2764,4	2760,9	2764,4	2760,9	2771,2	2764,4
80°	45°	2767,8	2764,4	2767,8	2764,4	2757,5	2767,8	2764,4	2760,9	2767,8	2764,4
80°	60°	2726,7	2723,3	2726,7	2723,3	2726,7	2719,9	2719,9	2726,7	2726,7	2723,3
80°	75°	2702,8	2695,9	2695,9	2695,9	2699,4	2695,9	2695,9	2695,9	2695,9	2695,9
80°	90°	2682,3	2689,1	2682,3	2685,7	2682,3	2685,7	2682,3	2685,7	2682,3	2678,8
80°	105°	2699,4	2692,5	2695,9	2699,4	2695,9	2699,4	2695,9	2699,4	2692,5	2692,5

< Plano sagital	< Plano frontal	Resultados									
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
80°	120°	2723,3	2726,7	2716,5	2726,7	2726,7	2726,7	2719,9	2719,9	2726,7	2719,9
80°	135°	2743,8	2750,7	2750,7	2747,3	2750,7	2747,3	2747,3	2750,7	2750,7	2750,7
100°	45°	2757,5	2764,4	2760,9	2771,2	2767,8	2767,8	2760,9	2764,4	2767,8	2760,9
100°	60°	2719,9	2719,9	2719,9	2719,9	2719,9	2726,7	2719,9	2719,9	2719,9	2723,3
100°	75°	2692,5	2695,9	2699,4	2695,9	2695,9	2695,9	2695,9	2692,5	2695,9	2689,1
100°	90°	2689,1	2689,1	2685,7	2685,7	2682,3	2682,3	2689,1	2683,2	2685,7	2685,7
100°	105°	2692,5	2695,9	2695,5	2699,4	2695,9	2695,9	2695,9	2689,1	2689,1	2692,5
100°	120°	2726,7	2726,7	2723,3	2723,3	2726,7	2730,2	2726,7	2726,7	2723,3	2726,7
100°	135°	2771,2	2771,2	2774,6	2771,2	2764,4	2774,6	2778,1	2771,2	2771,2	2774,6
120°	45°	2781,5	2778,1	2784,9	2778,1	2788,3	2784,9	2781,5	2781,5	2784,9	2788,3
120°	60°	2743,8	2754,1	2747,3	2743,8	2743,8	2747,3	2747,3	2747,3	2747,3	2743,8
120°	75°	2723,3	2726,7	2730,2	2726,7	2726,7	2723,3	2726,7	2730,2	2730,2	2726,7
120°	90°	2723,3	2716,5	2719,9	2723,3	2716,5	2716,5	2716,5	2719,9	2719,9	2719,9
120°	105°	2737	2726,7	2733,6	2733,6	2733,6	2730,2	2737	2733,6	2733,6	2733,6
120°	120°	2757,5	2754,1	2760,9	2757,5	2760,9	2750,7	2757,5	2764,4	2757,5	2757,5
120°	135°	2798,6	2798,6	2802	2805,4	2805,4	2805,4	2798,6	2798,6	2798,6	2805,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Datos del eje Z

< Plano sagital	< Plano frontal	Resultados									
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
0°	45°	2990,2	2990,2	2935,4	2997	2986,8	3021	3024,4	3021	3027,8	3027,8
0°	60°	3062	3065,4	3058,6	3065,4	3062	3065,4	3062	3062	3062	3065,4
0°	75°	3079,1	3075,7	3072,3	3075,7	3075,7	3082,6	3075,7	3079,1	3079,1	3079,1
0°	90°	3075,7	3079,1	3079,1	3079,1	3072,3	3079,1	3075,7	3079,1	3075,7	3079,1
0°	105°	3058,6	3051,8	3051,8	3055,2	3051,8	3051,8	3055,2	3055,2	3055,2	3055,2
0°	120°	3017,5	3014,1	3017,5	3017,5	3017,5	3021	3017,5	3021	3017,5	3021
0°	135°	2969,6	2969,6	2962,8	2962,8	2969,6	2966,2	2966,2	2969,6	2969,6	2969,6
20°	45°	3007,3	3010,7	3014,1	3003,9	3007,3	3007,3	3010,7	3007,3	3007,3	3010,7
20°	60°	3038,1	3034,7	3034,7	3038,1	3044,9	3041,5	3038,1	3044,9	3038,1	3038,1
20°	75°	3055,2	3058,6	3058,6	3062	3058,6	3056,4	3062	3062	3058,6	3058,6
20°	90°	3065,4	3058,6	3062	3062	3065,4	3058,6	3065,4	3068,9	3062	3065,4
20°	105°	3041,5	3038,1	3038,1	3038,1	3044,9	3044,9	3034,7	3038,1	3041,5	3041,5

Continúa...

... viene

< Plano sagital	< Plano frontal	Resultados									
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10
20°	120°	3003,1	3007,3	3007,3	3007,3	3010,7	3007,3	3007,3	3007,3	3007,3	3010,7
20°	135°	2956	2962,8	2962,8	2952,5	2962,8	2962,8	2959,4	2962,8	2962,8	2959,4
40°	45°	2993,6	2990,2	2997	2997	2997	2993,6	2993,6	2997	2993,6	2993,6
40°	60°	3010,7	3017,5	3014,1	3024,4	3017,5	3010,7	3017,5	3010,7	3027,8	3017,5
40°	75°	3027,8	3027,8	3027,8	3024,4	3024,4	3027,8	3010,7	3021	3021	3024,4
40°	90°	3024,4	3017,5	3021	3017,5	3017,5	3021	3017,5	3021	3017,5	3017,5
40°	105°	2986,8	3000,4	3000,4	3000,4	3003,9	2993,6	2997	3000,4	2997	2997
40°	120°	2969,6	2969,6	2962,8	2966,2	2966,2	2969,6	2962,8	2962,8	2966,2	2966,2
40°	135°	2921,7	2928,6	2925,2	2935,4	2932	2921,7	2932	2928,6	2928,6	2935,4
60°	45°	2942,3	2956	2956	2952,5	2949,1	2952,5	2952,5	2956	2945,7	2945,7
60°	60°	2969,6	2959,4	2959,4	2959,4	2962,8	2976,5	2962,8	2962,8	2959,4	2959,4
60°	75°	2956	2959,4	2959,4	2969,6	2969,6	2966,2	2962,8	2956	2959,4	2979,9
60°	90°	2966,2	2952,5	2952,5	2952,5	2949,1	2952,5	2956	2956	2956	2956
60°	105°	2932	2932	2935,4	2932	2942,3	2938,9	2928,6	2935,4	2935,4	2935,4
60°	120°	2911,5	2908,1	2901,2	2911,5	2901,2	2901,2	2914,9	2914,9	2904,6	2911,5
60°	135°	2891	2894,4	2904,6	2887,5	2901,2	2908,1	2897,8	2901,2	2901,2	2901,2
80°	45°	2887,5	2894,4	2894,4	2897,8	2894,4	2891	2894,4	2891	2894,4	2887,5
80°	60°	2887,5	2877,3	2884,1	2897,8	2887,5	2891	2887,5	2884,1	2887,5	2884,1
80°	75°	2884,1	2880,7	2884,1	2891	2873,9	2887,5	2877,3	2877,3	2887,5	2877,3
80°	90°	2867	2867	2870,4	2860,2	2873,9	2873,9	2873,9	2873,9	2870,4	2863,6
80°	105°	2849,9	2853,3	2860,2	2856,7	2846,5	2843,1	2853,3	2873,9	2856,7	2849,9
80°	120°	2836,2	2832,8	2843,1	2843,1	2839,6	2836,2	2839,6	2846,5	2839,6	2839,6
80°	135°	2819,1	2815,7	2826	2836,2	2826	2819,1	2829,4	2822,5	2819,1	2822,5
100°	45°	2822,5	2822,5	2819,1	2819,1	2822,5	2815,7	2815,7	2819,1	2819,1	2822,5
100°	60°	2802	2798,6	2795,2	2805,4	2802	2798,6	2795,2	2798,6	2795,2	2798,6
100°	75°	2778,1	2778,1	2774,6	2778,1	2778,1	2771,2	2774,6	2774,6	2771,2	2778,1
100°	90°	2764,4	2760,9	2757,5	2760,9	2757,5	2757,7	2760,9	2771,2	2760,9	2764,4
100°	105°	2747,3	2747,3	2754,1	2750,7	2747,3	2754,1	2743,8	2754,1	2750,7	2743,8
100°	120°	2740,4	2750,7	2743,8	2740,4	2740,4	2747,3	2740,4	2743,8	2743,8	2737
100°	135°	2757,5	2740,4	2737	2737	2740,4	2743,8	2733,6	2743,8	2740,4	2740,4
120°	45°	2764,4	2764,4	2760,9	2764,4	2764,4	2757,5	2764,4	2767,8	2760,9	2764,4
120°	60°	2723,3	2723,3	2726,7	2723,3	2723,3	2730,2	2719,9	2726,7	2730,2	2723,3
120°	75°	2692,5	2699,4	2699,4	2702,8	2685,7	2699,4	2702,8	2692,5	2699,4	2692,5
120°	90°	2682,3	2685,7	2678,8	2678,8	2685,7	2682,3	2678,8	2678,8	2678,8	2678,8
120°	105°	2668,6	2665,2	2678,8	2668,6	2675,4	2672	2668,6	2668,6	2672	2672
120°	120°	2672	2668,6	2672	2668,6	2665,2	2668,6	2672	2668,6	2675,4	2672
120°	135°	2682,3	2682,3	2685,7	2685,7	2685,7	2685,7	2685,7	2685,7	2685,7	2689,1

Fuente: elaboración propia.

## 7. Resultados

Después de realizar la prueba de peso se obtuvo el comportamiento que muestra la figura 8.

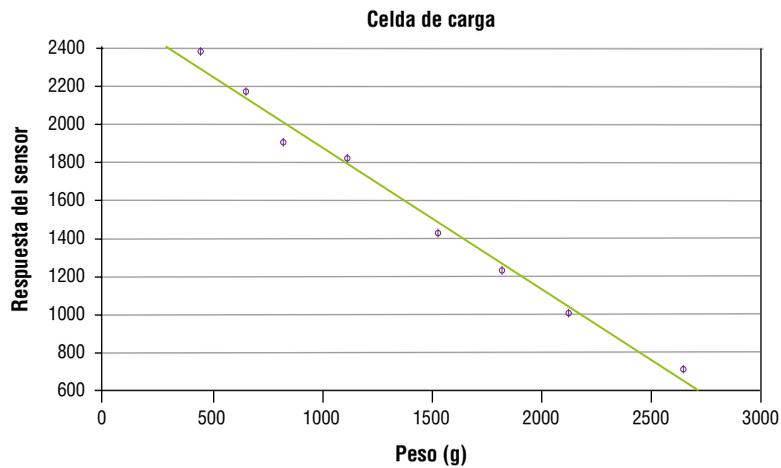


Figura 8. Caracterización del sensor celda de carga.  
Fuente: elaboración propia.

La figura 9 presenta el comportamiento del sensor en el eje X según los datos obtenidos en la tabla 2.

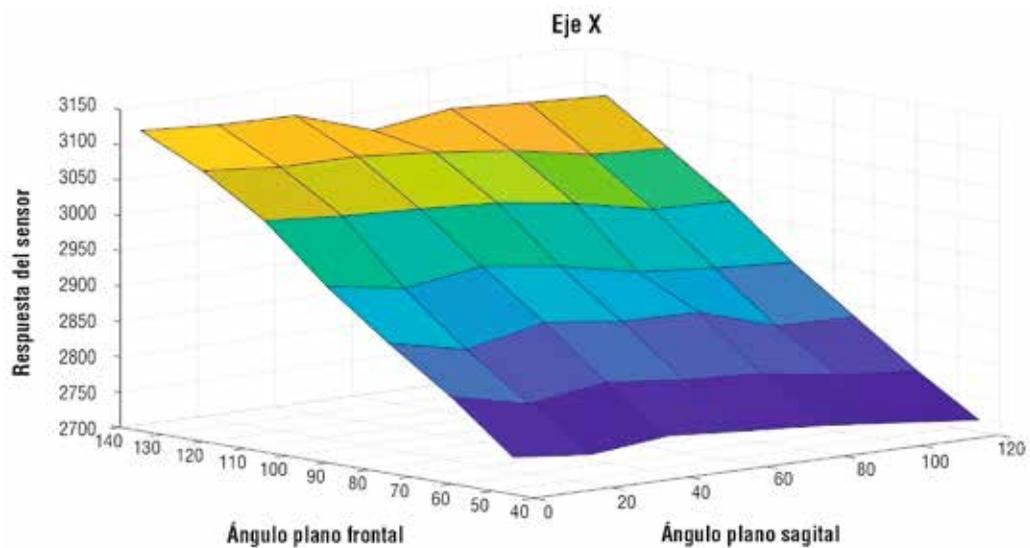


Figura 9. Caracterización del sensor acelerómetro en el eje X.  
Fuente: elaboración propia.

La figura 10 muestra el comportamiento del sensor en el eje Y según los datos obtenidos en la tabla 3.

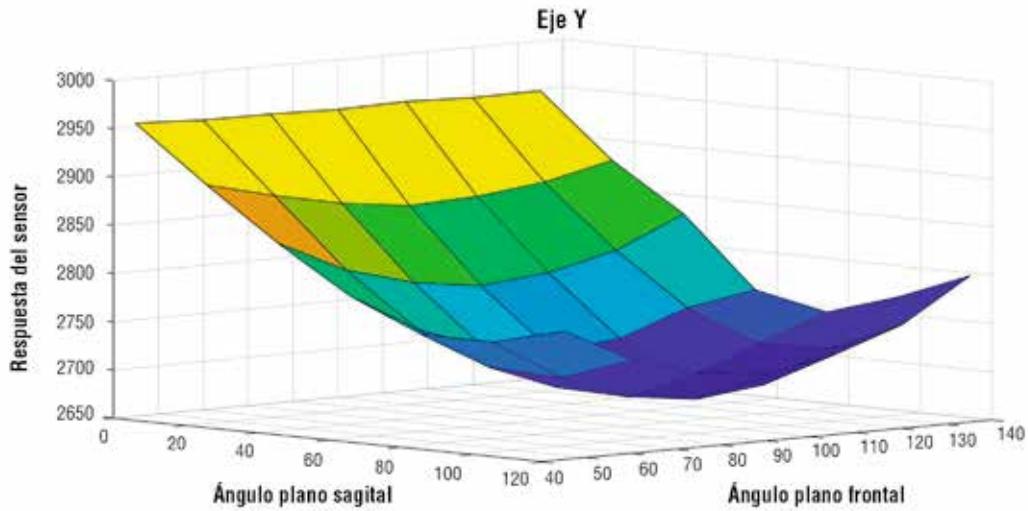


Figura 10. Caracterización del sensor acelerómetro en el eje Y.  
Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se observa el comportamiento del sensor en el eje Z según los datos obtenidos en la tabla 4.

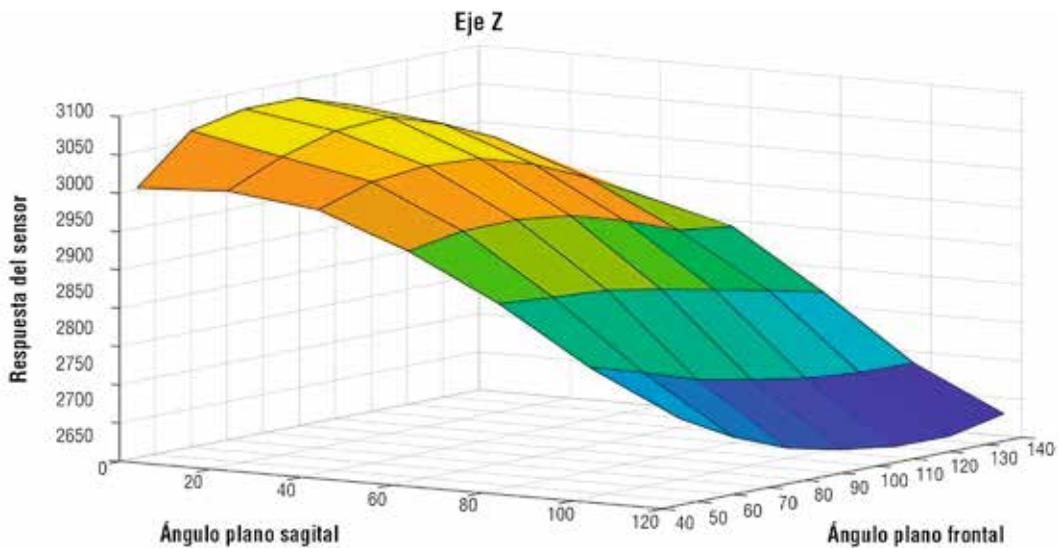


Figura 11. Caracterización del sensor acelerómetro en el eje Z.  
Fuente: elaboración propia.

Estas pruebas fueron implementadas sobre los prototipos para construir un dispositivo que, al registrar el peso y la talla del usuario, calcule la carga máxima que este puede llevar y verifique mediante ángulos de inclinación en los planos sagital y frontal la postura adoptada al cargar la maleta. Para su correcto funcionamiento, el dispositivo debe adherirse a una maleta con hombreras y espaldar acolchados, bolsillos con sujetadores de peso y dos tirantes adicionales en el tórax y el abdomen.

## 8. Conclusiones

Se identificó que el exceso de peso en maletas y las malas posturas generan enfermedades como la cifosis y la escoliosis, que se pueden convertir en problemas de salud pública en la población escolar. Es importante prevenir estas patologías adoptando buenos hábitos ergonómicos y crear soluciones tecnológicas para disminuir los costos que genera su tratamiento. Se diseñaron modelos basados en un sistema natural con el fin de desarrollar un sistema artificial. Este prototipo aún está siendo probado para validar su funcionamiento y usabilidad mediante análisis estadísticos. Luego de esto, se implementará el dispositivo en una maleta para la ejecución del proyecto final.

## Referencias

- iPosture.com. (2008). Consultado en <http://bit.ly/2lytOYU>.
- Morán, F., Cedeño, N. y Del Pezo, L. (2014). *Uso de mochilas escolares y su incidencia en lesiones de la columna vertebral en adolescentes. Unidad Educativa Santa Teresita. La Libertad. 2013- 2014* (tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad. Consultado en <http://bit.ly/2kee65c>.
- Panuera, G. (2016). *Influencia de la mochila escolar en las alteraciones posturales de la columna vertebral dorso lumbar en los niños del segundo grado de educación primaria de la Institución Educativa Futura Schools del distrito de Cerro Colorado – Arequipa. 2015* (tesis de pregrado). Universidad Alas Peruanas, Lima. Consultado en <http://bit.ly/2YdUE7Z>.
- Peralta, A. y Sarmiento, S. (2014). *Utilidad de la uroTAC en el diagnóstico de litiasis renal en pacientes que acudieron al Hospital Monte Sinaí en el periodo enero - diciembre 2013* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca. Consultado en <http://bit.ly/2lqRVsB>.
- Photo Researchers. (2016). Kyphosis (hump de la viuda) [fotografía]. Encyclopædia Britannica ImageQuest. Consultado en <http://bit.ly/2lW0oUZ>.
- Pozo, D. (2014). *Estrategias educativas de prevención en problemas músculos esqueléticos relacionados al exceso de peso de la mochila en escolares de sexto y séptimo año de educación básica en la Escuela Julio Martínez Acosta, 2013* (tesis de pregrado). Universidad Regional Autónoma de los Andes, Tulcán.
- Redacción Silicon. (2014, septiembre 17). TUL, maleta con báscula integrada para evitar sorpresas. *Silicon.es*. Consultado en <http://bit.ly/2lRjITa>.
- Redacción Tecnología. (2014, octubre 21). Latinoamericanos lanzan la primera maleta inteligente del mundo. *El Espectador*. Consultado en <http://bit.ly/35WdqU0>.
- Rosero, M. (2014). *Factores escolares que condicionan la postura y el dolor de espalda en niños realizado de enero a febrero de 2014* (tesis de pregrado). Pontificia Universi-

- dad Católica del Ecuador, Quito. Consultado en <http://bit.ly/2jYMvor>.
- Science Photo Library. (2016). Escoliosis, rayos X [fotografía]. Encyclopædia Britannica ImageQuest. Consultado en <http://bit.ly/2krdGZd>.
- Science Photo Library. (2017). Columna vertebral y cráneo, ilustración [fotografía]. Encyclopædia Britannica ImageQuest. Consultado en <http://bit.ly/2lUOwT9>.
- Tomalá, D. (2015). *Factor educativo escolar, familiar y su influencia en la prevención de la escoliosis postural en niños de 7 a 11 años. Escuela de Educación Básica Manuela Espejo. La Libertad. 2014-2015* (tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad. Consultado en <http://bit.ly/2kqDAvY>.
- TruPosture. (2015). Burbank: Adela Health Inc. Consultado en <http://bit.ly/2lRiuHy>.