



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

FORMATO PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2765			
Título del proyecto: CARACTERIZACIÓN DE LA MARCHA HUMANA CUANDO SE PRESENTAN FENÓMENOS DE INTERACCIÓN HUMANO-ESTRUCTURA (IHE)			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ingeniería.			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería Civil y Geomática.			
Grupo (s) de investigación:			
• Grupo de Investigación en Ingenierías Sísmica, Eólica, Geotécnica y Estructural (G-7) • Grupo de Biomecánica			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Daniel Gómez	7	7
Coinvestigadores	Peter Thomson	7	7
	Jose Jaime García	3	3
	Alejandro Cruz	3	3
Est. de Doctorado	Mario Marmolejo	15	15
Est. de Pregrado	Ángela Chamorro	10	10
	Santiago Gómez	10	10

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.



1 Resumen Ejecutivo:

La investigación en la Interacción Humano-Estructura (IHE) se ha intensificado en los últimos años. Esto se debe al desarrollo de materiales y tecnologías de construcción que permiten edificar estructuras ligeras de alto desempeño. A su vez estas estructuras modernas presentan baja rigidez y poco amortiguamiento, lo cual las hace sensibles a vibraciones debido a cargas sísmicas, eólicas y antrópicas. En esta investigación se utilizó el método de optimización de energía con el fin construir un modelo dinámico de una persona caminando que incluya efectos de la dinámica de la estructura de apoyo. Este modelo será validado con resultados experimentales de la población colombiana para responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo caracterizar la marcha cuando se presentan fenómenos de Interacción Humano-Estructura? Para dar respuesta a la formulación del problema se estableció el siguiente objetivo general: caracterizar la marcha humana cuando se presentan fenómenos de Interacción Humano-Estructura, el cual se logró a través del desarrollo de los siguientes objetivos específicos: determinar la información antropométrica representativa para Colombia, implementar una plataforma de carga para obtener información cinética del caminar humano e instrumentar una banda caminadora para medir el desempeño cinemático de una persona caminando. La metodología empleada en este proyecto se dividió en 8 fases, las cuales se dividen en: determinación de la antropometría con personas colombianas; diseño, construcción, instrumentación, calibración y validación de una plataforma dinamométrica; instrumentación de una persona sobre una banda caminadora; procesamiento; socialización y conclusiones. Los resultados del proyecto se describen a continuación, con respecto a cada uno de los objetivos específicos:

- Determinar la información antropométrica representativa para Colombia.

A partir de la comparación entre la antropometría colombiana y la caucásica se encontró que: las longitudes de la cabeza y el muslo de la población colombiana son mayores que las de la caucásica, con respecto a la altura de cada individuo. Mientras que el torso, brazo y pantorrilla son más largos para los caucásicos que para los colombianos, en proporción a su altura. Con

respecto a la longitud del pie, ambas poblaciones presentan proporciones similares, como se observa en la Figura 1.

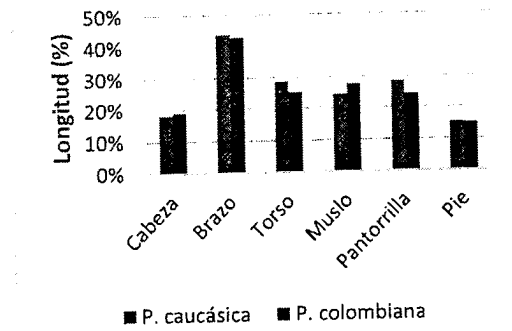


Figura 1. Comparación antropométrica.

- Implementar una plataforma de carga para obtener información cinética de la marcha humana.

Se desarrolló una plataforma dinamométrica la cual mide el componente vertical de la cinética humana para un pie, a través de cuatro celdas de carga OMEGA LCPW-75 y una tarjeta de adquisición National Instruments. Con esta información se determina, a partir de los registros experimentales, las coordenadas del centro de presión.

- Instrumentar una banda caminadora para medir el desempeño cinemático de una persona caminando.

Se evaluó la respuesta cinemática de dos individuos, la cual incluye la medición del ángulo absoluto del torso, con respecto a eje horizontal, y los ángulos relativos de la cadera, rodilla y tobillo, para la pierna derecha. Esta caracterización de la marcha humana se realizó sobre una banda caminadora para las velocidades de marcha de 0.5, 0.7 y 0.9 m/s.



2 Síntesis del proyecto:

A continuación se describen los objetivos desarrollados en el proceso de ejecución del proyecto en cuestión y la metodología aplicada para llevarlo a cabo:

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Caracterizar la marcha humana cuando se presentan fenómenos de Interacción Humano-Estructura.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la información antropométrica representativa para Colombia.
- Implementar una plataforma de carga para obtener información cinética del caminar humano.
- Instrumentar una banda caminadora para medir el desempeño cinemático de una persona caminando.

2.2 METODOLOGÍA

El proyecto se divide en 3 objetivos específicos, con 8 fases en total, para dar cumplimiento al objetivo general. Las actividades de cada fase se describen a continuación:

2.2.1 Fase de determinación antropométrica:

En esta fase se determinará la antropometría de personas colombianas, con base en consultas y análisis de estudios desarrollados en el nivel nacional relacionados con esta temática y se complementará con datos antropométricos obtenidos de un grupo de estudiantes universitarios.



2.2.1.1 Puntos de Referencia Antropométrica (PRA)

En cuanto a sus proporciones, el cuerpo humano tiene similitudes de un individuo a otro, sin embargo presenta algunas diferencias en la forma y en el tamaño de sus partes. Con el fin de estimar dicha dispersión se hizo una relación proporcional de cada coordenada vertical con relación a la altura del individuo para los casos: antropometría de Estrada M. (1995), antropometría de estudiantes de la Universidad del Valle y estudios teóricos: antropometría caucásica (Howard, 2007). Los puntos considerados en la normalización fueron: vertex, acromial, cresta iliaca, rodilla, tobillo, codo y mano.

2.2.2 Fase de diseño y construcción:

Se diseñó una plataforma dinamométrica para medir las fuerzas de reacción generadas por una persona al caminar. Este dispositivo se encuentra compuesto por una superficie de transición, la cual permite al usuario alcanzar la velocidad requerida, antes de pasar por la zona de medición, y reducir gradualmente la velocidad de marcha, una vez se realice la medición. Esta plataforma registra la variación temporal de la fuerza de reacción del pie en las fases de balanceo y doble apoyo.

2.2.3 Fase de instrumentación:

Se emplearon cuatro celdas de carga unidimensionales OMEGA LCPW-75, como se observa en la Figura 2 (a), las cuales se conectaron a una tarjeta de acondicionamiento - Figura 2 (b) - que se encarga de: aplicar el voltaje requerido por el dispositivo y, filtrar y transmitir la señal a una tarjeta de adquisición National Instruments. Las celdas fueron instaladas en las esquinas de la plataforma para obtener información en toda la superficie que permita la identificación del centro de presión o CoP, del inglés *Center of Pressure*, el cual se define como el punto de aplicación de un vector de fuerza que causaría el mismo efecto que las cargas distribuidas en el pie.

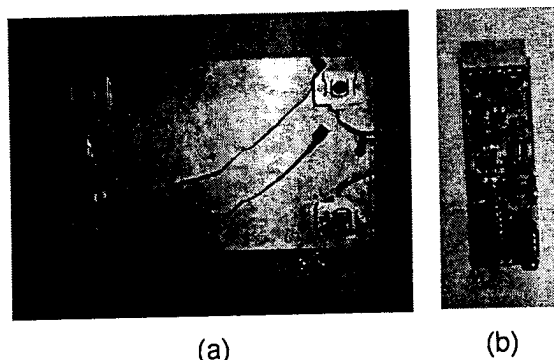


Figura 2. Plataforma Dinamométrica

2.2.4 Fase de calibración y validación:

La fuerza vertical de un pie, en la fase de apoyo, ha sido ampliamente estudiada. Messenger (1994) determinó que la fase de apoyo incluye los siguientes instantes: contacto inicial (IC), respuesta a la carga (LR), apoyo medio (MSt), apoyo final (TSt) y prebalanceo (PS), como lo muestra la Figura 3 (a). Los datos experimentales tomados con la plataforma dinamométrica presentan el mismo comportamiento reportado por Messenger (1994), como se observa en la Figura 3 (b), a diferencia de la discontinuidad cerca del contacto inicial, ya que la prueba se hizo a baja velocidad.

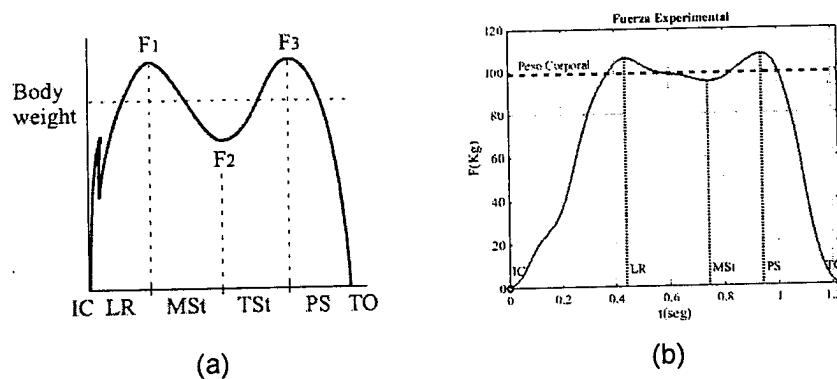


Figura 3. Fuerza Vertical



2.2.5 Fase de instrumentación:

Los puntos de referencia antropométrica (PRA) que fueron seleccionados para monitorear la respuesta cinemática de cada participante, en el plano sagital, fueron: el vertex, el acromial, la cresta iliaca, la rodilla, el tobillo, el codo y la mano. Los PRAs fueron señalados con un grupo de marcadores circulares o *stickers*, los cuales hicieron posible la aplicación del procesamiento de imágenes, para realizar el seguimiento de la dinámica de la marcha humana, sin alterar la naturaleza del fenómeno. Una vez señalados los PRAs, cada participante marchó sobre una banda caminadora a velocidades de 0.5, 0.7 y 0.9 m/s.

2.2.6 Fase de procesamiento:

2.2.6.1 Preprocesador

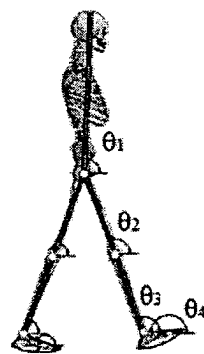
El usuario a través del preprocesador puede seleccionar el video de análisis, determinar el intervalo de tiempo y escoger el área de estudio para la identificación cinemática. El proceso de filtrado de la imagen consiste en calcular la diferencia entre la imagen original y la imagen con realce visual, esto último se logra utilizando el comando de Matlab *decorrstretch*, con una toleración de 10^{-3} , y el comando *imabsdiff*.

2.2.6.2 Procesador

El procesador se basa en dos criterios para seleccionar los 9 PRAs. El primer criterio busca N entornos que presenten el color y la forma especificados del marcador, a través del comando de Matlab *imfindcircles* con una sensibilidad del 94%. El segundo criterio busca, dentro de los N círculos identificados previamente, los 9 que estén más cercanos a los PRA hallados en el marco anterior, los cuales conformarán los PRA del i -ésimo marco.

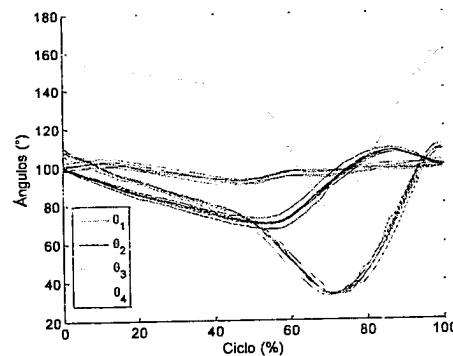
2.2.6.3 Posprocesador

El objetivo de esta fase es obtener el comportamiento cinemático de un individuo en un ciclo de marcha. En este punto de la identificación, se interpolan los resultados obtenidos del procesador a través del comando *spline*. Finalmente, a partir de las ubicaciones en el plano sagital de cada PRA, como función del tiempo, se calculan los ángulos de cuatro elementos del cuerpo humano, los cuales son: torso, muslo, pantorrilla y pie. Esta información se divide por ciclos y se superpone en uno solo, como se observa en la Figura 4.



(a)

Ren *et al.* (2007)



(b)

Figura 4. Cinemática

2.2.7 Fase de conclusiones:

Se determinó la información antropométrica para personas colombianas y se comparó con datos antropométricos de personas caucásicas, de lo cual se encontró que: la longitud de la cabeza y el muslo de la población colombiana es mayor que la caucásica, con respecto a la altura de cada individuo. Mientras que el torso, el brazo y la pantorrilla son más largos para los caucásicos que para los colombianos. Sin embargo, la longitud del pie en ambas poblaciones presenta proporciones similares.

Se desarrolló una plataforma dinamométrica para obtener información cinética de la marcha humana. Con dicha información se midió la fuerza vertical aplicada por una persona y se

F-04-MP-06-02-02

V-02-2013

Elaborado por: Vicerrectoría



determinó el centro de presión (CoP) del pie, a través de ecuaciones de equilibrio de momento, con respecto a las direcciones anterior-posterior y medial-lateral.

Se registraron videos de personas marchando sobre una banda caminadora, de los cuales se determinó el comportamiento cinemático de las mismas, para velocidades de marcha de 0.5, 0.7 y 0.9 m/s. Estos resultados experimentales indicaron que el ángulo que presenta las mayores variaciones, en el plano sagital, ante cambios de la velocidad de marcha es el ángulo del tobillo, ya que este presenta reducciones considerables a medida que la velocidad de marcha aumenta. Mientras que el ángulo relativo que presenta pequeñas variaciones, ante cambios en la velocidad de marcha, es el de la cadera.

3 Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Productos de nuevos conocimientos		
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2		
Artículo completo publicados en revistas B	1	1
Artículo completo publicados en revistas C		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación		
Capítulos en libros que publican resultados de investigación		



VICERRECTORIA
INVESTIGACIONES

DE

FORMATO PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados				
☐ Prototipos y patentes			1	
☐ Software			1	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial				
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2		2	1
Semillero de Investigación	1		1	
Estudiantes de maestría	1			
Estudiantes de doctorado			1	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales

pte

✓

pte

pte

F-04-MP-06-02-02

V-02-2013

Elaborado por: Vicerrectoría



VICERRECTORIA
INVESTIGACIONES

DE

FORMATO PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
		s		
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	1	0	2 ✓ falta 2	1 ✓
- Riascos, C., Thomson, P. "<i>Human-Footbridge Interaction using Inverse Dynamics and Optimization Techniques</i>", International Conference on Applied Mathematics and Informatics 2013, San Andres Island, Colombia, November, 2013. - Gómez, S., Riascos, C, Thomson, P. "<i>Caracterización de la Marcha Humana cuando se Presentan Fenómenos de Interacción Humano-Estructura (IHE)</i>". VI Simposio de Investigación de la facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, 2013. - Gómez, S., Riascos, C, Thomson, P. "<i>Caracterización de la Marcha Humana cuando se Presentan Fenómenos de Interacción Humano-Estructura (IHE)</i>". VII Simposio de Investigación de la facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, 2014.				
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	Título: CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN HUMANO-ESTRUCTURA EN PUENTES PEATONALES MEDIANTE SIMULACIONES HÍBRIDAS EN TIEMPO REAL. Convocatoria: 669-2014 CONVOCATORIA PARA APOYAR PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INGENIERIAS - 2014			



Tabla No. 2. Detalle de productos.

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	"Simulación de la marcha humana cuando se presentan fenómenos de interacción humano-estructura en un puente peatonal". Ingeniería y Competitividad. (2015).
Nombre Particular:	
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 2015
Participantes:	Gómez, S., Riascos, C, Thomson, P.
Sitio de información:	Revista Ingeniería y Competitividad
Formas organizativas:	Grupo de investigación en ingenierías sísmica, eólica, geotécnica y estructural (G-7)

Tipo de producto:	Prototipo
Nombre General:	Plataforma dinamométrica
Nombre Particular:	Plataforma dinamométrica con medición de fuerza vertical y centro de presión
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Julio de 2015
Participantes:	Gómez, S., Thomson, P.
Sitio de información:	Laboratorio Linse, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle.
Formas organizativas:	Grupo de investigación en ingenierías sísmica, eólica, geotécnica y estructural (G-7).



Tipo de producto:	Software
Nombre General:	Software de identificación de la marcha humana
Nombre Particular:	Nasa U' ju
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Julio de 2015
Participantes:	Chamorro, A., Thomson, P.
Sitio de información:	Laboratorio Linse, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle.
Formas organizativas:	Grupo de investigación en ingenierías sísmica, eólica, geotécnica y estructural (G-7).

4 Impactos actual o potencial:

A largo plazo, este proyecto realizará su mayor impacto en el ámbito social porque ahí nace la problemática de la interacción humano-estructura (IHE). Ya que, en los últimos años, ha aumentado el número de estructuras que han reportado problemas de vibraciones excesivas inducidas por actividades humanas. Por esta razón, se busca complementar las técnicas de diseño y construcción convencionales de los puentes peatonales para, de la mano con el sector productivo, brindarle a la población colombiana mayor confort en el uso cotidiano de estas estructuras de vital importancia. La IHE es un tema multidisciplinario, por lo cual a mediano plazo, cada avance que se logre en la representación de la estructura y el cuerpo humano actuando como sistemas acoplados generará un fortalecimiento en las áreas de biomecánica e ingeniería estructural.

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones