

# DESIGN OF A 3D SCANNER FOR THE BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE FOOTPRINT FOR THE PRODUCTION OF ORTHOPEDIC TEMPLATES USING THE 3D PRINTING METHOD.

## DISEÑO DE UN ESCÁNER 3D PARA EL ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA HUELLA PLANTAR PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTILLAS ORTOPÉDICAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE IMPRESIÓN 3D.

Jenny L. V. Pilco<sup>1✉</sup>

*Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador*

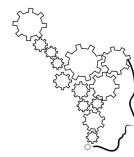
<sup>1✉</sup>[jennyli\\_92@hotmail.com](mailto:jennyli_92@hotmail.com)

Received: 25 janeiro 2020 / Accepted: 11 fevereiro 2021 / Published: 28 junho 2021

**Abstract.** The design of a 3D scanner includes characterizing the natural shape of the foot for the elaboration of personalized orthopedic insoles according to the anatomy and pathologies of each individual, improving the quality of life, by correcting postural problems, the study was focused on foot pathology Flexible type plane as a case study, starting from the design of the structure of the scanning equipment taking into consideration 2 axes of movement of the equipment, by using the Kinect 2.0 Xbox One console, which finally accurately scanned the morphology of the fingerprint plantar, the digitalization of the image was carried out in the Kscan 3d program, the correction of the generated noise was executed in the Mesh mixer program, then Geomagic design served to extract the plantar support surface, proceeding to the design and redesign of the template making use of the SolidWorks program, ending with the printing of the prototype, using the Ultimaker Cura software. Through the Rula evaluation, the correction of postural deviation was determined, validating the product through the study of the plantar arch index, according to anthropometric measurements for women, emphasizing the different applications that can be carried out, becoming a research and development report.

**Palabras clave:** scanner design, 3D printing, engineering sciences, orthopedic insole.

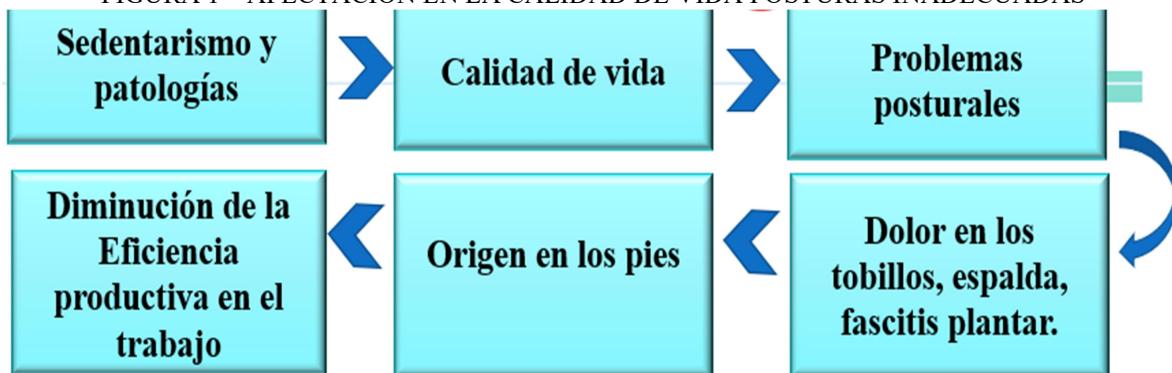
**RESUMEN.** El diseño de un escáner 3D permitió caracterizar la forma natural del pie para la elaboración de plantillas ortopédicas personalizadas acorde la anatomía y patologías de cada individuo, mejorando la calidad de vida, mediante la corrección de problemas posturales, el estudio estuvo enfocado en la patología pie plano tipo flexible como caso de estudio, partiendo del diseño de la estructura del equipo de escaneo tomando en consideración 2 ejes de movimiento del equipo, mediante la utilización de la consola Kinect 2.0 Xbox One misma que permitió el escaneo preciso de la morfología de la huella plantar, la digitalización de la imagen fue realizada en el programa Kscan 3d, la corrección del ruido generado fue ejecutado en el programa Mesh mixer, seguidamente Geomagic design sirvió para la extracción de la superficie del apoyo plantar, procediendo al diseño y rediseño de la plantilla haciendo uso del programa SolidWorks, finalizando con la impresión del prototipo, utilizando el software Ultimaker Cura. Mediante la evaluación Rula se determinó la corrección de la desviación postural, validando el producto mediante el estudio del índice del arco plantar, acorde medidas antropométricas para mujeres, enfatizando las distintas aplicaciones que pueden ser realizadas, llegando a ser un aporte de investigación y desarrollo.



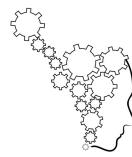
## 1 INTRODUCCION

Aproximadamente el 19 por ciento de los hombres y el 25 por ciento de las mujeres tienen dolor significativo en los pies la mayoría de los días de la semana, lo que a menudo limita su capacidad para funcionar, el mismo que se centra en un examen visual para detectar los diferentes tipos de patologías que aquejan a los pies (Menz et al., 2013, p. 1281) (1) Hoy en día es posible mejorar la calidad de vida de las personas con afecciones a la salud en referencia al tipo de patología podológica que aqueja al ser humano como caso puntual se ha considerado la patología de pie plano tipo flexible como caso de estudio, en cuya constitución la base de la bóveda plantar no cuenta con la morfología del arco longitudinal del pie, en tal virtud, en base a preguntas como: ¿Qué y por qué tratar el pie plano flexible? no existen criterios establecidos para diferenciar un pie plano flexible fisiológico de uno patológico, por lo tanto, la decisión de tratar un pie plano flexible depende de cada caso en particular. Mientras algunos pies planos leves son muy sintomáticos, otros muy severos desde el punto de vista morfológico son absolutamente asintomáticos. (2) (Baar Z et al., 2006, pp. 350-354) Gracias al desarrollo tecnológico es posible solucionar esta patología haciendo uso de plantillas ortopédicas puesto que: tradicionalmente, la indicación de plantillas, realces, soportes o calzado especial ha sido la piedra angular del tratamiento del pie plano flexible. La adopción de la impresión 3D, como forma de CAM, requiere una investigación más profunda para su uso como herramienta clínica. (Dombroski et al., 2014, p. 1).

FIGURA 1 – AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DE VIDA POSTURAS INADECUADAS



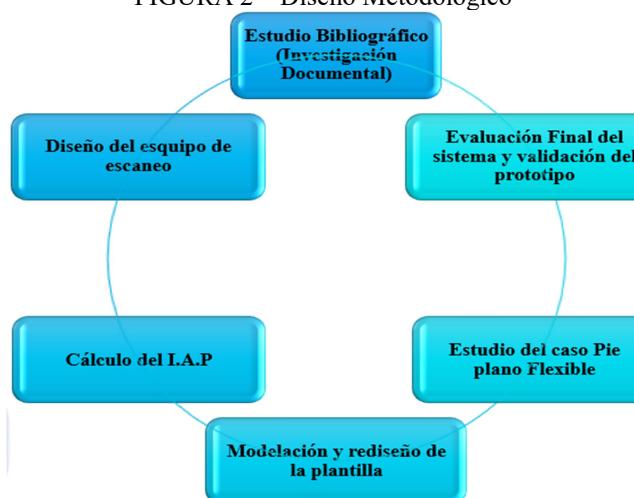
FUENTE: El autor (2020)



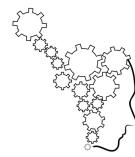
## 2 MÉTODO

Acorde las distintas variables presentes en el desarrollo del tema investigativo, este trabajo corresponde a una investigación experimental, porque según Cerdá (2000) manifiesta que; un experimento consiste en someter un objeto en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que la variable produce en el objeto, pero también corresponde a un caso de estudio, al centrarse en la patología: pie plano tipo flexible PPF presentado en un individuo de sexo femenino de 26 años de edad, por tal motivo los resultados a los que se llegue no necesariamente son para generalizar, pues tienen su propia bondad al tratarse de una plantilla personalizada que corrija dicha patología. El enfoque de la Investigación es de tipo cuantitativo, porque es necesario la obtención de una medida normal, del índice del arco plantar para las medidas antropométricas de la población adulta ecuatoriana, abarcando un enfoque cualitativo al describir las características propias del caso en estudio el PPF., se presenta con mayor frecuencia y es el pie plano laxo o flexible que es sin duda el más frecuente y suele ser asintomático al examen físico, tradicionalmente, los casos de pie plano se han tratado con calzado corrector que comprende contrafuerte alto y firme, taco de Thomas y suela; y con plantillas correctoras que apoyan el arco longitudinal y además corrigen el valgo del calcáneo. (Moya S., 2000, pp. 243-245).

FIGURA 2 – Diseño Metodológico



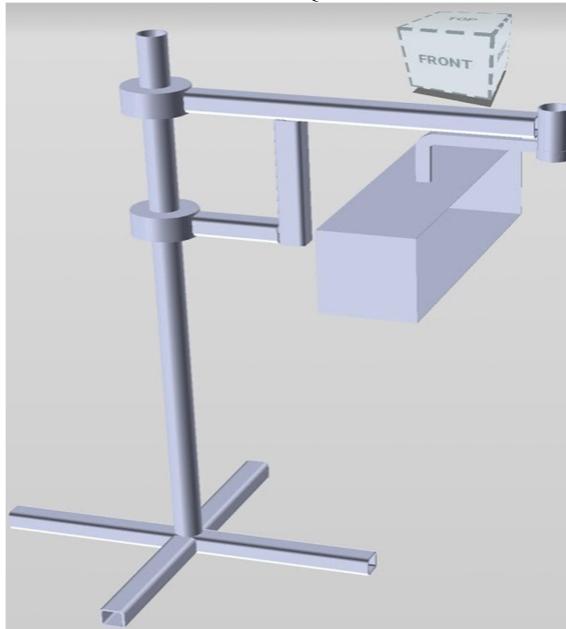
FUENTE: El autor (2020)



## 2.1 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ESCANEOS 3D

El diseño elegido se desarrolló en base a los requerimientos de la superficie del apoyo plantar, cuyas consideraciones fueron la movilidad del desplazamiento vertical en los ejes z (permitiendo ser regulable y adaptarse a las medidas antropométricas de los individuos) y un eje cóncavo que muestre una captura completa de todas la superficie plantar y sus características morfológicas , ejecutado este análisis se comprobó la eficacia del prototipo mediante el uso de software Solid Works Simulation Xpress el mismo que soporta un esfuerzo de 21.16 N y un factor de seguridad de .2.

FIGURA 3 – DISEÑO INICIAL EQUIPO DE ESCANEOS

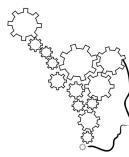


FUENTE: El autor (2020)

FIGURA 4 – DISEÑO FINAL EQUIPO DE ESCANEOS



FUENTE: El autor (2020)



**TABLA 1 – FACTORES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESCÁNER 3D**

<b>Características:</b>	<b>Descripción</b>
<b>Complejidad del equipo a usar:</b>	Media- baja
<b>Movimientos de escaneo requeridos:</b>	Movimiento Longitudinal Movimiento Cónvexo
<b>Regulación del dispositivo:</b>	Manual ángulo: 30°
<b>Distancia óptima para escaneo (x):</b>	500 mm
<b>Altura óptima para escaneo (z):</b>	500mm
<b>Número de tomas máximas escaneadas:</b>	4
<b>Método de escaneo:</b>	Manual
<b>Software de escaneo empleado:</b>	Ksan3D

FUENTE: El autor (2020)

Los factores que se tomaron como referencia para el diseño del escáner se basó acorde la constitución física del individuo en estudio, permitiendo posteriormente regular la altura de toma de la imagen del apoyo plantar en base a las necesidades antropométricas de cada individuo.

## 2.2 MÉTODOS DE ESCANEO (ÚNICO VS POR LOTES)

Existen diversos métodos de escaneo que permiten obtener la superficie tridimensional del objeto requerido en la investigación realizada se consideró dos métodos principales y se evaluó el método más idóneo acorde las características de la superficie a escanear, tras varios ensayos se determinó que debido a la superficie a escanear el método adecuado era el método por lotes ya que permite mostrar una mayor superficie de escaneo pero debido a las características morfológicas de la superficie plantar del individuo se optó por el método único de escaneo.

**El método de escaneo único:** permite capturar escaneos uno por uno. Este método permite tomarse todo el tiempo que necesite para reposicionar el sensor y / o el objeto de escaneo,

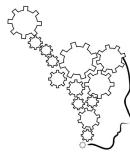
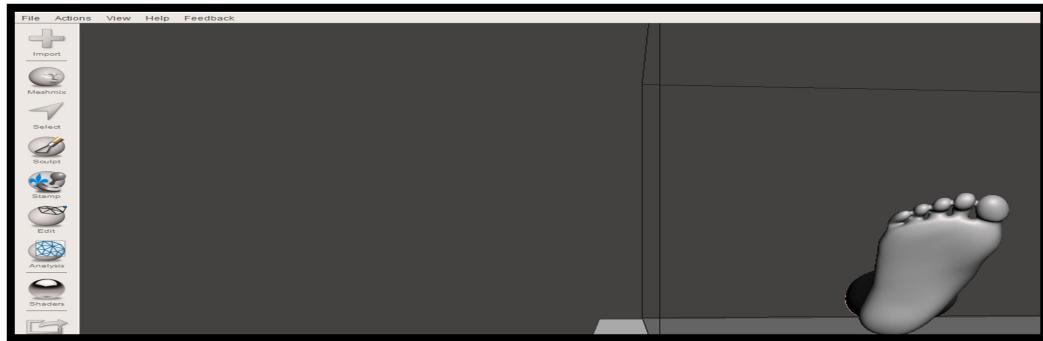


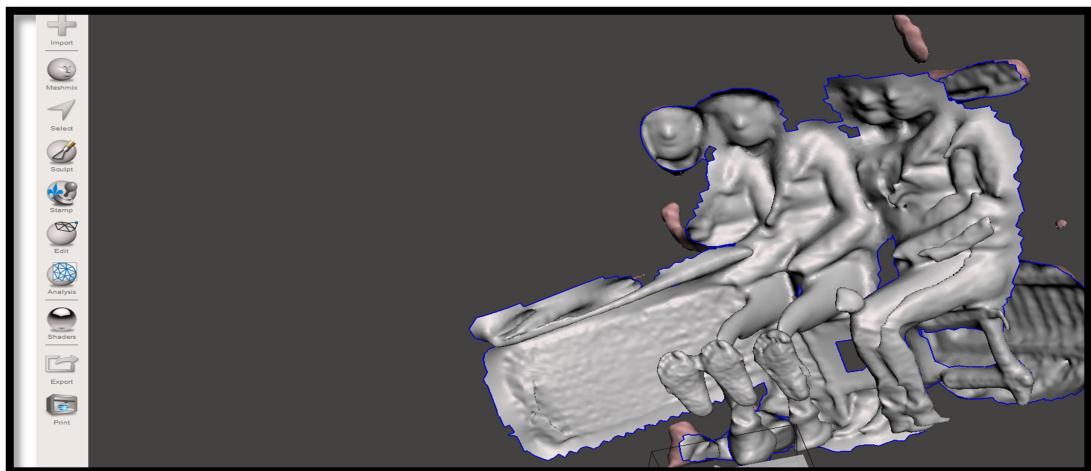
FIGURA 5– MÉTODO ÚNICO DE ESCANEO



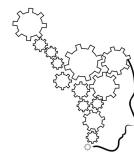
FUENTE: El autor (2020)

**El método de escaneo por lotes:** Permite capturar múltiples escaneos. KScan3D comenzará a capturar escaneos uno por uno, haciendo una pausa entre cada escaneo de acuerdo con el retardo de tiempo especificado, hasta que se haya capturado el número total de escaneos especificados. (Berchon y Luyt, 2016, pp. 18-31)

FIGURA 6 – MÉTODO DE ESCANEO POR LOTES

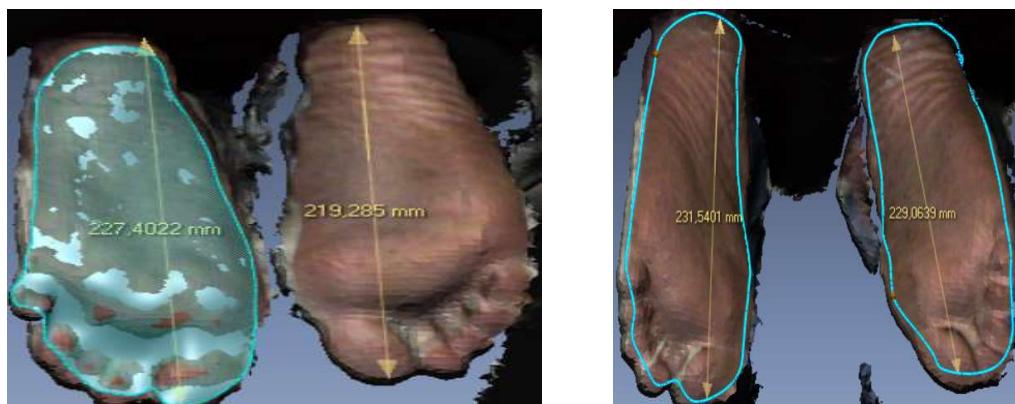


FUENTE: El autor (2020)



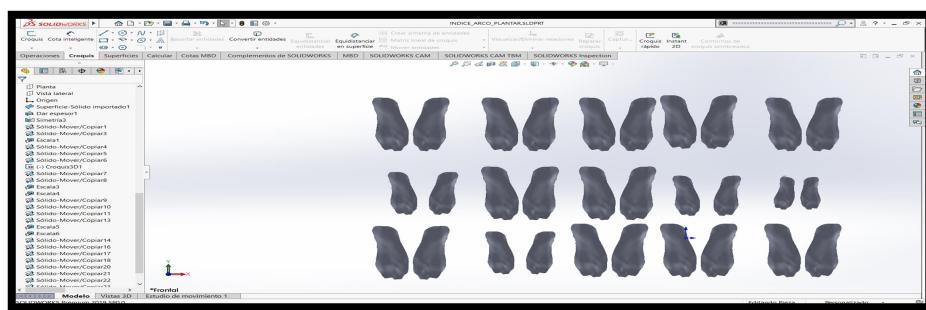
2.1.1 Determinación de la medida del arco plantar en base a la morfología de los pies  
Medidas antropométricas para el cálculo del índice del arco plantar para mujeres ecuatorianas mayores de edad comprendida entre 21-30 años.

FIGURA 7 – DETERMINACIÓN DEL ARCO PLANTAR EN BASE AL ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO



FUENTE: El autor (2020)

FIGURA 8 – DETERMINACIÓN DEL ARCO PLANTAR EN BASE AL ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO

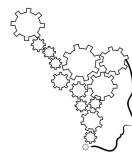


FUENTE: El autor (2020)

La muestra tiene un 90% de representatividad, pues estuvo basado en un Muestreo No probabilístico: por cuotas en base los participantes que fueron seleccionadas para conocer la medida de elevación del arco plantar mismo dato que es importante conocer para determinar la elevación necesaria del arco plantar para el diseño e impresión de la plantilla, en base a la patología que presenta el individuo de estudio.

**IAPH:** 16,5mm

**IAPM:** 13,5 mm



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Tabla de resultados del índice del Arco Plantar

Se obtuvo como resultado de las diferentes medidas antropométricas tanto para hombres mujeres ecuatorianos en edades comprendidas desde 21-30 años, una altura promedio estándar para cada género del índice del arco plantar tanto para hombres como mujeres, en base a los escaneos de los apoyos plantares a los participantes llegando establecer un resultado que se muestra continuación:

TABLA 2 – ÍNDICE DE ARCO PLANTAR

IAP	MUJERES	HOMBRES	PATOLOGÍA ESPECÍFICA
Grupo 1	13.5 mm	x	Ninguna
Grupo 2	x	16.5mm	Ninguna

FUENTE: El autor (2020)

Los valores calculados estuvieron basados en base a ecuaciones que permitieron conocer el índice del arco plantar para mujeres y hombres, en base a criterios médicos

$$\text{MEDIA (APOYOS PLANTARES)} = \frac{\text{Medida pie izquierdo} - \text{medida pie derecho}}{2}$$

$$\text{PUNTO MEDIO ARCO PLANTAR} = \frac{\text{MEDIA}}{2}$$

$$\text{ELEVACIÓN DEL ARCO PLANTAR} = \frac{\text{Edad} + 13,5 + \text{Punto medio arco plantar}}{3}$$

Donde:

**Medida pie izquierdo:** acorde a las medidas antropométricas del individuo en estudio

**Medida pie derecho:** acorde a las medidas antropométricas del individuo en estudio

**Punto medio arco plantar:** media de los apoyos plantares

**13.5:** Medida promedio del arco plantar para las mujeres ecuatorianas jóvenes (20-28) años de edad que participaron de la muestra

**3:** debe existir estabilidad en las 3 zonas del pie parte delantera, media y parte trasera

**Elevación plantar:** medida personalizada necesaria para elevar el soporte del arco plantar a la plantilla ortopédica

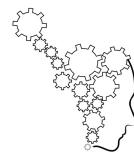


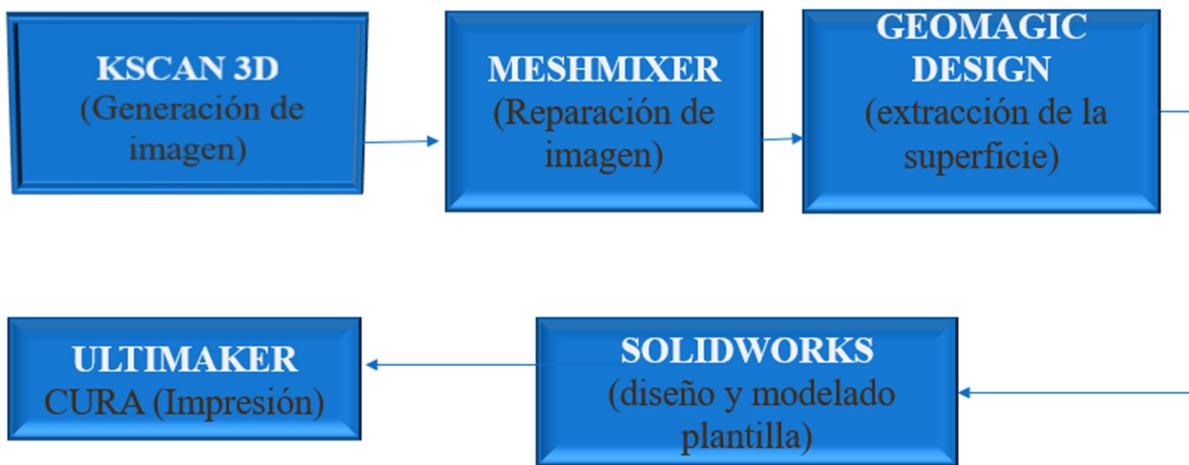
TABLA 3 – PRINCIPIO DE ESCANEOS

Número de pasos:	Procedimiento
Paso 1:	Valoración médica por el especialista de la salud. Pie plano tipo flexible
Paso 2	Adecuación del lugar de escaneo
Paso 3	Toma del apoyo plantar con el equipo de Escaneo
Paso 4	Exportar los datos del escaneo a Meshmixer en el formato. STL
Paso 5	Extracción de la superficie del apoyo plantar, con Geomagic Design con la extensión OBJ.
Paso 6	Diseño y modelado de la plantilla en SolidWorks importando a SolidWorks en el formato Parasolid Binary File (*.x_b).
Paso 7	Exportar al programa Ultimaker Cura para ajustar parámetros de impresión, Con el diseño de la plantilla establecido se procede a guardar en el formato. STL

FUENTE: El autor (2020)

Los programas utilizados fueron:

FIGURA 9 – PROGRAMAS UTILIZADOS

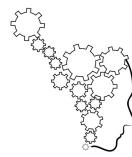


FUENTE: El autor (2020)

Configurar los parámetros adecuados de impresión, para encender la impresora y ajustar la configuración de la misma, configurando el tipo de material a imprimir, la temperatura del Noz, así como de la cama de impresión.

FIGURA 10 – IMPRESIÓN DE LA PLANTILLA

FIGURA 11 – PLANTILLA ORTOPÉDICA PERSONALIZADA



FUENTE: El autor (2020)

#### 4 DISCUSION

**Método rula-ergonautas:** a través de método Rula, el cual permite una valoración del efecto postural de exposición para el caso puntual, el paciente de estudio con la patología pie plano flexible en la posición de pies y erguido, con el uso y no uso de las plantillas personalizadas para evaluar una postura inadecuada que puede ocasionar un trastorno postural. Por tal motivo ha sido preciso la utilización del programa Ergonautas el mismo que nos arroja el grado de desviación de la posición postural de la persona con respecto al plano sagital de la misma.

Haciendo uso de las plantillas se observó la corrección postural de  $1^{\circ}$  con respecto al plano sagital en referencia al tobillo, es decir existe un ángulo de postura corporal de  $110^{\circ}$ , mejorando un grado de corrección corporal la cual es imperceptible a simple vista, por tal motivo se utilizó el programa Ergonautas.

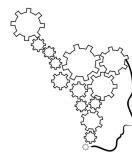
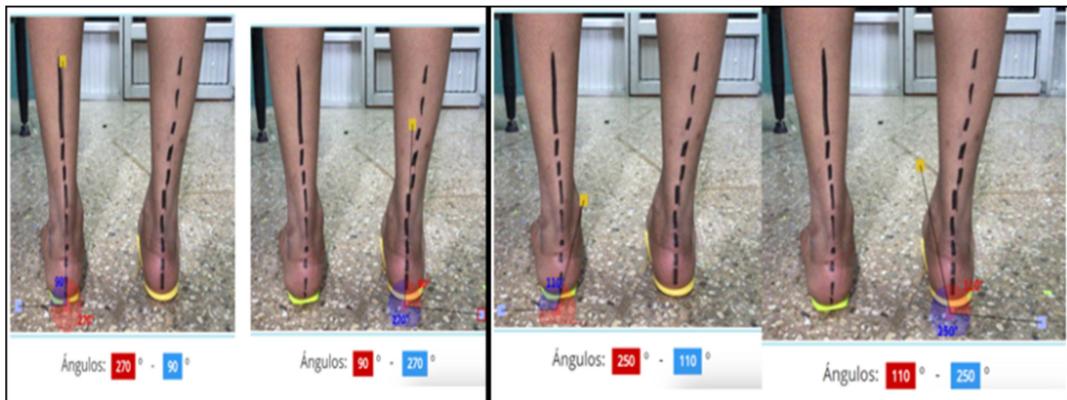


FIGURA 11 – CORRECCIÓN POSTURAL CON LAS PLANTILLAS PERSONALIZADAS



FUENTE: El autor (2020)

## 5 CONCLUSIÓN

Como resultado del trabajo de investigación se ha determinado que para garantizar el trabajo realizado es preciso realizar un modelado y diseño de la plantilla minucioso por varios programas, de los cuales cada uno de ellos están especializados en generar una parte del producto final, por tal motivo los programas que ha sido utilizados para el diseño de la plantilla fueron: Kscan3d, Meshmixer, Geomagic design, SolidWorks y Ultimaker cura.

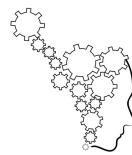
Una vez impresa la plantilla se ha procedido con pruebas y valoración médica sobre el prototipo realizado y en base al punto de vista médico se ha realizado correcciones en el diseño de la plantilla a través del rediseño de una nueva y se ha llegado al prototipo final.

Por medio del escaneo del apoyo plantar de la paciente se generó el prototipo de plantilla ideal impreso en PLA, pues acorde pruebas realizadas se ha comprobado que el material TPU no es ideal para imprimir en 3d para el producto requerido, porque ese material es poco duro, por tal motivo la mejor opción ha sido imprimir en PLA no solo para el pie en estudio sino para cualquier otro, como solución a este inconveniente conforme futuras investigaciones de material, se puede hacer el molde de forma rápida para verte el material (silicona, plástico Eva,).

Para el prototipo de plantilla ideal la solución más simple consiste en el escaneo de forma manual, una superficie plantar y en base a esta, la extracción de la superficie plantar para obtener características precisas acorde a la constitución anatómica.



www.relainep.ufpr.br



## AGRADECIMIENTOS

De manera especial un profundo agradecimiento a Yolanda y Luis mis amados padres y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme desarrollar este trabajo investigativo.

## REFERENCIAS

- BAAR Z A y otros. *Pie plano flexible: ¿Qué y por qué tratar?* [En línea]. Rev. Chil Pediatría, agosto de 2006, [Fecha de consulta: 9 de mayo de 2019]; Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S037041062006000400003&lng=es&nrm=iso&tlang=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S037041062006000400003&lng=es&nrm=iso&tlang=en)
- BERCHON M, LUYT B. *La impresión 3D: guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general.* [En línea]. Barcelona, UNKNOWN: Editorial Gustavo Gili; 2016, [Fecha de consulta: 2 de julio de 2019]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=4536132>
- DOMBROSKI CE y otros, *The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study.* BMC Res Notes.;7(1):443, 10 de julio de 2014, p. 1.
- MENZ HB y otros. '' *Foot pain and mobility limitations in older adults: the Framingham Foot Study*'. J Gerontol A Biol Sci Med Sci., 68(10):1281-5, 2013, p. 1281.
- MOYA S. H. *Malformaciones congénitas del pie y pie plano.* [En línea]. Rev. Chil. Pediatría, 2000, [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2019] Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0370-41062000000300011&lng=es&nrm=iso&tlang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0370-41062000000300011&lng=es&nrm=iso&tlang=es)