

## Método para el cálculo de las medidas angulares de la articulación del radio distal

### Method to calculate angular measures of the distal radial articulation

Ing. Kalenia Marquez Flórez,<sup>1</sup> Ing. Diego Alexander Garzón Alvarado,<sup>1</sup> Dr. Enrique Vergara Amador<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

<sup>11</sup>Departamento de Ortopedia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

---

#### RESUMEN

La fractura del radio distal se puede presentar cuando se produce una compresión axial sobre la muñeca. Entre los tratamientos más comunes se encuentran el conservador (inmovilización con yeso) y el quirúrgico. Este último emplea placas y tornillos para la fijación de la fractura después de la reducción, sin embargo, debido a la anatomía compleja de la superficie articular, determinar la posición relativa de los tornillos con respecto a esta puede llegar a ser complicado. Para solucionar esto, se han empleado imágenes radiológicas estándar, en las cuales se determina la inclinación palmar y radial de la superficie articular. Con base en los ángulos obtenidos se inclina el antebrazo, de modo que al tomar la radiografía, los labios de la superficie articular queden superpuestos. Sin embargo, este método para determinar las inclinaciones resulta poco efectivo debido a que no se considera en su análisis la anatomía biplana simultáneamente con la biconcava, del área articular. En este artículo se propone una metodología para hallar los ángulos que determinan la orientación de la superficie articular, empleando reconstrucción tridimensional a partir de imágenes de tomografía axial. Con estas inclinaciones será posible visualizar tangencialmente la superficie articular del radio distal, y así determinar la posición relativa de los tornillos de fijación respecto a esta superficie. Mediante el estudio de un caso, se encontró que la inclinación radial de la superficie articular en su totalidad era de 13° y la palmar de 6° con respecto a una línea perpendicular al eje central del radio. Esto difiere de lo hallado por otros autores que proponen un ángulo radial de 22° a 24° y palmar de 9° a 12°. Por otra parte, para la superficie que articula con el hueso semilunar se encontró una inclinación

radial de 7° y una palmar de 10°; en tanto la fosa que está en contacto con el hueso escafoides se inclina radialmente 21° y palmarmente 8°, en el caso analizado.

**Palabras clave:** Radio distal, inclinación palmar, inclinación radial.

---

## ABSTRACT

A distal radial fracture may occur as a result of axial compression of the wrist. The most common treatments include the conservative approach (plaster cast immobilization) and surgery. In the latter procedure, plates and screws are used to fix the fracture after reduction. However, it may be difficult to determine the relative position of the screws with respect to the articular surface, due to the complex anatomy of this structure. To solve this problem, standard radiological imaging has been used to determine the palmar and radial tilt of the articular surface. Based on the angles obtained, the forearm is tilted in such a way that when the radiograph is taken the articular surface labia overlap. However, this method is not very effective to determine tilt, since the biplane and biconcave anatomy of the articular zone are not considered simultaneously. A methodology is proposed to find the angles determining articular surface orientation by means of three-dimensional reconstruction based on axial tomography imaging. Such tilt measurements will make it possible to obtain a tangential view of the distal radial articular surface and determine the relative position of fixation screws with respect to it. In a case study it was found that total radial tilt of the articular surface was 13° and palmar tilt was 6° with respect to a line perpendicular to the central axis of the radius. This outcome differs from findings by other authors, who propose a radial angle of 22° to 24° and a palmar angle of 9° to 12°. Additionally, for the surface articulating with the semilunar bone, radial tilt was found to be 7° and palmar tilt 10°, whereas in the fossa which is in contact with the scaphoid bone, radial tilt is 21° and palmar tilt 8° in the case analyzed.

**Key words:** Distal radius, palmar tilt, radial tilt.

---

## INTRODUCCIÓN

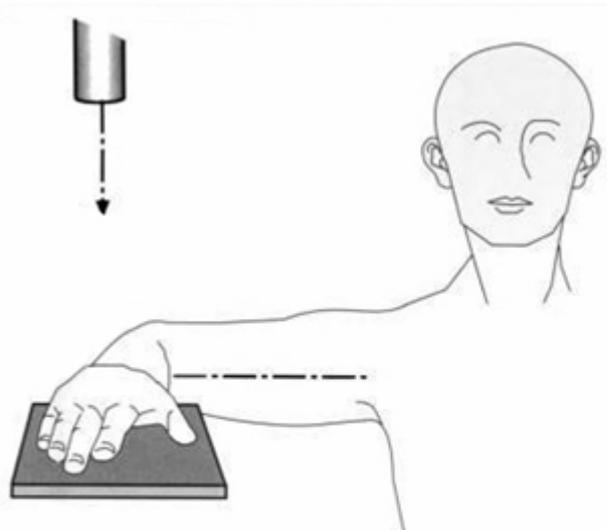
La causa más común de fracturas en el radio distal son las caídas con apoyo en la mano, que causan una compresión axial con dorsiflexión de la articulación de la muñeca.<sup>1</sup> Diversos autores han estudiado las formas de clasificar este tipo de lesión, para lo cual han tomado en consideración criterios tales como la afectación articular, el grado de conminución, el desplazamiento radiológico y el mecanismo de lesión.<sup>2</sup>

Los tratamientos más comunes para este tipo de fracturas son el conservador y el quirúrgico.<sup>3</sup> El primero, se emplea en fracturas no desplazadas o en aquellas, extraarticulares o no, que aunque se hayan desplazado, después de la reducción se mantienen estables; con inmovilización posterior con un yeso. Para fracturas inestables es preferible el tratamiento quirúrgico.<sup>3</sup> El mejoramiento de los métodos

---

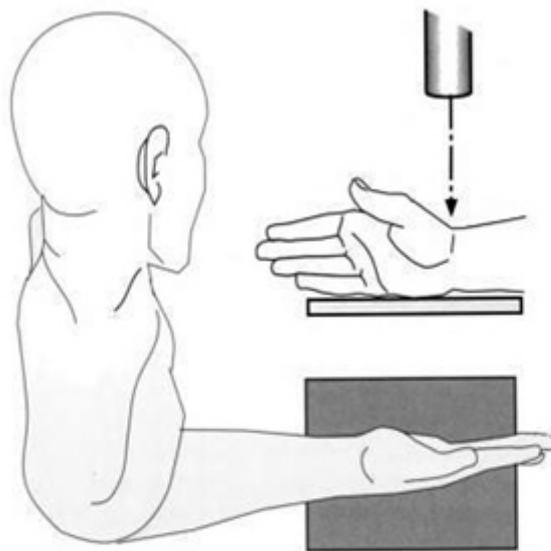
de fijación y una aproximación aceptable del realineamiento anatómico de la reducción de estas fracturas, han llevado a aumentar las posibilidades de éxito de una fijación quirúrgica del radio distal.<sup>4</sup>

El tratamiento quirúrgico de fracturas en la articulación distal del radio requiere generalmente, para su fijación, del empleo de placas y tornillos cerca de la superficie articular.<sup>5</sup> Sin embargo, después de la reducción de la fractura, determinar la posición relativa de los tornillos respecto a la superficie articular, puede ser difícil con el empleo de radiografías anteroposterior (Fig. 1) y lateral (Fig. 2), perpendiculares al eje del hueso.<sup>5</sup> Esta dificultad se debe a la anatomía del radio distal cuya superficie articular es tanto bicóncava "considerando las áreas que articulan con el hueso escafoides y con el hueso semilunar" como biplana "a causa de la inclinación radial y palmar". Debido a esta característica, las radiografías estándar de muñeca no proveen una óptima visualización de la superficie articular y por lo tanto, no permiten una evaluación precisa sobre la posición de los tornillos respecto a ella.<sup>4</sup>



*Modificado de: Castro WHM, Jerosch J, Grossman TW. Examination and diagnosis of musculoskeletal disorders: clinical examination. Stuttgart, Germany: Thieme; 2001.<sup>6</sup>*

**Fig. 1.** Posición del brazo en una radiografía anteroposterior estándar de muñeca.



Tomado de: Castro WHM, Jerosch J, Grossman TW. *Examination and diagnosis of musculoskeletal disorders: clinical examination. Stuttgart, Germany: Thieme; 2001.*<sup>6</sup>

**Fig. 2.** Posición del brazo en una radiografía lateral estándar de muñeca.

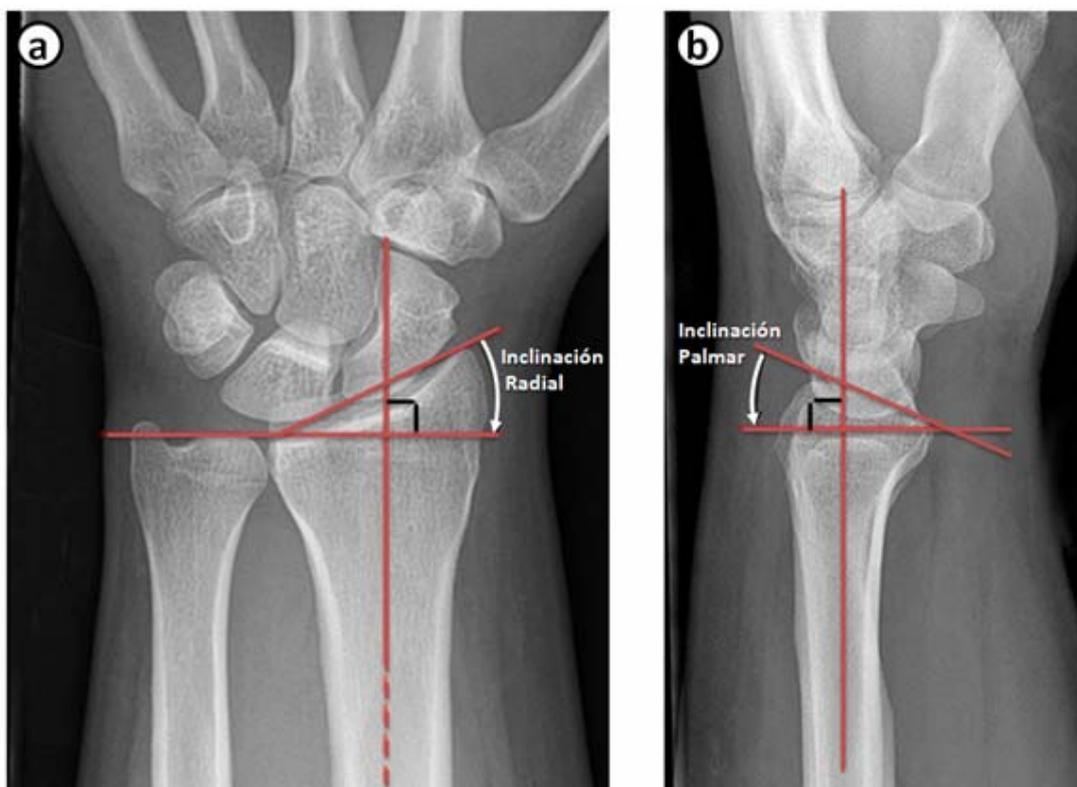
Para tomar las radiografías a partir de las cuales se determina la posición relativa de los tornillos, normalmente se emplean los ángulos de inclinación palmar y radial (Fig. 3). Se han realizado múltiples estudios para determinar cuáles son estos ángulos. Generalmente se toman radiografías de personas o cadáveres en diferentes inclinaciones, diferenciando su sexo y edad, y a partir de estos se determina una inclinación promedio. En algunos estudios se observó que la inclinación palmar tiene un promedio de  $12^\circ$ , y la inclinación radial,  $23^\circ$  aproximadamente,<sup>7</sup> estas con respecto a una línea perpendicular al eje central del radio; otros autores señalan que es  $24^\circ$ , variando en un rango entre  $9^\circ$  y  $29^\circ$ .<sup>8</sup> También se ha encontrado que la inclinación palmar en las mujeres (con media de  $12,4^\circ$ ), es diferente a la de los hombres (con media de  $9,3^\circ$ ).<sup>9</sup>

Zanetti y otros<sup>1</sup> y Johnson y otros<sup>10</sup> determinaron que la supinación o pronación de la mano (rotación), influyen en la estimación de la inclinación palmar del radio distal, por lo cual se constituyen en aspectos a considerar a la hora de realizar las mediciones. Por otro lado, Boyce y otros<sup>4</sup> proponen emplear una inclinación del antebrazo de  $12^\circ$  y una rotación (pronación) de  $15^\circ$ , para una radiografía anteroposterior. A su vez, para una lateral, proponen una inclinación de  $22^\circ$  y una rotación de  $15^\circ$ .

Si en una radiografía anteroposterior se inclina el antebrazo al valor del ángulo palmar y en una lateral, al valor del ángulo radial (Fig. 4), los labios de la superficie articular se observarán superpuestos, de modo que se puede establecer, de forma aproximada, si los tornillos de fijación sobresalen en la articulación.<sup>5</sup> Sin embargo, este método presenta fallas pues la visibilidad puede no resultar del todo clara al no considerar la anatomía biplana simultáneamente con la biconcava.<sup>4,12</sup>

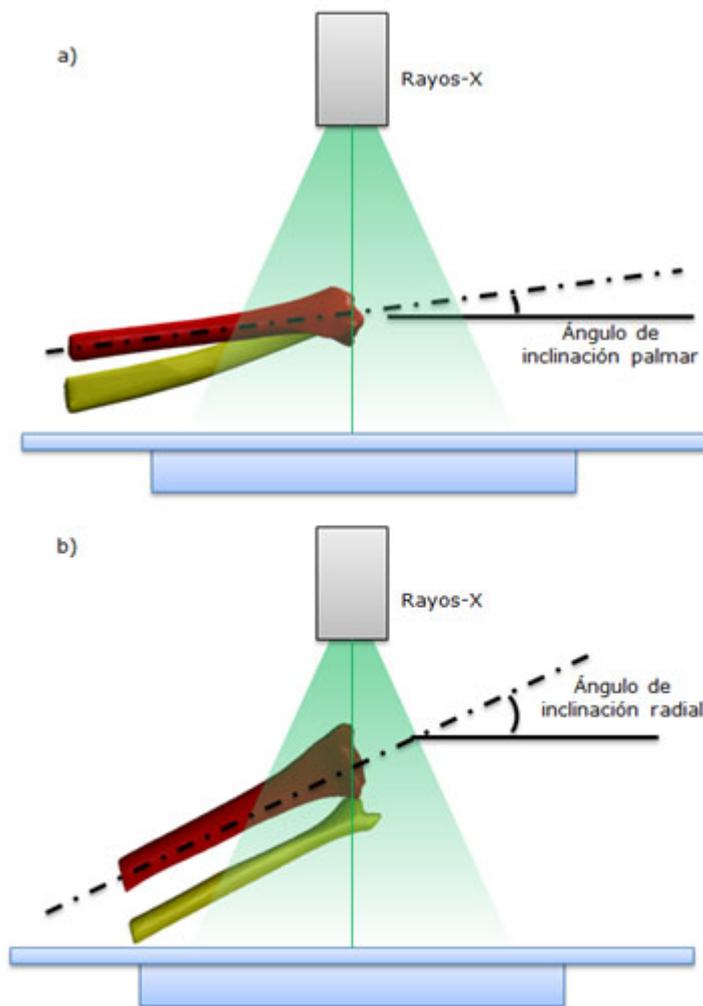
El propósito de este estudio es plantear una metodología para hallar los ángulos que determinan la orientación de la superficie articular en cuestión, de modo que

sirvan como guía para determinar la inclinación del antebrazo en la toma de radiografías, en los casos en que se requiera una vista de filo de esta superficie. En esta, a diferencia de los métodos empleados por otros autores, los cuales dependen de la calidad de imágenes radiográficas y un buen criterio por parte de los evaluadores, se emplea reconstrucción tridimensional a partir de imágenes de tomografía axial computarizada (TAC), y mediante herramientas computacionales, se determina con mayor exactitud la orientación de la superficie. Esto permitirá a médicos ortopedistas una visualización de filo de la superficie articular del radio distal como herramienta para establecer, con mayor precisión, la posición relativa de los tornillos de fijación de la placa de osteosíntesis con respecto a esta superficie durante un tratamiento quirúrgico de fractura del radio distal.



Modificado de: Mann FA, Wilson AJ, Gilula LA. Radiographic evaluation of the wrist: what does the hand surgeon want to know? *Radiology*. 1992 Jul;184(1).<sup>11</sup>

**Fig. 3.** Radiografía anteroposterior; se puede observar la inclinación radial que representa el ángulo entre una línea que conecta la parte más distal del radio con la cara cubital del radio distal. b) Radiografía lateral; se puede ver la inclinación palmar que representa el plano de inclinación de la superficie articular del radio distal.



**Fig. 4.** Diagrama que muestra la inclinación del antebrazo respecto a la mesa de los rayos X en: a) Radiografía anteroposterior con el brazo inclinado al ángulo palmar. b) Radiografía lateral con el antebrazo inclinado al ángulo radial.

## MÉTODOS

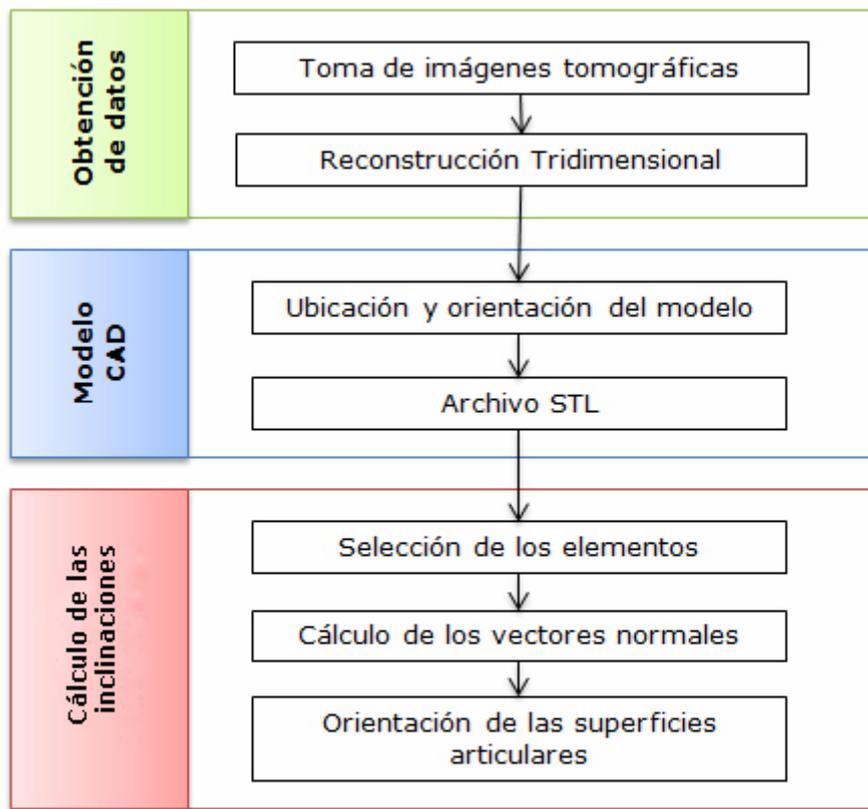
En este artículo se desarrolló una metodología que consta de 3 fases: obtención de datos, modelo CAD y determinación de las inclinaciones (Fig. 5).

### Obtención de datos

#### *Toma de imágenes tomográficas*

A partir de imágenes tomadas por tomografía axial computarizada (TAC) se realiza la reconstrucción tridimensional de los huesos y la piel de la articulación objeto de análisis. Estandarizar la toma de las imágenes es importante,<sup>6</sup> por lo cual se propone que la posición del brazo al realizar la tomografía sea igual a aquella con la que se efectúa una radiografía anteroposterior estándar, es decir el brazo debe

abducirse 90°. La articulación del codo también requiere estar a 90° y la muñeca, completamente apoyada sobre la mesa (Fig. 1).



**Fig. 5.** Esquema de la metodología propuesta para determinar la inclinación de las superficies articulares.

#### *Reconstrucción tridimensional*

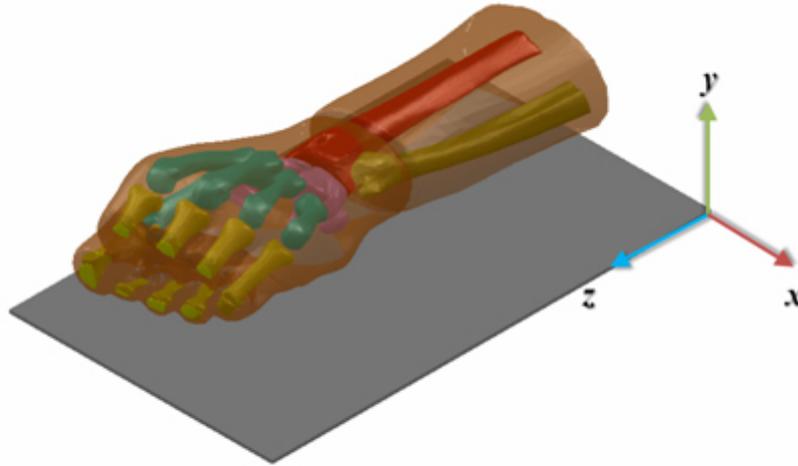
Esta reconstrucción se realiza mediante un software especializado (para el caso analizado se empleó Mimics de Materialise). Es importante que cada parte sea reconstruida como un elemento diferente (cada uno de los huesos y la piel), de modo que puedan exportarse como elementos independientes.

#### **Modelo CAD**

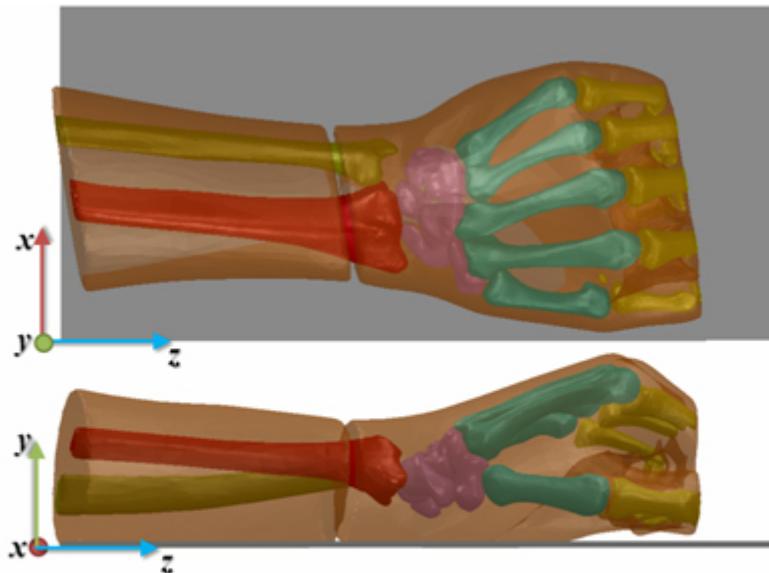
##### *Ubicación y orientación*

Suponiendo que la tomografía fue tomada correctamente, se puede emplear la ubicación y orientación del radio que se obtienen desde Mimics. Sin embargo, en el caso estudiado, el brazo se encontraba con cierta inclinación, por lo cual se empleó Rhino3D (McNeel), donde se importó un archivo STL desde Mimics y se convirtió en sólido. Posteriormente, se abrió desde SolidWorks (Dassault Systèmes SolidWorks Corp) donde se realizó el ensamble de los elementos y se reorientó el brazo según lo requerido. Tomando como referencia una placa ubicada paralela al plano xz, se orienta el antebrazo en dirección del eje z, de manera tal que la articulación distal del radio esté en el sentido positivo; luego se apoyan la muñeca y el antebrazo en

la placa, tratando de que no exista una inclinación lateral considerable (Figs. 6 y 7). Una vez se tenga certeza de la ubicación y orientación del brazo en el espacio, respecto al origen de un sistema cartesiano, se exporta el radio como un archivo de formato STL del tipo ASCII (Fig. 8).



**Fig. 6.** Ubicación y orientación de la mano en vista isométrica.



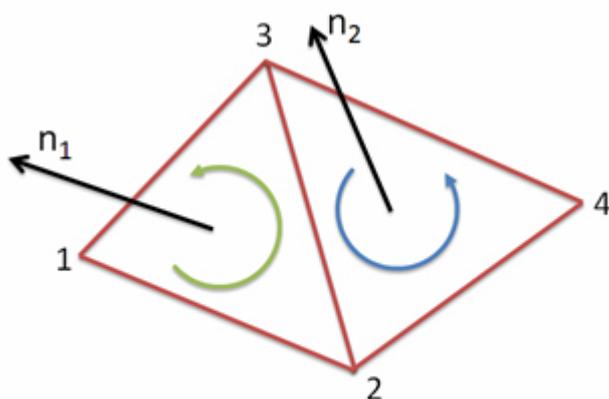
**Fig. 7.** Ubicación y orientación de la muñeca con respecto a una superficie horizontal.



**Fig. 8.** Visualización del radio como un archivo STL.

#### *Archivos STL*

Los archivos STL se emplean debido a que estos describen la geometría de una superficie de un objeto tridimensional empleando una malla de triángulos, definiendo el vector normal (perpendicular al plano) de cada uno en dirección exterior al objeto y ordenando sus vértices de acuerdo con la regla de la mano derecha (Fig. 9). Estos archivos se pueden crear tanto en representación binaria como ASCII. Sin embargo, a diferencia del binario, el tipo ASCII puede ser leído y modificado como un archivo de texto.



**Fig. 9.** Descripción del archivo STL.

La estructura de un archivo STL tipo ASCII, inicia con la enunciación del sólido, luego precisa cada elemento con su vector normal y con las coordenadas de cada uno de sus vértices, tal como se muestra en la figura 10.

```

Solid
:
facet normal n1j n1j n1k
outer loop
Vertex 1x 1y 1k
vertex 2x 2y 2k
vertex 3x 3y 3k
endloop
Endfacet

facet normal n2j n2j n2k
outer loop
Vertex 3x 3y 3k
vertex 2x 2y 2k
vertex 4x 4y 4k
endloop
Endfacet
:
End solid
    
```

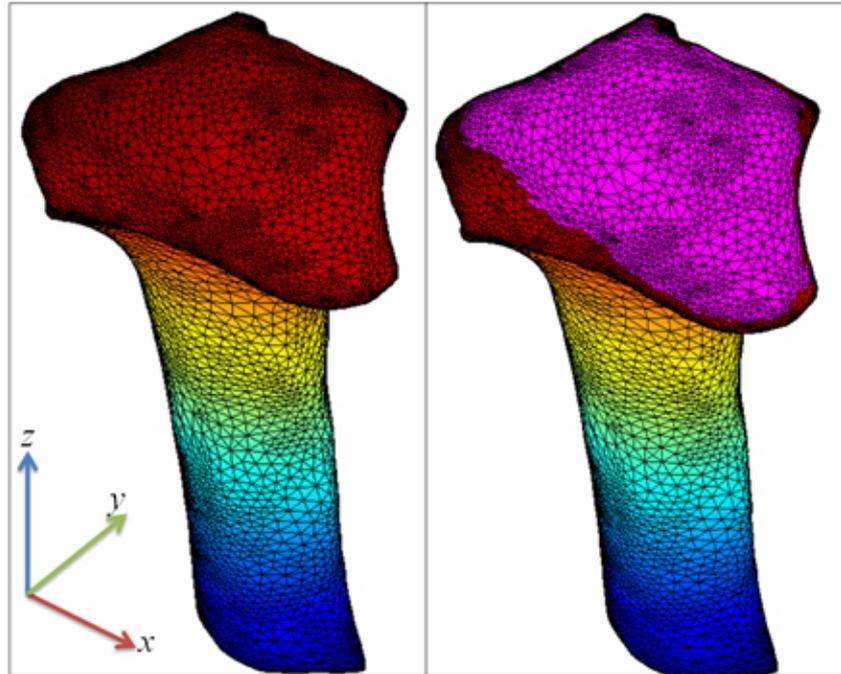
**Fig. 10.** Formato de un archivo STL del tipo ASCII, donde se describen las dos caras de la figura 9.

## Cálculo de las inclinaciones

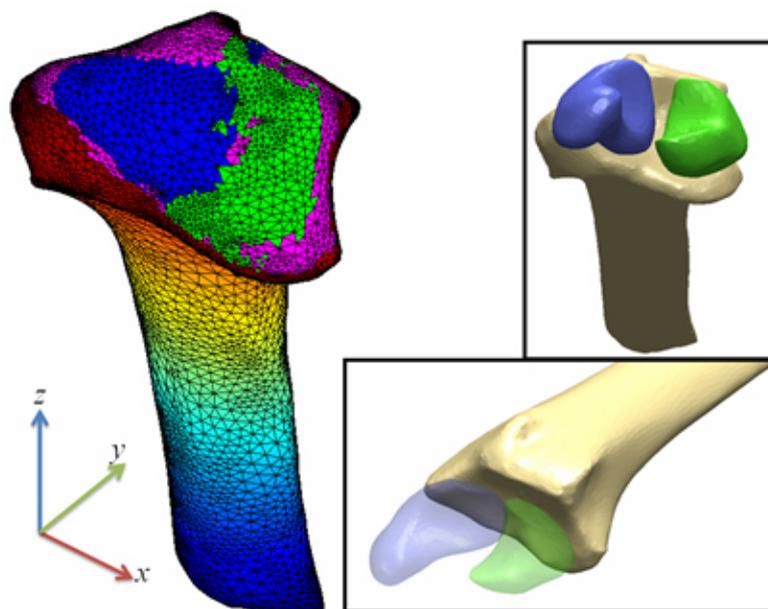
### *Selección de los elementos*

Con el archivo en formato STL, se identifica el número de triángulos y vértices (nodos) que posee el modelo del hueso, así como sus conectividades y su ubicación respecto a un sistema cartesiano. Lo anterior permite identificar cuáles son los elementos (triángulos) cuyo vector normal tenga positiva la componente en el eje longitudinal (eje z, componente  $k$ ). A su vez, de estos elementos se seleccionan aquellos que se encuentren en el 10 % más distal del hueso; esto se realiza para evitar escoger elementos por debajo de la cabeza articular, que estén orientados positivamente en el eje z. Los elementos que se obtienen pertenecen a la superficie articular del radio (fig. 11).

Luego de determinar los elementos ubicados en la superficie, se diferencian entre aquellos que se encuentran en el área que articula con el hueso escafoides y los del área que articula con el semilunar, para lo cual se tomó como referencia la componente de los vectores normales en el eje x (componente en dirección  $i$ ). Si el valor absoluto de este es menor o igual a 0,25, el elemento pertenece a la cara que articula con el hueso semilunar (color verde en la figura 12). Por otro lado, aquellos elementos cuya componente en el eje x sea mayor de 0,25, se considera que articulan con el hueso escafoides (color azul en la figura 12).



**Fig. 11.** En la derecha se observan los elementos seleccionados que se encuentran en la superficie articular, color magenta.



**Fig. 12.** En azul se muestra la superficie articular que esta en contacto con el hueso escafoides y en verde la que articula con el semilunar.

*Cálculo del vector normal con respecto a cada superficie articular*

En esta fase se calcula un único vector normal para cada fosa de la superficie articular del radio distal (verde y azul), teniendo en cuenta que el vector de área de una superficie está definido por la ecuación (1) donde  $\hat{n}$  es el vector unitario normal a la superficie y  $S$  es el área de esta. Por otro lado, para una superficie orientable  $S$  compuesta por un conjunto de áreas planas  $S_i$ , como es el caso de las superficies analizadas, el vector de área está dado por la ecuación (2) donde  $\hat{n}_i$  es el vector unitario normal de la superficie  $i$  y  $S_i$  es el área de esta.<sup>13</sup>

$$S = \hat{n} S \quad (1)$$

$$S = \sum_i \hat{n}_i S_i \quad (2)$$

Debido a que el archivo STL no proporciona el área de cada triángulo, esta debió calcularse mediante la aplicación de la ecuación (3), donde  $A$ ,  $B$  y  $C$  son vectores que indican las coordenadas de los nodos (vértices) del triángulo. Luego se realiza la sumatoria de estas áreas multiplicadas por su vector normal, como lo muestra la ecuación (2), esto se hace tanto a la superficie articular verde (la que articula con el hueso semilunar), como a la azul (la que articula con el hueso escafoides). Finalmente se obtienen dos vectores normales a cada superficie articular.

$$Area_T = \frac{|(A - B) \times (A - C)|}{2} \quad (3)$$

*Determinación de la orientación de las superficies articulares*

Mediante el cálculo de los cosenos directores de los vectores normales de cada superficie, se puede determinar la orientación de cada cara articular, es decir, los ángulos con respecto a cada eje del sistema cartesiano. Para esto, se emplea la ecuación (4) donde  $U$  es un vector unitario en dirección de algún eje coordenado (p.e. para el eje  $x$ ,  $U = [1,0,0]$ ), y  $S$  es el vector normal a cada superficie articular.

El ángulo complementario de  $\theta$ , es el ángulo de este mismo vector con respecto a un plano al cual el vector  $U$  es perpendicular (plano  $yz$ ).

$$\theta = \text{acos} \left( \frac{|U \cdot S|}{|S|} \right) \quad (4)$$

Con los ángulos calculados, se determina la inclinación a la que se debe colocar el brazo al tomar una radiografía, dependiendo de la superficie articular que se quiera observar en vista de filo y verdadera magnitud. Si la superficie se quiere ver en una radiografía anteroposterior, se debe inclinar el antebrazo el mismo ángulo que el formado por su vector normal con el plano  $xz$  (donde el vector normal a la superficie estaría paralelo a este plano). En cambio si se quiere emplear una

radiografía lateral, se deberá inclinar el antebrazo al ángulo comprendido entre el vector normal de la superficie y el plano yz.

## RESULTADOS

Se estudió un caso para este artículo, en el que, después de aplicar el método aquí planteado, se encontró que el vector normal a la cara de la superficie articular, que está en contacto con el hueso escafoides (de color azul), tiene un ángulo respecto al plano xz de 8,1093°; respecto al plano yz el ángulo obtenido fue de 21,7425°. Por otra parte, para la cara de la superficie que articula con el hueso semilunar (de color verde), el vector normal tiene un ángulo con respecto al plano xz de 10,414° y respecto al plano yz de 6,9353°.

Al considerar la superficie articular en su totalidad, es decir sin hacer distinción entre las áreas que articulan con los huesos escafoides y semilunar (inclinación que se asemeja a la que se intenta obtener en otras metodologías observadas), el ángulo obtenido respecto al plano xz fue de 5,7801°, y respecto al plano yz el ángulo fue de 13,2584°.

En la siguiente tabla se muestran los ángulos de cada fosa articular y de toda la superficie con respecto a cada plano. Por otro lado, en la figura 13 se muestra un esquema de los ángulos encontrados.

**Tabla.** Ángulos de cada superficie con respecto a cada plano

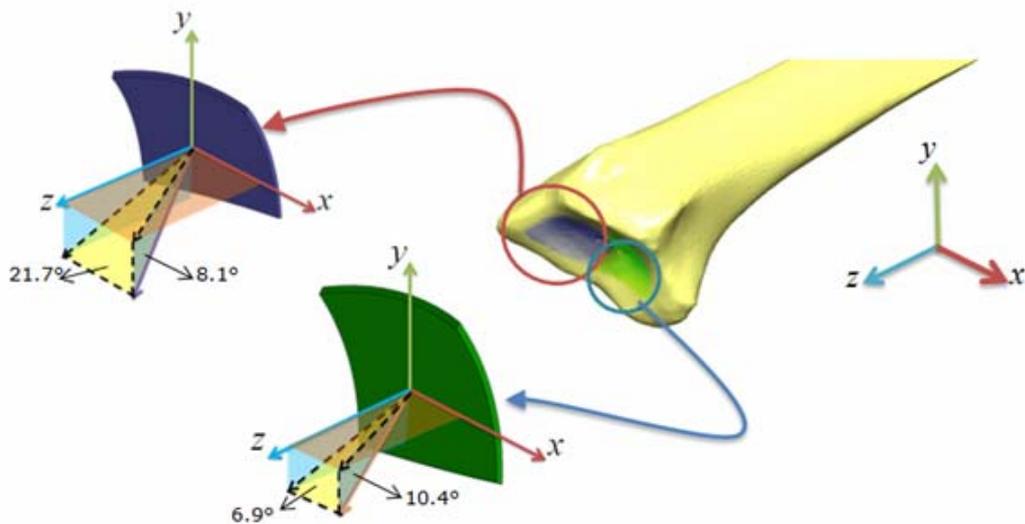
Superficie	Plano xz	Plano yz	Plano xy
Toda la superficie	5,8°	13,3°	75,5°
Superficie en contacto con el hueso semilunar (verde)	-10,4°	6,9°	77,4°
Superficie en contacto con el hueso escafoides (azul)	-8,1°	21,7°	66,6°

## DISCUSIÓN

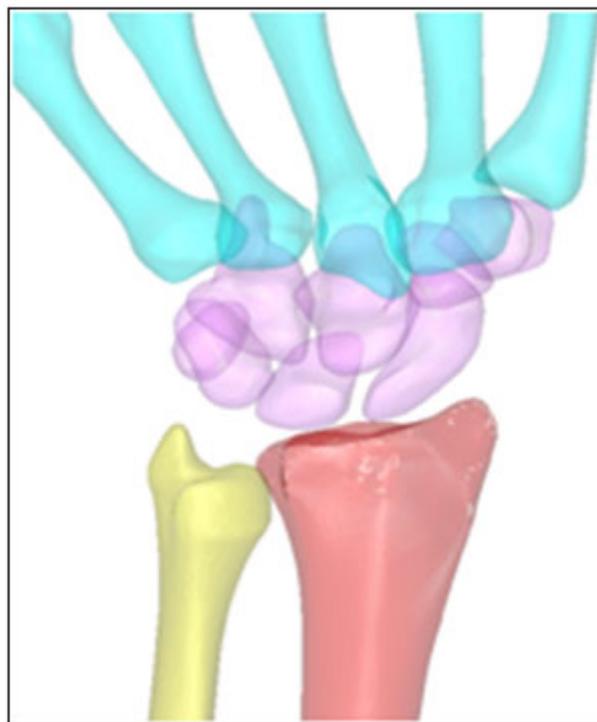
En este artículo se presenta una nueva metodología para hallar los ángulos que determinan la orientación de la superficie articular del radio distal. Esto, con el objetivo de que sirva de guía para la toma de radiografías, que permitan determinar con mayor precisión la posición relativa de tornillos de fijación con respecto a esta superficie. A partir del caso analizado se encontraron valores sobre la inclinación de los vectores normales de la superficie articular en su totalidad y de cada fosa articular (la que articula con el hueso escafoides y con el semilunar), respecto a cada plano desde el cual se toman radiografías normalmente (anteroposterior y lateral).

Considerando los resultados obtenidos, puede tomarse una radiografía anteroposterior inclinando el brazo a 8,1° (Fig. 14). De esta forma se podrá ver la superficie que articula con el hueso escafoides de filo, permitiendo determinar si existen tornillos que sobresalgan en esta cara articular. Junto con esta, se toma otra radiografía lateral donde se incline el brazo 6,9° (Fig. 15), viéndose con esto la

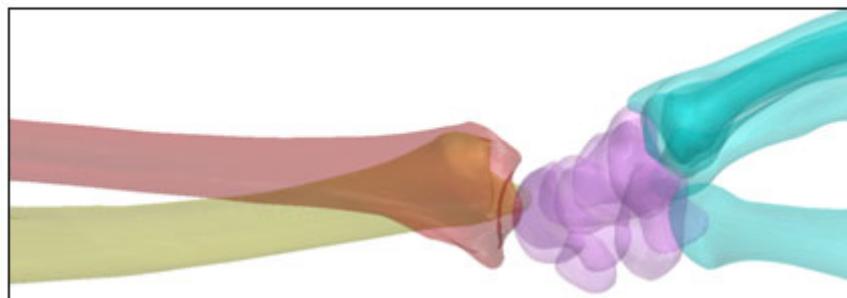
superficie que articula con el hueso semilunar de filo y así verificar si los tornillos sobresalen en esta última.



**Fig. 13.** Inclinaciones de los vectores de superficie.

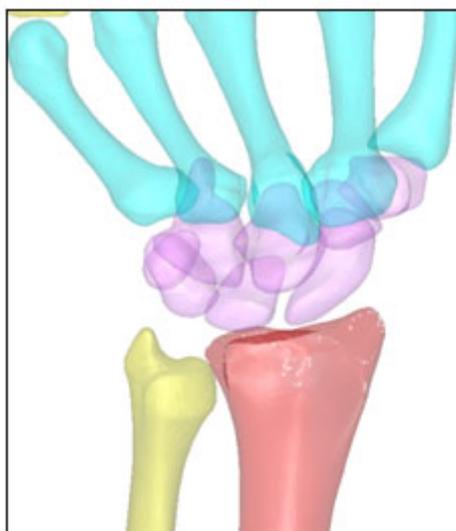


**Fig. 14.** Radiografía anteroposterior tomada con el antebrazo inclinado  $8,1^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista superior y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

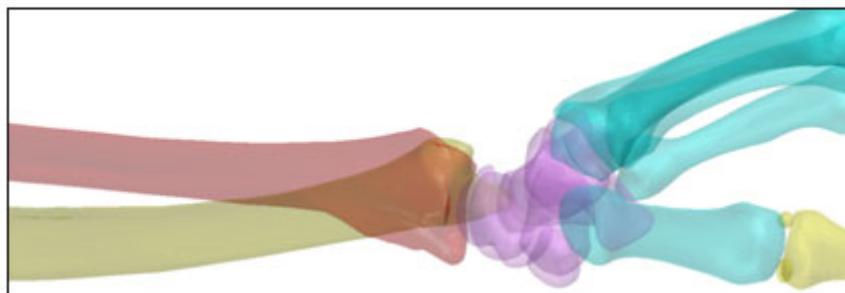


**Fig. 15.** Radiografía lateral con el antebrazo inclinado  $6,9^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista lateral y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

Otra opción posible consiste en inclinar el antebrazo  $10,4^\circ$  al tomar radiografía anteroposterior y así visualizar de filo, la superficie que articula con el hueso semilunar (Fig. 16). En el caso de la radiografía lateral, el brazo se inclina  $12,7^\circ$  viéndose de filo, la cara articular que está en contacto con el hueso escafoides (Fig. 17). Con estas rotaciones se puede observar si los tornillos de fijación sobresalen a cada una de las superficies.

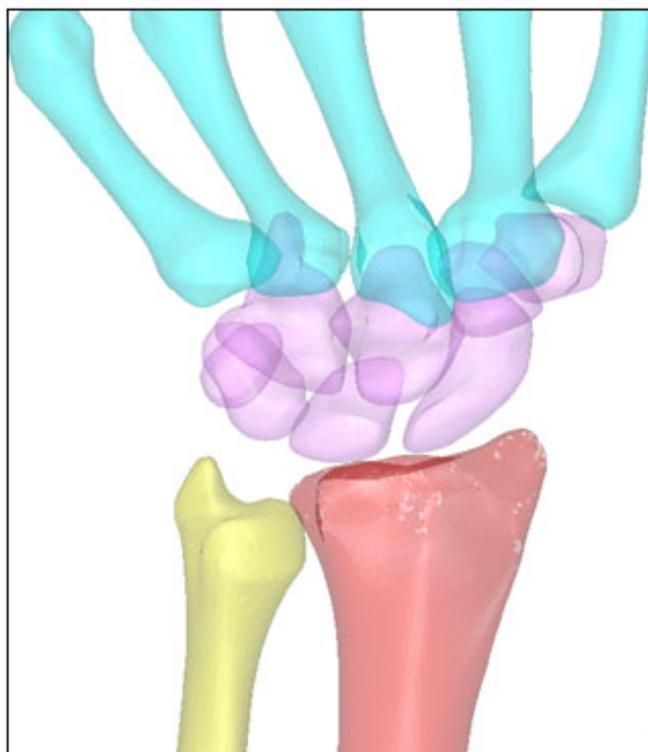


**Fig. 16.** Imagen anteroposterior tomada con el antebrazo inclinado  $10,4^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista superior y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

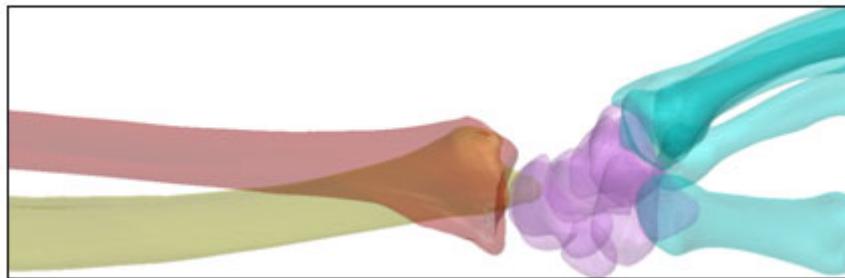


**Fig. 17.** Imagen lateral tomada con el antebrazo inclinado  $12,7^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista lateral y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

Por otro lado, también se puede visualizar de filo la superficie articular en su totalidad (sin diferenciar entre la que articula con el hueso escafoides y el semilunar), desde una radiografía anteroposterior; para esto el brazo deberá inclinarse  $5,8$  grados (Fig. 18). En cambio en la radiografía lateral, la inclinación deberá ser de  $13,3$  grados (Fig. 19).

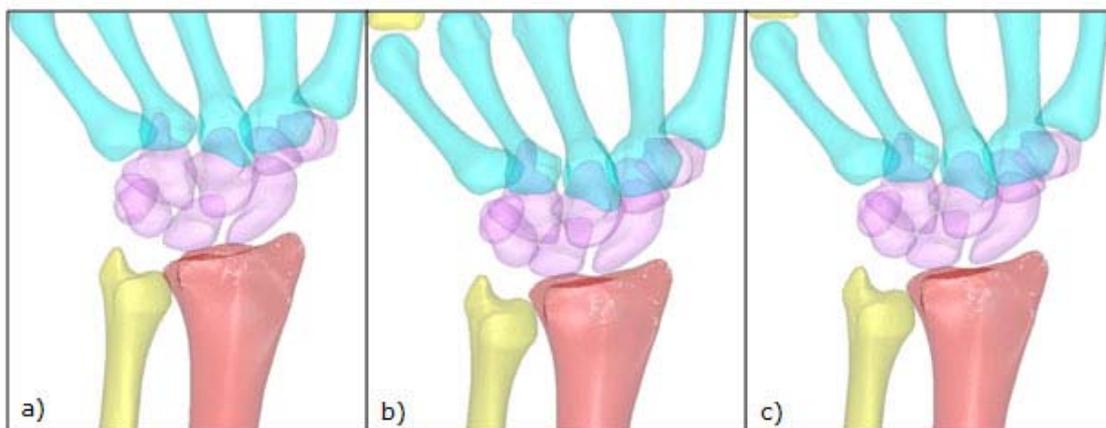


**Fig. 18.** Imagen anteroposterior tomada con el antebrazo inclinado  $5,8^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista superior y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

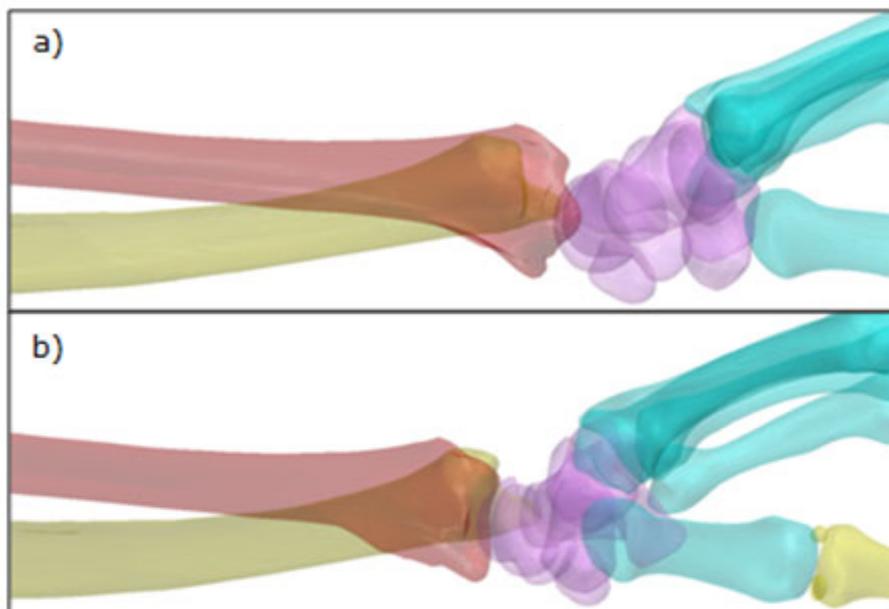


**Fig. 19.** Imagen lateral tomada con el antebrazo inclinado  $13,3^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista lateral y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

Ahora bien, si se realiza una comparación entre las imágenes anteroposteriores del antebrazo inclinado a los ángulos hallados (Figs. 14, 16 y 18), en las tomadas con inclinaciones de  $8,1^\circ$  y  $5,8^\circ$  se observa una mayor parte de la superficie articular; ángulos a los cuales, para esta vista, se deberían ver de filo la cara que articula con el hueso escafoides y la superficie articular en su totalidad. Asimismo, al comparar estas inclinaciones con las propuestas<sup>7,8,9</sup> (aproximadamente  $9^\circ$  y  $12^\circ$ ) (Fig. 20-b,c), salta a la vista que las encontradas son de mayor utilidad para visualizar adecuadamente la superficie articular. En cuanto a la radiografía lateral, cuando se contrasta las inclinaciones halladas entre sí, se puede ver que  $6,9^\circ$  es el ángulo que parece ser más efectivo, seguido de  $13,3^\circ$ ; ángulos a los que, en la vista lateral, se observan de filo la superficie que articula con el hueso escafoides y la superficie articular en su totalidad, respectivamente. De igual forma, comparando las inclinaciones halladas con las propuestas<sup>7,8</sup> (aproximadamente  $23^\circ$ ), la rotación del antebrazo en  $6,9^\circ$ , al igual que en  $13,3^\circ$ , muestra mejores resultados (Fig.21).



**Fig. 20.** Imágenes anteroposteriores tomadas con el antebrazo inclinado: a)  $0^\circ$ , b)  $12^\circ$ , c)  $9,3^\circ$ . Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista superior y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.



**Fig. 21.** "Radiografías" laterales tomadas con el antebrazo inclinado: a) 0°, b) 23°. Se suponen los huesos semitransparentes, de modo que simule la visualización de una radiografía. Se toma una vista lateral y se inclina el antebrazo al ángulo determinado, tal como se haría en la toma de una radiografía, y se captura la imagen.

Teniendo en cuenta las comparaciones anteriores, se observó que, en el caso estudiado, es efectivo tomar dos radiografías laterales, una donde se prefiera observar la fosa que articula con el hueso semilunar, y otra, donde se observe de filo la superficie que articula con el hueso escafoides. Es decir, tomar dos radiografías laterales, donde se incline el antebrazo 6,9° y en la otra a 21,7°, se visualizarán de filo la superficie que articula con el hueso semilunar y con el escafoides respectivamente. Adicionalmente, estas radiografías pueden complementarse con una anteroposterior donde se observe de filo la superficie articular en su totalidad, para lo cual se debe inclinar el brazo 5,8°. Por otra parte, aunque se determinó la orientación de dos superficies, se puede notar que la inclinación encontrada de la superficie que articula con el hueso escafoides (de color azul), es muy parecida a las inclinaciones palmares y radiales encontradas por otros estudios.<sup>4,9</sup> Esto se debe a que la inclinación de esta fosa de la superficie articular es mucho más pronunciada con relación a la otra, lo que se evidencia en los resultados obtenidos. Lo anterior indica que la inclinación palmar y radial del radio distal está influenciada en gran medida por la orientación de esta superficie. También se observa que los ángulos hallados en este estudio se encuentran dentro de los rangos establecidos por otras investigaciones. Por otro lado, con proporción a otras investigaciones y literatura encontrada las inclinaciones están dentro del mismo orden y la diferencia no es mayor de 3 grados.<sup>8, 10</sup>

Asimismo, si se considera toda la superficie articular, los ángulos de inclinación con respecto a cada plano no se aproximan a los encontrados para cada fosa articular, lo cual es de esperarse debido a que esta combina dos superficies con orientaciones significativamente diferentes. Además, la diferencia entre estos ángulos y los encontrados por otras investigaciones es grande, del 40 % al 50 %. Esto se explica porque en otros estudios solo se emplea la inclinación palmar y la radial para determinar cuál debe ser el ángulo al que debe posicionarse el brazo en la toma de las radiografías, dando como resultado una superposición de los labios de la

superficie articular; lo que no garantiza una vista tangencial de esta. En cambio, la inclinación del brazo basándose en la orientación de la superficie articular, implica que esta sea vista de filo en la radiografía. Esto hará más fácil determinar si los tornillos han sobrepasado a esta superficie.

Considerando lo analizado, sobre los resultados que se obtuvieron en este caso, puede afirmarse que el método que se propone para determinar las orientaciones de las superficies articulares, puede llegar a ser efectivo. Lo anterior se basa en que, al comparar las imágenes del brazo inclinado los ángulos aquí hallados, con los propuestos por otros autores, se observa mayor parte de las superficies de la articulación de filo.

En trabajos futuros se propone hacer un estudio estadístico, que permita determinar unas inclinaciones estándar de las superficies articulares estudiadas mediante la aplicación de la metodología aquí planteada. Posteriormente, se podría colocar, en el modelo CAD de un radio, una placa en la que los tornillos de fijación sobresalgan a la superficie articular, en este se evaluaría la efectividad de las inclinaciones halladas para determinar si los tornillos de fijación sobresalen a la cara articular.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zanetti M, Gilula LA, Jacob HAC, Hodler J. Palmar Tilt of the Distal Radius: Influence of Off-lateral Projections - Initial Observations. *Radiology*. 2001; (220):594-600.
2. Abad JM, García de Lucas F, Delgadp PJ, Fuentes A. Clasificación de las fracturas de la extremidad distal del radio dentro del medio laboral. *Patología del Aparato Locomotor*. 2007;5(Supl. II):17-21.
3. Pancorbo Sandoval EA, Martín Tirado JC, Delgado Quiñones A, Hernández Hernández J. Tratamiento de las fracturas del extremo distal del radio. *Rev Cubana Ortop Traumatol*. 2005;19(2).
4. Boyce BM, Ryu J. Radiographic Evaluation of the Distal Radius Using Two Novel Biplanar "Pitch-and-Roll" Views: A Preliminary Cadaveric Study. *Hand*. 2009 Apr; 4: 432-36.
5. Boyer MI, Koecek KJ, Gelberman RH, Gilula LA, Ditsios K, Evanoff B. Anatomic Tilt X-rays of the distal radius: An ex vivus analysis of surgical fixation. *The journal of hand and surgery*. 2004;29: 116-22.
6. Castro WHM, Jerosch J, Grossman TW. Examination and diagnosis of musculoskeletal disorders: clinical examination. Stuttgart, Germany: Thieme; 2001.
7. Solgaard S. Angle of inclination of the articular surface of the distal radius. *Radiologe*. 1984 Jul;24(7): 346-8.
8. Schuind FA, Linscheid RL, An KN, Chao EY. A normal data base of posteroanterior roentgenographic measurements of the wrist. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1992; 74(9):1418-29.

9. Mann FA, Kang SW, Gilula LA. Normal palmar tilt: is dorsal tilting really normal? *Journal of Hand Surgery*. 1992;17:315-17.
10. Johnson PG, Szabo RM. Angle measurements of the distal radius: a cadaver study. *Skeletal Radiology*. 1993;22(4):243-46.
11. Mann FA, Wilson AJ, Gilula LA. Radiographic evaluation of the wrist: what does the hand surgeon want to know? *Radiology*. 1992 Jul;184(1).
12. Kumar D, Breakwell L, Deshmukh SC, Singh BK. Tangential views of the articular surface of the distal radius-aid to open reduction and internal fixation of fractures. *Injury*. 2001 Aug;32.
13. Murray SR. *Theory and problems of vector analysis*. McGraw Hill: Schaum's Outline Series; 1959.

Recibido: 12 de enero de 2012.

Aprobado: 25 de enero de 2012.

Kalenia Marquez Flórez. Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico:  
[kmmarquezf@unal.edu.co](mailto:kmmarquezf@unal.edu.co)