

**UNIVERSIDAD DE CHILE.**  
FACULTAD DE MEDICINA.  
ESCUELA DE TECNOLOGIA MEDICA.

# **EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.**

TESIS PROFESIONAL PARA OPTAR AL TITULO DE TECNOLOGO MEDICO CON MENCIÓN EN  
RADIOLOGIA Y FISICA MEDICA.

AUTORES:

**Gustavo Figueroa Pérez y Cristian Tapia Gomez.**

TUTOR: Ricardo Soto Acevedo. ASESOR METODOLOGICO: Ricardo Lillo.

**AÑO 2000**



Calificaciones .	1
AGRADECIMIENTOS.- .	7
1.-RESUMEN. .	9
2.- INTRODUCCION. .	10
3.-OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS. .	13
3.1-OBJETIVO GENERAL. .	13
3.2.-OBJETIVOS ESPECIFICOS. .	13
3.3.-HIPOTESIS. . .	14
4.-MATERIAL Y METODOS. . .	15
4.1.-MATERIAL. .	15
4.2.-METODO. .	16
RESULTADOS.- . .	19
DISCUSION.- .	23
CONCLUSIONES.- .	25
BIBLIOGRAFIA.- .	27
ANEXO . .	29
CALCULO DE LA PRUEBA t-student.- .	33
ANALISIS DE VARIANZA ANOVA.- . .	35
HIPOTESIS DE NULIDAD H0.- .	39
HIPOTESIS ALTERNATIVA H1.- .	39



# Calificaciones


**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**SACUBA DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE TECNOLOGIA MEDICA**

**EVALUACION FINAL**

Ha sido evaluada la Tesis Profesional para obtener el Título Profesional de Tecnólogo Médico en la MenCIÓN Radiología y Física Médica: "EVALUACIÓN DE UN FILTRO DE SILECONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFÍA DE PIE ANTERO POSTERIOR", así como el desempeño de los dos alumnos que la realizaron:

El Sr. Gustavo Figueroa Pérez, obtuvo nota final 5.4 (cinco punto cuatro)

El Sr. Cristian Tapia Gómez obtuvo nota final 3.3 (cinco punto tres)

  
 Prof. J.M. Soledad Herrero  
 Presidente Comité Académico de Tesis Profesional



  
 Director  
 Escuela de Tecnología Médica

Santiago, Septiembre 07 de 2000.

Av. Independencia 1077 Santiago - Chile Teléfono +56 2204 470 4974 Fax 773 4236 Email [avanzad@medica.usach.cl](mailto:avanzad@medica.usach.cl)

# EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.

---

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS

Santiago, Febrero 2 del 2000

Prof. T.M. Patricia Vega Leizaola  
Directora  
Escuela de Tecnología Médica

Prof. T.M. Soledad Ibáñez  
Presidente Comisión Evaluadora  
Trabajos de Investigación  
Erescate

Estimados Profesores, he revisado el trabajo de los alumnos Cristian Tapia G. y Gustavo Figueroa P. titulado *Evaluación de un filtro de silicona en cuña, en radiografía de pie anteroposterior*. Es un trabajo seleccionado que pretende objetivar las ventajas del uso de filtros artesanales en la radiografía de pie AP. Creo que logra su objetivo en parte pero presenta problemas de redacción y de interpretación. En cuanto a la redacción, está en fase en tiempo futuro (se habló y se en pasado como debe ser, probablemente esto proviene del paso directo de lo escrito desde el progreso a la tesis sin una revisión cuidadosa). En cuanto a la interpretación se presenta un análisis con prueba de t para muestras pareadas por sectores lo que tiene lógica pero tiene el problema de intentar probar una misma hipótesis con tres pruebas, lo que hace que se sumen los errores (Teorema de Bonferroni). Aunque es válido y probablemente usando corrección de Bonferroni se validaría la hipótesis de los autores de que las diferencias en la zona 1 son por azar. El ANOVA de dos vías era suficiente pues muestra que hay un efecto de sitio, no hay diferencia entre los filtros ni hay interacción. Es decir el filtro artesanal está bueno como el otro, pero ambos son incapaces de homogeneizar completamente las densidades radiográficas (zona 1a zona2+zona3, con los dos filtros). Esto se habría comprobado usando comparaciones múltiples (Tukey por ejemplo).

La calificación es de 5,5 (cinco, cinco)

Los saluda atentamente,



Dr. Mauricio Canals L.  
Profesor Asociado  
Universidad de Chile

# EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.

Santiago 2 de septiembre 2000

Aclar:  
Patricio Vega Lobo  
Director Escuela de Tecnología Médica  
Precente

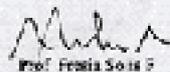
De mi consideración:

En relación a su solicitud de calificar la tesis profesional **EVALUACIÓN DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR** de los alumnos señores Gustavo Figueroa P y Cristián Tapia G de la carrera de Radiología y Física Médica, tengo a bien informarle lo siguiente:

Si bien el trabajo se abre para mejorar la calidad radiográfica de una porción de la extremidad inferior mediante un tratamiento de Sell constricción y bajo costo, desde el punto de vista de la aplicación del método científico, adolece de defectos desde el punto de vista formal (orden de presentación de contenidos, confusión entre propósitos y objetivos, valoración, ortografía entre otros) y de fondo, el tratamiento de los resultados, que omite variables porque se omite información importante y no incluyen cálculos estadísticos que corresponden a Anexo; además, la presentación de las referencias no se ajusta a normas internacionales. Merece destacarse el análisis de varianzas aplicado.

Como la evaluación la realizó por segunda vez, habiéndase mejorado solo parcialmente las indicaciones anteriores, califico esta tesis con nota cuantitativa ocho (8,0)

Saluda atentamente a Ud

  
Prof. Fermín Soto

*Santero F. J. J. 6.0*

	Si	Parcialmente	No
1. ¿Mostró interés en la búsqueda de información de su tema de Tesis?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Fue responsable en el cumplimiento de un horario de trabajo?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Fue deficiente en el trato a pacientes y/o responsable en el manejo de equipos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Mostró honestidad en la presentación de resultados originales positivos o negativos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ¿Se relaciona bien con otros miembros del Servicio o equipo de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ¿Fue codicada y ordenada en el registro de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. ¿Mostró interés en aprender?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. ¿Mostró iniciativa en el trabajo de su tesis?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. ¿Fue insuficiente en el trabajo de su competencia?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. ¿Fue respetuoso de la guía o conductiva de su Tutor?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Ricardo Soto*

**EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.**

*Ricardo Soto* : 5.5

	SI	Parcialmente	NO
1. ¿Mostró interés en la búsqueda de información de su tema de Tesis?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Fue responsable en el cumplimiento de un horario de trabajo?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Fue diferente en el trato a pacientes y/o responsable en el manejo de equipos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Mostró honestidad en la presentación de resultados originales positivos o negativos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ¿Se relaciona bien con otros miembros del Servicio o equipo de trabajo?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ¿Fue dedicado y ordenado en el registro de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. ¿Mostró interés en aprender?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. ¿Mostró iniciativa en el trabajo de su Tesis?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. ¿Fue autosuficiente en el trabajo de su competencia?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. ¿Fue respetuoso de la guía o conducción de su Tutor?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Ricardo Soto*

## AGRADECIMIENTOS.-

Queremos agradecer la valiosa colaboración del Tecnólogo Médico Simón Mejía, en cuanto a facilitar su filtro inventado para ser sometido al estudio comparativo, y sus sugerencias de acuerdo a su experiencia en anteriores trabajos de tesis, también relacionados con estudios de filtros.

También al Dr. Ricardo Lillo, como asesor metodológico, por darse el tiempo para apoyar con sus sugerencias éste estudio.

A don Ricardo Soto A., Tecnólogo Médico en Radiología y Física Médica, por su disponibilidad que tuvo como profesor nuestro, y vasta experiencia como tutor de tesis.

Al doctor en Antropología Médica y profesor asociado de la escuela de salud pública señor Diego Salazar R., por su valiosa colaboración para revisar la estadística utilizada.

En especial, al Dr. Isidro Huete, médico jefe del departamento de Radiología del Hospital Clínico de la Universidad Católica de Chile, y a Magloria Hidalgo, jefe de Tecnólogos Médicos; por facilitar las dependencias del servicio de Radiología y el material necesario para la realización de éste trabajo de tesis.



# 1.-RESUMEN.

Existen estructuras anatómicas con diferencia de espesor. Al radiografiarlas veremos zonas de alta densidad radiológica en contraste con otras de densidad baja. Además sus componentes poseen distintos coeficientes de atenuación lineal. Este es el caso de la radiografía de pie antero posterior.

Estas diferencias obligan a exponer al paciente en más de una ocasión para obtener toda la información necesaria. Para solucionar este problema, se han fabricado filtros compensatorios, de tamaño y formas prefijadas; como por ejemplo: el de silicona en forma de cuña, creado por una empresa internacional, (OCTOSTOP) pero su costo es alto.

Se han hecho imitaciones artesanales, lográndose buena calidad de imagen radiográfica, pero sin un estudio científico, con hipótesis sometidas a prueba.

Con el fin de proveer información objetiva al respecto, el objetivo de este trabajo de investigación, es mostrar un filtro alternativo, y evaluar su uso basado en comparar radiografías, tomadas con filtro OCTOSTOP y con el alternativo propuesto.

Durante el estudio, se midió la densidad radiográfica cuantitativamente con un densitómetro en tres zonas definidas anatómicamente en radiografías de pies antero posterior con apoyo, obtenidas de 50 pacientes del servicio de Radiología del hospital clínico de la Universidad Católica de Chile. Posteriormente se estudió el efecto homogeneizador de ambos filtros, aplicando un test t-student, resultando sin diferencias estadísticamente significativas, con excepción de la zona 1.

Se analizó la influencia del sitio de medición y tipo de filtro en la variable densidad radiológica, usando un análisis de varianza ANOVA, encontrándose efecto de filtro y zona nulos.

## **2.- INTRODUCCION.**

Al observar la anatomía humana vemos muchas formas, tamaños, y densidades de las distintas estructuras que la componen, esto crea un problema en radiología, ya que no es lo mismo radiografiar una estructura plana de espesores similares sin desniveles, a una que posea espesores distintos, como por ejemplo, un abdomen en comparación con un pie. Esta diferencia de espesores dará como resultado en una radiografía áreas de sobreexposición y subexposición, áreas más negras y claras, respectivamente.

Al aplicar rayos X a una estructura cualquiera, éstos pueden interactuar o no interactuar con sus átomos. Cuando no interactúan, llegan a la placa y la ennegrecen, mientras los que interactúan, (se absorben) no llegan a la placa radiográfica y darán lugar a áreas que se verán más claras, y el conjunto formará la imagen radiográfica. Esto se rige por la probabilidad de que cada fotón de rayos X interactúe, y eso depende de diversos factores, como la energía del fotón incidente, el número atómico del átomo blanco, de la energía de enlace de los electrones que forman parte del átomo blanco, entre otros. Esta energía alcanzada por los rayos X depende de la diferencia de potencial aplicada en un tubo de rayos X para poder acelerar los electrones, ésta medida se expresa en magnitudes de Kilovoltaje o Kv. (1)

Entonces, aparte de los espesores distintos, debe considerarse que el cuerpo humano está compuesto en su estructura de distintas sustancias que absorben los rayos X en diversos grados, es decir, el hueso absorbe más rayos X que el tejido blando, y éste más que el aire de los pulmones por ejemplo. Los tejidos enfermos absorben de forma distinta que los tejidos normales. También influye la edad del paciente, así los huesos de los ancianos poseen menos calcio y absorben menos rayos X que los huesos de los jóvenes. (2)

Esta absorción diferencial nos lleva a definir en Radiología el término **densidad radiográfica**, como una medida del grado de ennegrecimiento observado en la película radiológica, así habrá áreas con mayor o menor densidad.

Una estructura anatómica que posee bastante diferencia de espesor es el pie. Aquí nos encontramos con el problema de obtener densidad radiográfica adecuada para poder visualizar los componentes óseos del retro, medio y antepie. El retro pie y medio pie, poseen mayores espesores que los componentes del antepie, entonces habrá mayor oposición al paso de los rayos X, por parte de ellos, y por lo tanto, se producirá menor densidad radiográfica en la radiografía, lo cual se traduce en un área de subexposición; lo contrario sucede en el antepie, cuyos componentes “dejan pasar fácilmente” los rayos X, produciéndose así áreas de alta densidad radiográfica, lo cual da zonas de sobreexposición.

Por ésta razón, en las radiografías hechas a los pies, ocurre el defecto de no poder visualizar en una sola exposición toda la estructura del pie, siendo necesario tener que hacer otra radiografía enfocada a las estructuras que no se pudieron visualizar. Esta problemática se observa también en otras radiografías, como el hombro AP (3), axial de calcáneo, cadera AP, etc.

Entonces como en Imagenología médica nuestra función principal radica en el apoyo diagnóstico al clínico, tratando de visualizar lo más posible en una sola exposición y evitar la irradiación innecesaria del paciente, se han ideado aditamentos para corregir esta dificultad, que intentan atenuar las diferencias de densidades radiográficas producidas por la diferencia de espesor, y así poder obtener una **densidad homogénea** en la radiografía.

Estos aditamentos de apoyo radiográfico son los **filtros de compensación**. Estos son confeccionados de diverso tamaño, formas y estructuras; algunos ejemplos son: filtro compensador de cobre para radiografía de tórax (4), filtro de acrílico para el estudio de columna total (5), filtro de silicona (BOOMERANG) usado en radiografía de hombro. (6)

La función esencial de un filtro, es compensar las diferencias, y así mejorar la calidad radiográfica. (7) Para esto, absorben la radiación excesiva al colocarse entre el haz de rayos X y la estructura anatómica de menor espesor o componentes que absorban poca radiación; como por ejemplo: el aire en el pulmón. Debido a su función compensadora mejora la utilidad diagnóstica de la radiografía.

Esta problemática, ha llevado a idear diversos filtros, pero se debe considerar antes, que un buen filtro debe permitir que la radiografía muestre la mayor cantidad de información diagnóstica en una sola exposición, debe homogeneizar las densidades radiográficas, ser durable y estable en el tiempo, y no debe disminuirse la calidad radiográfica reflejada en la facilidad para apreciar detalles en la radiografía. (2)

La calidad radiográfica agrupa el contraste y la definición. Existen varios factores que pueden afectarlos, entre ellos, el uso de un filtro inadecuado, que podría alterar también la utilidad diagnóstica. Por esto un buen filtro debe ser un apoyo que mejore la calidad radiográfica de la estructura anatómica que se necesita evaluar. Se ha visto que influye el material del cual está hecho el filtro. Entonces, se hace necesario estudiar científicamente su uso. (3)

Uno de los más conocidos y usados en el hospital clínico de la Universidad Católica y Hospital del Trabajador, entre otros; es el de silicona en forma de cuña OCTOSTOP, que ha tenido un buen rendimiento en las radiografías de pie con apoyo antero posterior, pero tiene el defecto de ser de un costo muy elevado. Esto ha motivado a crear filtros alternativos, que además de cumplir con las necesidades ya descritas, sean de menor costo, y de lugar a un uso masivo. De hecho es sabido que se utilizan filtros alternativos, de tipo artesanal, pero que no son respaldados con un estudio.

Es necesario demostrar más que con palabras, con un estudio científico, que un filtro alternativo puede obtener resultados similares a los que se obtienen con un filtro de los que hay en el mercado. Basado en esta última idea, éste estudio tiene el objetivo de mostrar un filtro alternativo, con el fin de contribuir con información objetiva respecto al tema, evaluando su uso basado en comparar placas radiográficas obtenidas de pacientes

## **EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.**

---

que necesitaban realizarse una radiografía de pie antero posterior con apoyo AP.

## 3.-OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.

### 3.1-OBJETIVO GENERAL.

Mostrar un filtro alternativo, construido a base de silicona de uso doméstico, y comparar su uso con el filtro OCTOSTOP, en la radiografía de pie antero posterior.

### 3.2.-OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Medir las densidades radiográficas en tres zonas anatómicas del pie habiendo utilizado ambos filtros por separado.
- Determinar si la homogeneización de densidades radiográficas, que se obtiene con el uso del filtro alternativo, es similar a la obtenida con el filtro comercial.
- Verificar la influencia de las variables, sitio de medición y tipo de filtro, en la variable densidad radiográfica.

### **3.3.-HIPOTESIS.**

No existe diferencia estadísticamente significativa en las medias de las densidades radiológicas, en la radiografía de pie antero posterior con apoyo, habiendo usado el filtro alternativo propuesto o el filtro comercial OCTOSTOP; y sin importar el sitio de medición. Es decir efecto de filtro y zona nulos.

## 4.-MATERIAL Y METODOS.

### 4.1.-MATERIAL.

50 pacientes, de ambos sexos, que necesitaban realizarse una radiografía de pie antero posterior con apoyo, por cualquier diagnóstico, los cuales tenían que cumplir con una altura no menor a 7cm., medida desde la placa al escafoides tarsiano, que determina una **diferencia de espesor** en el pie, y hace necesario el uso de un filtro compensatorio. También, indispensable era que cumplieran con los requisitos necesarios para la obtención de una radiografía de pie con apoyo antero posterior. (8)

Se utilizó el filtro de silicona en forma de cuña, cuyas dimensiones son: 24cms. de ancho, 17cms. de largo, 2,3cms. de largo, y 8° de ángulo, y que es comercializado por una empresa internacional, OCTOSTOP. (6)

Filtro alternativo hecho de silicona de uso común en sellado, rectangular, con forma de cuña, de dimensiones: 20,3cms. de base; 20,5cms de ancho máximo; 30cms. de largo; 2,1cms de alto máximo; y 7° de ángulo. Este ya ha sido utilizado, pero nunca ha sido demostrado su uso en forma científica, mediante un estudio de respaldo.

Equipo de Rayos X marca SIEMENS con tubo trifásico, 125 Kv, 500 ma, modelo Poliphos, serie: 837540 G207, que es de propiedad del hospital Clínico de la Universidad Católica.

Chasis de tamaño 24x30cms. de marca Kodak con pantalla intensificadora de tierras raras LANEX FINE.

Reveladora marca Kodak X-Omat 460 RA. Temperatura de procesamiento 38,3°C.

Químicos fijador y revelador RP X-Omat, marca Kodak.

Densitómetro Kodak, modelo 002047.

Películas radiográficas formato 24x30cms. TMAT-G marca Kodak sensibles a la luz verde. (2 cajas)

Espesómetro graduado en centímetros.

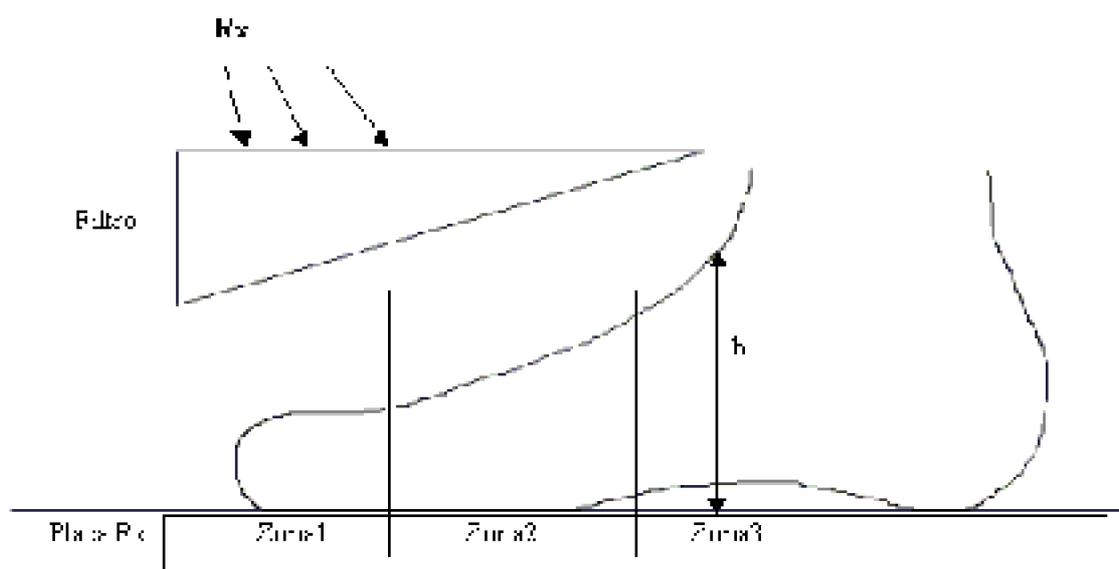
## **4.2.-METODO.**

Se tomó, previa autorización del paciente, 2 radiografías de pie con apoyo AP, una con el filtro OCTOSTOP y otra con el filtro alternativo, a los pacientes que cumplieran con la altura necesaria, medida con un espesómetro, para que este factor no alterara la medición. Esto por que si no existe diferencia de espesor en la estructura, en la práctica, no se necesita usar filtro.

Obtenidas las radiografías, se definieron tres zonas anatómicas que son de interés habitual para el clínico y el radiólogo, sobre las cuales se observó la variable, densidad radiológica, éstas tres zonas, corresponden a: los ortijos, los metatarsianos, y los huesos del tarso. Sus límites articulares (9) son los siguientes:

- **Articulaciones metatarso falángicas**, que separan la extremidad proximal de las cinco falanges de la extremidad distal de los cinco metatarsianos.
- **Articulación de Lisfranc**, la cual separa los tres cuneiformes y el cuboide de la extremidad posterior de los cinco metatarsianos.
- **Articulación de Chopart o articulación transversa del tarso**, la que se encuentra entre la unión astragalocalcánea y la unión escafocuboidea.

El siguiente esquema, muestra gráficamente la obtención de las radiografías que posteriormente fueron medidas con un densitómetro, en cada una de las tres zonas señaladas:



En el esquema, "h" representa la altura medida con un espesómetro, que se usó como criterio de selección de los pacientes, con el objetivo de que éste factor no influyera en las mediciones. En Anexo, en la tabla I, la primera columna son los valores de h.

Posteriormente a la obtención de las placas radiográficas, se midió las densidades radiográficas con un densitómetro en las tres zonas de interés anatómico predefinidas anteriormente. Para que fueran comparables, en cada una se midió en 5 puntos escogidos, que son los mismos en cada placa de cada paciente.

Esto es para disminuir lo más posible, la influencia que puede causar en la medición, la diferencia de densidades que existe en una radiografía osteoarticular entre el hueso, y el tejido blando. La densidad radiográfica que se observa en este tipo de radiografía, es mucho menor la del hueso, que la del tejido blando.

Posteriormente se obtuvo un promedio de los valores obtenidos por zona, así obtenemos por cada paciente 3 promedios de cada zona, en cada radiografía hecha con filtro OCTOSTOP, y con filtro de silicona alternativo.

A los promedios obtenidos se le calculó la desviación estándar, y con estos datos se pudo obtener un coeficiente de variación. (10)

Para estudiar los valores obtenidos en cada serie de placas, los valores de cada localización, fueron comparados aplicando el test t-student para muestras pareadas, (10) con el propósito de verificar si existía diferencia estadísticamente significativa con el uso de uno u otro filtro. Entonces se planteó la docimasia estadística de probable existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de densidades radiográficas medidas en cada una de las zonas evaluadas en la radiografía de pie antero posterior; habiendo usado cualquiera de ambos filtros.

Con el fin de estudiar la influencia de las dos variables, sitios de medición y tipo de filtro, se aplicó un análisis de varianza de dos vías ANOVA. (11) En el análisis, la variable respuesta es la densidad radiográfica y las fuentes de variación las indicadas.

Este análisis tiene la ventaja de permitir el estudio simultáneo de las diferencias entre

los grupos de promedios con un nivel de significación preestablecido.

## RESULTADOS.-

Los promedios obtenidos a partir de la medición con el densitómetro en cada zona del pie, estudiada en los 50 pacientes, se presentan en tabla 1 que se muestra en Anexo.

Luego se calculó un promedio y una desviación estándar para cada columna., la zona 1 corresponde los ortijos, la zona 2 a los metatarsos, y la zona 3 a los huesos del tarso. Para cada zona hay dos columnas; la primera, para los promedios obtenidos con el uso del filtro comercial, que ha sido confrontado en un estudio comparativo, y simbolizado por "fc"; y la segunda, para los promedios obtenidos con el uso del filtro inventado simbolizado "fi".

Filtro	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	fc	fi	fc	fi	fc	fi
Promedio $\bar{x}$	1,35	1,75	0,396	0,394	0,399	0,402
Sx	0,22	0,295	0,20	0,186	0,0795	0,150
$\bar{x}_c - \bar{x}_i$	-0,22		0,002		-0,0036	

Tabla 1.

Una vez logrado esto, se procedió a restar los promedios obtenidos con el filtro

**EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.**

inventado “fi” a los obtenidos con el filtro comercial “fc”, cuyos valores de diferencias de densidades se muestran en Anexo, en tabla 2. Luego se obtuvo una  $S_x(fc-fi)$ . (desviación estándar común para cada zona)

Filtro	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$
Promedio	1,53	1,75	0,3962	0,0936	0,369	0,4026
$S_x(fc-fi)$	0,37158		0,17539022		0,1770571	
$\bar{x}_{fc} - \bar{x}_{fi}$	-0,22		0,0026		-0,0036	

Tabla 2.

Después calculamos un valor t. Este procedimiento se realizó para cada una de las zonas, (1,2 y 3) el cual se muestra en Anexo, en las páginas 27 y 28.

Los valores obtenidos de t calculado y correspondiente valor de p asociado, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Docimasia estadística.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Valor de t calculado	11,23830893	0,10422787	0,33035042
p	3,62863E-15	0,91741397	0,74254355
<b>Significación</b>	SI	NO	NO

$p \leq 0,05$

Entonces la prueba “t-student” para muestras pareadas, usando un nivel de significación de  $p \leq 0,05$ , arroja como resultado que para las zonas del pie evaluadas, las diferencias no son estadísticamente significativas, con la sola excepción de la zona 1; en donde las diferencias existentes, si son estadísticamente significativas.

Dado que el valor crítico de t para la región de no rechazo, (0,95; y 49 grados de libertad) es de  $\pm 2,00957$ ; se acepta la hipótesis nula de diferencias no significativas entre las medias, para las zonas 2 y 3.

En la zona 1, en cambio, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. (ver esquema en página 28 del anexo)

Posteriormente, con el fin de analizar los efectos que producen los factores “sitio de medición” y “tipo de filtro”, sobre la variable densidad radiográfica, se aplicó un análisis de varianza, (ANOVA) de dos vías, en el que las fuentes de variación son, el sitio de medición y tipo de filtro, y la variable respuesta es la densidad radiológica.

Para ello, con los datos que se muestran en Anexo en tabla 3 “totales”; y las fórmulas detalladas en Anexo en las páginas 30, 31 y 32; se construyó una tabla de análisis de

varianza, siguiendo el esquema teórico que se muestra en Anexo, en tabla 4 “ANOVA”.

Tabla 4: ANOVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados SC	Cuadrados medios MS	F Calculado
Sitio de medición	2	78,4142	39,2071	235,7836
Filtro	1	0,4011	0,4011	2,412
Bloque	49	88,9775	-	-
S*F	2	0,791858	0,395929	2,381
Error	245	40,73964	0,166284	-
Total	299	120,3468	-	-

S\*F = sitio de medición y filtro.

Ahora procedemos a aplicar la prueba “F” de Fisher, para la interacción sitio de medición y filtro, la cual es la que nos interesa para el estudio.

Tenemos que el valor crítico para una F, con 2 grados de libertad en el numerador y 245 en el denominador, y un nivel de significación de 5% es:

$F_{2,245;0,05} = 3,033$	valor crítico.
--------------------------	----------------

Entonces, nuestro  $F_{\text{observado}} : 2,381$ ; no supera el valor crítico  $F_{2,245;0,05} : 3,033$ ; por lo tanto, se acepta la hipótesis de nulidad:  $H_0 : \alpha_{SF} = 0$ . Esto significa que se puede decir que la interacción sitio de medición y filtro, (S\*F) no influye en forma estadísticamente significativa en el valor de la densidad radiológica obtenida de la medición con el densitómetro; es decir un efecto de filtro y zona nulos.

El valor de F observado 2.381, al no superar el valor crítico, significa que cae en la región de no rechazo. Este tiene un valor de p asociado de 0,095. Entonces se acepta la hipótesis de nulidad  $H_0$  y se rechaza la hipótesis alternativa  $H_1$ .

Este hecho ya se había notado al realizar la prueba t-student para muestras pareadas, el cual había resultado que las diferencias no eran estadísticamente significativas con la salvedad de la zona 1, cuyas posibles causas se analizan en las conclusiones.

Al analizar los factores sitio de medición y filtro por separados, como si fueran dos “tratamientos distintos”, se observa que el factor sitio de medición da un F observado de 235,7836; y su valor correspondiente de p asociado es: 8,01E-58. Este valor de p cae en la región de rechazo, ( $p \leq 0,05$ ) ya que es muy cercano a cero. Esto significa que el factor sitio de medición por si sólo es bastante influyente, éste hecho podría ser una explicación posible del resultado obtenido a partir del test t-student en la zona 1.

Al analizar el factor filtro, el F observado es: 2,412; y su correspondiente valor de p asociado es: 0,12. Este valor cae en la región de no rechazo. Esto significa que la influencia del filtro no es estadísticamente significativa.



## DISCUSION.-

Las placas radiográficas visualmente se apreciaban con buena homogeneización, ya que las estructuras anatómicas se podían analizar perfectamente. Pero al aplicar el test t-student, se obtuvo como resultado que en la zona 1, (ortejos) existen diferencias estadísticamente significativas, no así en las otras 2 zonas.

El resultado del análisis de varianza ANOVA dio como resultado que los factores sitio de medición y tipo de filtro actuando en forma simultánea, no influyen en la medición de la densidad radiológica. Pero al analizar los factores por separado se observó que el factor sitio de medición influye de manera estadísticamente significativa, no así el factor tipo de filtro, lo cual reafirma que el filtro alternativo es válido. Entonces las diferencias observadas son producto de variaciones aleatorias.

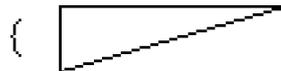
Podría deberse a error en la adquisición de los datos con el densitómetro, y que éstas no sean representativas de un promedio real de dicha zona en determinado paciente. Esto podría ser influido por la atenuación mínima que ofrece al paso del haz de rayos X la zona 1, en comparación con las zonas 2 y 3. Esta mínima atenuación da una mayor densidad radiológica reflejada en la placa radiográfica. Habiéndose concluido según el análisis de varianza que el factor sitio de medición es bastante influyente, éste hecho podría ser probable causante de las diferencias encontradas en la zona 1.

Medición alterada por una variación en la generación de los rayos X lo que se traduce en una variación de la intensidad del haz, y que tendría como causa directa, la naturaleza oscilante de la tensión de la red. Esto incidiría directamente en la densidad radiológica obtenida en la placa radiográfica que fuese obtenida durante un probable

suceso de variación de la tensión de la red. Aunque por la naturaleza del equipo de rayos X utilizado para la realización del presente trabajo, que es de propiedad del hospital clínico de la Universidad Católica, éste hecho sería poco probable.

Podría ser que también, eventualmente al ser ubicado el filtro; la posición no fuera la adecuada para lograr un mejor rendimiento de éste, y que eventualmente no coincida con el otro filtro en cuanto a posición se refiere. Y que este suceso ocurriera de tal forma de que sea capaz de hacer que difiera la comparación en forma significativa.

La naturaleza del filtro inventado, en cuanto a su densidad en la zona de mayor altura, o a una diferencia en cuanto a sus dimensiones en esta zona



, aunque éste factor es poco probable, dado que el análisis de varianza ANOVA dio como resultado un efecto de filtro nulo.

Se puede concluir que el presente estudio es muy útil para mostrar y comparar filtros que se usan comunmente en los servicios de rayos X. Filtros que han sido creados y largamente usados, pero éstos no han sido respaldados con estudio científico. Entonces a través de ésta experiencia, proponemos éste tipo de estudio basado en una comparación, para que sea imitado. La consecuencia directa es darle respaldo al uso de éstos filtros creados en forma artesanal, y que prestan gran utilidad en el apoyo al diagnóstico radiológico médico.

Durante la adquisición de las placas radiográficas, algunos pacientes presentaron ciertas patologías, como por ejemplo: Hallux valgus, pié diabético, artritis reumática, artrosis, pie cavo, pie plano, las cuales no fueron limitantes para la realización del estudio, ya que es sabido que algunas patologías del pié, pueden producir desmineralización ósea, lo que incide directamente en la densidad del hueso, y por ende en un aumento de la densidad radiológica.

Cabe hacer notar también los costos de fabricación de los filtros artesanales en contraste con el valor de los filtros comerciales, motivo por el cual se opta en muchas ocasiones a crear imitaciones artesanales de filtros preexistentes o simplemente idear nuevos filtros, que como ya hemos hecho notar no se les da respaldo científico a su uso.

El costo de fabricación del filtro alternativo usado en éste estudio es de alrededor de los \$15000 pesos; en comparación con el valor del filtro comercial OCTOSTOP, que es del orden de los U\$ 500 dólares, deja de manifiesto la motivación extra a parte del interés científico e investigador, para que los filtros creados que existen puedan ser validados, o estudiados en forma comparativa, si es que ha sido usado largamente, con otro filtro que ya exista en el mercado.

## CONCLUSIONES.-

1.- Al aplicar el test t-student, en la zona 1 se rechaza  $H_0$ , no así en las otras dos zonas, en las cuales  $H_0$  se acepta. Por lo tanto ambos filtros rinden de manera similar al estudiarlos en forma comparativa, para las zonas 2 y 3.

2.- La interacción de los factores sitio de medición y tipo de filtro, (S\*F) en la variable densidad radiológica, según el test ANOVA, no influye en forma estadísticamente significativa.

3.- Al analizar los factores por separado, resulta que el factor sitio de medición influye de manera estadísticamente significativa en el valor de la densidad radiológica medida con el densitómetro.

4.- El factor filtro no influye de manera estadísticamente significativa. Entonces, se puede decir que ambos filtros homogeneizan las densidades radiológicas de manera similar al ser usados en radiografía de pie antero posterior, por lo que el filtro alternativo propuesto, (fi) es una alternativa válida para ser usada, además de tener de un costo bastante menor.

5.- El estudio es simple, fácil de realizar, por lo que puede ser imitado para someter a estudio filtros ya existentes, que supuestamente rindan de manera similar a otro preexistente ya validado. Esto respalda el uso de filtros inventados, y como consecuencia sirve para abaratar costos.

6.- Diversas patologías que presentaban los pacientes que fueron sometidos al estudio, no son inconvenientes para la medición, a pesar que algunas de ellas causan

desmineralización ósea.

## BIBLIOGRAFIA.-

- (1) Bushong S.C. Interacción de rayos X con la materia. Manual de radiología para técnicos. 5<sup>ta</sup> ed. Madrid. Ed. Mosby; 1993.
- (2) Eastman Kodak. El haz de rayos X y la formación de la imagen, cap. 2; calidad de la imagen, cap. 6. En elementos de radiografía. Kodak; 1980.
- (3) Aguilera J.; Villena R. Tesis para optar al título de Tecnólogo Médico con mención en Radiología y física médica: "construcción y validación de un filtro de compensación en la radiografía de hombro". Santiago. Universidad de Chile; 1998.
- (4) Rossi, R. Reducción and radiación exposure in radiography of the chest. Radiology 1982. 144:909-914.
- (5) Gray, et al. Shaped, lead-leaded acrylic filters for patient exposure reducción and image-quality improvement. Radiology 1984. 146:825-828.
- Reducción of radiación exposure during radiography for scoliosis. The journal of bone and joint surgery, incorporated; 1983
- (6) Vézina, J.A. Filters. Montreal. Octostop; 1994.
- (7) Plaats, V.D. Filtros compensadores. En Técnica de la radiología médica. 3<sup>ra</sup> ed. Madrid. Ed. Paraninfo; 1986.
- (8) Gamble, F.O.; Yale, I. La radiografía del pie. Cap. 22. En Roentgenología clínica del pie. 2<sup>da</sup> ed. Florida. Robert E. Krieger; 1981.
- (9) Cavero R. J. Anatomía funcional del pie, cap. 2. En Patología del pie. Santiago. Ed.

Universitaria; 1989.

(10) Escuela de Salud Pública. Bioestadística para carreras del área de la salud.. Santiago. Universidad de Chile; 1993.

(11) Steel, R.G.; y Torrie J.R. Bioestadística, principios y procedimientos. 2<sup>da</sup> ed. New York. Ed. Mc Graw-Hill; 1985.

# ANEXO

**Tabla 1: Valores de densidad radiográfica medida con un densitómetro.**

**EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.**

Altura h.(cms)	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	fc	fi	fc	fi	fc	fi
7,5	1,58	2	0,84	0,94	0,44	0,46
7,5	1,14	1,37	0,65	0,68	0,45	0,47
8	0,99	1,16	0,49	0,47	0,36	0,35
7,6	1,47	1,69	0,79	0,74	0,42	0,4
9	1,44	1,82	0,8	1,1	0,38	0,39
9	1,47	1,89	0,75	0,81	0,44	0,41
8,2	1,59	1,83	0,84	0,83	0,38	0,36
9	1,61	2	1,07	1,23	0,51	0,5
9	1,73	1,85	0,92	0,82	0,49	0,47
9	1,58	1,72	0,82	0,84	0,39	0,41
10	1,49	1,9	0,77	1,15	0,38	0,38
10	1,61	1,76	0,94	0,88	0,42	0,39
8	1,1	1,11	1,11	0,76	0,32	0,34
8,7	1,25	1,62	0,74	0,81	0,38	0,38
9	1,35	1,44	0,79	0,77	0,32	0,35
11	1,77	2	1,05	1,07	0,39	0,48
7	1,79	1,99	1,59	0,97	0,64	0,59
9	1,48	1,86	0,94	1,02	0,47	0,48
9	1,55	1,83	0,86	0,88	0,35	0,36
8,5	1,47	1,74	0,75	0,8	0,38	0,41
9,8	1,09	1,41	0,61	0,67	0,27	0,28
8	2	1,83	1,31	1,09	0,5	0,47
8	1,76	1,96	1,2	1,21	0,41	0,42
8	1,22	1,63	0,67	0,83	0,34	0,38
9	1,45	1,6	0,75	0,79	0,4	0,36
8	1,71	2,11	0,81	0,94	0,44	0,44
9	1,44	1,81	0,77	0,94	0,3	0,33
10,5	1,41	1,82	0,72	0,88	0,35	0,39
9	1,54	1,78	0,77	0,81	0,43	0,41
10	1,49	1,5	0,95	0,79	0,36	0,35
8	1,74	1,69	0,97	1,22	0,58	0,49
8	1,83	1,86	1,11	0,96	0,56	0,51
9	1,43	1,64	0,85	0,62	0,44	0,3
9	1,55	1,97	0,86	0,87	0,24	0,14
9	1,65	1,68	1,02	0,44	0,33	0,35
9	1,65	1,73	1,13	1,05	0,45	0,4
8,8	1,28	1,52	0,61	0,62	0,29	0,31
8,5	1,43	1,61	0,86	0,88	0,25	0,31
8	1,71	1,92	1,24	1,23	0,49	0,95
9	1,57	1,73	0,81	0,77	0,37	0,36
9	1,79	1,87	1,07	0,97	0,41	0,38
9	1,78	2,05	1,01	0,97	0,35	0,38
7	1,58	1,89	0,83	0,94	0,46	0,46

9	1,6	1,67	0,9	0,9	0,34	0,36
9,5	1,52	1,67	0,94	0,98	0,42	0,43
9	1,77	1,99	1,11	1,21	0,41	0,41
10	1,68	1,86	0,96	0,96	0,39	0,33
9	1,83	1,99	0,98	0,94	0,38	0,34
8,5	1,71	1,96	0,95	1,06	0,38	0,4
8	1,09	1,35	0,53	0,57	0,3	0,31

Posteriormente se procedió a restar los promedios obtenidos con el filtro inventado “fi” a los obtenidos con el filtro comercial “fc”, y los valores de las diferencias de densidades se muestran en tabla 2.

Tabla 2, Diferencias entre medias por zona (fc-fi).

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
-0,42	-0,1	-0,02		-0,4	-0,13	0
-0,23	-0,03	-0,02		-0,37	-0,17	-0,03
-0,17	0,02	0,01		-0,41	-0,16	-0,04
-0,22	0,05	0,02		-0,24	-0,04	0,02
-0,38	-0,3	-0,01		-0,01	0,16	0,01
-0,42	-0,06	0,03		0,05	-0,25	0,09
-0,24	0,01	0,02		-0,03	0,15	0,05
-0,39	-0,16	0,01		-0,21	0,23	0,14
-0,12	0,1	0,02		-0,42	-0,01	0,1
-0,14	-0,02	-0,02		-0,03	0,58	-0,02
-0,41	-0,38	0		-0,08	0,08	0,05
-0,15	0,06	0,03		-0,24	-0,01	-0,02
-0,01	0,35	-0,02		-0,18	-0,02	-0,06
-0,37	-0,07	0		-0,21	0,01	-0,46
-0,09	0,02	-0,03		-0,16	0,04	0,01
-0,23	-0,02	-0,09		-0,08	0,1	0,03
-0,2	0,62	0,05		-0,27	0,04	-0,03
-0,38	-0,08	-0,01		-0,31	-0,11	0
-0,28	-0,02	-0,01		-0,07	0	-0,02
-0,27	-0,05	-0,03		-0,15	-0,04	-0,01
-0,32	-0,06	-0,01		-0,22	-0,1	0
0,17	0,22	0,03		-0,18	0	0,06
-0,2	-0,01	-0,01		-0,16	0,04	0,04
-0,41	-0,16	-0,04		-0,25	-0,11	-0,02
-0,15	-0,04	0,04		-0,26	-0,04	-0,01

Ahora con los 50 valores de diferencias de densidades por cada zona, se obtuvo un promedio y una desviación standar común para cada zona, y con éstos datos se procedió a evaluar si las diferencias encontradas eran o no estadísticamente significativas.



## CALCULO DE LA PRUEBA t-student.-

Obtenidos los datos de las diferencias, se aplicó un test t-student para muestras pareadas, con el propósito de ver si las diferencias encontradas con el uso de uno u otro filtro, son estadísticamente significativas. Se desea docimar la hipótesis de nulidad:

### **Hipótesis de nulidad. (H 0 )**

El promedio obtenido de las muestras para cada una de las zonas, (1,2 y 3) es igual utilizando fc o fi.

$$H_0 : \mu_{fc} = \mu_{fi} \text{ o bien } \mu_{fc} - \mu_{fi} = 0$$

### **Hipótesis alternativa. (H 1 )**

El promedio obtenido de las muestras para cada una de las zonas, (1,2 y 3) no es igual habiendo utilizado fc o fi.

$$H_1 : \mu_{fc} \neq \mu_{fi} \text{ o bien } \mu_{fc} - \mu_{fi} \neq 0$$

Para obtener nuestro t-calculado se detalla a continuación:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s_x (fc - fi)}{\sqrt{n}} \quad t = \frac{\bar{x} - \mu}{S_{\bar{x}}}$$

$S_{\bar{x}}$  = Error Standard, de los fc – fi.

Sx = Desviación standard de las diferencias. (fc-fi)

## EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.

---

n = Tamaño de la muestra. (50)

$\mu$  = Promedio del universo de las diferencias. ( $m = 0$ )

El valor de t:

$$t = \frac{\bar{X}}{(Sx(fc - fi) / \sqrt{n})}$$

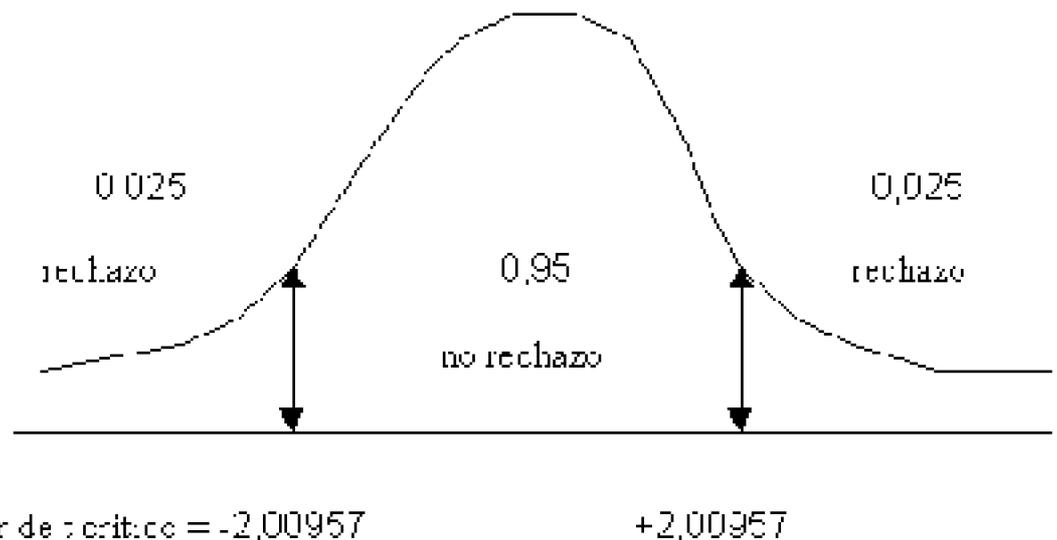
$\bar{X} = \bar{x}fc - \bar{x}fi$  (promedio de las diferencias, para cada una de las zonas, 1, 2 y 3)

Luego los valores de t calculados, y su correspondiente "p" asociado, son:

Zona 1 11,238 p = 3,63E-15

Zona 2 0,104 p = 0,92

Zona 3 0,330 p = 0,74



$p \leq 0,05$ .

Entonces, posterior a la experiencia del test t-student se ve que para las zonas 2 y 3, sucede que las probabilidades de que las medias de las diferencias de densidades sean cercanas a 0 ( $H_0$ ) habiendo sido sometidas a dos "tratamientos distintos" (filtros fc y fi), son respectivamente 0,92 y 0,74.

En el caso de la zona 1 el valor de probabilidad es muy cercano a 0, (3,63E-15) lo que significa que es poco probable que la media de las diferencias en la zona 1, sea cercana a 0. Por lo que el valor de p asociado en ésta zona, cae en la región de rechazo.

## ANALISIS DE VARIANZA ANOVA.-

Después, se estudió si las diferencias entre las medias de densidad radiológica, eran influidas de manera estadísticamente significativa por la interacción de los factores de variación, filtro y sitio de medición. Para lo cual se detalla el análisis de varianza ANOVA.

El diseño es de dos factores de variación, con bloques, y éstos corresponden a los pacientes. El modelo esta dado por:

$$D_{ijk} = \mu + \alpha_i^S + \alpha_j^F + \alpha_k^B + \alpha_{ij}^{SF} + e_{ijk}$$

En donde:

D = Densidad radiológica del individuo k con filtro j medida en sitio i.

$\mu$  = Media de toda la población.

$\alpha$  = Efecto del sitio de medición i.

e = Error aleatorio

i = Sitio de medición. (1,2, y 3)

j = Filtro. (fc, fi; 1 y 2, respectivamente)

k = Observaciones. (de 1 a  $n_{ij}$ , n = 50)

Tenemos que, la densidad radiológica promedio de las "k" unidades, es:

$$\bar{D}_{ij},$$

## EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.

---

en donde  $j = 1, 2, \dots, b$ ; de cada uno de los "b" tratamientos, (en éste caso, los tratamientos son fi, fc; entonces  $b = 2$ ) y de los  $i = 1, 2, \dots, a$  sitios de medición. (en éste caso los a sitios de medición son 1,2, y 3, entonces  $a = 3$ )

Si partimos suponiendo, que el sitio de medición "i", y el uso de filtro "j", o ambos en forma simultánea; NO INFLUYEN en la medición de la densidad radiológica, los valores de las medias calculadas, tomando éstas fuentes de variación por separado, deberían estar distribuidas alrededor de una media común  $\mu$  con varianza  $\sigma^2$ . Esta varianza podría estimarse de dos maneras distintas.

a).- Podría estimarse como varianza común a partir de la diferencia entre los valores de las observaciones (k) dentro de un tratamiento (j) respecto de la media en ese tratamiento, tal como se calculaba el  $s^2$  común para el test t-student. Esta varianza común dentro de los tratamientos se puede calcular como:  $\sum SC_i / (n-b)$

b). También se puede calcular a partir de la diferencia entre las medias de cada uno de los tratamientos y la media total. Esto significa que cada una de las varianzas de los promedios de cada uno de los "j" tratamientos es igual a la varianza de las observaciones "k" dividida por n.

Si los tratamientos no influyen en las observaciones, se espera que la estimación hecha en b difiera de la hecha en a, por variaciones aleatorias.

Al analizar los numerales de las varianzas, corresponden a las "Sumas de Cuadrados". La suma de cuadrados total es  $SCT = \sum \sum (X_{ij} - \bar{X})^2$ , esto es la suma de las diferencias al cuadrado entre cada una de las n observaciones y la media general

Entonces  $\sum \sum (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$  corresponde a la suma de cuadrados dentro de los tratamientos: SCD y  $\sum (\bar{X}_j - \bar{X})^2$  a la suma de cuadrados entre de los tratamientos: SCE. Entonces  $SCT = SCD + SCE$

En nuestro caso, las sumas de cuadrados que se calcularon, necesarias para el estudio, se detallan a continuación:

SCTr = Suma de cuadrados entre los tratamientos.

SCBI = Suma de cuadrados por cada bloque.

SCS = Suma de cuadrados por sitio de medición.

SCF = Suma de cuadrados por filtro.

SCSF = Suma de cuadrados entre sitio y filtro.

SCD = Suma de cuadrados dentro de los tratamientos. (error)

SCT = Suma de cuadrados total.

Las fórmulas para calcular las sumas de cuadrados en nuestro caso, son:

$$SCT = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c D_{ijk}^2 - \frac{D_{...}^2}{abn}$$

$$SCTr = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{D_{ij.}^2}{n} - \frac{D_{...}^2}{abn}$$

$$SCB1 = \sum_{k=1}^c D_{.k}^2 - \frac{D_{...}^2}{abn}$$

$$SCS = \sum_{i=1}^a \frac{D_{i..}^2}{bn} - \frac{D_{...}^2}{abn}$$

$$SCF = \sum_{j=1}^b \frac{D_{.j.}^2}{an} - \frac{D_{...}^2}{abn}$$

En donde:

a = Número de sitios donde se midió la densidad radiológica. (a = 3)

b = Número de filtros que se aplican. (b = 2)

c = Número de pacientes a los que se les aplicó el estudio. (c = 50)

En la siguiente tabla se muestra los datos de los totales calculados, necesarios para el análisis de varianza.

**EVALUACION DE UN FILTRO DE SILICONA EN CUÑA, EN RADIOGRAFIA DE PIE ANTERO POSTERIOR.**

Efecto variación	ECPAS						Totales
	ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$
$n$ obs.(n <sub>ij</sub> )	50	50	50	50	50	50	$n = 300$
Medias $\bar{y}_{ij}$	1,5352	1,7536	0,2562	1,8935	0,299	0,4026	
Suma de cuadrados $\sum C_{ij}$	2,388	2,4022	2,0072	1,69995	0,9129	0,5602	76,9775
Varianzas $s_{ij}^2$	0,04874	0,049	0,04096	0,03485	0,00639	0,01143	
Totales $T_{ij}$	76,76	87,68	44,21	44,65	19,95	20,13	284,01
Totales $\sum y_{ij}^2$	3352,052	7687,782	2007,936	1556,302	398,003	403,217	
$\sum C_{ij}^2$	120,23	156,1578	42,1659	41,625	8,2729	8,6645	377,1171
$\sum n_{ij}$	117,842	153,750	40,159	38,925	7,8601	8,1043	282,1386

*Tabla 3. (Totales)*

Posteriormente las varianzas, es decir, las sumas de cuadrados divididas por los grados de libertad, reciben en el análisis de varianza el nombre de Cuadrados Medios: MST, MSD, MSE. En nuestro caso:

$$MSS = \frac{SCS}{a-1} \quad \text{Para el sitio de medición. (entre los sitios)}$$

$$MSF = \frac{SCF}{b-1} \quad \text{Para el filtro usado. (entre los filtros)}$$

$$MSSF = \frac{SCSF}{(a-1)(b-1)} \quad \text{En común sitio y filtro. (entre ambos)}$$

$$MSD = \frac{SCD}{(ab-1)(c-1)} \quad \text{Dentro de los tratamientos. (error)}$$

En este caso se analizaron dos fuentes de variación, sitio de medición y tipo de filtro, actuando en forma simultánea (S\*F). Ahora que se tienen los datos necesarios calculados, posteriormente se procedió a construir una tabla de ANOVA. El análisis teórico, se detalla a continuación:

Tabla 4. (ANOVA)

Fuente de variación	Grados de libertad GI	Suma de Cuadrados SC	Cuadrados medios MS	F Calculado
Sitio de medición	a - 1	SC <sub>i</sub>	MS <sub>i</sub>	MSS/MSD
Filtro	b - 1	SC <sub>j</sub>	MS <sub>j</sub>	MSF/MSD
Bloque	c - 1	SC <sub>BI</sub>	-	-
S*F	(a-1)(b-1)	SC <sub>ij</sub>	MS <sub>ij</sub>	MSSF/MSD
Error	(ab-1)(c-1)	SC <sub>D</sub>	MS <sub>D</sub>	-
Total	abc-1	SCT	-	-

## HIPOTESIS DE NULIDAD H0.-

No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las densidades radiológicas, medidas en cada una de las tres zonas del pie, habiendo usado fc o fi.

$$H_0 : \alpha_{ij}^{SF} = 0$$

## HIPOTESIS ALTERNATIVA H1.-

Existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las densidades radiológicas, medidas en cada uno de las tres zonas del pie, habiendo usado fc o fi.

$$H1 : \alpha_{ij}^{SF} \neq 0$$

Ahora, se procedió a docimar la hipótesis de nulidad, de no diferencias entre las medias medidas en cada una de las zonas del pie sin importar el filtro. Para lo cual se ocupa la prueba “F” de Fisher, en que se comparó el cuadrado medio en común sitio y filtro, con el cuadrado medio, dentro de tratamientos.

En nuestro caso: MSSF / MSD, es la que importa por la interacción entre sitio de medición y filtro, que fue la estudiada.

El valor crítico para una F con 2 grados de libertad en el numerador y 245 grados de libertad en el denominador, y un nivel de significación de 5%; fue de 3,033.

$$F_{\text{observado}} = \frac{MSSF}{MSD}$$

$$F_{\text{observado}} = \frac{0,395929}{0,1662842531} = 2,381$$

El F calculado para la interacción sitio de medición y filtro, fue de 2,381. Su valor correspondiente de p asociado fue de 0,095.

Por lo tanto se acepta la hipótesis de nulidad, ya que nuestro F calculado cae en la región de no rechazo. Entonces se puede decir que los factores sitio de medición y tipo de filtro actuando en forma simultánea, no influyen de manera estadísticamente significativa en los valores de la densidad radiológica obtenidos de la medición con el densitómetro.

Pero resulta que al analizar las fuentes de variación sitio de medición y tipo de filtro por separado, como si fueran “tratamientos distintos”, se observó que en el sitio de medición se obtiene un F observado de 235,7836; el cual supera ampliamente el valor crítico 3,033; por lo que cae en la región de rechazo.

$$F_{\text{observado}} = \frac{MSS}{MSD} \quad F_{\text{observado}} = 235,7836$$

Al analizar el factor tipo de filtro, el F observado es: 2,412. Por lo tanto, no supera el valor crítico para una F con 1 grado de libertad en el numerador y 245 en el denominador, y un nivel de significación de 5%.

$$F_{1,245,0,05} = 3,88$$

valor crítico.

$$F_{\text{observado}} = \frac{MSF}{MSD}$$

$$F_{\text{observado}} = 2,412$$