

**Construcción
matemática de curvas
de isodosis de rotación
u oscilación**

RUHERI PEREZ TAMAYO

EN ABRIL DE 1956 E. A. Jones, C. Gregory y I. Birchall¹ publicaron un método original para la construcción de curvas de isodosis de rotación u oscilación. Más tarde, en octubre de 1957, C. Gregory² simplificó el método que con ligeras modificaciones utilizamos para la elaboración de las curvas del presente trabajo.

La idea original de los autores permite construir un juego de curvas utilizable en toda la gama de los problemas radioterapéuticos que ameritan el empleo ventajoso de terapia en movimiento. Los factores variables de un caso particular producen alteraciones mínimas en la distribución de la dosis que indican las curvas y carecen de importancia clínica.

Para el diseño y especificaciones de nuestra bomba de cobalto Picker C-1000, corregimos y aproximamos las curvas estacionarias y experimentales que publicó Tsien.³

Aprovechando la celebración del IX Congreso Mundial de Radiología, tuvimos la oportunidad de comparar el juego de curvas construido por nosotros con los realizados por autores ingleses y suecos. Es oportuno aclarar que las curvas de este trabajo son sólo utilizables por equipos que tengan las mismas especificaciones y diseño del aparato para el que fueron calculadas (Bomba de Cobalto Picker C-1000. Véase factores constantes que afectan las curvas de terapia en movimiento).

Dahl y Vikterlö⁴ escriben, al referirse a la construcción de curvas para terapia en movimiento por cálculo: "Realizar, por cálculo, una serie de curvas de isodosis de aplicación general sería tan laborioso que nadie parece haberlo intentado. . ."

Quizá ese sea el único mérito nuestro.

I. TERMINOLOGÍA

La terminología empleada en el desarrollo de este trabajo es la utilizada por los autores suecos Dahl y Vikterlöf. Su comprensión se facilita estudiando la figura 1.

Terapia en movimiento. Llámase así al tipo de tratamiento radio-terapéutico que aprovecha el movimiento de la fuente o el del objeto irradiado.

Terapia rotatoria. Llámase así al tipo de terapia en movimiento que aprovecha la rotación circular de la fuente de radiaciones, alrededor de un objeto en reposo en posición horizontal (rotación vertical) o cuando se hace girar al objeto en posición vertical mientras la fuente permanece estacionaria en posición horizontal (rotación horizontal). Toda terapia rotatoria se efectúa a una velocidad de rotación determinada y el eje del movimiento (eje de rotación) está en el objeto mismo.

Terapia rotatoria central y perpendicular. Terapia en movimiento cuyo rayo central intersecta en ángulo recto al eje de rotación.

Terapia pendular u oscilatoria o angular o de rotaciones parciales o en arcos. Cuando se aprovecha parte del movimiento circular de la fuente o el objeto, permitiendo ángulos menores de 360° a una velocidad determinada y el eje del movimiento oscilatorio está en el objeto mismo. También pueden realizarse pendulaciones u oscilaciones “centrales” (cuando el rayo central intersecta al eje de oscilación) y “centrales perpendiculares” (cuando el rayo central intersecta perpendicularmente al eje de oscilación). Los tipos de terapia en movimiento generalmente empleados con la Bomba de Cobalto Picker C-1000 son:

a) Terapia rotatoria horizontal, central y perpendicular, sinónimo de terapia oscilatoria en este trabajo.

b) Terapia oscilatoria horizontal, central y perpendicular, sinónimo de terapia oscilatoria en este trabajo.

Por brevedad nos referimos a ellas como terapia rotatoria y terapia oscilatoria. Debe entenderse que el movimiento circular parcial o completo lo realiza la fuente, y el objeto permanece en reposo en posición horizontal.

Eje central longitudinal (A.B.). Llámase así a la línea que pasa por el centro del cilindro que representa el cuerpo humano y lo recorre longitudinalmente. Para el cálculo de nuestras curvas de isodosis de terapia en movimiento el eje central longitudinal coincide con el eje de rotación u oscilación.

Eje central transverso (P.R.). Llámase así a la línea que atraviesa transversalmente al cilindro, en ángulo recto al eje central longitudinal, sobre un plano horizontal perpendicular al plano de simetría (K.L.D.C.).

Eje de rotación u oscilación (C.D.). Llámase así al eje central longitudinal (A.B.) o en ocasiones, a una línea que es paralela al eje central longitudinal, cuando se considera que es necesario efectuar el movimiento circular u oscilatorio alrededor de un eje excéntrico.

Plano de oscilación (G.H.J.O.). Llámase así al plano en que la fuente, durante una terapia pendular, se mueve en relación al objeto irradiado.

Plano de simetría (K.L.D.C.). Llámase así al plano que, durante una terapia pendular, pasa por el eje de oscilación y la bisectriz del ángulo de oscilación.

Angulo de oscilación (P.Q.R.). Llámase así a la línea que divide en dos partes iguales al ángulo de oscilación. Para simplificar por simetría nuestro cálculo matemático experimental, la bisectriz descansa verticalmente en el plano de simetría y es perpendicular al eje de oscilación o rotación.

Punto de incidencia nominal (F.). Llámase así al punto del contorno que el rayo central toca cuando la fuente pasa por el plano de simetría.

Punto central (O.). Llámase así al punto de intersección entre el rayo central y el eje de rotación u oscilación. En un plano horizontal coincide con el centro del campo utilizado (U.V.W.Z.).

Distancia foco (Fuente) piel nominal (E.F.). Llámase así a la distancia que existe entre el punto de incidencia nominal (F) y la fuente radioactiva (E).

Distancia foco (Fuente) centro de rotación (E.C.). Llámase así a la distancia que existe entre la fuente radioactiva (E) y el punto central (O).

Hemicampo Superficial (S.T.X.Y.). En la ilustración fue necesario dibujar sobre la superficie, evitando sobreposición de líneas, sólo la mitad del campo. En la práctica, el tamaño del campo se coloca primero sobre la superficie del cuerpo; después, se eleva el cuerpo hasta que coincida el campo (U.V.W.Z.) con el plano horizontal que pasa por el centro de rotación.

Ancho (a) y largo (b) del campo. Se llama ancho del campo al lado transversal del cuadrado o rectángulo empleado. El largo es el lado longitudinal del campo cuadrado o rectangular.

Profundidad central (F.O.). Llámase así a la distancia entre el pun-

to de incidencia nominal (F) y el punto central. La profundidad central no corresponde, necesariamente, con la distancia o profundidad piel-tumor. En ocasiones, por construcción, el ángulo de rotación (P.D.R.) permite que el centro de rotación descienda más allá del centro del tumor, con lo que éste último queda comprendido dentro de la zona de dosis máxima.

Profundidad tumoral. Llámase así a la distancia entre el punto de incidencia nominal y el punto más posterior o profundo de un tumor en la superficie de sección transversal del cuerpo.

Profundidad diferencial. Llámase así a la distancia entre el punto central (O) y el punto más posterior o profundo de un tumor.

Profundidad de la dosis máxima. Llámase así a la distancia entre el punto de incidencia nominal (F) y el límite profundo de la curva de 90%, medida sobre la bisectriz del ángulo de rotación.

Tamaño y forma de la dosis máxima. Llámase tamaño, a la dimensión transversal máxima de la curva de 90% y forma, a la configuración de esta misma curva.

Dosis superficial.—Llámase dosis superficial a la que se obtiene en el punto de incidencia nominal (F).

II. PRINCIPIOS GENERALES

Para la construcción de curvas de rotación u oscilación se requiere el mismo cálculo que se necesita para conocer la distribución de la dosis cuando se utilizan campos múltiples estacionarios.

En ambos casos el cálculo se basa en la suma de cierto número de contribuciones parciales, pues el cálculo integral de la dosis proporcionada por el movimiento de una fuente radioactiva puede simplificarse, matemáticamente, descomponiendo al movimiento en un número determinado de posiciones fijas. De este modo las curvas de terapia en movimiento se construyen con curvas estacionarias, las cuales se colocan en las posiciones mencionadas para investigar las contribuciones parciales. La distribución de la dosis obtenida por cálculo será tanto más cercana a la experimental cuanto mayor sea el número de posiciones utilizadas. Sin embargo, el cálculo basado en 18 posiciones separadas 20° entre sí, corresponde con bastante aproximación a resultados experimentales. Descomponer al movimiento en un número mayor de posiciones no añade información de valor práctico y sí multiplica el número de operaciones necesarias.

FACTORES VARIABLES QUE NO AFECTAN LAS CURVAS DE TERAPIA EN MOVIMIENTO.

Dentro de ciertos límites, la forma y el tamaño del contorno de la superficie de sección del cuerpo humano, la distancia de la fuente a la piel, la profundidad y posición del tumor, y el largo del campo, no alteran críticamente las curvas de rotación u oscilación en el plano del movimiento. Estos factores únicamente modifican la dosis superficial.

Contorno. La distribución de la dosis en terapia en movimiento no varía básicamente cuando la forma del contorno de la superficie de sección cuerpo humano se altera. Por eso es permisible representar al cuerpo como un cilindro de base circular cuyo radio es igual a 15 cms. El diámetro de tal contorno circular es 30 centímetros (dimensión que puede considerarse promedio máximo de las dimensiones transversales del cuerpo humano). La regularidad de un contorno de este tipo facilita los cálculos sin alterar los resultados en forma importante. Determinaciones experimentales practicadas sobre contornos circulares y contornos irregulares o verdaderos, comprobaron que las variaciones, desde el punto de vista médico, son poco importantes. De ahí que las distribuciones determinadas por cálculo sobre un contorno circular, pueden emplearse en el caso particular de un contorno irregular.⁵

Por otra parte, cuando se aumentan o disminuyen las dimensiones de un contorno circular o elíptico, en la misma proporción y en todas direcciones, se ha comprobado experimentalmente que la distribución de las curvas permanece igual.⁶

Distancia fuente-piel. Al aumentar o disminuir las dimensiones de un contorno, sin alterar la distancia de la fuente de radiación al centro del contorno, se acorta o aumenta la distancia fuente-piel. Sin embargo, la distribución de la dosis no se altera. Asimismo, cuando se haga variar la distancia fuente-piel (como cuando el centro de rotación no coincide con el centro del contorno o el contorno no es circular), las variaciones en la distribución de la dosis son mínimas y carecen de importancia clínica. Variaciones en la distancia fuente-piel hasta de 20 y 30 centímetros no alteran las curvas de isodosis críticamente. Finalmente, cuando se varía el tamaño del campo, la dosis a una misma profundidad no varía en más de diez por ciento.⁷

De lo anterior se deduce que es posible y conveniente utilizar una sola distancia fuente-piel, a pesar de que en la práctica la distancia varía continuamente.

Para el diseño y especificaciones de la Bomba de Cobalto Picker C-1000, consideramos la distancia foco-piel más conveniente, 50 centímetros. A la misma distancia desarrolló experimentalmente Tsien las curvas de isodosis estacionarias del equipo para diversos tamaños del campo³. Utilizando estas curvas sólo fué necesario completarlas hasta la atenuación correspondiente al 5% (véase Corrección de curvas de isodosis estacionarias). Tal aproximación es necesaria para conocer la distribución periférica de la dosis con mayor exactitud.

Profundidad y posición del tumor. Siendo infinitamente variable la profundidad y posición de un tumor, podría pensarse que la aplicación del método se limita a un reducido número de tumores centrales. Sin embargo, aún cuando las curvas fueron determinadas considerando el centro de rotación en el centro del contorno circular, pueden emplearse en casos de lesiones excéntricas; sólo se necesita colocar el centro de rotación de la curva en tal forma que el tumor quede comprendido dentro de una distribución deseable (véase fig. 2). La configuración de la curva que se requiere para incluir al tumor satisfactoriamente, obliga a escoger determinado tamaño de campo y ángulo de rotación. V. gr. Los tumores excéntricos cercanos a la superficie del contorno son tratados más eficazmente con rotaciones parciales, lo cual se desprende del análisis visual de las curvas obtenidas.

Largo del campo. Los cambios en el tamaño del lado longitudinal del campo (b) no alteran la distribución de la dosis en el plano de oscilación o rotación⁷. Por eso, las curvas para campos cuadrados se pueden emplear en campos rectangulares que tengan el mismo ancho o dimensión transversal (a), las variaciones en el largo del campo alteran la distribución de la dosis en el plano de simetría, pero no en el plano de oscilación o rotación (véase fig. 1).

Factores variables que afectan las curvas de terapia en movimiento.

Las curvas de rotación en el plano de oscilación varían, fundamentalmente, con el tamaño o dimensión transversal del campo y el ángulo de rotación (véase Selección de la curva de isodosis apropiada).

Factores constantes que afectan las curvas de terapia en movimiento.

Las curvas de isodosis estacionarias y las curvas de terapia en movimiento (que son un derivado de las primeras) sólo pueden ser utilizadas con los equipos que tienen las mismas especificaciones y características. Las especificaciones de un equipo determinado redundan en ventajas y limitaciones particulares. Se traducen, entre otras cosas, en un tipo y ta-

maño determinado de penumbra; utilizan distintos tipos de colimador y tienen distinto radio de rotación.⁸

Las especificaciones del equipo para el que fueron realizadas el juego de curvas de este trabajo son las siguientes:

Picker C-100.

Diámetro de la pastilla : 2 centímetros.

Distancia fuente-colimador : 27 centímetros.

Radio de rotación : 55 centímetros.

Tamaño del campo máximo a 55 centímetros : 16 x 16 centímetros

Estas mismas especificaciones corresponden al equipo para el que fueron determinadas el juego de curvas experimentales estacionarias que publicó Tsien, a la distancia fuente-piel de 50 centímetros.

III MATERIAL UTILIZADO Y EXPLICACIÓN DEL MÉTODO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE TERAPIA EN MOVIMIENTO

MATERIAL UTILIZADO. CORRECCIÓN DE CURVAS DE ISODOSIS ESTACIONARIAS

El cálculo matemático de curvas de isodosis para terapia en movimiento requiere una aproximación mayor que la que es posible alcanzar utilizando las curvas de isodosis para campos estacionarios, convencionales, publicadas por Tsien. El trabajo experimental de este autor proporciona la distribución de la dosis hasta la curva de 20%, pero es necesario utilizar curvas con información hasta la atenuación de 5%, para obtener una aproximación suficiente.

La construcción de curvas estacionarias aproximadas se realizó añadiendo a las publicadas por Tsien los trazos correspondientes a mayores atenuaciones. Los trazos adicionales se dibujaron primero en papel semilogarítmico, empleando las dosis en por cientos encontradas experimentalmente por Tsien a distintas profundidades del rayo central y en líneas paralelas alejadas del centro uno, dos, tres o más centímetros. Las dosis se corrigieron de acuerdo con la atenuación producida por la distancia (ley inversa de los cuadrados). El resultado final dió una familia de trazos sensiblemente paralelos y casi rectos después de los primeros 5 centímetros de profundidad. La inclinación de los trazos fué consecuencia del coeficiente de absorción lineal característico de la substancia absorbente interpuesta, del tamaño del campo de la pastilla y del tipo de colimador empleado. Extrapolando e interpolando los trazos fué posible determinar la posición de un punto cuya dosis se conocía, o investigar la dosis de un

punto cuya posición era conocida. Una vez que fue posible conocer la dosis o la posición de un punto de dosis conocida, se trazaron las curvas estacionarias adicionales con facilidad (véanse curvas estacionarias, gráficas 1, 2, 3 y 4).

Sólo se corrigieron o aproximaron las curvas estacionarias a 50 centímetros de distancia foco-piel para campos 6X6, 10 X 10, 12 X 12 y 14 X 14 centímetros.

EXPLICACIÓN DEL MÉTODO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE TERAPIA EN MOVIMIENTO.

Para construir curvas de rotación basta calcular la dosis total que reciben un número de puntos (uniformemente repartidos en la superficie de sección transversal problema) y unir los del mismo valor. La curva se traza con mayor facilidad mientras más puntos se investigan.

Se dijo que la dosis total en cada punto es la suma promedio de las contribuciones parciales que cada posición confiere al punto en estudio. De hecho (en el método que se describe), la dosis total de un punto es el promedio de la contribución de diez y ocho posiciones.

DISTRIBUCIÓN UNIFORME Y SIMÉTRICA DE 217 PUNTOS

Antes de explicar la distribución uniforme y simétrica de los puntos, es conveniente resumir que:

La representación esquemática del contorno de su superficie de sección del cuerpo humano por un círculo de 15 centímetros de radio, facilita el cálculo de curvas de rotación sin producir variaciones de trascendencia clínica.

Posiciones. Para distribuir uniformemente 217 puntos, el contorno circular se divide en diez y ocho radios separados veinte grados entre sí; cada radio representa una posición del rayo central y las posiciones se numeran del 1 al 18 en dirección opuesta al movimiento de las manecillas del reloj (véase fig. 2).

Puntos. El punto central (0) se coloca en el eje de rotación, el cual está a 15 centímetros de profundidad en el centro del contorno y 55 centímetros alejado de la pastilla radioactiva. Los 216 puntos restantes se distribuyen sobre diez y ocho radios o posiciones, colocando doce puntos en cada posición. Los puntos en cada posición se designan del centro a la periferia con letras de la A a la L y todos los puntos del mismo

nombre quedan a igual distancia del centro Posiciones y puntos se dibujan en papel polar milimétrico para facilitar la interpolación de valores, (véase fig. 2).

Imagen en espejo de valores por construcción y leyes de simetría. Si por construcción hacemos que el plano de simetría (K L D C), al pasar por las posiciones 1 y 10 divida al contorno circular en dos mitades iguales y simétricas, cada mitad será imagen en espejo de la otra, tendrá nueve posiciones y 108 puntos uniformemente repartidos. Si la bisectriz del ángulo de rotación se hace coincidir con el plano de simetría, sólo la mitad de las posiciones y puntos necesitan calcularse, pues la otra mitad es imagen en espejo de la primera (véase curva 6 (360°)).

IV. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE ROTACIÓN

CÁLCULOS DE LAS CONTRIBUCIONES PARCIALES

Se necesita conocer la dosis que reciben los puntos de la posición I para cada tamaño de campo cuando el rayo central recorre 18 posiciones distintas. Utilizando las curvas estacionarias corregidas o aproximadas, se hace coincidir el rayo central de la curva con la posición I del papel polar. El porciento de la dosis correspondiente a la profundidad de 15 centímetros en el eje de la curva, debe quedar en el centro del papel polar. Este valor y el de todos los puntos de la posición I depende de su profundidad en el contorno. Las dosis se anotan en una tabla que lleva el nombre de las letras en las abscisas y el nombre de las posiciones en las ordenadas (Tabla 2). Después se coloca la curva estacionaria en la posición 2. Nuevamente, con el por ciento de la dosis a la profundidad de 15 centímetros en el papel polar, se estudian las contribuciones a los puntos de la posición I. Las dosis recogidas se llevan a la tabla y así sucesivamente, se anotan las contribuciones al punto de la posición I en todas las posiciones.

DOSIS PROFUNDIDAD ESTACIONARIA DECRECIENTE

Nótese que esta tabla, la cual recibe el nombre de "dosis profundidad estacionaria decreciente", contiene hasta el momento sólo contribuciones a los puntos de la posición I. No es necesario calcular la dosis que reciben los puntos de otras posiciones en una rotación completa. Con la tabla mencionada, es fácil corroborar el efecto de simetría obtenido

por construcción. Las contribuciones a los puntos de la posición I, cuando el rayo central descansa en la posición 2, tienen los mismos valores que cuando el rayo central se apoya en la posición 18. De hecho, los valores de las contribuciones en los puntos de la posición I, producidas por las 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 son iguales a los de las posiciones 18, 17, 16, 15, 14, 1, 12 y 11 respectivamente. Sólo las posiciones 1 y 10 no tienen posición simétrica equivalente, cuando el plano de simétrica se hace pasar por ellas.

CONVERSIÓN EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL CENTRO. NORMALIZACIÓN CENTRAL.

En la tabla "dosis profundidad estacionaria decreciente" quedaron anotadas las contribuciones parciales que reciben los puntos de una posición, utilizando curvas estacionarias. Como es fácil observar, las dosis disminuyen de la periferia al centro del contorno. Es conveniente convertir esta tabla en otra que expresa las contribuciones en función de la dosis que recibe el centro, la cual es 18 veces la misma, mientras que los otros puntos reciben una variedad de contribuciones parciales cuyo promedio es siempre inferior al central. Por lo tanto, la tabla de "Normalización Central" considera cien por ciento al valor promedio de la contribución central y convierte los valores de todas las contribuciones en por cientos con respecto al centro, facilitando los pasos subsecuentes, (véase Conversión en por cientos con respecto al centro, Tabla 2).

SUMA DE PORCIENTO CON RESPECTO AL CENTRO

Para conocer la dosis total que reciben los puntos de la posición I cuando se efectúa una rotación, deben sumarse todas las contribuciones parciales que aparecen en la tabla de normalización central. (Tabla 3).

CONVERSIÓN EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MÁS ALTO DE LAS SUMAS. NORMALIZACIÓN FINAL

Finalmente, se considera cien por ciento la suma de valor más alto y las otras sumas se convierten en por cientos con respecto a dicho valor, proceso que recibe el nombre de "Normalización Final". En una rotación

completa, por lo que se dijo antes, el punto central es siempre el valor promedio más alto y por lo tanto el cien por ciento (Tabla 4).

INTERPOLACIÓN DE VALORES Y TRAZADO DE CURVAS

La normalización final de los valores puede o no resultar en por cientos utilizables, pero el papel polar permite interpolar y encontrar la posición del por ciento que se busca. En una rotación completa todos los puntos de todas estas posiciones reciben dosis idénticas a las de los puntos de la posición I. Con un compás se pueden completar los círculos concéntricos que unen a los puntos de dosis igual.

V. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE OSCILACIÓN

CÁLCULOS DE LAS CONTRIBUCIONES PARCIALES

El cálculo de las contribuciones parciales para una curva de oscilación emplea, inicialmente, la misma tabla de normalización central que se construye para el cálculo de curvas de rotación. (Tabla 2).

SUMA DE PORCIENTOS CON RESPECTO AL CENTRO SEGÚN ÁNGULO DE ROTACIÓN

Cuando la rotación es completa se necesitan sumar las 18 contribuciones que reciben los puntos de una sola posición; la posición I; cuando se trata de una oscilación, el número de contribuciones parciales depende del ángulo de rotación, ya que determinada oscilación de la fuente se descompone en un número determinado de posiciones. V. gr. El cálculo de un ángulo de rotación de 100° requiere la suma de las contribuciones producidas por seis posiciones; el de un ángulo de 180° necesita la suma de diez, etc., porque 100° quedan comprendidos entre seis posiciones y 180° entre diez (Tabla 1).

Por lo tanto, cualquier punto de la superficie de sección transversal recibirá un número de contribuciones parciales igual al número de posiciones que representan el ángulo del movimiento utilizado. Por otra parte, si en una rotación completa los puntos iguales de las otras posiciones reciben las mismas contribuciones que reciben los puntos de la posición I, en una oscilación los puntos reciben distintas contribuciones y es necesario calcularlos todos. De ahí que para cada ángulo de rotación se necesita construir una tabla con las sumas de los por cientos con respecto al centro,

que según el número de posiciones se necesita para representar al movimiento.

TABLA DE LA SUMA DE POSICIONES

(Véase "Distribución uniforme y simétrica de 217 puntos")

Si se coloca la bisectriz del ángulo de rotación en el plano de simetría y se numeran las posiciones que incluye al ángulo en el estudio al movimiento de las manecillas del reloj, un ángulo de rotación de 100° queda comprendido entre seis posiciones; la bisectriz divide al ángulo en dos mitades de 50° ó sea tres posiciones y 10° a cada lado. El límite izquierdo del ángulo es la posición uno y el límite derecho, la posición. Las otras posiciones se numeran con las cifras correspondientes al lugar intermedio que ocupan. En el ejemplo, puesto que sólo se necesita conocer el valor de los puntos repartidos en nueve posiciones, deberán investigarse las posiciones 1, 2, 3, 13, 14, 15, 16, 17 y 18; (curvas (100°); (Gráfica 6).

Los puntos de la posición I reciben la suma de las contribuciones proporcionadas por el rayo desde las posiciones del I al 6 (1-6 en la tabla de la suma de posiciones, significa que es necesario sumar las contribuciones que reciben los puntos de la posición I cuando el rayo central ocupa las posiciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6, inclusive). Para saber la dosis que reciben los puntos de la posición 2 cuando el rayo central recorre un ángulo de 100° , se hace girar el ángulo de rotación una posición a la izquierda en el sentido de las manecillas del reloj, con lo que la posición I toma el lugar de la segunda posición. El ángulo queda entonces comprendido entre las posiciones 18 y 5 (18-5 en la tabla de la suma de posiciones, expresa que es necesario sumar las contribuciones que los puntos del rayo I reciben cuando el rayo central ocupa las posiciones 18, 1, 2, 3, 4 y 5, inclusive).

La tabla de la suma de posiciones indica qué posiciones y cuántas posiciones es necesario sumar para conocer la dosis total que reciben los 108 puntos de nueve posiciones, según el ángulo de rotación (Tabla 1).

"CONVERSIÓN DE PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MÁS ALTO DE LAS SUMAS SEGÚN EL ÁNGULO DE ROTACIÓN." NORMALIZACIÓN FINAL.

De una manera similar a la forma como se llegó a la normalización final de las sumas de por cientos con respecto al centro para una

rotación, se realiza la normalización de un ángulo de rotación. El valor más alto se considera cien por ciento y las otras sumas se convierten en por cientos con respecto a dicho valor. Con ángulos de rotación, el valor central no es el valor más alto (Curva 10 (180°), Gráfica 13).

INTERPOLACIÓN DE VALORES Y TRAZADO DE CURVAS.

Los valores de la normalización final se llevan al papel polar y por interpolación se encuentran los por cientos deseables, completando las curvas al unir los puntos del mismo valor.

VI. APLICACIÓN DEL MÉTODO

El juego de curvas de isodosiis obtenido para terapia en movimiento es de aplicación general. Si se desea individualizar la distribución de la dosis en un caso determinado, se puede llegar a mayor aproximación utilizando las tablas apropiadas de los diversos factores de corrección, como son: a) el factor de corrección para encontrar el por ciento de la dosis a profundidades mayores o menores de 15 cms. según sea el espesor de los tejidos, y b) el factor de corrección para encontrar el por ciento verdadero de la dosis a profundidad cuando la distancia foco-piel es mayor o menor de 50 cms. según la ley inversa de los cuadrados (Tablas 5 y 6).

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN TUMORAL.

Los tumores inaccesibles, preferentemente circunscritos y profundos requieren el paso preliminar de la determinación del volumen tumoral. Dicha determinación consiste en la reconstrucción bidimensional de una tumoración sobre el contorno de la superficie de sección transversal del cuerpo que pasa por la lesión.⁹ El nivel del corte se expresa en función de la distancia que existe, sobre el eje longitudinal del cuerpo, entre el corte, y algún punto anatómico externo de referencia. El contorno del corte se obtiene de diversas maneras. La más sencilla quizá sea moldear una regla de curvas de plomo sobre el nivel seleccionado. Ancho y altura del trazo obtenido deben corresponder a las dimensiones respectivas del paciente. Conviene advertir que la toma del contorno debe practicarse en la posición que adoptará el enfermo

durante el tratamiento, y que debe ser la misma que tomó cuando se hizo la determinación tumoral radiológica volumétrica.

Esta última requiere proyecciones radiológicas anteroposteriores y laterales de la región en estudio, con el objeto de reconstruir la posición y volumen de una tumoración. Las radiografías se toman en ángulo recto. Las dos incidencias son complementarias y exigen una intersección perpendicular así como una misma distancia foco-película. Al tomar una radiografía a 90° de otra, debe cambiarse la posición del tubo y no la del enfermo, para evitar el movimiento de vísceras, órganos y paciente.

Las dimensiones de una imagen radiológica son siempre mayores que las del objeto reproducido. La magnificación de la imagen depende de los puntos mencionados arriba y el factor de magnificación se obtiene dividiendo la distancia de la fuente al objeto entre la distancia de la fuente a la película. Cuando no es posible conocer la distancia de la fuente al objeto (porque el objeto está a una profundidad inaccesible) se recurre a la comparación de una dimensión o diámetro del enfermo y su equivalente medido sobre la radiografía. De esta comparación de diámetros se obtiene un factor de magnificación que permite convertir cualquier medida que se realiza sobre la radiografía (medida falsa) a dimensiones reales o verdaderas. Finalmente, cuando se conocen las dimensiones de cualquier objeto introducido en el cuerpo, el factor de magnificación se obtiene de la comparación de dimensiones reales con las que pueden tomarse del estudio radiológico del objeto (falsas o magnificadas).

El resultado final de la determinación radiológica del volumen tumoral en radioterapia es el plano del corte efectuado a un nivel seleccionado, con el esquema de la posición y el volumen del tumor. En el plano se estudia la conveniencia de tal o cual curva de isodosis para la forma, volumen y posición del tumor de un caso dado.

SELECCIÓN DE LA CURVA DE ISODOSIS APROPIADA.

La distribución de la dosis en una curva determinada depende principalmente del tamaño del campo y el ángulo de rotación.

Tamaño del campo. Después de sobreponer un número de curvas sobre el plano del corte apropiado, es fácil escoger la curva que incluye eficientemente al volumen tumoral determinado. Es conveniente recordar, sin embargo, que la dosis integral proporcionada al paciente, au-

menta con el tamaño del campo, asimismo, la dosis superficial aumenta (Fig. 2).

Angulo de rotación. La forma del volumen tumoral determinado obliga a escoger cierto ángulo de rotación, pues la configuración de las curvas dependen, asimismo, del ángulo de rotación. Nuevamente, basta sobreponer al plano del contorno una serie de curvas para escoger la que visualmente corresponda ventajosamente con el caso.

SELECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD CENTRAL (F. O.).

Sobrepuesta la curva escogida al plano del contorno, con la posición que más convenientemente logra incluir el tumor dentro de la isodosis correspondiente al 90% (preferentemente se lee la distancia que existe entre el punto de incidencia nominal del contorno y el centro del papel polar).

Cuando el enfermo reposa en la mesa de tratamiento, el punto de incidencia nominal del contorno se coloca a la Distancia Foco (fuente) Piel nominal de 55 cms. A esa distancia se acciona el colimador hasta obtener el tamaño de campo apropiado y se eleva la mesa una distancia igual a la profundidad central obtenida. El campo quedó así de las mismas dimensiones en el plano horizontal que pasa por la profundidad central (U.V.W.Z.) (Fig. 1).

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS POR PROPORCIONAR.

Atenuación del rendimiento en aire por el espesor de tejidos. El rendimiento de la fuente en aire a la distancia de 55 centímetros, necesita ser corregido por la atenuación que sufre al penetrar la profundidad promedio de todas las posiciones que caracterizan al ángulo de rotación empleado hasta llegar al centro de rotación u oscilación.

La tabla del factor de corrección para encontrar el por ciento o el valor absoluto de la dosis según sea el espesor de los tejidos, proporciona la atenuación en por cientos decrecientes a mayor profundidad o en fusión del por ciento que recibe la profundidad de 15 centímetros, considerado como la unidad. Nótese que el factor varía con el tamaño del campo y la profundidad de los tejidos. Por lo tanto, cuando

D = Rendimiento en aire a 55 centímetros de distancia de la fuente.

f = Factor de corrección por la absorción de tejidos.

D_n = Rendimiento a la profundidad promedio de las posiciones con respecto al punto central:

$$D \cdot f = D_n$$

El rendimiento se expresa se expresa en r/min.

Si D es 60 r/min. y $f = 36.22$ (porque la profundidad promedio de las posiciones con respecto al punto central para ángulo de rotación de un campo de 6 x 6, fue 13 centímetros) D_n se resuelve:

$$60 \times 36.22 = 21.73 \text{ r/min.} \quad D_n = 21.73 \text{ r/min.}$$

CÁLCULO DEL TIEMPO NECESARIO PARA PROPORCIONAR UNA DOSIS DADA CON DETERMINADO ÁNGULO DE ROTACIÓN.

Primero se determinan el número de minutos que deben emplearse para obtener la dosis buscada (X) con el rendimiento a la profundidad promedio (D_n).

t = duración del tratamiento.

X = dosis buscada.

$$\therefore \frac{X}{D_n} = t$$

V.gr.: $X = 200 \text{ r.}$

$D_n = 21.75 \text{ r/min.}$

$$\therefore \frac{200}{21.73} = 9.20 = 9'12''$$

Después se escoge la velocidad (v) que invierte el tiempo más cercano al investigado (X) para efectuar la rotación u oscilación que se requiere.

Para completar el ejemplo que hemos venido utilizando, supongamos que el ángulo de rotación empleado es 220° , y que los controles nos permiten seleccionar una velocidad de 22.5° grados/minuto. En

9.175 minutos, la fuente habrá recorrido el ángulo completo. Por lo tanto, la fuente recorre el ángulo en ese tiempo y proporciona en el punto central 199.37 r.

$$\begin{aligned}v &= 22.5^\circ/\text{min.}; \\t &= 9.175 = 9'10''; \\&= 220^\circ; Dn = 21.73 \text{ r/min.} \\&\dots 21.73 \times 9.175 = 199.37 \text{ r.}\end{aligned}$$

Es necesario restringirse a utilizar las velocidades que es posible obtener en el indicador de los controles correspondientes, aunque el resultado sean ligeras variaciones en las dosis deseadas (199.37 r. en lugar de 200 r.).

La figura 3 ilustra la aplicación del método en una enferma con la tumoración pélvica que queda indicada con líneas cruzadas. Sobre el contorno se colocaron las curvas de 10 x 10 para distintos ángulos de rotación. El ángulo de rotación que producía una distribución de la dosis que incluye a la tumoración satisfactoriamente fue de 220°. Las curvas de isodosis para este ángulo quedan indicadas con líneas punteadas.

REFERENCIAS

1. Jones, E. A., Gregory, Birchall, I.: *Dosage distribution in rotation cobalt 60 therapy*. Brit. J. Radiology, 1956, XXIX, N° 340: 196-201.
2. Gregory, C.: *Dosage distribution in rotation cobalt 60 therapy*. Brit. J. Radiol., 1957, XXX, N° 358: 538-543.
3. Tsien, K. C., Robbins, R.: *Complete calibration data and isodose curves for Picker C-1000 Cobalt 60 Unit*. Picker X-ray Corporation.
4. Dahl, O., Vikterlöf, K. J.: *Dose distributions in arc therapy in the 200 to 250 kv range*. Acta Radiológica. Supplementum 171, 1958: 16.
5. Roberts, J. E.: *Limiting factors of Moving-Field Dosimetry*. Roentgens., rads., and riddles. U. S. Atomic Energy Commission, 1959: 29-38.
6. Braestrup, C. B., Mooney, R. T.: *Cobalt Isodose Patterns for Moving Beams*. Roentgens. rads, and riddles. U. S. Atomic Energy Commission, 1959: 471-477.
7. Hultberg, S., Dahl, O., Thoraesus, R., Vikterlöf, K. J., Waltsan, R.: *Kilocurie cobalt 60 therapy at the Radiumhemmet*. Acta Radiológica, Supplementum 179, 1959, 137.
8. Braestrup, C. B., Mooney, R. T.: *Physical aspects of rotating telecobalt equipment* Radiology, 1955, 64:17.
9. Pérez-Tamayo, R.: *Determinación del volumen tumoral*. Revista Mexicana de Radiología, 1960, tomo 45.

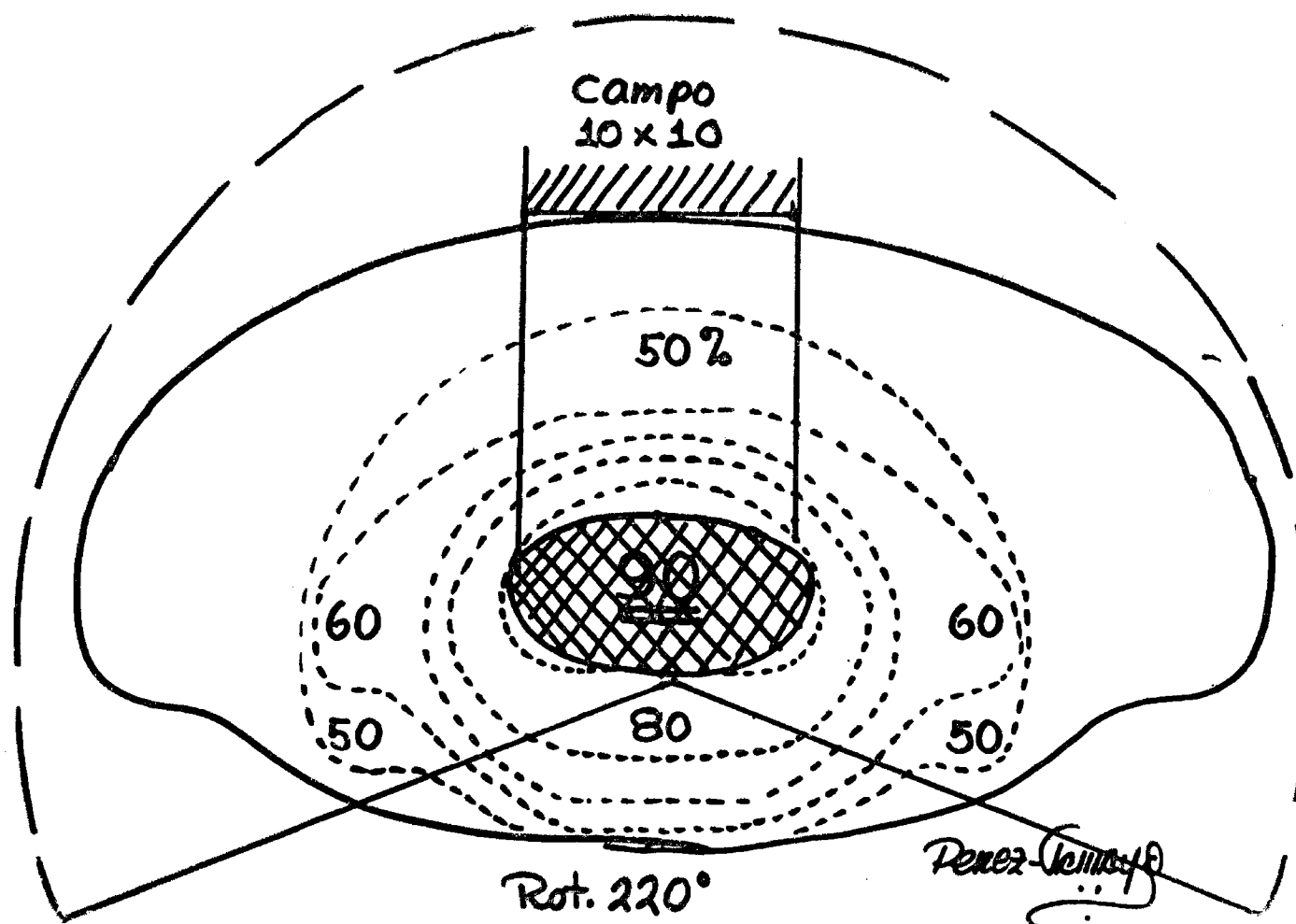


Figura 2. Ilustración de la aplicación del método. Sobre el contorno de la sección del cuerpo que pasa por el tumor vesical de un enfermo, se ha dibujado la curva de isodosis de un campo de 10 x 10 cm. para una rotación de 220°. La vejiga queda comprendida dentro de la curva de 90%, mientras el recto queda entre las de 60 y 50%. El punto de partida y el punto final de la rotación dependen de la colocación ideal de las curvas para el tumor.

	100°	140°	180°	220°	260°	320°	360°
1	1-6	1-8	1-10	1-12	1-5	1-17	1-18
2	18-5	18-7	18-9	18-11	18-14	18-16	
3	17-4	17-6	17-8	17-10	17-13	17-15	
4		16-5	16-7	16-9	16-12	16-14	
5			15-6	15-8	15-11	15-13	
6				14-7	14-10	14-12	
7					13-9	13-11	
8					12-8	12-10	
9						11-9	
10							
11							
12							
13	7-12						
14	6-11	6-13					
15	5-10	5-12	5-14				
16	4-9	4-11	4-13	4-15			
17	3-8	3-10	3-12	3-14	3-17		
18	2-7	2-9	2-11	2-13	2-16	2-18	
	100°	140°	180°	220°	260°	320°	360°

Tabla 1. Tabla de la suma de posiciones. Para conocer el valor de los puntos en la posición 4 cuando se rota un ángulo de 140°, se debe considerar que el ángulo de rotación queda comprendido dentro de las posiciones 16 y 5 para que los puntos de la posición 4 con respecto a la posición 16 y sumar las contribuciones a los puntos de la posición 1. Para conocer el valor de los puntos en la posición 4 cuando se rota un ángulo de 180°, se debe considerar que el ángulo de rotación queda comprendido dentro de las posiciones 16 y 7 para que los puntos de la posición 1 queden colocados en posición 4 con respecto a la posición 16 y sumar las contribuciones a los puntos de la posición 1. La tabla de la suma de posiciones solo indica las posiciones extremas 16-7 para que los puntos en posición 1 tomen la posición 4 con respecto a la posición 16. Debe entenderse que para obtener los valores que aparecen en los puntos de la posición de esta figura se necesitan sumar las contribuciones a esos puntos de las posiciones 16, 17, 18, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7. Las contribuciones fueron convertidas previamente en porcentos con respecto al centro, después sumadas según el ángulo de rotación, y finalmente convertidas en porcentos con respecto al valor más alto de las sumas efectuadas según el ángulo de rotación.

DOSIS PROFUNDIDAD ESTACIONARIA DECRECIENTE. CAMPO 6 X 6. 100/30=3.33 1-8-60
0 = 30%

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	34	37.5	40	42	47	52	58.5	68	74	80	89	93.5
2	33.5	36.5	39	40	44	45	42.5	36	28	18	5	—
3	32.5	33.5	33	32.5	26	18	7.5	—	—	—	—	—
4	31.5	30.5	27	24	17	5	—	—	—	—	—	—
5	30	27	21	18.5	13	—	—	—	—	—	—	—
6	29	25	20	17.5	13	—	—	—	—	—	—	—
7	28	24	20.8	18.5	16	10	—	—	—	—	—	—
8	27	25	21.5	20.5	17	15.3	11.6	8.4	5.4	—	—	—
9	27	24	22.4	21.7	18.5	16.4	15.2	13.5	12	10.5	8.4	7.5
10	27	23.3	22.4	21.7	18.5	16.4	15.2	13.5	12	10.5	9.4	8.2
11	27	24	22.4	21.7	18.5	16.4	15.2	13.5	12	10.5	8.4	7.5
12	27	25	21.5	20.5	17	15.3	11.6	8.4	5.4	—	—	—
13	28	24	20.8	18.5	16	10	—	—	—	—	—	—
14	29	25	20	17.5	13	—	—	—	—	—	—	—
15	30	27	21	18.5	13	—	—	—	—	—	—	—
16	31.5	30.5	27	24	17	5	—	—	—	—	—	—
17	32.5	33.5	33	32.5	26	18	7.5	—	—	—	—	—
18	33.5	36.5	39	40	44	45	42.5	36	28	18	5	—

CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL CENTRO (NORMALIZACION CENTRAL). CAMPO 6 X 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	0=100%
1	113	125	133	140	157	173	195	227	247	267	297	311	0=100%
2	112	122	130	133	147	150	142	120	93	60	17	—	—
3	108	112	110	108	87	60	25	—	—	—	—	—	—
4	105	102	90	80	57	17	—	—	—	—	—	—	—
5	100	90	70	62	43	—	—	—	—	—	—	—	—
6	97	83	67	58	43	—	—	—	—	—	—	—	—
7	93	80	69	62	53	33	—	—	—	—	—	—	—
8	90	83	72	68	57	51	39	23	18	—	—	—	—
9	90	80	75	72	62	55	51	45	40	35	28	25	—
10	90	70	75	72	62	55	51	45	40	35	31	27	—
11	90	80	75	72	62	55	51	45	40	35	28	25	—
12	90	83	72	68	57	51	39	28	18	—	—	—	—
13	93	80	69	62	53	33	—	—	—	—	—	—	—
14	97	83	67	58	43	—	—	—	—	—	—	—	—
15	100	90	70	62	43	—	—	—	—	—	—	—	—
16	105	102	90	80	57	17	—	—	—	—	—	—	—
17	108	112	110	108	87	60	25	—	—	—	—	—	—
18	112	122	130	133	147	150	142	120	93	60	17	—	—

Tabla 2. La mitad superior de la tabla se refiere a la dosis que reciben los puntos A, B, C, D, etc de la posición 1 cuando el eje central de la curva estacionaria se coloca en las posiciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc. En el punto central 0 el porciento de la dosis por la profundidad de 15 cms. es 30W cuando el campo utilizado tienen dimensiones de 6 x 6 cms. La mitad inferior de la tabla expresa la dosis que reciben los puntos de la posición 1 en porcientos con respecto al centro. (Normalización Central). La dosis que recibe el centro se considera 100%.

SUMAS DE PORCIENTOS CON RESPECTO AL CENTRO SEGUN ANGULOS DE ROTACION. CAMPO 6 X 6. 100°

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	100/703=
1	635	634	600	581	534	400	369	347	340	327	314	311	.1422
2	650	673	663	656	638	550	504	467	433	387	331	311	
3	658	695	<u>703</u>	702	662	610	529	467	433	387	331	311	
13	543	484	438	414	353	300	231	191	156	105	87	77	
14	550	484	433	404	339	249	192	163	138	105	87	77	
15	560	494	428	394	320	194	141	118	98	70	59	52	
16	575	518	443	402	315	156	90	73	58	35	28	25	
17	593	550	472	438	340	161	64	28	18	—	—	—	
18	615	589	530	503	430	260	161	120	93	60	17	—	

SUMAS DE PORCIENTOS CON RESPECTO AL CENTRO SEGUN ANGULOS DE ROTACION. CAMPO 6 X 6. 140°

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	100/887=
1	818	797	741	711	644	484	401	375	358	327	314	311	100/887=
2	840	836	799	776	734	583	504	467	433	387	331	311	1127
3	851	868	840	822	768	610	529	467	433	387	331	311	
4	859	<u>887</u>	863	844	782	627	529	467	433	387	331	311	
14	733	647	574	534	449	333	231	191	156	105	87	77	
15	740	657	575	534	449	333	231	191	156	105	87	77	
16	755	676	593	546	449	299	192	163	138	105	87	77	
17	773	708	628	582	474	304	166	118	98	70	59	52	
18	795	752	683	643	559	399	257	193	151	95	45	25	

SUMAS DE PORCIENTOS CON RESPECTO AL CENTRO SEGUN ANGULOS DE ROTACION. CAMPO 6 X 6. 180°

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	100/1060=
1	998	955	891	855	768	594	503	465	438	397	373	363	100/1060=
2	1020	999	946	916	853	689	594	540	491	422	359	336	.9433
3	1038	1031	981	952	878	694	568	495	451	387	331	311	
4	1053	1050	999	964	878	660	529	467	433	387	331	311	
5	<u>1060</u>	<u>1060</u>	1000	964	868	627	529	467	433	387	331	311	
15	930	820	711	654	535	333	231	191	156	105	87	77	
16	938	839	734	676	549	350	231	191	156	105	87	77	
17	953	871	775	722	583	377	256	191	156	105	87	77	
18	975	910	833	787	673	476	359	283	231	165	104	77	

Tabla 3. Las tres partes de esta tabla expresan el resultado de la suma de los porcentos con respecto al centro según el ángulo de rotación cuando el campo utilizado es de 6 x 6 cms. En la parte superior el ángulo es de 100°, en la parte intermedia el ángulo es de 140°, y en la parte inferior es de 180°. Se ha subrayado la suma más alta (703 para 100°, 887 para 140° y 1060 para 180°).

CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MAS ALTO DE SUMAS SEGUN ANGULO DE ROTACION.

CAMPO 6 X 6. $100/703 = .1422$. 100° . $0 = 85\%$

I-7-60

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	90	90	85	83	76	57	51	49	48	46	45	44
2	92	96	94	93	91	78	72	66	62	55	47	44
3	94	99	100	100	97	87	75	66	62	55	47	44
13	77	69	62	59	50	43	33	27	22	15	12	11
14	78	69	62	57	48	35	27	23	20	15	12	11
15	80	70	61	56	46	28	20	17	14	10	8	7
16	82	74	63	57	45	22	13	10	8	5	4	4
17	84	78	67	62	48	23	9	4	3	—	—	—
18	87	84	75	72	61	37	24	17	13	9	2	—

CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MAS ALTO DE SUMAS SEGUN ANGULO DE ROTACION.

CAMPO 6 X 6. $100/887 = .1127$. 140° . $0 = 90\%$

1	92	90	84	80	73	55	45	42	40	37	35	35
2	95	94	90	87	83	66	57	53	49	44	37	35
3	96	98	95	93	87	69	60	53	49	40	37	35
4	97	100	97	95	88	71	60	53	49	44	37	35
14	83	73	65	60	51	38	26	22	18	12	10	9
15	83	74	65	60	51	38	26	22	18	12	10	9
16	85	76	67	62	51	34	22	18	16	12	10	9
17	87	80	71	66	53	34	19	13	11	9	7	6
18	90	85	77	72	63	45	23	22	17	11	5	3

CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MAS ALTO DE SUMAS SEGUN ANGULO DE ROTACION.

CAMPO 6 X 6. $100/1060 = .09433$. 180° . $0 = 94\%$

1	94	90	84	81	72	56	47	44	41	37	35	34
2	96	94	89	86	80	65	56	51	46	40	34	32
3	98	97	93	90	83	65	54	47	43	37	31	29
4	99	99	94	91	83	62	50	44	41	37	31	29
5	100	100	94	91	82	59	50	44	41	37	31	29
15	88	77	67	62	50	31	22	18	15	10	8	7
16	88	79	69	64	52	33	22	19	15	10	8	7
17	90	82	73	68	55	36	24	18	15	10	8	7
18	92	86	79	74	63	45	34	27	22	16	10	7

Tabla 4. Las tres partes de esta tabla corresponden a los ángulos de la tabla anterior pero las sumas se han convertido en porcentos con respecto al valor más alto de las sumas según el ángulo. El centro recibe así 85% de la suma mayor cuando el ángulo es 100° , 90% cuando el ángulo es 140° y 94% cuando es 180° . Los valores de estas tablas se llevan a los puntos correspondientes del papel polar, se interpolan los valores necesarios y se construyen las curvas. (Véase pág. 24).

TABLA 5

I-27-60

FACTOR DE CORRECCION PARA ENCONTRAR EL PORCIENTO DE L DOLIC A PROFUNDIDADES MAYORES O MENORES DE 15 cms.

		CAMPO 6 X 6 cc = .0897		CAMPO 10 X 10 cc = .0762		CAMPO 12 X 12 cc = .07431		CAMPO 14 X 14. cc = .07348	
		Dn	Dn15	Dn	Dn15	Dn	Dn15	Dn	Dn15
cm.									
4	11			78.91	2.32	79.4	2.27	80.9	2.25
5	10	74.42	2.46	72.70	2.13	73.3	2.09	74.7	2.07
6	9	68.02	2.24	67.78	1.99	68.3	1.95	69.6	1.93
7	8	62.16	2.05	62.57	1.84	63.1	1.80	64.9	1.80
8	7	56.81	1.87	57.66	1.69	58.8	1.68	59.9	1.66
e+ 9	6	51.92	1.71	53.85	1.58	54.8	1.57	55.8	1.55
10	5	47.45	1.57	49.71	1.46	50.6	1.45	52.1	1.45
11	4	43.37	1.43	47.76	1.40	47.24	1.35	46.1	1.34
12	3	39.64	1.31	42.88	1.26	43.6	1.25	44.8	1.24
13	2	36.22	1.19	39.58	1.16	40.6	1.16	41.8	1.16
14	1	33.11	1.09	36.90	1.06	37.5	1.07	38.6	1.07
<u>15</u>	0	30.26	1.00	34.07	1.00	35	1.00	36.	1.00
16	1	27.38	.90	31.42	.92	32.6	.93	33.5	.93
17	2	25.02	.82	29.03	.85	30.1	.86	30.9	.86
18	3	22.87	.75	27.07	.79	28.08	.80	28.8	.80
19	4	21.11	.70	24.99	.73	25.9	.74	26.9	.75
20	5	19.10	.63	23.07	.68	24.1	.69	24.6	.69
21	6	17.46	.58	21.51	.63	22.3	.64	23.1	.64
e- 22	7	17.23	.57	19.85	.58	20.8	.59	21.6	.60
23	8	14.72	.49	18.51	.54	19.4	.55	19.9	.55
24	9	13.46	.44	17.09	.50	17.9	.51	18.6	.52
25	10	12.30	.41	15.93	.47	16.7	.48	17.3	.48

TABLA 6

I-28-60.

FACTOR DE CORRECCION PARA ENCONTRAR EL PORCIENTO VERDADERO DE LA DOSIS A PROFUNDIDAD CUANDO LA DISTANCIA POCO PIEL ES MAYOR O MENOR DE 50 cms. SEGUN LA LEY INVERSA DE LOS CUADRADOS/hoja-1

CMS.	$\frac{(d_1)^2}{(d_2)^2}$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5
40	156	140.40	124.80	109.20	93.60	78.0	62.40	46.80	31.20	15.60	7.80
40.1	155.4	139.86	124.32	108.78	93.24	77.70	62.16	46.62	31.08	15.40	7.77
40.2	154.6	139.14	123.68	108.22	92.76	77.30	61.84	46.38	30.92	15.46	7.73
40.3	153.9	138.51	123.12	107.73	92.34	76.95	61.56	46.17	30.70	15.39	7.69
40.4	153.1	137.79	122.48	107.17	91.86	76.55	61.24	45.93	30.62	15.31	7.65
40.5	152.4	137.16	121.92	106.68	91.44	76.20	60.96	45.72	30.48	15.24	7.62
40.6	151.6	136.44	121.28	106.12	90.96	75.80	60.64	45.48	30.32	15.16	7.58
40.7	150.9	135.81	120.72	105.63	90.54	75.45	60.36	45.27	30.18	15.09	7.54
40.8	150.1	135.09	120.08	105.07	90.06	75.05	60.04	45.03	30.02	15.01	7.50
40.9	149.4	134.46	119.52	104.58	89.64	74.70	59.76	44.82	29.88	14.94	7.47
41.	148.7	133.83	118.96	104.09	89.22	74.35	59.48	44.61	29.74	14.87	7.43
41.1	147.9	133.11	118.32	103.53	88.74	73.95	59.16	44.37	29.58	14.79	7.39
41.2	147.2	132.48	117.76	103.04	88.32	73.60	58.88	44.16	29.44	14.72	7.36
41.3	146.5	131.85	117.20	102.55	87.90	73.25	58.60	43.95	29.30	14.65	7.32
41.4	145.8	131.22	116.64	102.06	87.48	72.90	58.32	43.74	29.16	14.58	7.29
41.5	145.1	130.59	116.08	101.57	87.06	72.55	58.04	43.53	29.02	14.51	7.25
41.6	144.4	129.96	115.52	101.08	86.64	72.20	57.76	43.32	28.88	14.44	7.22
41.7	143.7	129.33	114.96	100.59	86.22	71.85	57.48	43.11	28.74	14.37	7.18
41.8	143.	128.70	114.40	100.10	85.80	71.50	57.20	42.90	28.60	14.30	7.15
41.9	142.4	128.16	113.92	99.68	85.44	71.20	56.96	42.72	28.48	14.24	7.12
42.	141.7	127.53	113.36	99.19	85.02	70.85	56.68	42.51	28.34	14.17	7.08
42.1	141.	126.90	112.80	98.70	84.60	70.50	56.40	42.30	28.20	14.10	7.05
42.2	140.3	126.27	112.24	98.21	84.18	70.15	56.12	42.09	28.06	14.03	7.01
42.3	139.7	125.73	111.76	97.79	83.82	69.85	55.88	41.91	27.94	13.97	6.98
42.4	139.	125.10	111.20	97.30	83.40	69.50	55.60	41.70	27.80	13.90	6.95
42.5	138.4	124.56	110.72	96.88	83.04	69.20	55.36	41.52	27.68	13.84	6.92
42.6	137.7	123.93	110.16	96.39	82.62	68.85	55.08	41.31	27.54	13.77	6.88
42.7	137.1	123.39	109.68	95.97	82.26	68.59	54.84	41.13	27.42	13.71	6.85
42.8	136.4	122.76	109.12	95.48	81.84	68.20	54.56	40.92	27.28	13.64	6.82
42.9	135.8	122.22	108.64	95.06	81.48	67.90	54.32	40.74	27.16	13.58	6.79
43.	135.2	121.68	108.16	94.74	81.12	67.60	54.08	40.56	27.04	13.52	6.76
43.1	134.5	121.05	107.60	94.15	80.70	67.25	53.80	40.35	26.90	13.45	6.72
43.2	133.9	120.51	107.12	93.73	80.34	66.95	53.56	40.17	26.78	13.39	6.69
43.3	133.3	119.97	106.64	93.31	79.98	66.65	53.32	39.99	26.66	13.33	6.66
43.4	132.7	119.43	106.16	92.89	79.62	66.35	53.08	39.81	26.54	13.27	6.63

TABLA 7

L-7-59

CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MAS ALTO DE SUMAS SEGUN ANGULO DE ROTACION

CAMPO 10 X 10. $100/832 = 120.192$. 100° . $0 = 72\%$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	76	79	82	82	82	80	71	60	57	57	57	57
2	77	82	86	87	90	92	89	82	81	81	81	79
3	78	83	88	90	95	100	100	93	87	84	81	79
13	65	59	58	56	52	46	39	32	25	22	19	13
14	66	61	59	57	53	45	35	27	21	18	17	13
15	67	63	62	60	55	45	32	21	15	13	12	8
16	70	67	66	65	59	49	39	18	9	8	7	4
17	72	71	71	70	66	57	41	22	10	6	3	—
18	74	75	77	77	74	68	55	39	30	27	24	22

CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MAS ALTO DE SUMAS SEGUN ANGULO DE ROTACION

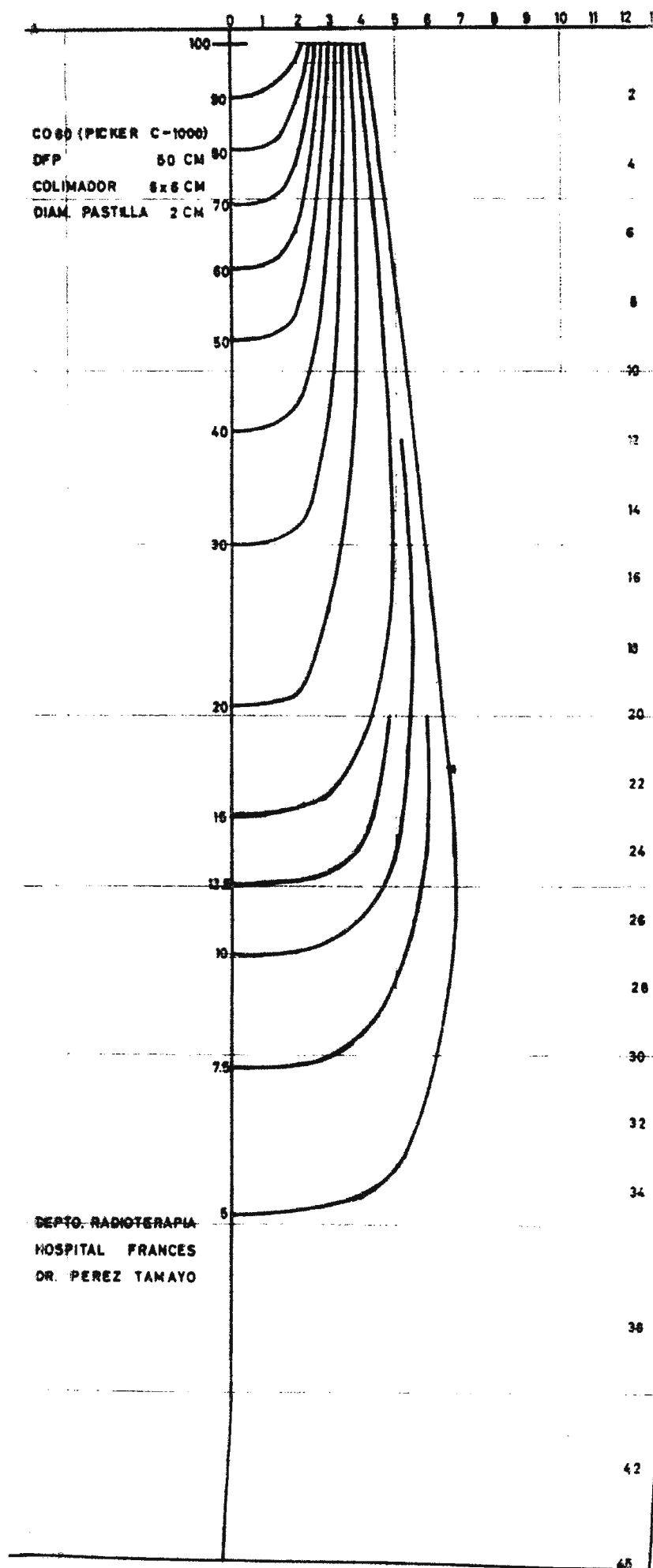
CAMPO 10 X 10. $100/986 = 10.142$. 140° . $0 = 81\%$

1	83	84	86	86	84	81	71	58	52	51	50	48
2	85	88	90	91	91	90	82	72	68	69	69	67
3	86	90	94	95	97	97	90	78	74	71	69	67
4	87	92	96	96	100	100	93	81	74	71	69	67
14	75	68	67	65	60	52	40	30	21	18	16	11
15	75	70	68	67	61	51	39	27	21	18	16	11
16	77	73	72	70	64	54	39	25	17	18	14	11
17	79	76	76	75	70	61	46	29	18	14	10	7
18	81	80	81	80	77	70	58	42	33	30	27	22

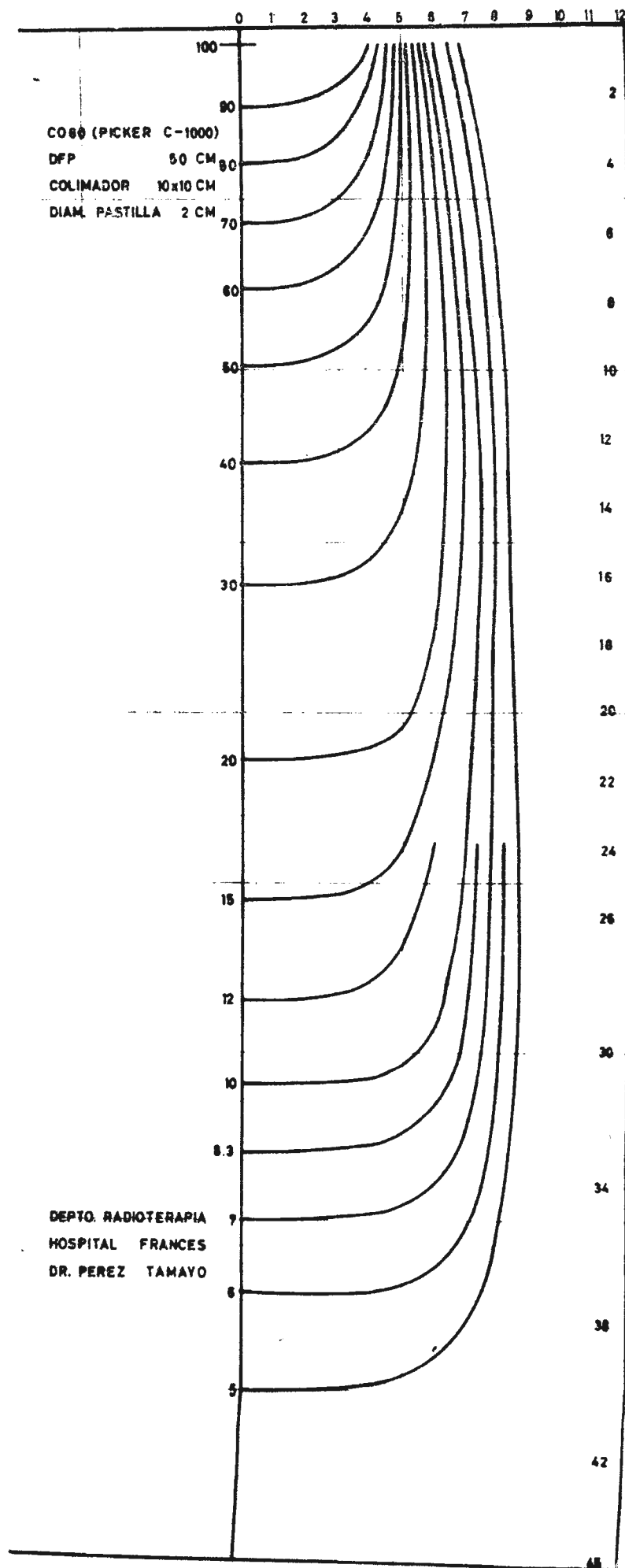
CONVERSION EN PORCIENTOS CON RESPECTO AL VALOR MAS ALTO DE SUMAS SEGUN ANGULO DE ROTACION

CAMPO 10 X 10. $100/1150 = 8.69$. 180° . $0 = 86\%$

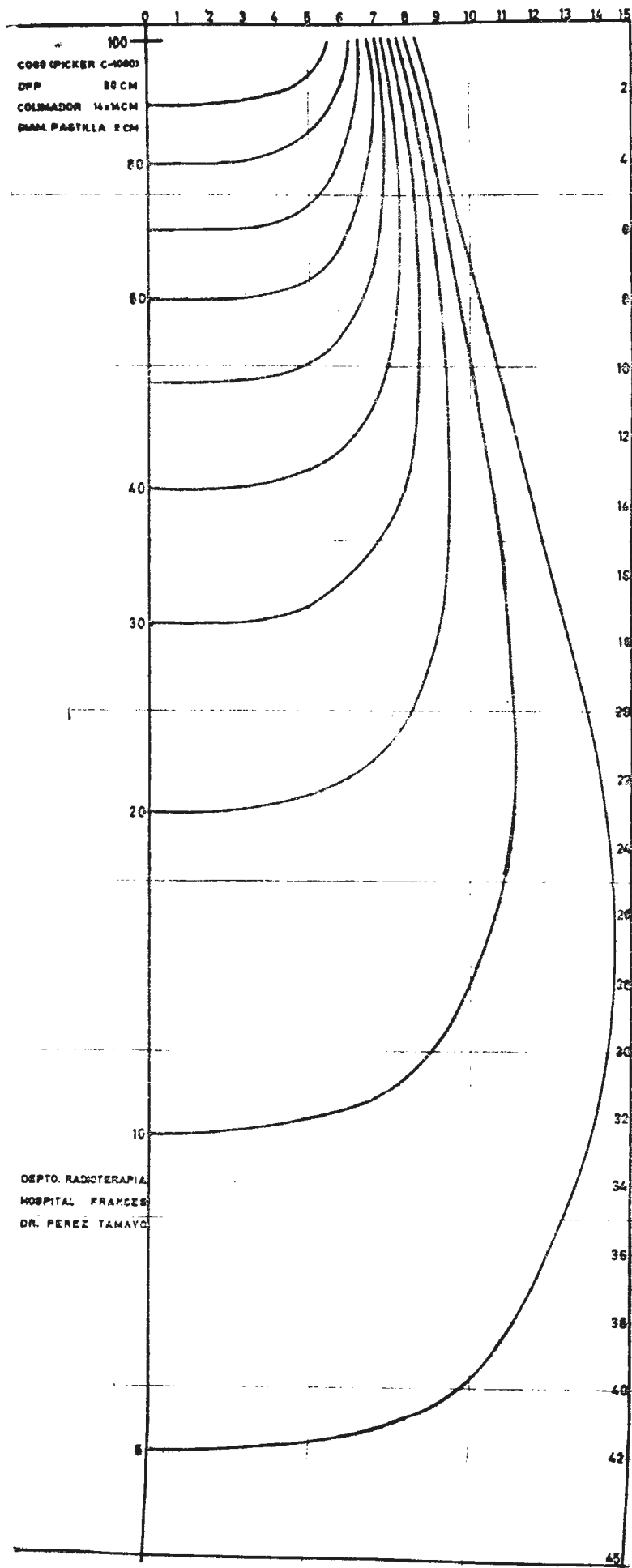
1	87	86	87	87	85	80	70	59	52	51	50	47
2	88	89	91	91	91	86	80	70	65	65	64	60
3	90	92	95	96	96	94	86	73	66	63	61	57
4	91	95	98	98	99	96	86	72	63	61	59	57
5	92	96	99	100	100	96	85	69	63	61	59	57
15	81	76	74	72	65	55	40	26	19	16	14	9
16	82	77	76	74	68	57	42	28	19	16	14	9
17	83	79	79	78	73	63	49	33	22	18	14	9
18	85	82	83	82	79	71	59	49	37	33	30	25



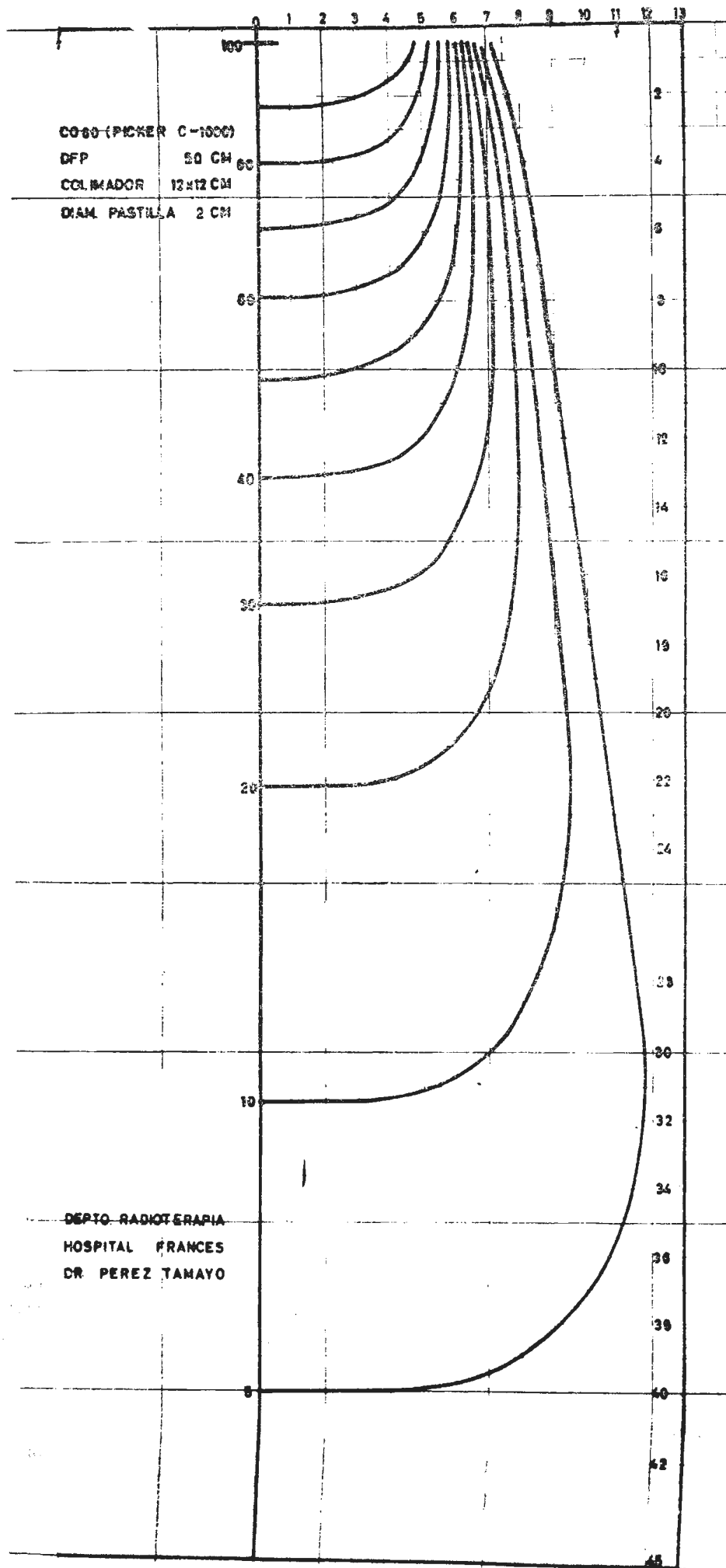
Gráfica 1. Curva estacionaria para un campo de 6 x 6 cms. Las curvas estacionarias publicadas por Tsien fueron determinadas experimentalmente hasta la atenuación de 20%. La curva estacionaria de esta figura se determinó por cálculo hasta la atenuación de 5%.



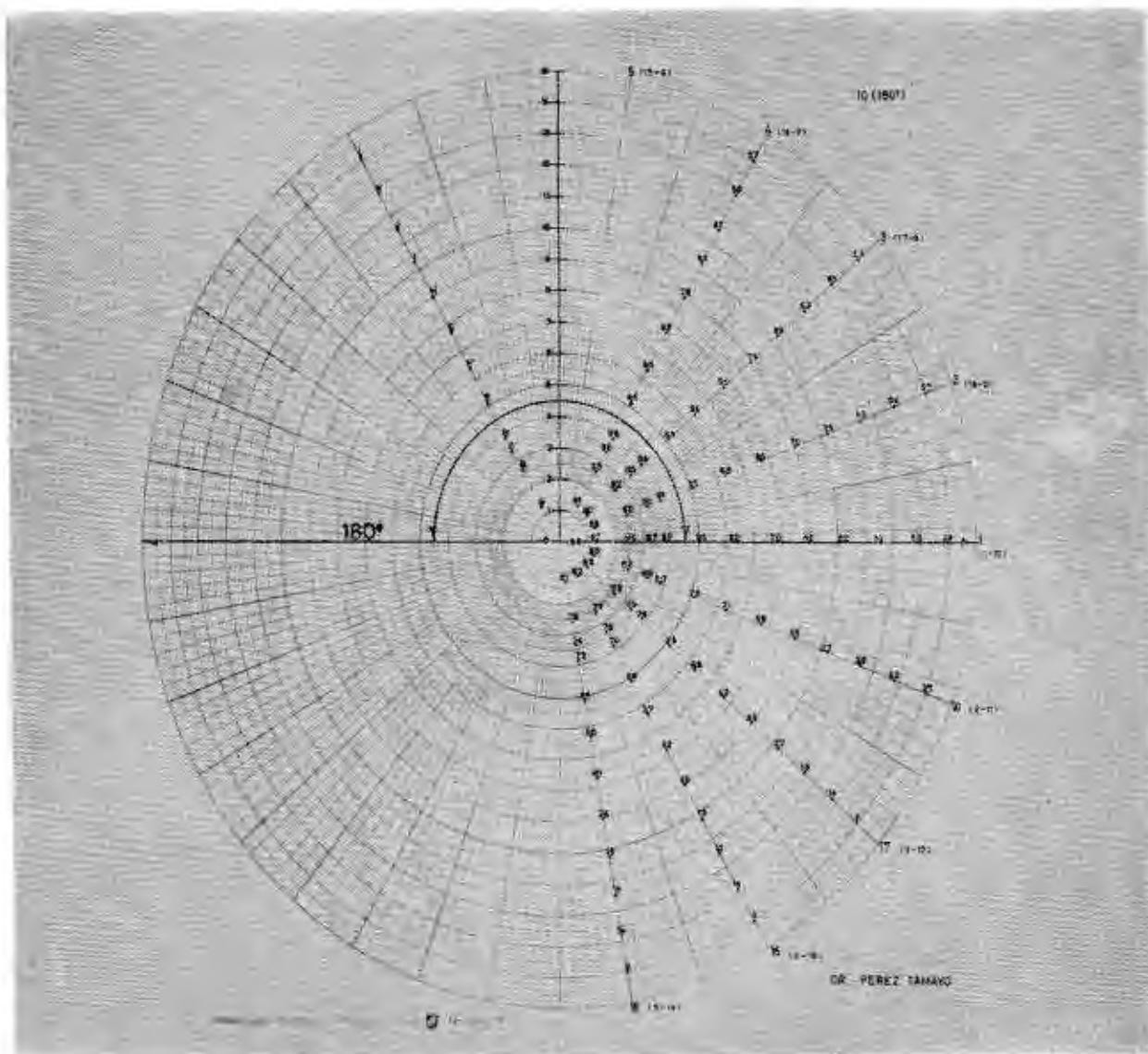
Gráfica 2. Curva estacionaria para un campo de 10 x 10 cms. Las curvas estacionarias publicadas por Tsien fueron determinadas experimentalmente hasta la atenuación de 20%. La curva estacionaria de esta gráfica se determinó por cálculo hasta la atenuación correspondiente al 5%.



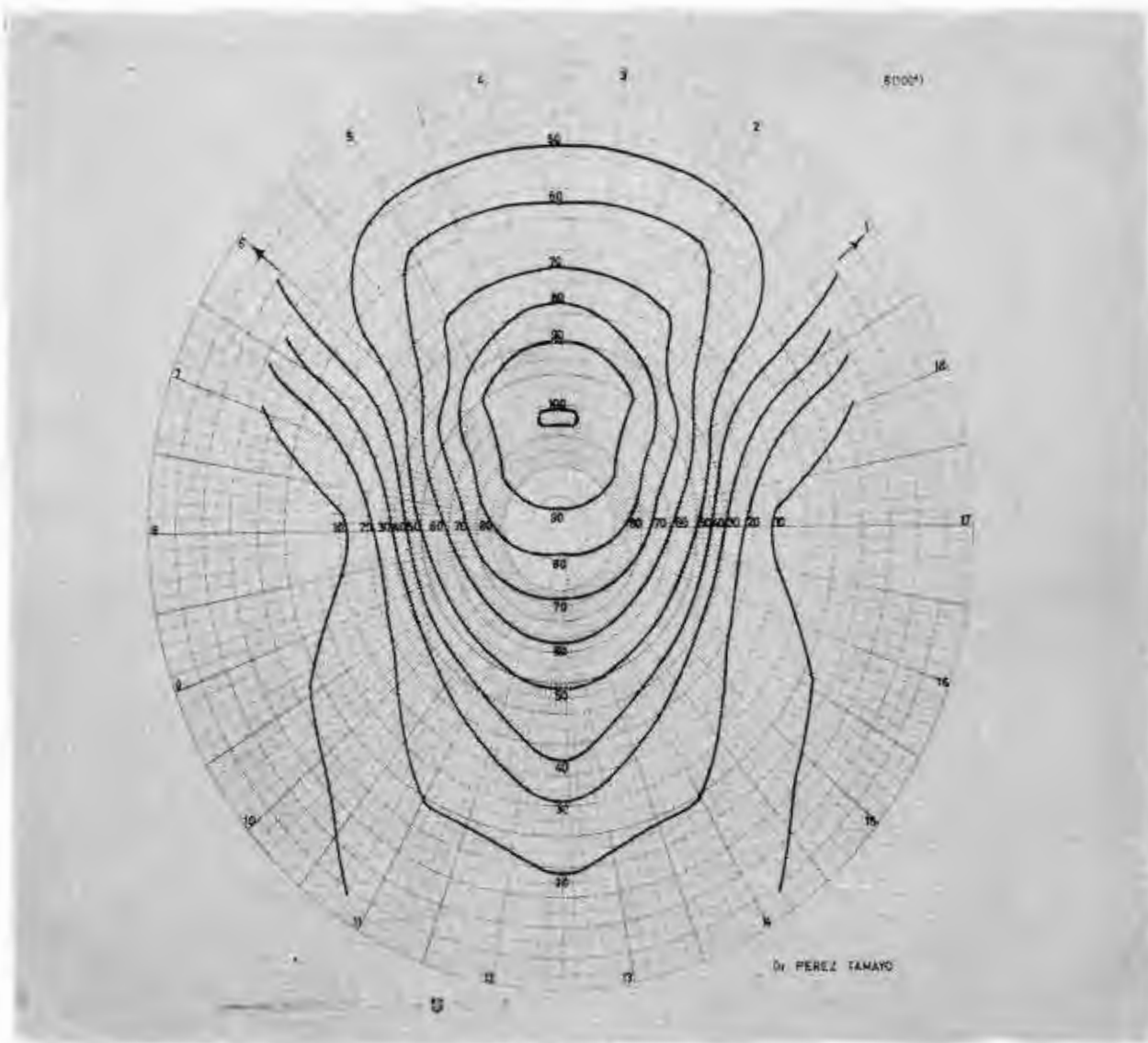
Gráfica 3. Curva estacionaria para un campo de 12 x 12 cms. Las curvas estacionarias publicadas por Tsien fueron determinadas experimentalmente hasta la atenuación de 20%. La curva estacionaria de esta figura se determinó por cálculo hasta la atenuación correspondiente al 5%.



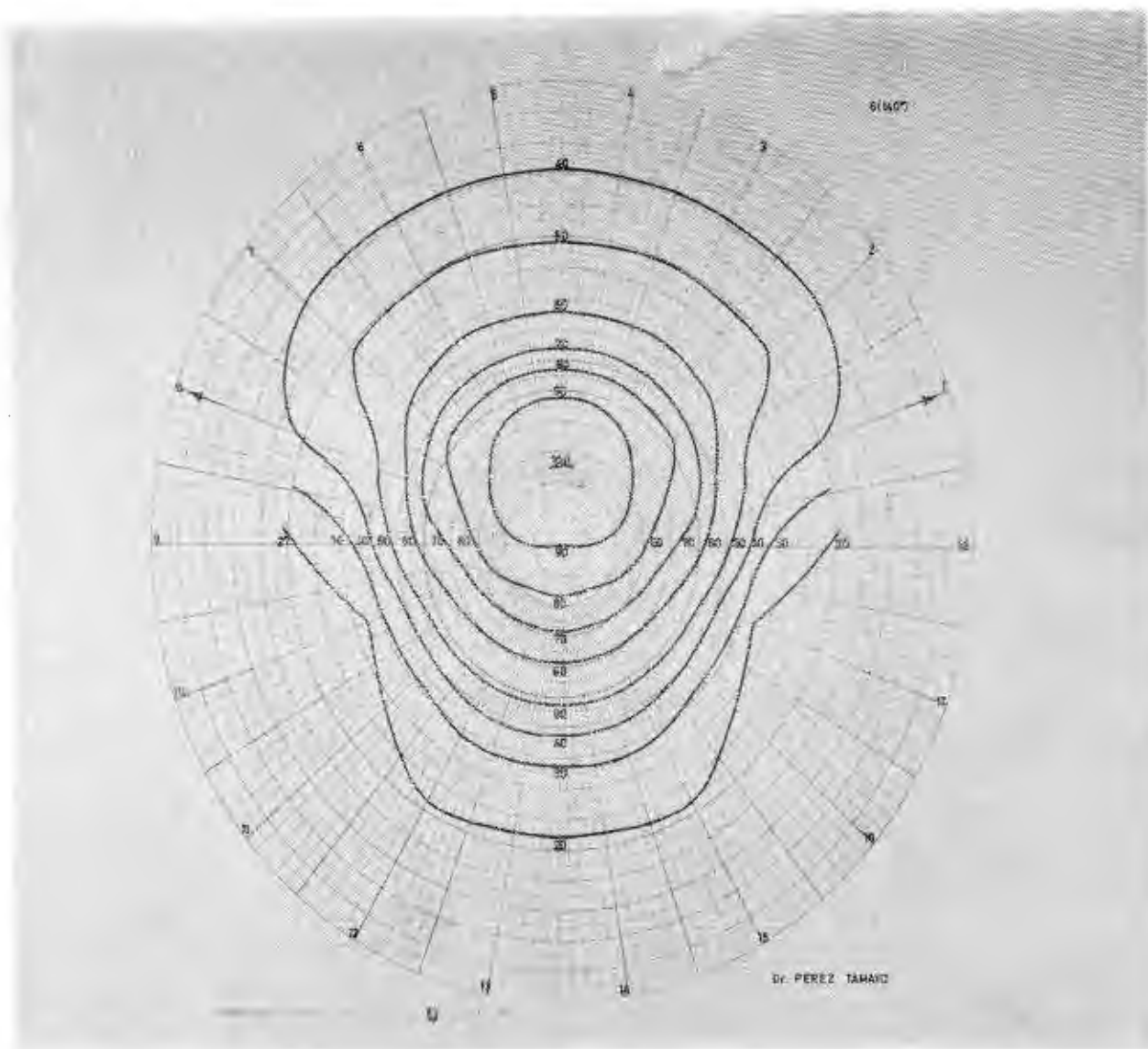
Gráfica 4. Curva estacionaria para un campo de 14 x 14 cms. Las curvas estacionarias publicadas por Tsien fueron determinadas experimentalmente hasta la atenuación de 20%. La curva estacionaria de esta figura se determinó por cálculo hasta la atenuación correspondiente al 5%.



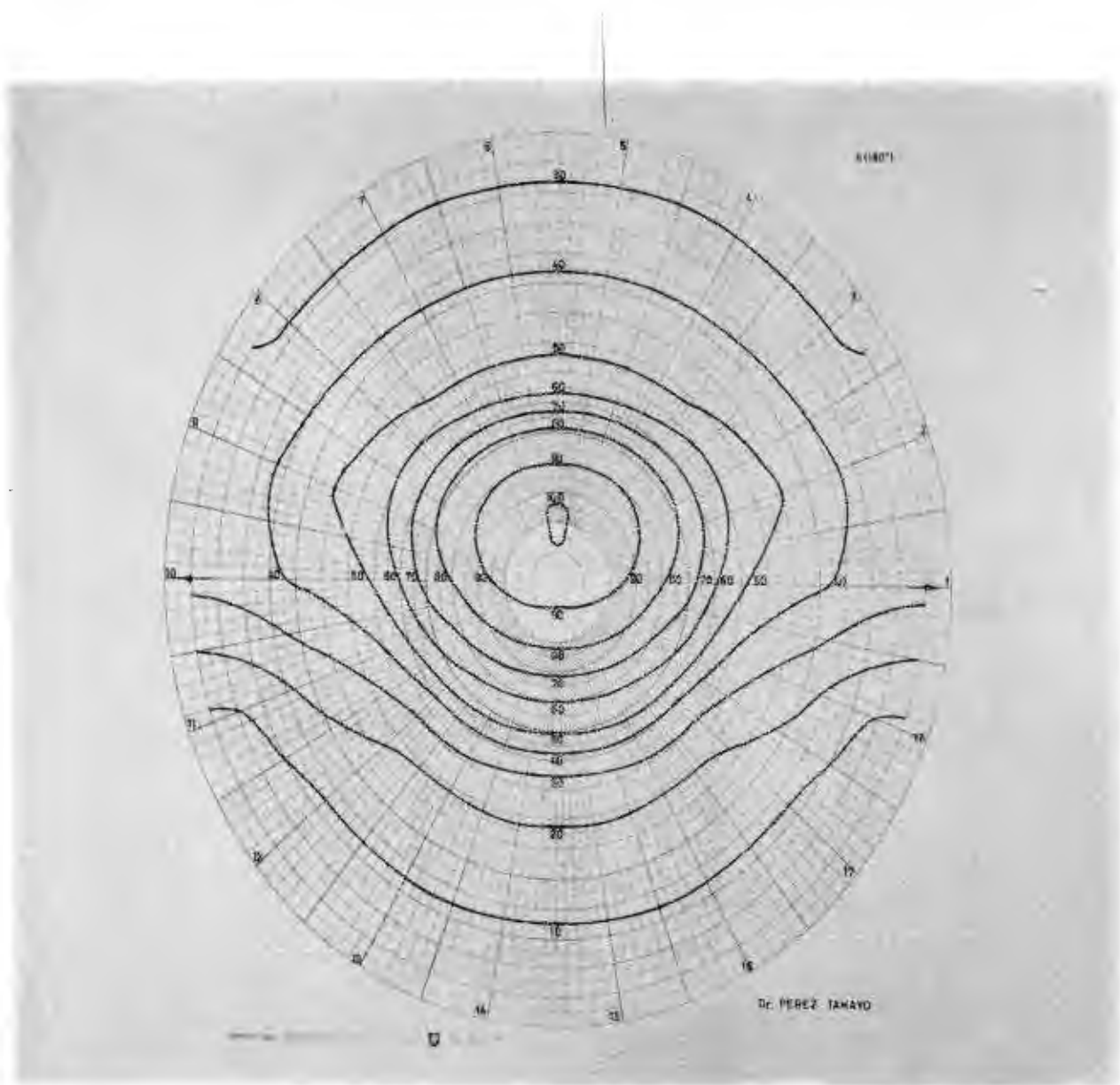
Gráfica 5. Puntos, posiciones y sumas de posiciones para un ángulo de rotación de 180° . Nótese que los puntos se designan del centro a la periferia con las letras de la A a la L. El papel polar permite reconocer la profundidad de un punto con respecto al centro. Se considera el centro la profundidad cero. En la figura se ilustran los valores de los puntos colocados en las posiciones 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 17 y 18. A un lado de las posiciones se indican las sumas de posiciones necesarias para determinar los valores de los puntos. El valor de los puntos es el resultado de la conversión en porcientos con respecto al valor más alto de las sumas según el ángulo de rotación. Véase pág. 40.



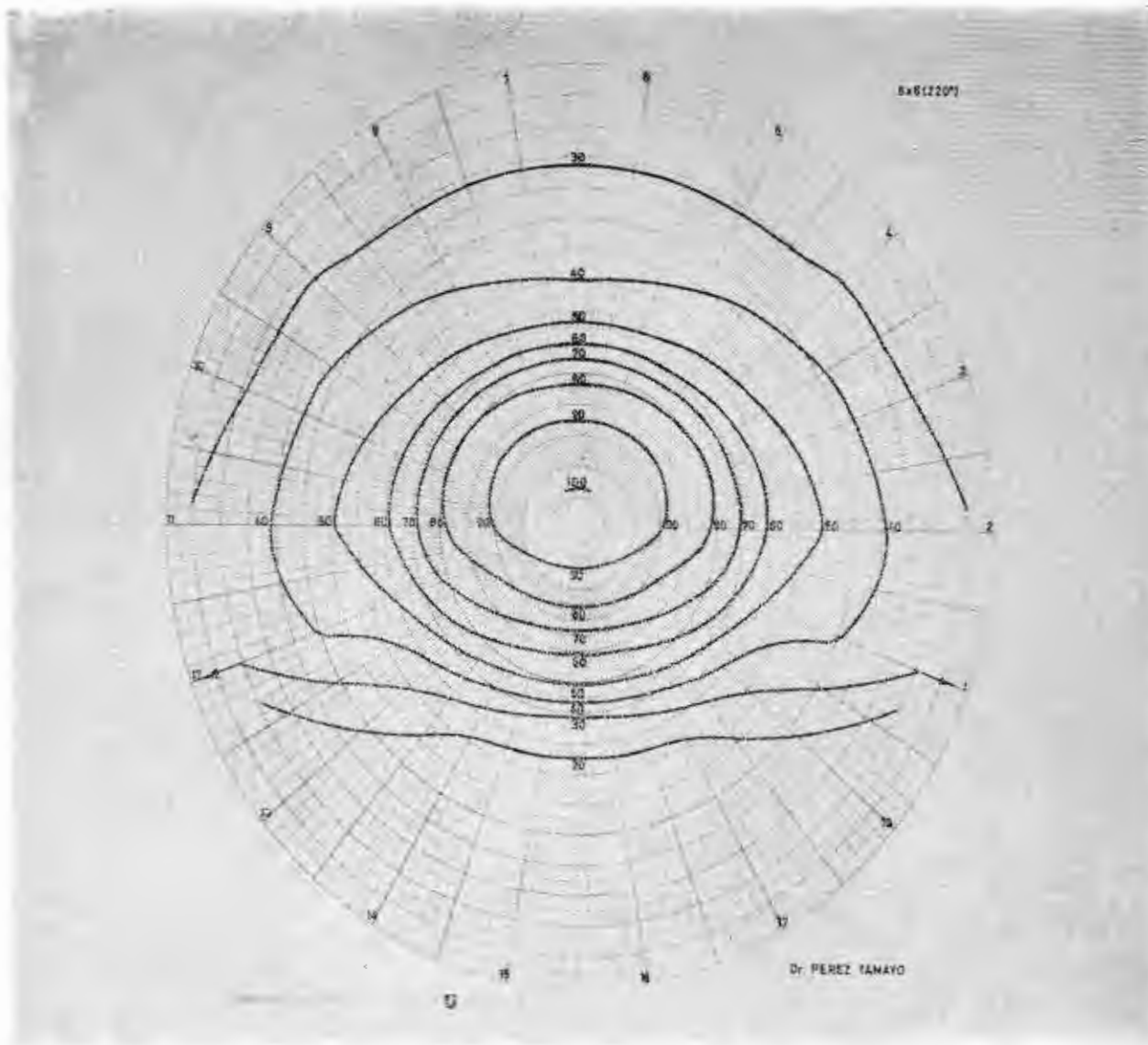
Gráfica 6. Curva de isodosi para un campo de 6 x 6 cuando el ángulo de rotación es de 100°.



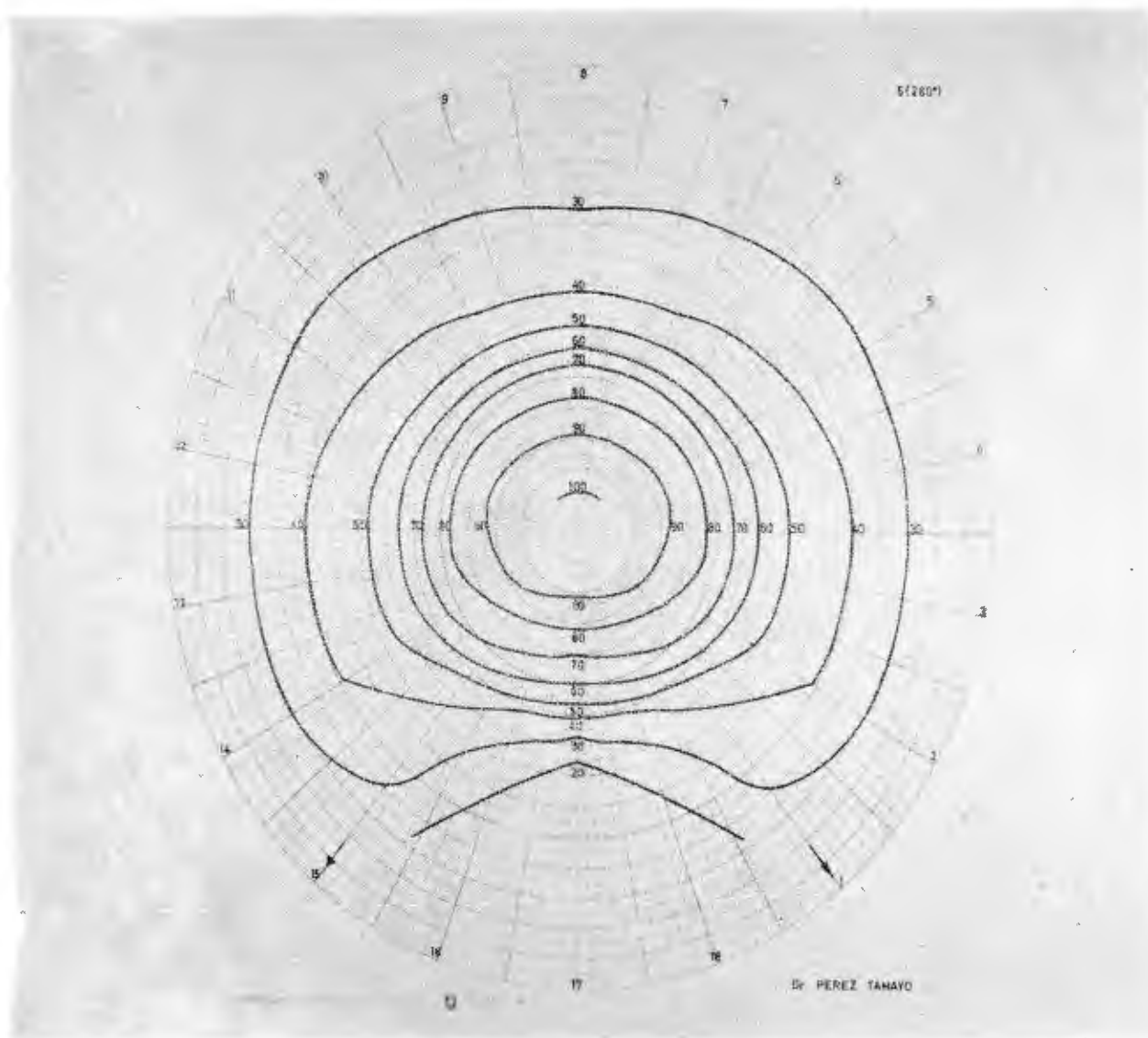
Gráfica 7. Curva de isodosis para un campo de 6 x 6 cm. cuando el ángulo de rotación es de 140°.



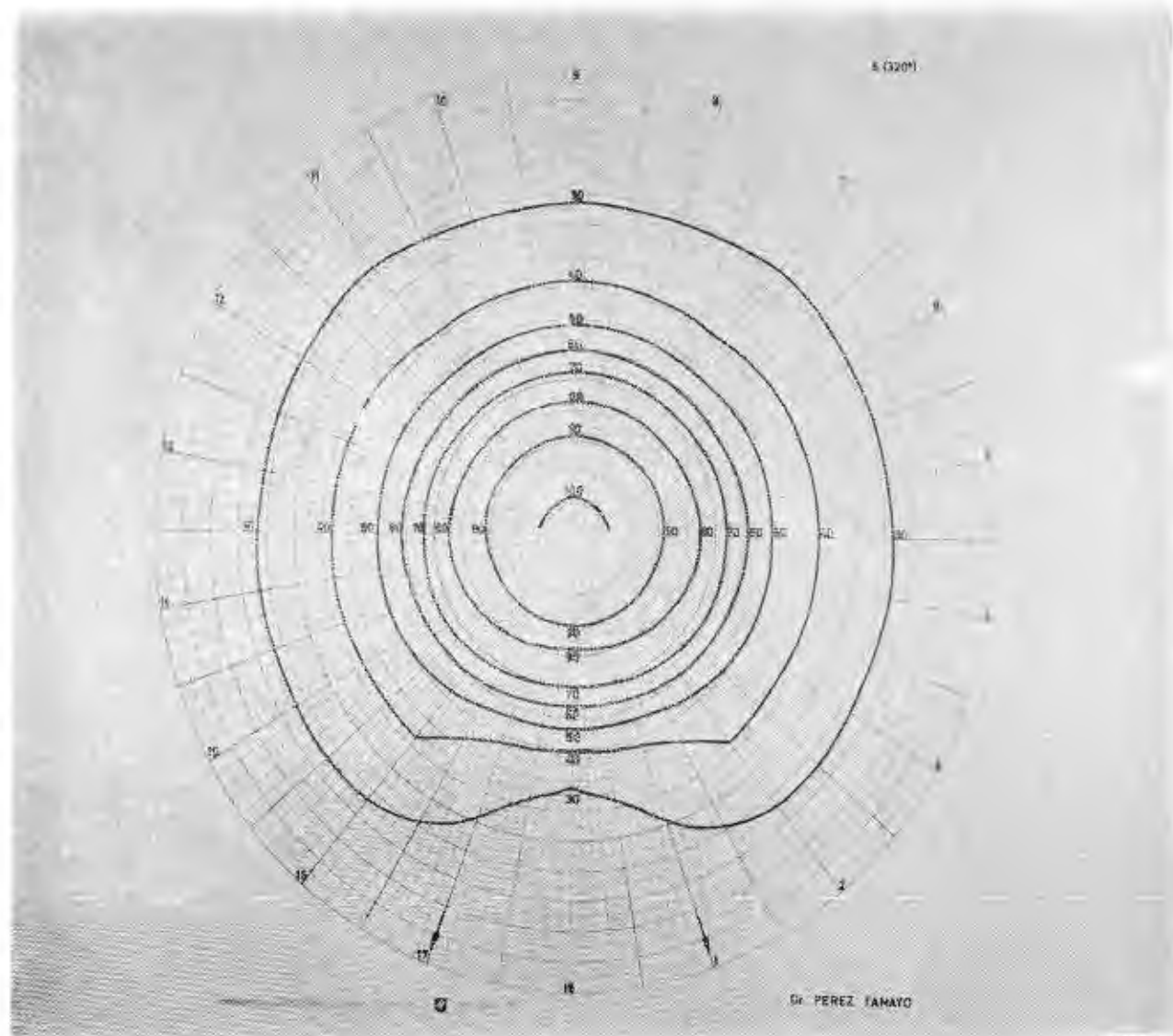
Gráfica 8. Curva de isodosis para un campo de 6 x 6 cms. cuando el ángulo de rotación es de 180°.



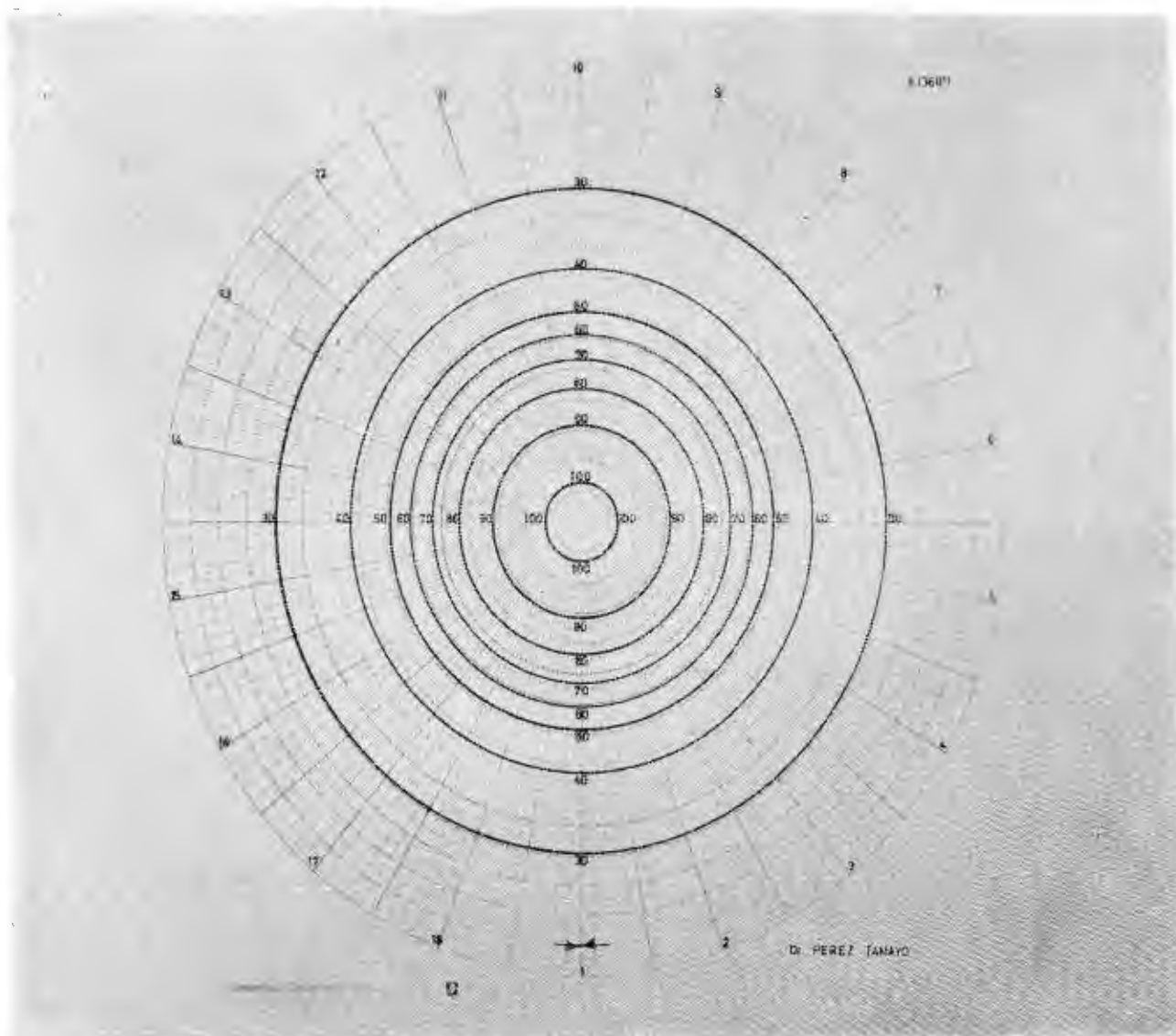
Gráfica 9. Curva de isodosis para un campo de 6 x 6 cm. cuando el ángulo de rotación es de 220°



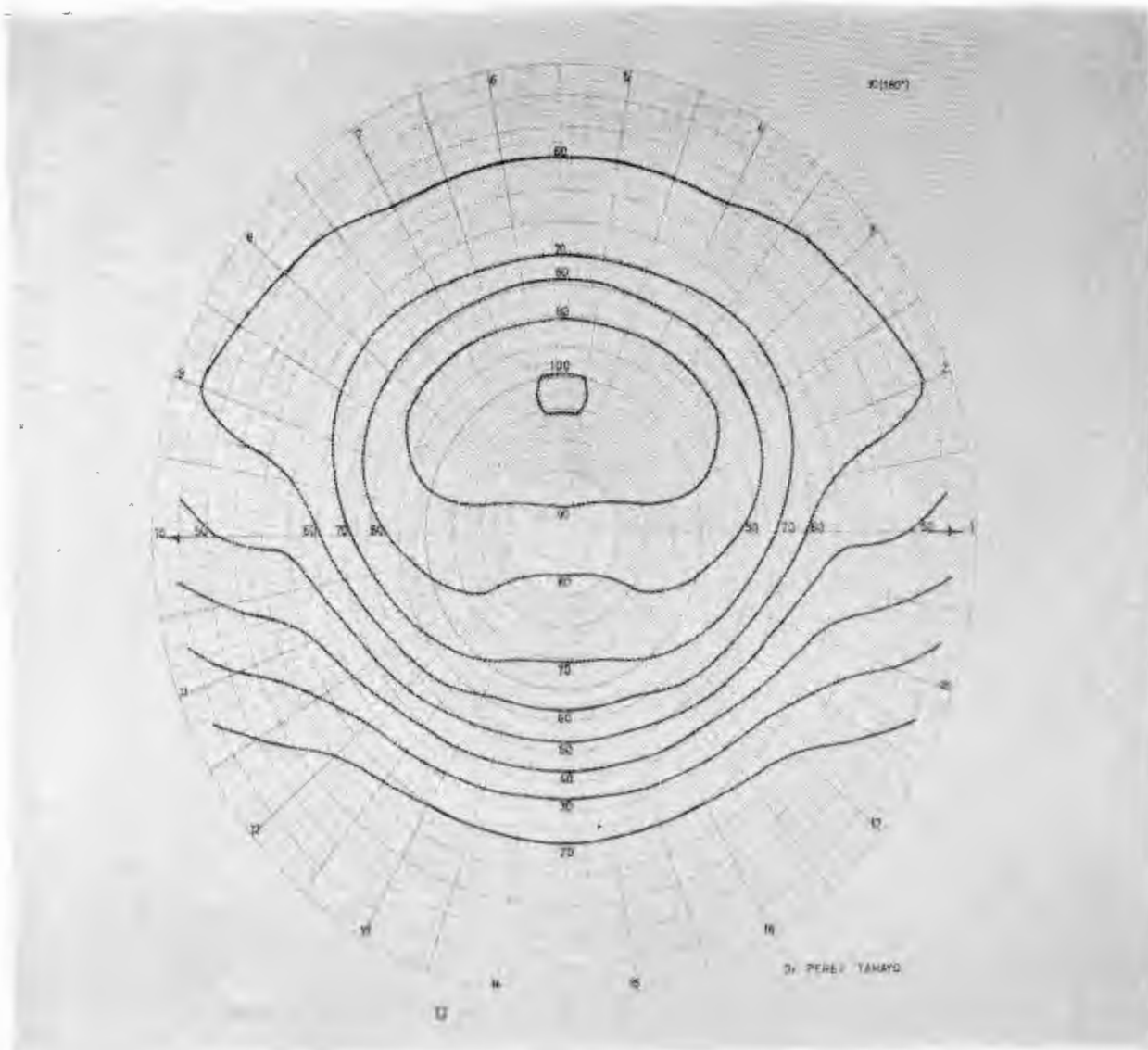
Gráfica 10. Curva de isodosis para un campo de 6 x 6 cm. cuando el ángulo de rotación es de 280°.



Gráfica 11. Curva de isodosis para un campo de 6 x 6 cm. cuando el ángulo de rotación es de 320°.



Gráfica 12. Curva de isodosia para un campo de 6 x 6 cm. cuando el ángulo de rotación es de 360°.



Gráfica 13. Curva de isodosis para un campo de 10 x 10 cm. cuando el ángulo de rotación es de 380°.