



UNIVERSIDAD NACIONAL

"PEDRO RUIZ GALLO"



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

TESIS

**"DIAGNÓSTICO ECOCARDIOGRÁFICO EN SÍSTOLE Y DIÁSTOLE DEL
VENTRÍCULO IZQUIERDO APLICANDO EL MÉTODO FRACTAL DE BOX-
COUNTING"**

Presentado por:

Bach. Fis. Terán Flores Flavio César.

Para optar el Título Profesional de:

LICENCIADO EN FÍSICA

LAMBAYEQUE – PERÚ

DICIEMBRE – 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL

"PEDRO RUIZ GALLO"



FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

TESIS

**"DIAGNÓSTICO ECOCARDIOGRÁFICO EN SÍSTOLE Y DIÁSTOLE DEL
VENTRÍCULO IZQUIERDO APLICANDO EL MÉTODO FRACTAL DE BOX-
COUNTING"**

Para optar el Título Profesional de:

LICENCIADO EN FÍSICA

Aprobada ante el siguiente Jurado:

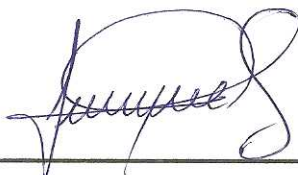
M.Sc. La Torre Alarcón César Raúl

PRESIDENTE

M.Sc. Rivera Vásquez Juan Pedro

SECRETARIO

**M.Sc. Santamaría Santisteban Oscar Antonio
VOCAL**



M.Sc. Tuñoque Gutierrez Vladimir

ASESOR



Bach. Fis. Terán Flores Flavio César

TESISTA

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme tener a mi familia y gozar de ella, gracias a mis padres que sin su apoyo no hubiera llegado a ser la persona quien soy, gracias a mis hermanos que siempre están apoyándome en cada decisión tomada, gracias a mis amigos más cercanos por brindarme su apoyo en cada momento de mi vida .

Un agradecimiento muy especial a mi asesor Tuñoque Gutierrez Justo Vladimir, por tener la paciencia hacia mi persona en explicarme en cada paso importante para el trabajo de investigación, guiándome en el camino, un agradecimiento total a un excelente físico Juan Colchado Aguilar, por haberme compartido sus bastos conocimientos para mi formación profesional y por último pero no menos importante a Salomón Guerrero, médico cardiólogo del Almanzor Aguinaga Asenjo y al personal del laboratorio de ecocardiografía por haberme permitido estar al lado de ellos y conocer el arduo trabajo que realizan, y a la vez de compartirme sus conocimientos necesarios para mi tema de investigación.

RESUMEN

La ecocardiografía es uno de los procedimientos diagnósticos de mayor uso en la evaluación del funcionamiento cardíaco, principalmente por ser un examen de carácter no invasivo. El diagnóstico para este tipo de exámenes, especialmente para una patología del ventrículo izquierdo se basa de una geometría euclidiana (Método Clásico), que aproximan la forma de este a la de una estructura regular, como consecuencia, los diagnósticos establecidos son dependientes de la subjetividad y experiencia del observador (cardiólogo). Con el fin de optimizar estos resultados, se desarrolló una metodología geométrica basada en el método fractal de Box – Counting, el cual fue aplicado a una serie de imágenes ecocardiográficas del ventrículo izquierdo en sístole y diástole. El principal objetivo del trabajo de investigación fue de establecer las diferencias diagnosticas entre salud y enfermedad del ventrículo izquierdo con el método clásico (geometría euclidiana) y el método fractal. Se midió las dimensiones fractales a través del método de Box-Counting en sístole y diástole de imágenes ecocardiográficas, con el fin de obtener como resultados los parámetros de salud y enfermedad. Se concluyó que el trabajo desarrollado nos permite evaluar de manera simultánea la estructura ventricular izquierda en sístole y diástole, evaluando cada caso de manera objetiva a partir de las características geométricas del ventrículo izquierdo (geometría fractal) e independientemente de la patología especificada por el diagnóstico clínico y de la edad del paciente.

Palabras claves: Ecocardiografía, Ventrículo Izquierdo, Dimensión fractal

ABSTRACT

Echocardiography is one of the most commonly used diagnostic procedures in cardiac function assessment, primarily as a non-invasive examination. The diagnosis for this type of examination, especially for a pathology of the left ventricle is based on a Euclidean geometry (classical method), that approximate the form of this to that of a regular structure, as a result, the established diagnoses are dependent on the subjectivity and experience of the observer (cardiologist). In order to optimize these results, a geometric methodology was developed based on the Box-counting fractal method, which was applied to a series of echocardiographic images of the left ventricle in systole and diastole. The main objective of the research work was to establish the diagnostic differences between health and left ventricle disease with the classical method (Euclidean geometry) and the Fractal method. Fractal dimensions were measured through the Box-counting method in Systole and diastole of echocardiographic images, in order to obtain as results the parameters of health and disease. It was concluded that the work developed allows us to simultaneously evaluate the left ventricular structure in systole and diastole, evaluating each case objectively from the geometric characteristics of the left ventricle (fractal geometry) and independently of the pathology specified by the clinical diagnosis and the age of the patient.

Key words: echocardiography, left ventricle, fractal dimension

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 TÉRMINOS FUNDAMENTALES	16
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
2.2.1 Física De Las Ecocardiografías.....	17
2.2.2 Uso Del Ecógrafo.....	22
2.2.3. Anatomía Cardíaca.....	32
2.2.4 Fractales	38
III. MATERIALES Y MÉTODO	43
3.1. EQUIPOS Y MATERIALES.....	43
3.1.1 Sistema De Ecografía Epiq 7 Release 1.0 (2013)	43
3.1.2 Laptop	44
3.1.3 Rejillas	44
3.1.4 Fotografías Ecocardiográficas.....	45
3.1.5 Hoja de Cálculo.....	45
3.2. Metodología.....	46
IV. RESULTADOS.....	50
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1 CONCLUSIONES	71
5.2 RECOMENDACIONES	72
VII. BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS.....	77

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. EDAD Y DIAGNÓSTICOS DE LOS PACIENTES DEL GRUPO S (PACIENTES SANOS)	47
TABLA 2. EDAD Y DIAGNÓSTICOS DE LOS PACIENTES DEL GRUPO P (PATOLOGÍAS CARDIACAS)	48
TABLA 3. DIMENSIÓN FRACTAL PARA EL GRUPO S	51
TABLA 4. DIMENSIÓN FRACTAL PARA EL GRUPO P	55
TABLA 5. DIAGNÓSTICOS FRACTALES DEL GRUPO S	63
TABLA 6. DIAGNÓSTICOS FRACTALES DEL GRUPO P	64
TABLA 7. DIMENSIONES FRACTALES DE ALGUNOS EJEMPLOS DE LOS GRUPOS S Y P	65
TABLA 8. VERIFICACIÓN DE DIAGNÓSTICOS FRACTALES	68
TABLA 9. COMPARACIÓN DE LOS DIAGNÓSTICOS CLÍNICOS Y FRACTALES DEL GRUPO S	69
TABLA 10. COMPARACIÓN DE LOS DIAGNÓSTICOS CLÍNICOS Y FRACTALES DEL GRUPO P	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA. 1 TIPOS DE SONIDO [20].....	18
FIGURA. 2 COMPRESIÓN Y RAREFACCIÓN [13].....	19
FIGURA. 3 RAYO INCIDENTE, REFLEJADO Y TRANSMITIDO [14].....	21
FIGURA. 4 ECOS EN UN TEJIDO A UN ÁNGULO DE 90 Y A UN ÁNGULO DE INCIDENCIA DIFERENTE A 90 [16].....	22
FIGURA. 5 VISTA INTERNA DE UN TRANSDUCTOR [16].....	23
FIGURA. 6 TRANSDUCTORES CON DIFERENTES RANGOS DE FRECUENCIA [17].....	23
FIGURA. 7 CRISTALES PIEZOELÉCTRICOS DEL TRANSDUCTOR [13].....	24
FIGURA. 8 EXAMEN EN MODO M [17].....	29
FIGURA. 9 EMISIÓN DE ULTRASONIDO MODO B [13].....	29
FIGURA. 10 VISTA ANTERIOR Y POSTERIOR DEL CORAZÓN [19].....	32
FIGURA. 11 VISTA VENTROLATERAL DEL CORAZÓN [19].....	34
FIGURA. 12 LÍNEA RECTA PARA HALLAR 'D' EN MÉTODO DE BOX-COUNTING [25].....	41
FIGURA. 13 SISTEMA DE ECOGRAFÍA EPIQ7 RELEASE.....	43
FIGURA. 14 LAPTOP TOSHIBA CORE I7.....	44
FIGURA. 15 REJILLAS MILIMETRADAS.....	44
FIGURA. 16 FOTOGRAFÍAS ECOCARDIOGRÁFICAS.....	45
FIGURA. 17 HOJA DE CÁLCULO, MICROSOFT EXCEL 2013.....	45

I. INTRODUCCIÓN

La ecocardiografía es una técnica de imagen sencilla, no invasiva y accesible, que permite la evaluación del corazón en tiempo real, así como de examinar sus partes y los vasos sanguíneos que entran y salen de él.

La característica principal de este tipo de examen, es que la evaluación cardiaca se basa en una geometría euclidiana cuyos diagnósticos establecidos son dependientes de la subjetividad y experiencia del observador, el cual debe tener los conocimientos necesarios para poder interpretar las imágenes ecocardiográficas al momento de dar un diagnóstico. [1]

En el año 2012 se desarrolló una metodología diagnóstica de aplicación clínica de la ventriculografía izquierda, calculando la dimensión fractal de tres regiones definidas en ventriculograma: sístole, diástole y totalidad. Así la metodología permitió evaluar matemáticamente y de manera simultánea la función y morfología cardiaca; los valores fractales en sístole obtenidos fueron entre 0,6214 y 1,2064, en diástole entre 0,4361 y 1,4995, y para la totalidad entre 0,5849 y 1,1375, siendo; las dimensiones fractales de ventrículos clasificados clínicamente como normales oscilaron entre 0,4361 y 1,4995, los leves entre 0,6520 y 1,1293, los moderados entre 0,8580 y 1,1375 y los severos entre 0,8813 y 1,1844. [2]

Huikuri y colaboradores proporcionaron medidas predictivas de mortalidad después de un infarto agudo de miocardio a partir de medidas fractales. El análisis de las características fractales que lograron desarrollar durante la dinámica del intervalo RR (distancias entre dos ondas R sucesivas en electrocardiograma) a corto plazo proporcionó información pronóstica más potente que las medidas tradicionales de la variabilidad de la frecuencia cardiaca entre pacientes con función ventricular izquierda

deprimida después de un infarto agudo de miocardio con una certeza del 95 % de confianza de una población de 446 personas en un periodo de 685 ± 365 días.[3]

En un estudio realizado en vasos sanguíneos, se llegó a la conclusión de que las dimensiones fractales constituyen una nueva caracterización matemática que permite medir objetivamente las arterias, puesto que las dimensiones fractales es el recurso adecuado para caracterizar arterias sanas y patológicas, Los resultados obtenidos en esta investigación diferencian arterias sanas de enfermas con un orden de magnitud de similaridad de 10^{30} en las relaciones armónicas entre partes y la totalidad. [4]

Se descubrió que la geometría fractal no sólo puede aplicarse a objetos anatómicos que se encuentran en el espacio físico, sino que también puede aplicarse a otros objetos que representan dinámicas en el tiempo, por ejemplo, una gráfica que muestre los cambios en el potencial eléctrico de las células cardíacas en un lapso determinado: un electrocardiograma. [5]

Se utilizó el método de box counting para medir dimensiones fractales de imágenes consecutivas entre sístole y diástole de la ramificación coronaria izquierda en proyección oblicua derecha anterior de angiografías de ocho pacientes con enfermedad arterial oclusiva leve, los cuales fueron comparados con pacientes sin enfermedad arterial oclusiva, con enfermedad arterial oclusiva moderada y severa, evaluados previamente de igual forma, los resultados obtenidos fueron clasificados en 4 grupos los cuales en el grupo 1 (ausencia de enfermedad arterial oclusiva) sus medidas fractales oscilaban entre 1,31 y 1,84; para el grupo 2(enfermedad arterial oclusiva leve) entre 1,30 y 1,77; para el grupo 3 (enfermedad arterial oclusiva moderada) entre 1,33 y 1,93 ; y grupo 4(enfermedad arterial oclusiva severa) entre 1,15 y 1,82. [6]

Martínez y Lavín estudiaron en el contexto del ritmo sinusal, que la variabilidad de la frecuencia cardiaca refleja el funcionamiento del sistema nervioso autónomo, llegando a la conclusión de que la variabilidad del ritmo cardiaco puede ser caótica y que sin embargo, este comportamiento se atenúa mediante el bloqueo parasimpático con atropina. Por otro lado en condiciones normales, la variabilidad del ritmo cardiaco tiene rasgos fractales y que durante la pérdida de la fractalidad refleja una degradación de la complejidad del sistema nervioso autónomo. [7]

Se usó una técnica de imagen útil mediante examen ecográficos del tendón, aplicando el análisis de fractales, comparándolos con el análisis textural con matrices de concurrencias a nivel de grises; llegando a la conclusión que con el análisis fractal se detecta diferencias significativas entre sujetos de diferentes edades que no pueden ser detectados por el método clásico; con un porcentaje de aceptación del 85,6% con un efecto del 5,5% frente a un 72,6% del análisis textural con un 4,5% de efecto.[8]

El grupo Insight desarrolló un método diagnostico fractal para evaluar células de cuello uterino utilizando el concepto de armonía matemática intrínseca y variabilidad celular, el cual diferencia matemáticamente células normales de células de L-SIL (displasia leve) y H-SIL(displasia moderada) , haciendo innecesario el diagnóstico de células ASCUS(células anormales en el cuello uterino); se evaluó la dimensión fractal en núcleo, citoplasma y variabilidad en 50 imágenes de células provenientes de citologías cervico-vaginales de mujeres entre 20 y 55 años, dando como resultados las medidas entre 0,1805 y 1,9958 para celular normales, para el núcleo entre 0,2462 y 1,986 y para la totalidad valores de 0,1968 y 1,9805; los valores de armonía matemática intrínseca entre citoplasma – núcleo y núcleo-totalidad fue de 3-5. [9]

Luque y Agea nos hablan que en nuestro propio cuerpo abundan estructuras fractales, por ejemplo el sistema circulatorio está constituido por un sin fin de ramificaciones tubulares, que van desde el tamaño de las arterias y venas principales, a los capilares ínfimos que oxigenan y arrastran los residuos a nivel celular. [10]

El desarrollo de una nueva metodología de evaluación del ventrículo izquierdo a partir de la geometría fractal, que caracteriza de manera unificada la estructura y fisiología ventricular, realizando las relaciones matemáticas entre las dimensiones fractales de los objetos componentes calculados. La precisión de las medidas obtenidas permite una evaluación matemática general y objetiva de cualquier caso particular de los grupos evaluados, haciendo innecesario el uso de metodologías estadísticas. Los resultados obtenidos de las regiones definidas en 17 ventriculograma oscilan entre 0,5850 y 1,2410, para el grupo 1 (diástole), las dimensiones fractales variaron entre 0,5850 y 1,2410 para el grupo 2(sístole). [11]

En el presente trabajo de investigación denominado “Diagnóstico ecocardiográfico en sístole y diástole del ventrículo izquierdo aplicando el método fractal de Box-Counting” se busca optimizar los diagnósticos clínicos ecocardiográficos del ventrículo izquierdo, desarrollando una metodología geométrica basada en mediciones fractales, la cual permitirá evaluar de manera simultánea en sístole y diástole la estructura ventricular izquierda, para poder establecer diferencias diagnósticas entre salud y enfermedad del ventrículo izquierdo con el Método Clásico (geometría euclidiana) y el Método Fractal. La metodología consiste en medir a través del método fractal de Box-Counting a una cierta cantidad de imágenes ecocardiográficas en sístole y diástole, para poder obtener posteriormente las dimensiones fractales; con el fin de obtener un diagnostico fractal que permita diferenciar entre un estado de salud y enfermedad.

Los principales temas que se abarcan en el presente trabajo de investigación son: La física de la ecocardiografías, que nos da una visión global acerca de los principios físicos del ultrasonido, de sus características más importantes y de la interacción que tiene el sonido con los tejidos, el uso del ecógrafo, donde veremos las partes que contiene un ecógrafo y su posterior funcionamiento de cada uno de ellos, no olvidando de los diferentes modos de exámenes que se puede realizar a un paciente al momento de ser evaluados, anatomía cardíaca, visto de manera general y con la información necesaria del ventrículo izquierdo, y fractales concepto necesario para poder analizar imágenes ecocardiográficas mediante el método de Box-Counting con el fin de obtener parámetros de salud y enfermedad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 TÉRMINOS FUNDAMENTALES

2.1.1 Ecocardiografía

La ecocardiografía es un tipo de examen que utiliza ondas sonoras para crear imágenes del corazón, es una herramienta muy útil en la práctica, accesible, de buena relación coste-efectividad y sobre todo no hay exposición a la radiación. [15]

2.1.2 Ultrasonido

El ultrasonido se puede definir como una serie de ondas mecánicas, generalmente longitudinales, causadas por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico) y propagado por un medio material (tejidos corporales) cuya frecuencia es mayor a los 20 kilohercios. [16]

2.1.3 Transductores

Dispositivos capaces de transformar un tipo de energía en otra, siendo utilizados en los exámenes médicos. Son componentes que, cuando están unidos a equipos de diagnósticos son capaces de transmitir señales ultrasónicas al interior del cuerpo humano, recepcionando a su vez las ondas reflejadas (ecos sonoros). [12]

2.1.4 Efecto Doppler

El efecto Doppler es un cambio de frecuencia de oscilación de una onda (o de longitud de onda, dependiendo de las condiciones observacionales) causada por el movimiento de la fuente en relación a los observadores y al medio. [12]

2.1.5 Armonía Matemática Intrínseca

Grado de similitud o irregularidad entre las unidades y las cifras decimales de las dimensiones fractales. [2]

2.1.6 Fractales

Termino que significa “fragmentado”, o “quebrado”, muy apropiado para objetos cuya dimensión es fraccionaria; la palabra fractal lo utilizamos para nombrar a aquellos elementos o conjuntos de formas generados a través de la iteración, o repetición de procesos simples. [23]

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Física De Las Ecocardiografías

Podemos definir el sonido como la propagación de energía a través de ondas mecánicas por medio de un material, en una dirección, de un punto a otro con una velocidad definida. Las frecuencias de oscilación de esas ondas varían por segundo, la cual su unidad representativa es el Hertz (Hz), por ejemplo si estas ondas están entre los 15 Hz y 20 Kilohercios (kHz) dichas ondas son detectadas por el oído humano, si son inferiores a los de 15 Hz son llamadas de infrasonidos, si son superiores a los de 20kHz, son denominados ultrasonidos, y para la utilidad diagnostica son a más de 1 mega Hertz (MHz). [12]

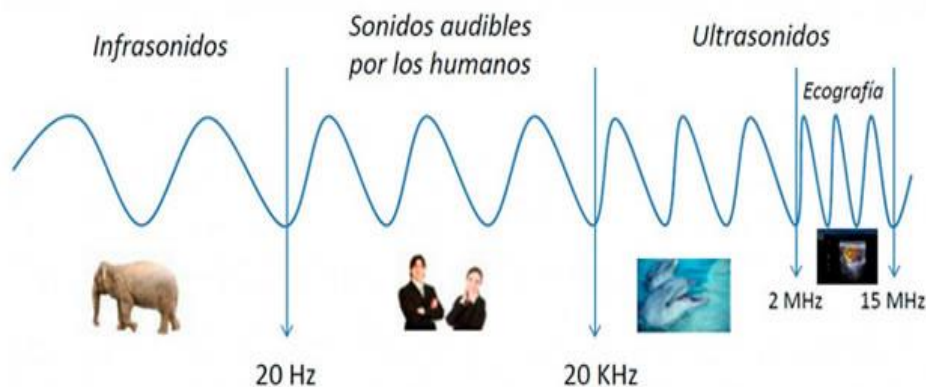


Figura. 1 Tipos de sonido [20]

Una de sus características más importantes de este tipo de propagación de onda es la transmisión de energía más no de materia. Estas ondas básicamente se propagan de dos modos: transversal y longitudinal. Las ondas transversales son aquellas ondas donde la perturbación del medio ocurre perpendicularmente a la dirección de propagación, son ejemplos las ondas electromagnéticas (luz, calor, etc.).

Las ondas longitudinales son aquellas donde la perturbación del medio ocurre paralelamente a la dirección de propagación. [12]

Cuando la energía acústica interactúa con los tejidos corporales (velocidad del sonido en tejidos blando 1540 m/s), las moléculas del mismo se alteran levemente y la energía se transmite de una molécula a otra adyacente; dicha energía acústica se mueve a través del tejido mediante ondas longitudinales y las moléculas del medio de transmisión oscilan en la misma dirección que la ondas. Estas ondas sonoras corresponden básicamente a la rarefacción y compresión periódica del medio en el cual se desplazan. La distancia de una compresión a la siguiente (distancia entre picos de una onda) constituye la longitud de onda (λ) y se obtiene al dividir la velocidad de propagación(c) entre la frecuencia (f). El número de veces que se comprime una molécula es la frecuencia y se expresa en hertzios. [13]

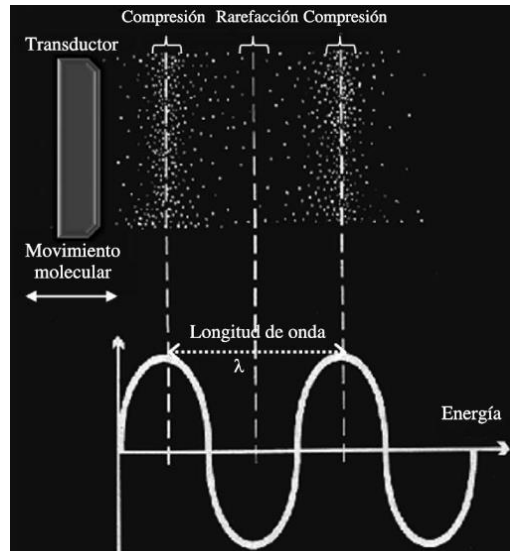


Figura. 2 Compresión y rarefacción [13]

Como ya sabemos que el sonido es una onda, este mismo está sometido a los fenómenos que rigen la Física Ondulatoria, para un mejor entendimiento analizaremos el comportamiento de esta a un nivel de onda unidimensional, tenemos la ecuación de onda unidimensional que puede ser escrita como:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

Donde, $\varphi = \varphi(x, t)$, es una función de la posición y del tiempo, representando la perturbación en una cierta posición x e instante de tiempo t , c es la velocidad de propagación de la onda, mientras que $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$ es una aceleración de la perturbación y la curvatura de forma de la onda $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$ que establece cómo la información en un punto en el espacio se propaga al punto vecino. La solución de la ecuación 1 asume una forma cosenoidal: [12]

$$\varphi(x, t) = \varphi_0 \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

Que es una función periódica, tanto espacial como temporalmente. φ_0 es la amplitud máxima de perturbación. Las medidas k y ω son las del número de onda y frecuencia angular. El número de ondas k , está relacionado a la longitud de onda, λ , que se

representa como $k = 2\pi/\lambda$, La frecuencia angular ω esta relacionada al; intervalo de tiempo necesario para que haya una repetición de una máximo de onda es una posición fija en el medio, además la frecuencia angular de una onda está relacionada con la frecuencia de oscilación a través de la ecuación $\omega = 2\pi f$, siendo la frecuencia de oscilación de una onda o un periodo de onda $T = 1/f$. La ecuación de ondas establece una relación entre la frecuencia angular y el número de ondas, siendo. [12]

$$\lambda f = c \quad (3)$$

Un concepto importante es la impedancia acústica, que es una propiedad que depende de la densidad del material a través del cual se propaga una onda ultrasónica; por consiguiente, una mayor impedancia indica una mayor densidad del material y viceversa.[14]

$$z = \rho c \quad (4)$$

Interacción con el tejido

Los sonidos se rigen por leyes físicas, las cuales son: refracción, reflexión y atenuación.

Refracción y reflexión (eco); cuando una onda sonora interacciona con dos medios de impedancia acústica, es decir con un interfaz, parte de esta onda es reflejada la cual tendrá el mismo ángulo que la onda sonora incidente en relación al interfaz entre dos medios, y parte es transmitida (refractada) formando un ángulo que dependerá de las características (impedancia y velocidad de propagación) de ambos medios, tal y como vemos en la Figura.3. [14]

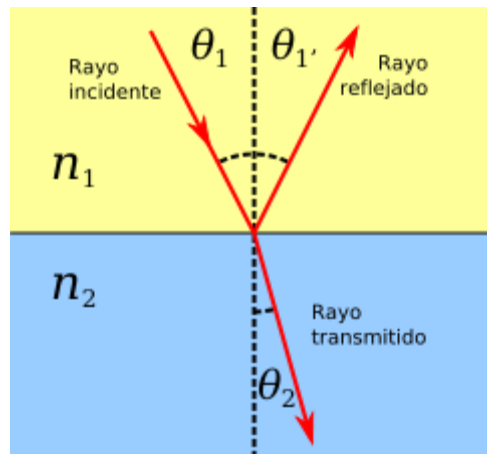


Figura. 3 Rayo incidente, reflejado y transmitido [14]

Atenuación, es la disminución que experimentan la amplitud de la presión y la intensidad de una onda acústica cuando se propaga a través de un cierto medio. Las ondas sonoras pierden intensidad a lo largo de su trayectoria, ninguna de ellas se propaga de manera indefinida en un medio, esto sucede a causa de la característica propia de la onda, del medio en el que se encuentra, así como de la profundidad de penetración. [14]

Los tejidos dispersan o absorben la mayor parte de las ondas ultrasónicas y solo pequeñas proporciones se reflejan (ecos), volviendo al transductor. La señal reflejada brinda información sobre la profundidad y la naturaleza del tejido estudiado, por lo general la mayor parte del reflejo se produce en las zonas de interfaz de tejidos con distintas densidades de eco y que por tanto lo reflejan de distinta forma. La magnitud de la corriente eléctrica producida por los ultrasonidos reflejados determina la intensidad y la luminosidad que aparece en la pantalla de un ecógrafo. Por lo tanto tendremos: una reflexión elevada (produce una imagen en blanco), una reflexión baja (produce una imagen en gris), y la ausencia de reflexión (produce una imagen en negro) [15].

La intensidad con la que un haz de ultrasonidos se refleja depende también del ángulo de incidencia. La reflexión es máxima cuando la onda sonora incide de forma perpendicular a la interface entre dos tejidos. Si el haz ultrasónico se aleja solo unos cuantos grados de la perpendicular, el sonido reflejado no regresará al centro de la fuente emisora y será tan solo detectada parcialmente, o bien, no será detectado por la fuente receptora [16]

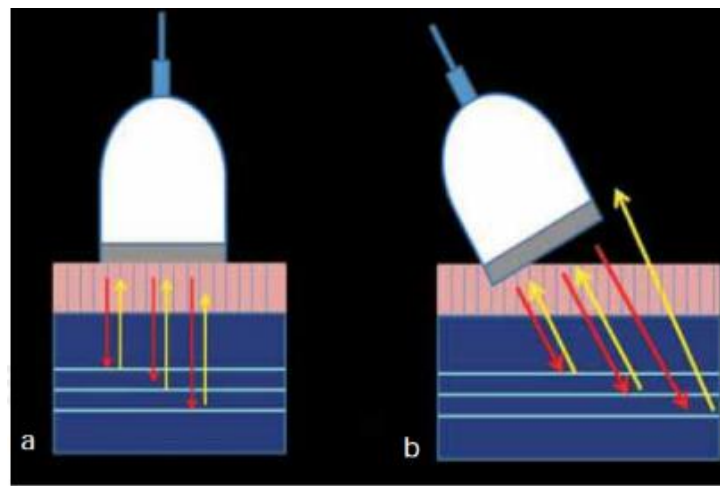


Figura. 4 Ecos en un tejido a un ángulo de 90 y a un ángulo de incidencia diferente a 90 [16]

2.2.2 Uso Del Ecógrafo

2.2.2.1 Transductores:

Un transductor es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal normalmente eléctrica. En el caso de los transductores de ultrasonidos, la energía ultrasónica se genera en el transductor, que contiene los cristales piezoeléctricos; estos poseen la capacidad de transformar la energía eléctrica en sonido y viceversa, de tal manera que el transductor o sonda actúa tanto como emisor y receptor de ultrasonidos. [16]

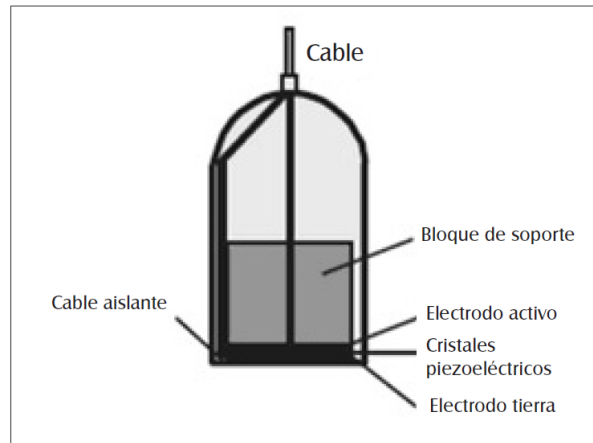


Figura. 5 Vista interna de un transductor [16]

Los más usados comúnmente en medicina son los basados en el efecto piezoeléctrico, el material piezoeléctrico más usado es el PZT (lead zirconate titanate), compuesto inorgánico que adquiere propiedades piezoeléctricas cuando se aplican altos voltajes entre los electrodos de un ambiente mantenido a altas temperaturas, en general por encima del punto de Curie del cristal, aproximadamente 350°C , esto causa una polarización permanente de las moléculas del PZT lo cual hace que manifieste sus propiedades piezoeléctricas. Generalmente encontramos transductores desde 1.8 a 8 MHz, como observamos en la Figura.6. [12]

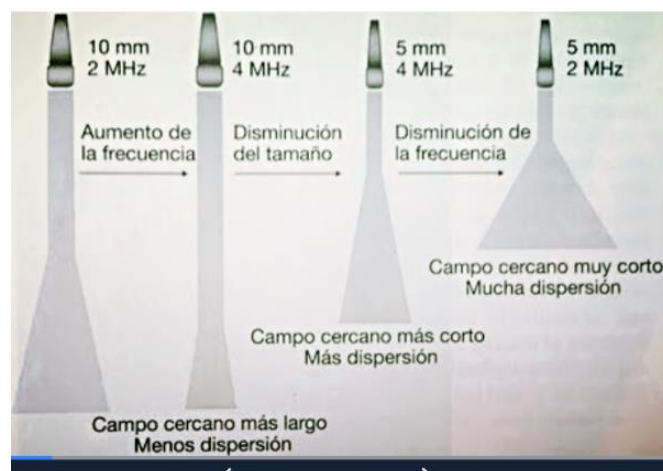


Figura. 6 Transductores con diferentes rangos de frecuencia [17]

2.2.2.2 Piezoelectricidad

Uno de los generadores más usado para el área de diagnóstico médico, es el uso de piezoeléctricos para el uso de generación de ondas sonoras, ya que estas pueden generar ondas de frecuencias sonoras más elevadas técnicamente posibles.

Este generador está basado en el efecto piezoeléctrico, si aplicamos un campo eléctrico en diferentes direcciones sobre un cristal o cuando una presión es aplicada al mismo cristal, ocurre que las moléculas que componen la red cristalina se reagrupan, cambiando el balance de fuerzas internas de tal modo que el equilibrio es alcanzado si hay un cambio en sus dimensiones (aplicando un campo eléctrico) o un re arreglo de las cargas eléctricas en la superficie (cuando se aplica una presión), en este experimento también se demostró (gracias a los hermanos Curie) que la cantidad de carga eléctrica acumulada en las superficies del cristal es proporcional a la presión ejercida y viceversa. Podemos decir que los cristales piezoeléctricos convierten energía eléctrica en vibratoria y viceversa, después de haber aplicado una tensión eléctrica en estos y como consecuencia generar un campo eléctrico en el interior del cristal. [12]

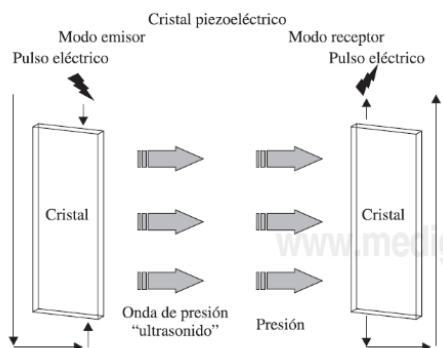


Figura. 7 Cristales piezoeléctricos del transductor [13]

2.2.2.3 Frecuencia de repetición de los pulsos

La energía eléctrica que llega al transductor estimula que los cristales piezoeléctricos allí contenidos emitan pulsos de ultrasonidos, de tal forma que el transductor no emita ultrasonidos de forma continua sino que genera grupos o ciclos de ultrasonidos a manera de pulsos. Lo que el transductor hace es alternar dos fases: emisión de ultrasonidos – recepción de ecos y así sucesivamente. [16]

Este proceso se llama frecuencia de repetición de pulsos de emisión -recepción, en la cual la emisión dura un 0,1% del tiempo, y el resto del tiempo es para la recepción. Por lo general se dan en el modo M de 1000 a 2000 repeticiones por segundo, mientras que en el modo B, de 3000 a 5000 repeticiones por segundo. [12]

2.2.2.4 Sistemas de focalización

Los sistemas de focalización del haz ultrasónico promueven un control de la profundidad del campo ultrasónico y a la vez controlar las dimensiones transversales en cada profundidad, incluso pueden alterar los patrones de interferencia de las ondas de un transductor y transformar una interferencia destructiva en constructiva y viceversa. Estos tipos de sistemas también son conocidos como “lentes acústicos”, son insertados entre el transductor y el objeto a ser examinado, dicha lente altera las dimensiones del haz haciendo que presente características más apropiadas a la región de profundidad específica, denominada zona focal del eje, en esa zona se pretende realizar la investigación estructural del medio. Y la región donde el campo presenta menores dimensiones transversales posibles es denominada punto focal del sistema. [12]

2.2.2.5 Adquisición de datos y procesamientos de señales.

La parte más fundamental de equipo ultrasónico son los transductores , el cual está conectado al equipo ultrasónico a través de un cable flexible , con longitud aproximado de 2 metros, el cable está formado por decenas de cables coaxiales capaces de transmitir y recibir señales eléctricas, a su vez el transductor en mayoría de los equipos está conectado a un multiplicador de señales , estos poseen flexibilidad limitada pues la electrónica de generación y procesamiento de señales trabaja una señal de cada piezoeléctrico a la vez volviendo a la electrónica de procesamientos más simple y disminuyendo los costos de producción y manutención. [12]

La unidad formadora de pulsos es un sistema electrónico que crea las señales eléctricas apropiadas para obtener un haz sonoro, esta usa parámetros de configuración establecidos por el examinador que determinara las características espaciales y temporales de los campos sonoros para generar las señales eléctricas que serán enviadas al transductor. [12]

La habilitación para el modo de adquisición de datos está hecha por un conjunto de llaves electrónicas, que a su vez protege el sistema de procesamiento de señales de los pulsos de alta tensión necesarios para la formación del pulso sonoro inicial, no debemos dejar de mencionar que durante un intervalo de tiempo entre dos pulsos consecutivos, el sistema adquiere los ecos sonoros. Los pulsos eléctricos recibidos del transductor pasan por un sistema de amplificación especial, responsable por el filtro de señales espurias y ruidos de salida del transductor. [12]

2.2.2.6 Resolución y artefactos de imagen

La resolución se refiere a la nitidez y el detalle de la imagen, es decir depende tanto de las características de los equipos utilizados como del tejido examinado, por esta razón los principales factores limitantes del diagnóstico debido a las características del equipo son: la sensibilidad, precisión y alcance dinámico en la medida de la intensidad del eco; resolución tanto lateral como longitudinal, precisión y la determinación de la posición espacial del eco; lóbulos laterales de los campos ultrasónicos y haces espurios. Mientras que los principales factores capaces de degradar la calidad de imagen son las variaciones de velocidad del sonido en el interior del tejido, granulación de la imagen, reflexiones múltiples o reverberaciones y las sombras. [12]

2.2.2.7 Ganancia y profundidad

Es un método de corrección en las intensidades de ecos registrados, compensado la atenuación sonora que ocurre a medida que el ultrasonido penetra en el medio, es un tipo de sistema complejo de amplificadores cuyas ganancias varían con el tiempo de manera de compensar las diferentes distancias recorridas por las ondas sonoras. [12]

2.2.2.8. Modos de exámenes.

3.2.8.1 Modo M:

Las distancias de las estructuras desde el transductor en el tiempo, tiene excelente resolución axial y temporal y es el mejor examen preciso para mediciones. [17]

El modo M se emplea para las estructuras en movimiento como el corazón, se realiza una representación gráfica de la señal, la amplitud es el eje vertical, y el tiempo y profundidad son el eje horizontal [16]

Se puede derivar un modo M de cualquier corte bidimensional, pero para la realización de las medidas de rutina en un examen Ecocardiográfico (diámetros de aorta, aurícula y ventrículo izquierdo (VI), grosores sistólicos y diastólicos del septo interventricular y de la pared posterior del VI y la evaluación de la válvula mitral) los cortes paraesternales son los más utilizados (longitudinal, transversal y a nivel de los músculos papilares, válvula mitral y válvula aortica. [12]

En el estudio en modo M del VI, la primera estructura a ser visualizada es la pared libre del ventrículo derecho, que se mueve posteriormente en la sístole y anteriormente en la diástole. En segundo lugar se observa la cavidad ventricular derecha y el septo interventricular. El primer componente del septo interventricular es el endocardio ventricular derecho y la región más posterior del septo pertenece a la musculatura del VI. [12]

Por lo tanto con el estudio del corazón en modo M, obtendremos información necesaria acerca del tamaño de la cavidad, grosor de la pared y masa muscular,

incursionar las paredes ventriculares y de las valvas valvulares, coordinar los acontecimientos cardiacos con el ECG (electrocardiograma) sincrónico y coordinar del patrón de flujo con el mapa del flujo en color. [15]

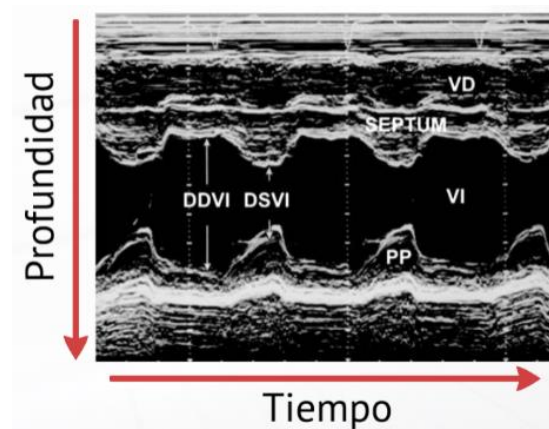


Figura. 8 Examen en modo M [17]

3.2.8.2 Modo B (2D):

Es la representación pictórica de la suma de los ecos en diferentes direcciones (axial, lateral), favoreciendo que el equipo reconozca la posición espacial y la dirección del haz; las señales de eco detectadas son procesadas y transmitidas a la luminosidad, lo que resulta en un brillo. Las estructuras con mayor reflejo aparecen más brillantes que las estructuras con menos reflejo (Figura.9). [16]

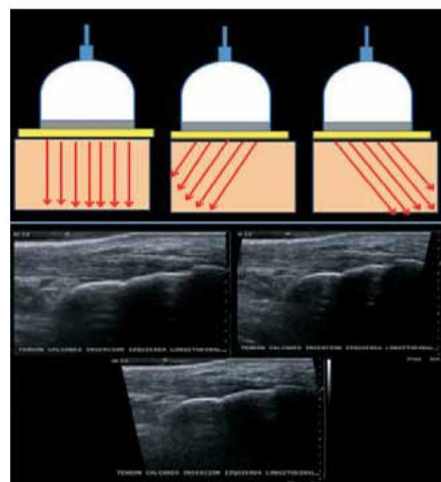


Figura. 9 Emisión de ultrasonido modo B [13]

El haz de sonido se desplaza como un radar con múltiples haces en fase. Valora la anatomía cardíaca por planos y en movimiento real. La imagen se presenta a partir de armónicos con definición del borde endocárdico. [17]

La producción de imágenes en rápida sucesión produce una imagen en “tiempo real” de estructuras en movimiento. Cualquier estructura de la imagen puede congelarse, estudiarse en la pantalla o imprimirse en papel térmico o en una placa radiográfica, [15]

En el examen de modo B, al aplicar el corte paraesternal longitudinal del VI, el eje mayor del VI es mostrado como una sección longitudinal del corazón; mostrando las principales estructuras cardíacas – válvula mitral y aortica, septo interventricular, ventrículo y aurícula izquierda, con el haz prácticamente perpendicular a estas, permitiendo una excelentes definición y visualización de las mismas. [12]

El estudio del modo B nos permite estudiar la anatomía y relaciones estructurales del corazón, brindándonos información de alguna posible enfermedad pericárdica, observar el movimiento de las paredes ventriculares y de las valvas valvulares, así como también el grosor de las paredes, volumen de las cavidades, fracción de eyección , volumen sistólico y gasto cardíaco y medir el tamaño de los orificios valvulares y nos permite adecuar la línea de cursor para el ecocardiografía en modo M y el eco Doppler. [15]

3.2.8.3 Examen Doppler

Cuando un haz ultrasónico alcanza las células sanguíneas ocurre una dispersión de la onda sonora. En caso de que las células estén en movimiento, la onda dispersada tendrá una frecuencia diferente de la onda incidente. La diferencia en frecuencia entre la onda dispersada y la incidente depende de la velocidad de las células, así como del ángulo relativo entre la dirección de propagación de las células y el transductor utilizado para realizar la medida. [12]

Para su estudio, se dispone de dos tipos de exámenes: el Doppler continuo y pulsado, en la primera, puede transmitir y recibir ultrasonidos de manera continua, midiendo velocidades elevadas en el flujo sanguíneo, sin embargo no puede localizar con precisión una señal de retorno que pueda originarse en algún lugar de la longitud o anchura del haz ultrasónico. Generalmente es usado para una exploración rápida del corazón buscando señales de altas velocidades y patrones de flujos anormales como la gravedad de una estenosis valvular o valorar el grado de insuficiencia valvular, permite cuantificar un cortocircuito intracardiaco es decir una comunicación interventricular (CIV) y en la válvula tricúspide nos permite calcular la presión en la arteria pulmonar. [15]

Mientras que la segunda transmite ultrasonidos en pulsaciones y tras una de ellas se produce un intervalo hasta la recepción del ultrasonido de retorno. Esta técnica no puede usarse para detectar anomalías a velocidades elevadas, sin embargo proporciona mejores trazados espectrales que el Doppler continuo por lo que se utiliza para los cálculos. Puede localizar no puntos (anormales) que son detectados por el Doppler continuo y ubicar la posición exacta. [15]

2.2.3. Anatomía Cardíaca

El corazón es un órgano aproximadamente del tamaño de un puño cerrado. Mide alrededor de 12 cm de largo, 9 cm en su punto más ancho y 6 cm de espesor, con una masa promedio de 250g en mujeres adultas y de 300g en hombres adultos. El corazón descansa sobre el diafragma, cerca de la línea media de la cavidad torácica. Yace en el mediastino, aproximadamente dos tercios del corazón se encuentran a la izquierda de la línea media del cuerpo. [18]

El corazón está envuelto por una capa fibroserosa o pericardio, que se compone de dos partes: la exterior o superficial, fibrosa, es el saco fibroso pericárdico; la otra, profunda, es la serosa pericárdica. Por debajo del pericardio se encuentra la túnica muscular gruesa o miocardio, responsable del trabajo cardíaco. Internamente el corazón está revestido por el endocardio, que se continúa con la túnica interna de los vasos: por eso tienen las mismas características finas y lisos para facilitar la circulación. [19]

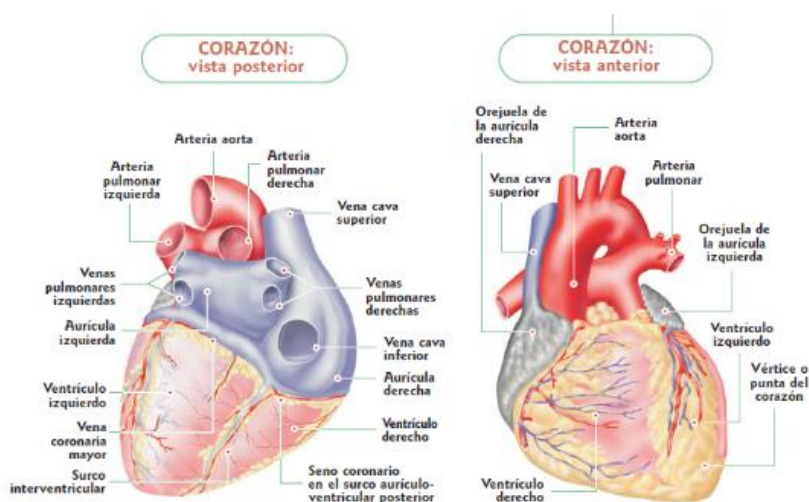


Figura. 10 Vista anterior y posterior del corazón [19]

2.2.3.1 Cámaras Cardiacas

El corazón tiene cuatro cámaras. Las dos cámaras superiores son las aurículas (atrios) y las dos inferiores los ventrículos. En la cara anterior de cada aurícula hay una estructura semejante a una pequeña bolsa denominada orejuela. Cada orejuela aumenta levemente la capacidad de las aurículas, permitiéndoles recibir un volumen de sangre mayor. Además, en la superficie del corazón existe una serie de surcos que contienen vasos coronarios y una cantidad variable de grasa. Cada surco marca el límite externo entre dos cámaras cardiacas. El surco coronario rodea a casi todo el corazón y limita dos sectores: el sector auricular superior y el ventricular inferior. El surco interventricular es una hendidura poco profunda, ubicada en la cara anterior del corazón, que marca el límite entre el ventrículo derecho y el izquierdo. Se continúa en la cara posterior como surco interventricular superior, delimitando ambos ventrículos en la parte posterior del corazón. [18]

Cada aurícula se comunica con su respectivo ventrículo por los orificios aurículo-ventricular derecha o tricúspide (por estar formado por tres valvas), e izquierdo o bicúspide (por estar formado por dos valvas). En el nacimiento de las arterias se encuentran los orificios arteriales, los cuales están provistos de tres válvulas: las válvulas sigmoideas. La válvula sigmoidea izquierda es la aortica, y la válvula sigmoidea derecha es la pulmonar. Las paredes de los ventrículos son muchos más gruesas que las de las aurículas porque deben bombear la sangre más lejos. Además, la pared del ventrículo izquierdo es aún más gruesa que la del ventrículo derecho porque aquel debe enviar la sangre a todo el cuerpo. [19]

La Figura.11 nos muestra una vista ventrolateral de ventrículos y auricular.

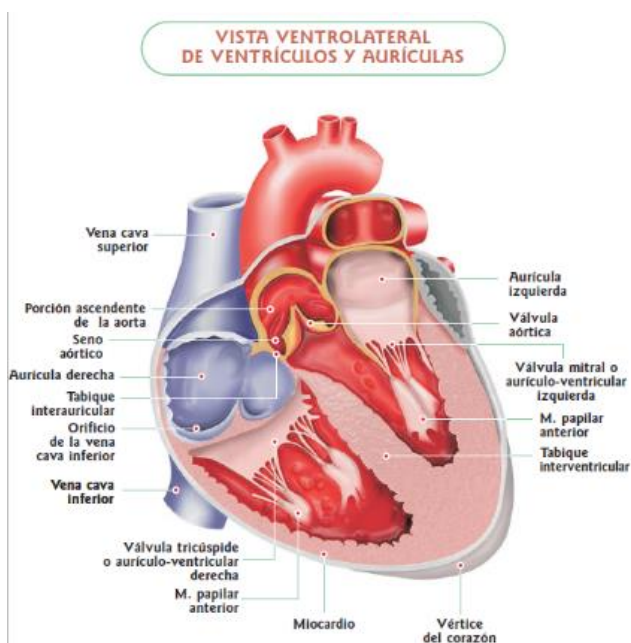


Figura. 11 Vista ventrolateral del corazón [19]

2.2.3.2 Ventrículo Izquierdo

Forma el ápex del corazón, contiene trabéculas carnosas y cuerdas tendinosas que conectan las valvas de la válvula mitral a los músculos papilares. La sangre pasa desde el ventrículo izquierdo a través de la válvula aórtica hacia la aorta ascendente; parte de la sangre de la aorta ascendente se dirige hacia las arterias coronarias, que nacen de ella e irrigan al corazón. El ventrículo izquierdo bombea sangre a sectores distantes del organismo, con una mayor presión y contra una mayor resistencia al flujo sanguíneo; por esta razón el ventrículo izquierdo realiza un mayor trabajo que el ventrículo derecho para poder mantener la misma velocidad sanguínea que ésta, y como consecuencia la pared muscular del ventrículo izquierdo es mucho más gruesa que el otro ventrículo. [18]

En este ventrículo nace la principal arteria del cuerpo, la aorta, que poco después de su salida del corazón comienza a ramificarse, dando lugar a otras importantes arterias, como la carótida, que lleva sangre hacia el cerebro, la arteria subclavia y el tronco braquiocefálico. La sangre fluye gracias al impulso brindado por la contracción del ventrículo izquierdo y por la elasticidad de las arterias. En los capilares, el oxígeno que la sangre transporta es cedido hacia los tejidos, y la sangre comienza a retornar hacia el corazón, a través de las venas. Las venas principales, la vena cava superior y la vena cava inferior, llevan la sangre pobre en oxígeno hacia la aurícula derecha, que a su vez la vierte al ventrículo derecho. Luego, la contracción del ventrículo derecho, envía la sangre hacia los pulmones, para que se oxigene, y luego de pasar por estos órganos, la sangre retorna a la aurícula izquierda a través de las venas pulmonares. La aurícula vierte la sangre hacia el ventrículo izquierdo, cerrándose así el ciclo. El ciclo cardíaco entonces, comienza con una etapa de relajación, donde la sangre fluye desde las aurículas hacia los ventrículos, y una etapa de contracción de los ventrículos, donde la sangre es impulsada hacia los pulmones y hacia todo el cuerpo, por los ventrículos derecho e izquierdo respectivamente. Al periodo de relajación se le llama diástole de corazón, y al de contracción, se le llama sístole. [20]

2.2.3.3 Algunas Patologías Cardiacas. [21]

Endocarditis infecciosa:

La endocarditis infecciosa es la inflamación del revestimiento interno de las válvulas y cavidades cardiacas (endocardio), producida por la infección por un microorganismo, generalmente bacterias, que crecen formando unas estructuras características conocidas como vegetaciones. Aunque puede aparecer en

pacientes sanos, se presentan con más frecuencia en las válvulas protésicas, en las cardiopatías congénitas, Valvulopatías y endocarditis previa

Hipertrofia ventricular izquierda:

La hipertrofia ventricular izquierda es el agrandamiento y el engrosamiento de las paredes de la cavidad principal de bombeo del corazón (ventrículo izquierdo).

La hipertrofia ventricular izquierda puede manifestarse como una reacción a algún factor, como la presión arterial alta o una afección cardíaca, que hace que el ventrículo izquierdo se esfuerce más. A medida que el esfuerzo aumenta, se engrosa el tejido muscular en la pared de la cavidad y, a veces, el tamaño de la propia cavidad también aumenta. El músculo del corazón dilatado pierde elasticidad y, finalmente, puede dejar de bombear con la fuerza necesaria.

La hipertrofia ventricular izquierda es más frecuente en las personas que tienen presión arterial alta no controlada. Pero independientemente de cuál sea la presión arterial, la aparición de la hipertrofia ventricular izquierda expone a un mayor riesgo de ataque al corazón y de accidente cerebrovascular.

Insuficiencia de la válvula mitral:

La insuficiencia de la válvula mitral, también llamada insuficiencia mitral o incompetencia mitral, es una enfermedad en la que la válvula mitral del corazón no se cierra bien y permite que la sangre fluya de regreso al corazón. Como resultado, la sangre no puede transportarse a través del corazón o al resto del cuerpo tan eficientemente, lo que hace sentir a uno cansado o sin aliento.

Comunicación Interauricular:

Es un defecto cardíaco que está presente al nacer (congénito). Mientras el bebé se desarrolla en el útero, se forma una pared (llamada tabique interauricular) que divide la cámara superior en aurícula izquierda y derecha. Una formación anormal de esta pared puede provocar un agujero que permanece después del nacimiento. Esto se denomina comunicación interauricular o CIA.

Comunicación Interventricular:

Se refiere a un orificio en la pared que separa los ventrículos izquierdos y derecho del corazón. Es uno de los defectos cardíacos congénitos (presentes al nacer) más comunes y puede ocurrir solo o con otras enfermedades congénitas.

Hipertensión pulmonar:

La hipertensión pulmonar es un aumento de la presión en las arterias de los pulmones. Es una condición seria, los vasos sanguíneos que transportan la sangre del corazón a los pulmones se estrechan y endurecen. El corazón debe hacer un mayor esfuerzo para bombear sangre. Con el tiempo, el corazón se debilita, no puede cumplir su función y puede desarrollar insuficiencia cardíaca.

Cardiomiopatía:

Cardiomiopatía es el nombre que se usa para llamar a las enfermedades del músculo cardíaco. Estas enfermedades aumentan el tamaño del corazón o lo hacen más grueso y rígido que lo normal. En raros casos, el tejido cicatrizante reemplaza el tejido muscular.

2.2.4 Fractales

La palabra “fractal” proviene del latín fractus, que significa “fragmentado”, o “quebrado”, muy apropiado para objetos cuya dimensión es fraccionaria. El término fue acuñado por Benoît Mandelbrot en 1977 aparecido en su libro The Fractal Geometry of Nature. Al estudio de los objetos fractales se le conoce, generalmente, como geometría fractal. [22]

Mandelbrot utilizó la palabra fractal para nombrar a aquellos elementos o conjuntos de formas generados a través de la iteración, o repetición de procesos simples. Es decir hablamos de una estructura que se repite a diferentes escalas por lo que resulta imposible decir en que escala se podría encontrar. [23]

Un conjunto u objeto es considerado fractal cuando su tamaño se hace arbitrariamente mayor a medida que la escala del instrumento de medida disminuye. Hay muchos objetos ordinarios que, debido a su estructura o comportamiento, son considerados fractales naturales, aunque no los reconozcamos. Las nubes, las montañas, las costas, los árboles y los ríos son fractales naturales aunque finitos y tenemos los fractales matemáticos que gozan de infinitud y son ideales. [22]

Los fractales presentan las siguientes características

Dimensión no entera.

La dimensión de un fractal no es un número entero sino un número generalmente irracional.

Compleja estructura a cualquier escala.

Los fractales muestran estructuras muy complejas independientemente de la escala a la cual lo observemos.

Infinitud.

Se consideran infinitos ya que a medida que aumentamos la precisión del instrumento de medición observamos que el fractal aumenta en longitud o perímetro.

Autosimilitud

Se refiere a aquellos objetos que presentan características parecidas cuando son observados a diferentes magnificación. Así, dado un objeto con características de autosimilitud, si se le hace una sucesión de fracciones en diferentes tamaños, las fracciones del objeto resultante tendrán características en general similares. En una idealización matemática, la propiedad de autosimilitud de un fractal puede continuar infinitamente por muchos estados. [24]

Según Mandelbrot un objeto es autosimilar cuando sus partes tienen la misma forma o estructura del todo, es decir, partes del objeto son pequeñas réplicas del total, aunque pueden presentarse a escala diferentes y estar ligeramente deformadas. [23]

Dimensión Fractal

La dimensión fractal es un número real positivo que generaliza el concepto de dimensión ordinaria o topológica para los fractales, es decir para objetos geométricos que no permiten un estudio clásico-euclídeo del mismo. Por ejemplo la dimensión de autosimilaridad o de capacidad se refiere a como el

objeto geométrico llena el espacio en el que está inmerso, siendo su dimensión fractal un numero fraccionario [22]

Para que un objeto tenga dimensión fractal, debe cumplir que su dimensión no debe ser entera, como las dimensiones euclídeas y que su dimensión fractal sea mayor a su dimensión topológica. Lo que busca medir la dimensión fractal es la rugosidad de una curva. [23]

Una definición más general de dimensión fractal que la de autosimilaridad, nos proporciona la llamada dimensión de capacidad. Para medir las dimensiones de autosimilaridad necesitamos que nuestro objeto sea perfectamente autosimilar. Podemos relajar esta condición y utilizar un método de recubrimiento para medir la dimensión de capacidad, de manera que calculemos una dimensión fractal. [22]

3.4.1 Método de Box – Counting [25]

Es uno de los métodos más empleados para el cálculo de la dimensión fractal de un objeto en mención, consiste en trazar sobre un fractal plano una rejilla formada por cuadrículas de tamaño “r” para seguidamente contar cuántas de estas cuadrículas son necesarios para cubrir el fractal estudiado. Se denota $N(r)$ a dicho número de cuadrículas, que evidentemente dependen del tamaño “r”, dicho proceso se repite cada vez con mallas cuyas cuadrículas de lado ‘r’ son cada vez más pequeños. La ecuación que embarga todo lo mencionado es la siguiente:

$$N(r) = K\left(\frac{1}{r}\right)^d \quad (13)$$

Donde K es la constante de proporcionalidad. Aplicando logaritmo en ambos miembros de la ecuación (13), obtenemos:

$$\log[N(r)] = d \log\left(\frac{1}{r}\right) + \log(K) \quad (14)$$

Aquí “d” y “K” son constantes, $\log[N(r)]$ y $\log\left(\frac{1}{r}\right)$ varían con r, de modo que esto tiene la forma de la ecuación geométrica de la recta, tal y como vemos en la Figura.12, con pendiente d.

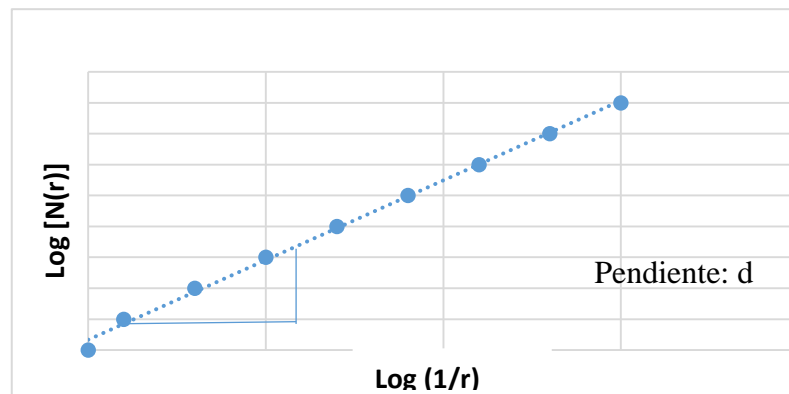


Figura. 12 Línea recta para hallar ‘d’ en método de Box-counting [25]

Este “d” se llama la dimensión de box-counting. Si hemos aplicado el conteo de cajas para las mallas con longitudes de lado r_1, r_2, \dots, r_N , entonces ubicamos los puntos $(\log(r_1), \log N(r_1)), \dots, (\log(r_N), \log N(r_n))$ para posteriormente encontrar la línea del mejor ajuste a través de esos puntos (midiendo la pendiente); dichos puntos deben estar sobre una línea recta tal como se observa en la Figura.12.

La dimensión de Box-counting puede ser calculada para fractales matemáticos y en general va a depender de valores de “r” más pequeños, tendiendo a 0, de modo que para fractales matemáticos tomamos el límite

$$d = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N(r) - \log(K)}{\log(\frac{1}{r})} \quad (16)$$

Debido a que K es una constante, podemos hallar una fórmula equivalente; conocida y más simple de (16), dando como resultado que la dimensión fractal por Box-counting de un fractal se obtiene de la siguiente forma:

$$d_{box} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N(r)}{\log(\frac{1}{r})} \quad (17)$$

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. EQUIPOS Y MATERIALES

3.1.1 Sistema De Ecografía Epiq 7 Release 1.0 (2013)

El Epiq 7 del sistema de ecografía es un sistema de alta resolución destinado a imageneología general, radiología intervencionista, y a cardiología; está diseñado ergonómicamente para ser a la vez un equipo móvil y ajustable para cada usuario. Se puede utilizar para exámenes 2D, 3D, modo M, Doppler e imágenes en color; a su vez el sistema soporta una amplia gama de transductores y proporciona herramientas para la medición, análisis, opciones avanzadas y capacidades de red DICOM.



Figura. 13 Sistema de Ecografía Epiq7 Release

3.1.2 Laptop

La laptop marca TOSHIBA cuenta con un procesador Intel(R)Core(TM) i7-4500U CPU @2.40 GHz, memoria RAM de 8.00 GB, con un sistema operativo de 67 bits y Windows 8.1



Figura. 14 Laptop Toshiba core i7

3.1.3 Rejillas

Las cuatro rejillas usadas en el conteo del método fractal de box counting para las imágenes en sístole y diástole del ventrículo izquierdo, contienen cuadrículas con longitudes de 10, 7.5, 5, 2.5 mm.

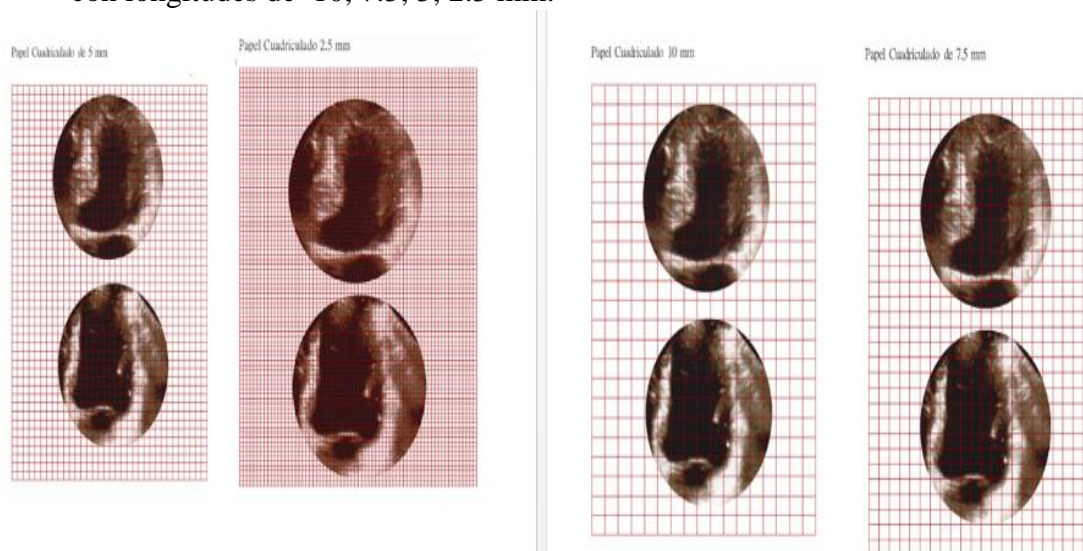


Figura. 15 Rejillas milimetradas

3.1.4 Fotografías Ecocardiográficas

Las fotografías ecocardiográficas son proporcionadas por el sistema de ecografía Epiq 7 para cada una de las muestras, tanto en sístole y diástole del ventrículo izquierdo.

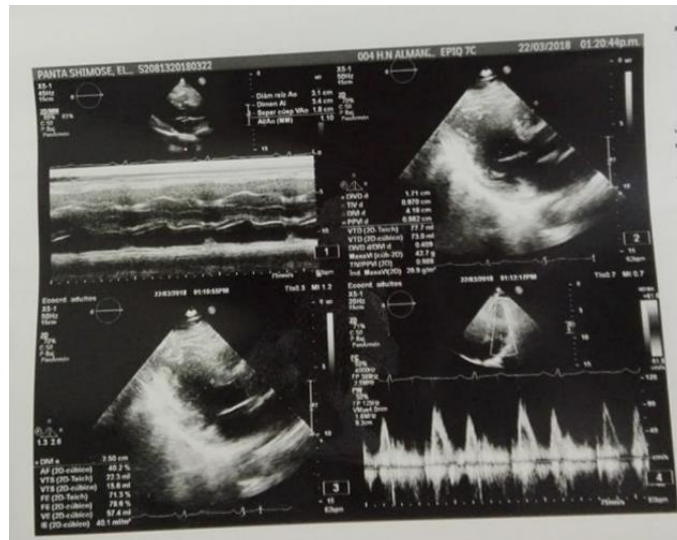


Figura. 16 Fotografías ecocardiográficas

3.1.5 Hoja de Cálculo

Usamos la hoja de cálculo proporcionada por el programa Microsoft Excel 2013, que no permite registrar la obtención de datos y aplicar las formulas necesarias para el cálculo de las dimensiones fractales del ventrículo izquierdo

Casos	Edades	Diagnósticos	Dimensión Fractal	AMI(Armonía Matemática Intrínseca)	Diagnóstico
S	D	T	S	D	T
S1	14 años	Corazón sano	1.6649	1.7914	1.7424
S2	14 años	Corazón sano	1.4655	1.7696	1.6977
S3	14 años	Corazón sano	1.4749	1.5497	1.5233
S4	17 años	Corazón sano	1.5881	1.4761	1.5218
S5	17 años	Corazón sano	1.4827	1.5372	1.5127
S6	22 años	Corazón sano	1.4386	1.4040	1.4186
S7	34 años	Corazón sano	1.5512	1.6070	1.5835
S8	27 años	Corazón sano	1.2676	1.2972	1.2878
S9	12 años	Corazón sano	1.4138	1.6356	1.5541
S10	11 años	Corazón sano	1.7706	1.5175	1.6038
S11	11 años	Corazón sano	1.2512	1.4289	1.3705
S12	10 años	Corazón sano	1.7077	1.5392	1.5849
S13	15 años	Corazón sano	1.5840	1.6647	1.6310
S14	6 años	Corazón sano	1.2003	1.6578	1.5503
S15	17 años	Corazón sano	1.2113	1.4415	1.3733
S16	35 años	Corazón sano	2.0369	1.9544	1.9793
S17	7 años	Corazón sano	1.4674	1.7563	1.7311
S18	6 años	Corazón sano	1.6655	1.6458	1.6528
S19			1.7730	1.7752	1.7742
S20					
S21					
S22					
S23					
S24					
S25					
S26					
S27					
S28					
S29					
S30					
S31					
S32					
S33					
S34					
S35					
S36					
S37					
S38					
S39					
S40					
S41					
S42					
S43					
S44					
S45					
S46					
S47					
S48					
S49					
S50					
S51					
S52					
S53					
S54					
S55					
S56					
S57					
S58					
S59					
S60					
S61					
S62					
S63					
S64					
S65					
S66					
S67					
S68					
S69					
S70					
S71					
S72					
S73					
S74					
S75					
S76					
S77					
S78					
S79					
S80					
S81					
S82					
S83					
S84					
S85					
S86					
S87					
S88					
S89					
S90					
S91					
S92					
S93					
S94					
S95					
S96					
S97					
S98					
S99					
S100					
S101					
S102					
S103					
S104					
S105					
S106					
S107					
S108					
S109					
S110					
S111					
S112					
S113					
S114					
S115					
S116					
S117					
S118					
S119					
S120					
S121					
S122					
S123					
S124					
S125					
S126					
S127					
S128					
S129					
S130					
S131					
S132					
S133					
S134					
S135					
S136					
S137					
S138					
S139					
S140					
S141					
S142					
S143					
S144					
S145					
S146					
S147					
S148					
S149					
S150					
S151					
S152					
S153					
S154					
S155					
S156					
S157					
S158					
S159					
S160					
S161					
S162					
S163					
S164					
S165					
S166					
S167					
S168					
S169					
S170					
S171					
S172					
S173					
S174					
S175					
S176					
S177					
S178					
S179					
S180					
S181					
S182					
S183					
S184					
S185					
S186					
S187					
S188					
S189					
S190					
S191					
S192					
S193					
S194					
S195					
S196					
S197					
S198					
S199					
S200					
S201					
S202					
S203					
S204					
S205					
S206					
S207					
S208					
S209					
S210					
S211					
S212					
S213					
S214					
S215					
S216					
S217					
S218					
S219					
S220					
S221					
S222					
S223					
S224					
S225					
S226					
S227					
S228					
S229					
S230					
S231					
S232					
S233					
S234					
S235					
S236					
S237					
S238					
S239					
S240					
S241					
S242					
S243					
S244					
S245					
S246					
S247					
S248					
S249					
S250					
S251					
S252					
S253					
S254					
S255					
S256					
S257					
S258					
S259					
S260					
S261					
S262					
S263					
S264					
S265					
S266					
S267					
S268					
S269					
S270					
S271					
S272					
S273					
S274					
S275					
S276					

3.2. Metodología

La metodología usada es la evaluación simultánea en sístole y diástole de la estructura del ventrículo izquierdo por dimensiones fractales, a las muestras de ecocardiografías con diagnósticos clínicos convencionales realizados por un médico experto.

Se midió la dimensión fractal a través del método de Box-counting a imágenes ecocardiográficas de sístole y diástole de pacientes con edades entre cinco y cuarenta años, que fueron atendidos desde el 01 de Enero hasta el 24 de Febrero del 2018, los cuales fueron clasificados en dos grupos: el grupo S, que corresponde a pacientes con diagnósticos de corazón sano y el grupo P, con pacientes diagnosticados con alguna patología cardíaca. Dichas imágenes ecocardiográficas fueron medidas superponiéndolas con cuatro rejillas con cuadrículas de 10, 7.5, 5 y 2.5 milímetros de lado, realizando el respectivo conteo de cuadrículas para la obtención de la dimensión fractal a través del método de Box-Counting.

Los diagnóstico fractales obtenidos fueron dados por la ayuda de la armonía matemática intrínseca “AMI” [1,4], que se refiere al grado de similitud o irregularidad entre las unidades y las cifras decimales de las dimensiones fractales, obtenidos en sístole, diástole y totalidad. Cuando las dimensiones fractales difieren en la unidad se denota con cero, cuando difieren en la primera cifra decimal se denota con uno, cuando ocurre en la segunda cifra decimal con dos, y así sucesivamente; permitiéndonos establecer el parámetro diagnóstico con la metodología desarrollada entre salud y enfermedad.

Tabla 1. Edad y diagnósticos de los pacientes del grupo S (Pacientes sanos)

Casos	Edades	Diagnósticos
S1	14 años	Corazón sano
S2	14 años	Corazón sano
S3	14 años	Corazón sano
S4	17 años	Corazón sano
S5	17 años	Corazón sano
S6	22 años	Corazón sano
S7	34 años	Corazón sano
S8	38 años	Corazón sano
S9	27 años	Corazón sano
S10	12 años	Corazón sano
S11	11 años	Corazón sano
S12	11 años	Corazón sano
S13	10 años	Corazón sano
S14	11 años	Corazón sano
S15	15 años	Corazón sano
S16	6 años	Corazón sano
S17	15 años	Corazón sano
S18	11 años	Corazón sano
S19	17 años	Corazón sano
S20	36 años	Corazón sano
S21	29 años	Corazón sano
S22	15 años	Corazón sano
S23	35 años	Corazón sano
S24	13 años	Corazón sano
S25	15 años	Corazón sano
S26	29 años	Corazón sano
S27	40 años	Corazón sano
S28	9 años	Corazón sano
S29	8 años	Corazón sano
S30	8 años	Corazón sano
S31	6 años	Corazón sano
S32	6 años	Corazón sano
S33	7 años	Corazón sano
S34	6 años	Corazón sano
S35	5 años	Corazón sano

Fuente: Laboratorio de Ecocardiografía HNAAA.

Tabla 2. Edad y diagnósticos de los pacientes del grupo P (Patologías cardíacas)

Casos	Edad	Diagnósticos
P1	29 años	Endocarditis infecciosa de válvula mitral
P2	40 años	HVI concéntrica leve, DDVI tipo II
P3	40 años	FSBV conservada, DDVI tipo II, Insuficiencia mitral leve
P4	28 años	HVI severo excéntrica, FSVI deprimido leve, FSVD concéntrica
P5	37 años	HVI severo concéntrico, FSBV conservada, DDVI tipo I, normotensión pulmonar
P6	26 años	Esclerosis Valvular Ao, FSBV conservada, FDVI conservado
P7	38 años	CIA, HTP severa, Dilatación severa AI
P8	25 años	Cardiomiopatía dilatada, insuficiencia mitral moderada-severa, FSVI disminuido
P9	32 años	Post operación válvula mitral + plastia tricúspide ,prótesis control mecánico, FSVI deprimida
P10	34 años	Post operado de coartación de Ao
P11	23 años	Insuficiencia Mitral moderada
P12	24 años	FSBV conservada, dilatación leve de AI
P13	24 años	FSBV conservado, no DDVI, normotensión pulmonar, insuficiencia mitral
P14	34 años	FSBV conservada, DDVI tipo II, dilatación leve de AI
P15	38 años	CIV , dilatación de cavidad izquierda , FSBV conservada de Hipertensión pulmonar
P16	40 años	FSBV conservada, DDVI tipo I, Dilatación de Ao leve
P17	26 años	HVI severa concéntrica, FSBV conservado, DDVI tipo I, dilatación moderada de AI
P18	35 años	FSBV conservada, DDVI tipo I, Ao leve concéntrica
P19	40 años	Pericárdico moderado
P20	40 años	HVI leve, FSBV conservada , DDVI tipo II
P21	35 años	Cardiopatía congénita acianótica, CIA
P22	38 años	Ausencia de cardiopatía arterial, FBV normal, normotensión arterial pulmonar
P23	38 años	Cardiopatía reumática doble lesión mitral.

Fuente: Laboratorio de Ecocardiografía HNAAA.

Donde las siglas corresponden a la siguiente etimología:

HVI: Hipertrofia ventricular izquierda.

DDVI: Diámetro diastólica ventricular izquierda

FSBV: Función sistólica biventricular.

FDVI: Función diastólica ventrículo izquierdo.

CIA: Comunicación interauricular.

HTP: Hipertensión Pulmonar.

AI: Aurícula Izquierda.

Ao: Arteria aortica

CIV: Comunicación interventricular

IV. RESULTADOS

Al aplicar el método fractal de Box – Counting a las 58 imágenes ecocardiográficas del ventrículo izquierdo en sístole y diástole, las cuales estaban distribuidos en dos tablas, se obtuvieron que las dimensiones fractales para el grupo S están entre 0,9307 y 2,0369 para la sístole, entre 1,2972 y 1,9544 para la diástole, y entre 1.2688 y 1.9793 para la totalidad (ver tabla 3); en tanto que para el grupo P las dimensiones fractales estuvieron entre 1,2554 y 1,7827 para la sístole, entre 1,2924 y 1,7732 para la diástole y entre 1,2767 y 1,7773 para la totalidad(ver tabla 4).

Se debe recordar que las abreviaturas utilizadas en las tablas, hacen referencia a las siguientes palabras: sístole (S), diástole (D), totalidad (T), conteo de cuadros (N), tamaño de rejilla (r) y Logaritmo (Log).

Tabla 3. Dimensión Fractal para el grupo S

Rejilla r(mm)	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	S1	16	23	39	-1.0000	1.0000	1.0000	1.2041	1.3617	1.5911	1.6649	1.7914	1.7424
7.5		26	40	66	-0.8751	0.8751	0.8751	1.415	1.6021	1.8195			
5		49	81	130	-0.6990	0.6990	0.6990	1.6902	1.9085	2.1139			
2.5		162	279	441	-0.3979	0.3979	0.3979	2.2095	2.4456	2.6444			
10	S2	4	11	15	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	1.0414	1.1761	1.4655	1.7696	1.6977
7.5		6	15	21	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	1.1761	1.3222			
5		12	34	46	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.5315	1.6628			
2.5		30	120	150	-0.3979	0.3979	0.3979	1.4771	2.0792	2.1761			
10	S3	6	10	16	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	1	1.2041	1.4749	1.5497	1.5233
7.5		9	16	25	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.2041	1.3979			
5		12	28	40	-0.699	0.6990	0.6990	1.0792	1.4472	1.6021			
2.5		48	87	135	-0.3979	0.3979	0.3979	1.6812	1.9395	2.1303			
10	S4	6	9	15	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	0.9542	1.1761	1.5881	1.4761	1.5218
7.5		9	15	24	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.1761	1.3802			
5		16	25	41	-0.6990	0.6990	0.6990	1.2041	1.3979	1.6128			
2.5		54	72	126	-0.3979	0.3979	0.3979	1.7324	1.8573	2.1004			
10	S5	12	16	28	-1.0000	1.0000	1.0000	1.0792	1.2041	1.4472	1.4827	1.5372	1.5127
7.5		20	22	42	-0.8751	0.8751	0.8751	1.301	1.3424	1.6233			
5		33	40	73	-0.6990	0.6990	0.6990	1.5185	1.6021	1.8633			
2.5		97	131	228	-0.3979	0.3979	0.3979	1.9868	2.1173	2.3579			
10	S6	4	6	10	-1.0000	1.0000	-1	0.6021	0.7782	1	1.4386	1.4040	1.4186
7.5		6	9	15	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	0.9542	1.1761			
5		9	16	25	-0.699.	0.6990	0.6990	0.9542	1.2041	1.3979			
2.5		30	42	72	-0.3979	0.3979	0.3979	1.4771	1.6232	1.8573			
10	S7	4	6	10	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.7782	1	1.3149	1.3496	1.3359
7.5		6	9	15	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	0.9542	1.1761			
5		10	16	26	-0.6990	0.6990	0.6990	1	1.2041	1.4150			
2.5		25	39	64	-0.3979	0.3979	0.3979	1.3979	1.5911	1.8062			

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r(mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	S8	10	14	24	-1.0000	1.0000	1.0000	1	1.1461	1.3802	1.5512	1.6070	1.5835
7.5		16	20	36	-0.8751	0.8751	0.8751	1.2041	1.301	1.5563			
5		26	42	68	-0.6990	0.6990	0.6990	1.415	1.6232	1.8325			
2.5		88	125	213	-0.3979	0.3979	0.3979	1.9445	2.0969	2.3284			
10	S9	9	19	28	-1.0000	1.0000	1.0000	0.9542	1.2788	1.4472	1.2676	1.2972	1.2878
7.5		12	28	40	-0.8751	0.8751	0.8751	1.0792	1.4472	1.6021			
5		24	55	79	-0.6990	0.6990	0.6990	1.3802	1.7404	1.8976			
2.5		50	113	163	-0.3979	0.3979	0.3979	1.699	2.0531	2.2122			
10	S10	4	6	10	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.7782	1	1.4138	1.6356	1.5541
7.5		6	9	15	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	0.9542	1.1761			
5		9	20	29	-0.6990	0.6990	0.6990	0.9542	1.301	1.4624			
2.5		29	56	85	-0.3979	0.3979	0.3979	1.4624	1.7482	1.9294			
10	S11	4	9	13	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.7706	1.5175	1.6038
7.5		6	14	20	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	1.1461	1.3010			
5		11	23	34	-0.699	-0.699	-0.699	1.0414	1.3617	1.5315			
2.5		46	75	121	-0.3979	0.3979	0.3979	1.6628	1.8751	2.0828			
10	S12	4	9	13	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.2512	1.4289	1.3705
7.5		8	12	20	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9031	1.0792	1.3010			
5		12	22	34	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.3424	1.5315			
2.5		25	63	88	-0.3979	0.3979	0.3979	1.3979	1.7993	1.9445			
10	S13	4	12	16	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	1.0792	1.2041	1.7077	1.5392	1.5849
7.5		9	15	24	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.1761	1.3802			
5		16	30	46	-0.6990	0.6990	0.6990	1.2041	1.4771	1.6628			
2.5		47	95	142	-0.3979	0.3979	0.3979	1.6721	1.9777	2.1523			
10	S14	10	13	23	-1.0000	1.0000	1.0000	1	1.1139	1.3617	1.5840	1.6647	1.6310
7.5		13	21	34	-0.8751	0.8751	0.8751	1.1139	1.3222	1.5315			
5		26	43	69	-0.6990	0.6990	0.6990	1.415	1.6335	1.8389			
2.5		85	130	215	-0.3979	0.3979	0.3979	1.9294	2.1139	2.3324			
10	S15	6	15	21	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	1.1761	1.3222	1.2003	1.6578	1.5503
7.5		9	22	31	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.3424	1.4914			
5		12	45	57	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.6532	1.7559			
2.5		33	145	178	-0.3979	0.3979	0.3979	1.5185	2.1614	2.2504			

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r(mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	S16	4	9	13	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.2113	1.4415	1.3733
7.5		6	11	17	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	1.0414	1.2305			
5		9	22	31	-0.6990	0.6990	0.6990	0.9542	1.3424	1.4914			
2.5		22	62	84	-0.3979	0.3979	0.3979	1.3424	1.7924	1.9243			
10	S17	4	9	13	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.9542	1.11394	1.2212	1.3898	1.3439
7.5		6	14	20	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	1.1461	1.3010			
5		10	18	28	-0.6990	0.6990	0.6990	1	1.2553	1.4472			
2.5		22	65	87	-0.3979	0.3979	0.3979	1.3424	1.8129	1.9395			
10	S18	10	16	26	-1.0000	1.0000	1.0000	1	1.2041	1.4150	1.7181	1.7208	1.7198
7.5		15	24	39	-0.8751	0.8751	0.8751	1.1761	1.3802	1.5911			
5		32	48	80	-0.6990	0.6990	0.6990	1.5051	1.6812	1.9031			
2.5		105	170	275	-0.3979	0.3979	0.3979	2.0212	2.2304	2.4393			
10	S19	4	9	13	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.6944	1.5686	1.6104
7.5		6	12	18	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	1.0792	1.2553			
5		12	25	37	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.3979	1.5682			
2.5		41	75	116	-0.3979	0.3979	0.3979	1.6128	1.8751	2.0645			
10	S20	6	9	15	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	0.9542	1.1761	1.2434	1.5279	1.4231
7.5		9	12	21	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.0792	1.3222			
5		12	20	32	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.301	1.5052			
2.5		35	73	108	-0.3979	0.3979	0.3979	1.5441	1.8633	2.0334			
10	S21	6	9	15	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	0.9542	1.1761	1.1545	1.5566	1.4151
7.5		9	12	21	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.0792	1.3222			
5		12	22	34	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.3424	1.5315			
2.5		31	75	106	-0.3979	0.3979	0.3979	1.4914	1.8751	2.0253			
10	S22	12	30	42	-1.0000	1.0000	1.0000	1.0792	1.4771	1.6233	2.0369	1.9544	1.9793
7.5		32	69	101	-0.8751	0.8751	0.8751	1.5051	1.8388	2.0043			
5		67	138	205	-0.6990	0.6990	0.6990	1.8261	2.1399	2.3118			
2.5		226	489	715	-0.3979	0.3979	0.3979	2.3541	2.6893	2.8543			
10	S23	4	6	10	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.7782	1	1.4655	1.5991	1.5486
7.5		6	9	15	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	0.9542	1.1761			
5		12	18	30	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.2553	1.4771			
2.5		30	54	84	-0.3979	0.3979	0.3979	1.4771	1.7324	1.9243			

Rejilla r(mm)	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	S24	4	6	10	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.7782	1	0.9307	1.4320	1.2688
7.5		6	9	15	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	0.9542	1.1761			
5		9	15	24	-0.6990	0.6990	0.6990	0.9542	1.1761	1.3802			
2.5		15	44	59	-0.3979	0.3979	0.3979	1.1761	1.6435	1.7709			
10	S25	6	12	18	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	1.0792	1.2553	1.0799	1.4892	1.3683
7.5		9	15	24	-0.8751	0.8751	0.8751	0.9542	1.1761	1.3802			
5		12	32	44	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.5051	1.6435			
2.5		28	88	116	-0.3979	0.3979	0.3979	1.4472	1.9445	2.0645			
10	S26	6	12	18	-1.0000	1.0000	1.0000	0.7782	1.0792	1.2553	1.3462	1.5601	1.4915
7.5		12	20	32	-0.8751	0.8751	0.8751	1.0792	1.301	1.5052			
5		17	35	52	-0.6990	0.6990	0.6990	1.2304	1.5441	1.716			
2.5		43	107	150	-0.3979	0.3979	0.3979	1.6335	2.0294	2.1761			
10	S27	13	17	30	-1.0000	1.0000	1.0000	1.1139	1.2304	1.4771	1.6591	1.5055	1.5758
7.5		20	26	46	-0.8751	0.8751	0.8751	1.301	1.415	1.6628			
5		42	50	92	-0.6990	0.6990	0.6990	1.6232	1.699	1.9638			
2.5		127	136	263	-0.3979	0.3979	0.3979	2.1038	2.1335	2.4200			
10	S28	12	17	29	-1.0000	1.0000	1.0000	1.0792	1.2304	1.4624	1.7224	1.7965	1.7664
7.5		19	24	43	-0.8751	0.8751	0.8751	1.2788	1.3802	1.6335			
5		37	43	80	-0.6990	0.6990	0.6990	1.5682	1.6335	1.9031			
2.5		130	200	330	-0.3979	0.3979	0.3979	2.1139	2.301	2.5185			
10	S29	4	6	10	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.7782	1	1.5516	1.6784	1.6310
7.5		6	9	15	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	0.9542	1.1761			
5		9	21	30	-0.6990	0.6990	0.6990	0.9542	1.3222	1.4771			
2.5		35	59	94	-0.3979	0.3979	0.3979	1.5441	1.7709	1.9731			
10	S30	13	19	32	-1.0000	1.0000	1.0000	1.1139	1.2788	1.5052	1.4712	1.6491	1.5834
7.5		17	30	47	-0.8751	0.8751	0.8751	1.2304	1.4771	1.6721			
5		31	54	85	-0.6990	0.6990	0.6990	1.4914	1.7324	1.9294			
2.5		96	188	284	-0.3979	0.3979	0.3979	1.9823	2.2742	2.4533			
10	S31	4	6	10	-1.0000	1.0000	1.0000	0.6021	0.7782	1	1.5785	1.7250	1.6710
7.5		6	12	18	-0.8751	0.8751	0.8751	0.7782	1.0792	1.2553			
5		12	24	36	-0.6990	0.6990	0.6990	1.0792	1.3802	1.5563			
2.5		35	69	104	-0.3979	0.3979	0.3979	1.5441	1.8388	2.0170			

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r(mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	S32	15	19	34	-1.0000	1.0000	1.0000	1.1761	1.2788	1.5315	1.6974	1.7563	1.7311
7.5		20	28	48	-0.8751	0.8751	0.8751	1.301	1.4472	1.6812			
5		44	58	102	-0.6990	0.6990	0.6990	1.6435	1.7634	2.0086			
2.5		148	210	358	-0.3979	0.3979	0.3979	2.1703	2.3222	2.5539			
10	S33	2	4	6	-1.0000	1.0000	1.0000	0.301	0.6021	0.7782	1.6655	1.6458	1.6528
7.5		4	8	12	-0.8751	0.8751	0.8751	0.6021	0.9031	1.0792			
5		6	14	20	-0.6990	0.6990	0.6990	0.7782	1.1461	1.3010			
2.5		22	42	64	-0.3979	0.3979	0.3979	1.3424	1.6232	1.8062			
10	S34	15	22	37	-1.0000	1.0000	1.0000	1.1761	1.3424	1.5682	1.6142	1.6918	1.6617
7.5		21	36	57	-0.8751	0.8751	0.8751	1.3222	1.5563	1.7559			
5		43	69	112	-0.6990	0.6990	0.6990	1.6335	1.8388	2.0492			
2.5		135	231	366	-0.3979	0.3979	0.3979	2.1303	2.3636	2.5635			
10	S35	39	48	87	-1.0000	1.0000	1.0000	1.5911	1.6812	1.9395	1.7730	1.7752	1.7742
7.5		59	73	132	-0.8751	0.8751	0.8751	1.7709	1.8633	2.1206			
5		120	153	273	-0.6990	0.6990	0.6990	2.0792	2.1847	2.4362			
2.5		445	548	993	-0.3979	0.3979	0.3979	2.6484	2.7388	2.9970			

Tabla 4. Dimensión fractal para el grupo P

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r(mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	P1	14	16	30	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.1461	1.2041	1.4771	1.6435	1.6314	1.6366
7.5		23	30	53	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.3617	1.4771	1.7243			
5		46	58	104	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.6628	1.7634	2.0170			
2.5		137	160	297	-0.3979	-0.3979	-0.3979	2.1367	2.2041	2.4728			
10	P2	8	12	20	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.9031	1.0792	1.3010	1.6192	1.6518	1.6390
7.5		12	20	32	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.0792	1.3010	1.5051			
5		24	38	62	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.3802	1.5798	1.7924			
2.5		74	120	194	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.8692	2.0792	2.2878			

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r(mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	P3	4	12	16	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	1.0792	1.2041	1.4655	1.4875	1.4818
7.5		6	16	22	-0.8751	-0.8751	-0.8751	0.7782	1.2041	1.3424			
5		12	32	44	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.0792	1.5051	1.6435			
2.5		30	90	120	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.4771	1.9542	2.0792			
10	P4	10	18	28	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000	1.2553	1.4472	1.4617	1.4218	1.4364
7.5		18	28	46	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.2553	1.4472	1.6628			
5		30	45	75	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.4771	1.6532	1.8751			
2.5		80	132	212	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.9031	2.1206	2.3263			
10	P5	10	13	23	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000	1.1139	1.3617	1.5279	1.5661	1.5494
7.5		14	17	31	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.1461	1.2304	1.4914			
5		26	34	60	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.4150	1.5315	1.7782			
2.5		81	108	189	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.9085	2.0334	2.2765			
10	P6	4	8	12	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	0.9031	1.0792	1.4696	1.4809	1.4772
7.5		7	14	21	-0.8751	-0.8751	-0.8751	0.8451	1.1461	1.3222			
5		12	24	36	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.0792	1.3802	1.5563			
2.5		32	65	97	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.5051	1.8129	1.9868			
10	P7	12	14	26	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0792	1.1461	1.4150	1.4645	1.4768	1.4708
7.5		17	23	40	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.2304	1.3617	1.6021			
5		30	35	65	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.4771	1.5441	1.8129			
2.5		90	113	203	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.9542	2.0531	2.3075			
10	P8	6	10	16	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.7782	1.0000	1.2041	1.6984	1.6314	1.6546
7.5		8	17	25	-0.8751	-0.8751	-0.8751	0.9031	1.2304	1.3979			
5		16	27	43	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.2041	1.4314	1.6335			
2.5		60	100	160	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.7782	2.0000	2.2041			
10	P9	10	12	22	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000	1.0792	1.3424	1.5204	1.5461	1.5347
7.5		14	17	31	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.1461	1.2304	1.4914			
5		24	34	58	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.3802	1.5315	1.7634			
2.5		81	99	180	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.9085	1.9956	2.2553			
10	P10	8	12	20	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.9031	1.0792	1.3010	1.6483	1.6953	1.6768
7.5		12	22	34	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.0792	1.3424	1.5315			
5		24	43	67	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.3802	1.6335	1.8261			
2.5		77	130	207	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.8865	2.1139	2.3160			

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r(mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	P11	4	9	13	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.4627	1.4485	1.4533
7.5		6	12	18	-0.8751	-0.8751	-0.8751	0.7782	1.0792	1.2553			
5		9	24	33	-0.6990	-0.6990	-0.6990	0.9542	1.3802	1.5185			
2.5		31	64	95	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.4914	1.8062	1.9777			
10	P12	4	12	16	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	1.0792	1.2041	1.5128	1.5328	1.5275
7.5		6	16	22	-0.8751	-0.8751	-0.8751	0.7782	1.2041	1.3424			
5		12	34	46	-0.6990	-0.6990	-	1.0792	1.5315	1.6628			
2.5		32	95	127	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.5051	1.9777	2.1038			
10	P13	4	9	13	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.6225	1.6567	1.6421
7.5		8	12	20	-0.8751	-0.8751	-0.8751	0.9031	1.0792	1.3010			
5		16	29	45	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.2041	1.4624	1.6532			
2.5		40	83	123	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.6021	1.9191	2.0899			
10	P14	7	12	19	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.8451	1.0792	1.2788	1.6967	1.6558	1.6706
7.5		13	17	30	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.1139	1.2304	1.4771			
5		26	34	60	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.4150	1.5315	1.7782			
2.5		76	115	191	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.8808	2.0607	2.2810			
10	P15	14	19	33	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.1461	1.2788	1.5185	1.5010	1.5904	1.5535
7.5		21	28	49	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.3222	1.4472	1.6902			
5		37	54	91	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.5682	1.7324	1.9590			
2.5		112	169	281	-0.3979	-0.3979	-0.3979	2.0492	2.2279	2.4487			
10	P16	6	8	14	-1.0000	-1.0000	-1	0.7782	0.9031	1.1461	1.2554	1.2924	1.2767
7.5		10	13	23	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.0000	1.1139	1.3617			
5		15	20	35	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.1761	1.3010	1.5441			
2.5		36	50	86	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.5563	1.6990	1.9345			
10	P17	10	20	30	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0000	1.3010	1.4771	1.6448	1.6631	1.6555
7.5		19	30	49	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.2788	1.4771	1.6902			
5		32	61	93	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.5051	1.7853	1.9685			
2.5		104	196	300	-0.3979	-0.3979	-0.3979	2.0170	2.2923	2.4771			
10	P18	8	11	19	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.9031	1.0414	1.2788	1.5023	1.5682	1.5415
7.5		12	17	29	-0.8751	-0.8751	-0.8751	1.0792	1.2304	1.4624			

Cabe resaltar que los resultados de las dimensiones fractales obtenidas en esta investigación difieren en pequeñas décimas de los resultados de dimensiones fractales obtenidos en los trabajos de Rodríguez y colaboradores [2], Signed y colaboradores [6] y Prieto y colaboradores [11], ya que Rodríguez y Prieto se enfocaron en una dinámica cardíaca cuya dependencia clínica se enfocaba en la fracción de eyección, mientras que Signed se enfoca en determinar las dimensiones fractales de la sístole y diástole de la ramificación coronaria izquierda por medio de angiografía.

Según los datos obtenidos en ambas tablas y por los antecedentes mencionados anteriormente, podemos afirmar que los rangos de las dimensiones fractales para la sístole, diástole y totalidad, no establecen una diferencia entre los grupos S y P, lo que verifica que las dimensiones fractales no son un parámetro de caracterización entre los grupos.

Para establecer los diagnósticos fractales para cada una de las muestras, después de haber calculado todas las dimensiones fractales en sístole, diástole y totalidad para cada caso, hacemos el uso de la armonía matemática intrínseca “AMI” [1,4]; se encontró que un paciente es sano cuando el grado de irregularidad difiere en la primera cifra decimal, mínimo en una de las tres comparaciones. Por ejemplo analizaremos los casos S24 y S31 sacados de la tabla 5.

En primer lugar tenemos los resultado fractales de dichos casos:

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
S24	0.9307	1.4320	1.2688				
S31	1.5785	1.7250	1.6710				

Ahora comparamos el primer parámetro (sístole y diástole) para cada caso, para S24 observamos que el resultado de las dimensiones fractales en sístole y diástole difieren en la unidad por lo que le asignamos el valor de 0 y que para S31 las unidades de las dimensiones fractales tienen el mismo valor numérico, por ende pasamos al siguiente número, que sería la primera cifra decimal, logrando notar que ambas cifras difieren, por lo que le asignamos el valor de 1.

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
S24	0.9307	1.4320	1.2688	0			
S31	1.5785	1.7250	1.6710	1			

A continuación comparamos el segundo parámetro (sístole y totalidad) para cada caso; para S24 observamos de igual manera que el resultado de las dimensiones fractales en sístole y totalidad difieren en la unidad, por lo que le asignamos el valor de 0 como en el caso anterior, y que para el caso S31 las unidades de las cifras decimales tienen el mismo valor numérico como en el parámetro anterior, por ende pasamos al siguiente número, que es nuevamente la primera cifra decimal, logrando notar que ambas cifras difieren, por lo que le asignamos el valor de 1 de igual forma.

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
S24	0.9307	1.4320	1.2688	0	0		
S31	1.5785	1.7250	1.6710	1	1		

Por ultimo analizaremos el tercer parámetro (diástole y totalidad), de igual forma para ambos caso, tenemos que para tanto S24 y S31 las unidades de sus dimensiones fractales en diástole y totalidad son iguales, por lo que pasamos al siguiente número,

que es la primera cifra decimal, observando que estas cifras difieren, por lo que les asignamos el valor de 1 en ambos casos, logrando finalmente completar el cuadro para poder dar el diagnostico fractal.

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
S24	0.9307	1.4320	1.2688	0	0	1	Sano
S31	1.5785	1.7250	1.6710	1	1	1	Sano

Por otro lado los pacientes con alguna patología cardiaca, es decir aquellos paciente enfermos, se caracterizan porque sus dimensiones fractales empiezan a diferenciarse a partir de la segunda cifra decimal, y en ninguna de las tres comparaciones se presentará diferencia en la primera cifra decimal (no aparecerá el valor de 1). Por ejemplo si analizamos los casos P5 y P11 sacados de la tabla 6.

En primer lugar tenemos los resultado fractales de dichos casos:

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
P5	1.5279	1.5661	1.5494				
P11	1.4627	1.4485	1.4533				

Ahora comparamos el primer parámetro (sístole y diástole) para ambos caso, observamos que para P5 y P11 el resultado de las dimensiones fractales en sístole y diástole en sus unidades son iguales, por ende pasamos a la siguiente cifra que sería la primera cifra decimal, pero también observamos que en la primera cifra decimal los números son iguales, por lo tanto pasamos a la segunda cifra decimal, en la cual notamos que difieren, por lo que correspondería el valor de 2

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
P5	1.5 2 79	1.5 6 61	1.5494	2			
P11	1.4 6 27	1.4 4 85	1.4533	2			

A continuación comparamos el segundo parámetro (sístole y totalidad) para ambos caso, observamos que para P5 y P11, el resultado de las dimensiones fractales en sístole y totalidad en sus unidades son iguales, como en el caso anterior , por ende pasamos a la siguiente cifra que sería la primera cifra decimal, pero también observamos que en la primera cifra decimal los números son iguales, por lo tanto pasamos a la segunda cifra decimal, en la cual notamos que difieren, por lo que correspondería el valor de 2 nuevamente.

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
P5	1.5 2 79	1.5661	1.54 9 4	2	2		
P11	1.4 6 27	1.4485	1.4 5 33	2	2		

Por ultimo analizaremos el tercer parámetro (diástole y totalidad), de igual forma para ambos caso, tenemos que para tanto P5 y P11 las unidades de sus dimensiones fractales en diástole y totalidad son iguales, por lo que pasamos al siguiente número, que es la primera cifra decimal, pero también observamos que en la primera cifra decimal los números son iguales , por lo tanto pasamos a la segunda cifra decimal , en la cual notamos que difieren , por lo que le correspondería el valor de 2, y así finalmente completamos el cuadro para poder dar el diagnostico fractal.

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
P5	1.5279	1.5 6 61	1.54 9 4	2	2	2	Enfermo
P11	1.4627	1.4485	1.4 5 33	2	2	2	Enfermo

En uno de los casos, el paciente S22 (ver tabla 5), tiene un valor de 0 en las primeras comparaciones (sístole-diástole y sístole-totalidad) y un valor de 2 en la tercera comparación (diástole-totalidad), por lo que podemos decir que es un paciente posiblemente enfermo (P.E) o en vías de desarrollo hacia la enfermedad, por lo que debe observarse su evolución en el tiempo.

Tabla 5. Diagnósticos fractales del grupo S

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
S1	1.6649	1.7914	1.7424	1	1	2	sano
S2	1.4655	1.7696	1.6977	1	1	1	sano
S3	1.4749	1.5497	1.5233	1	1	2	sano
S4	1.5881	1.4761	1.5218	1	2	1	sano
S5	1.4827	1.5372	1.5127	1	1	2	sano
S6	1.4386	1.4040	1.4186	2	2	2	enfermo
S7	1.3149	1.3496	1.3359	2	2	2	enfermo
S8	1.5512	1.6070	1.5835	1	2	1	sano
S9	1.2676	1.2972	1.2878	2	2	2	enfermo
S10	1.4138	1.6356	1.5541	1	1	1	sano
S11	1.7706	1.5175	1.6038	1	1	1	sano
S12	1.2512	1.4289	1.3705	1	1	1	sano
S13	1.7077	1.5392	1.5849	1	1	2	sano
S14	1.5840	1.6647	1.6310	1	1	2	sano
S15	1.2003	1.6578	1.5503	1	1	1	sano
S16	1.2113	1.4415	1.3733	1	1	1	sano
S17	1.2212	1.3898	1.3439	1	1	2	sano
S18	1.7181	1.7208	1.7198	2	3	2	enfermo
S19	1.6944	1.5686	1.6104	1	2	1	sano
S20	1.2434	1.5279	1.4231	1	1	1	sano
S21	1.1545	1.5566	1.4151	1	1	1	sano
S22	2.0369	1.9544	1.9793	0	0	2	P.E
S23	1.4655	1.5991	1.5486	1	1	2	sano
S24	0.9307	1.4320	1.2688	0	0	1	sano
S25	1.0799	1.4892	1.3683	1	1	1	sano
S26	1.3462	1.5601	1.4915	1	1	1	sano
S27	1.6591	1.5055	1.5758	1	1	2	sano
S28	1.7224	1.7965	1.7664	2	2	2	enfermo
S29	1.5516	1.6784	1.6310	1	1	2	sano
S30	1.4712	1.6491	1.5834	1	1	1	sano
S31	1.5785	1.7250	1.6710	1	1	1	sano
S32	1.6974	1.7563	1.7311	1	1	2	sano
S33	1.6655	1.6458	1.6528	2	2	2	enfermo
S34	1.6142	1.6918	1.6617	2	2	2	enfermo
S35	1.7730	1.7752	1.7742	3	3	3	enfermo

Tabla 6. Diagnósticos fractales del grupo P

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
P1	1.6435	1.6314	1.6366	2	2	3	enfermo
P2	1.6192	1.6518	1.6390	2	2	2	enfermo
P3	1.4655	1.4875	1.4818	2	2	3	enfermo
P4	1.4617	1.4218	1.4364	2	2	2	enfermo
P5	1.5279	1.5661	1.5494	2	2	2	enfermo
P6	1.4696	1.4809	1.4772	2	2	2	enfermo
P7	1.4645	1.4768	1.4708	2	2	3	enfermo
P8	1.6984	1.6314	1.6546	2	2	2	enfermo
P9	1.5204	1.5461	1.5347	2	2	2	enfermo
P10	1.6483	1.6953	1.6768	2	2	2	enfermo
P11	1.4627	1.4485	1.4533	2	2	2	enfermo
P12	1.5128	1.5328	1.5275	2	2	2	enfermo
P13	1.6225	1.6567	1.6421	2	2	2	enfermo
P14	1.6967	1.6558	1.6706	2	2	2	enfermo
P15	1.5010	1.5904	1.5535	2	2	2	enfermo
P16	1.2554	1.2924	1.2767	2	2	2	enfermo
P17	1.6448	1.6631	1.6555	2	2	2	enfermo
P18	1.5023	1.5682	1.5415	2	2	2	enfermo
P19	1.3947	1.3360	1.3576	2	2	2	enfermo
P20	1.3050	1.3830	1.3559	2	2	2	enfermo
P21	1.7827	1.7732	1.7773	2	2	3	enfermo
P22	1.5518	1.5915	1.5758	2	2	2	enfermo
P23	1.5453	1.5996	1.5768	2	2	2	enfermo

Para una mayor confiabilidad de los resultados de los diagnósticos fractales, se consideró añadir más rejillas para analizar algunos casos de los grupos S y P, con el fin de verificar los resultados fractales ya obtenidos anteriormente con cuatro rejillas; las cuadrículas de las rejillas tomadas en cuenta para estos casos fueron de 10,9,8,7,6,5,4,3 y 2.5 mm. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Dimensiones fractales de algunos ejemplos de los grupos S y P

Rejilla	Caso	N			Log(1/r)			Log(N)			Dimensión Fractal		
r (mm)		S	D	T	S	D	T	S	D	T	S	D	T
10	S1	16	23	39	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.2041	1.3617	1.5911	1.5905	1.6911	1.6513
9		20	29	49	-0.9542	-0.9542	-0.9542	1.3010	1.4624	1.6902			
8		24	32	56	-0.9031	-0.9031	-0.9031	1.3802	1.5051	1.7482			
7		26	43	69	-0.8451	-0.8451	-0.8451	1.4150	1.6335	1.8388			
6		31	52	83	-0.7782	-0.7782	-0.7782	1.4914	1.7160	1.9191			
5		49	81	130	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.6902	1.9085	2.1139			
4		70	103	173	-0.6021	-0.6021	-0.6021	1.8451	2.0128	2.2380			
3		95	149	244	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.9777	2.1732	2.3874			
2.5		162	279	441	-0.3979	-0.3979	-0.3979	2.2095	2.4456	2.6444			
10	S16	4	9	13	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	0.9542	1.1139	1.1949	1.3448	1.2975
9		4	9	13	-0.9542	-0.9542	-0.9542	0.6021	0.9542	1.1139			
8		6	9	15	-0.9031	-0.9031	-0.9031	0.7782	0.9542	1.1761			
7		6	12	18	-0.8451	-0.8451	-0.8451	0.7782	1.0792	1.2553			
6		6	15	21	-0.7782	-0.7782	-0.7782	0.7782	1.1761	1.3222			
5		9	22	31	-0.6990	-0.6990	-0.6990	0.9542	1.3424	1.4914			
4		12	27	39	-0.6021	-0.6021	-0.6021	1.0792	1.4314	1.5911			
3		15	30	45	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.1761	1.4771	1.6532			
2.5		22	62	84	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.3424	1.7924	1.9243			
10	S24	4	6	10	-1	-1	-1	0.6021	0.7782	1.0000	0.8993	1.1637	1.0778
9		4	7	11	-0.9542	-0.9542	-0.9542	0.6021	0.8451	1.0414			
8		6	8	14	-0.9031	-0.9031	-0.9031	0.7782	0.9031	1.1461			
7		6	9	15	-0.8451	-0.8451	-0.8451	0.7782	0.9542	1.1761			
6		9	9	18	-0.7782	-0.7782	-0.7782	0.9542	0.9542	1.2553			
5		9	15	24	-0.6990	-0.6990	-0.6990	0.9542	1.1761	1.3802			
4		9	15	24	-0.6021	-0.6021	-0.6021	0.9542	1.1761	1.3802			
3		12	16	28	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.0792	1.2041	1.4472			
2.5		15	44	59	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.1761	1.6435	1.7709			
10	S28	12	17	29	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.0792	1.2304	1.4624	1.6687	1.6964	1.6855
9		13	15	28	-0.9542	-0.9542	-0.9542	1.1139	1.1761	1.4472			

8		15	19	34	-0.9031	-0.9031	-0.9031	1.1761	1.2788	1.5315			
7		19	26	45	-0.8451	-0.8451	-0.8451	1.2788	1.4150	1.6532			
6		24	30	54	-0.7782	-0.7782	-0.7782	1.3802	1.4771	1.7324			
5		37	43	80	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.5682	1.6335	1.9031			
4		48	58	106	-0.6021	-0.6021	-0.6021	1.6812	1.7634	2.0253			
3		69	82	151	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.8388	1.9138	2.1790			
2.5		130	200	330	-0.3979	-0.3979	-0.3979	2.1139	2.3010	2.5185			
10	S31	4	6	10	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.6021	0.7782	1.0000	1.3912	1.4739	1.4430
9		4	8	12	-0.9542	-0.9542	-0.9542	0.6021	0.9031	1.0792			
8		4	9	13	-0.9031	-0.9031	-0.9031	0.6021	0.9542	1.1139			
7		6	12	18	-0.8451	-0.8451	-0.8451	0.7782	1.0792	1.2553			
6		9	15	24	-0.7782	-0.7782	-0.7782	0.9542	1.1761	1.3802			
5		12	24	36	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.0792	1.3802	1.5563			
4		12	24	36	-0.6021	-0.6021	-0.6021	1.0792	1.3802	1.5563			
3		12	25	37	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.0792	1.3979	1.5682			
2.5		35	69	100	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.5441	1.8388	2.0170			
10	S33	2	4	6	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.3010	0.6021	0.7782	1.5860	1.5955	1.5904
9		2	4	6	-0.9542	-0.9542	-0.9542	0.3010	0.6021	0.7782			
8		4	6	10	-0.9031	-0.9031	-0.9031	0.6021	0.7782	1.0000			
7		4	9	13	-0.8451	-0.8451	-0.8451	0.6021	0.9542	1.1139			
6		6	14	20	-0.7782	-0.7782	-0.7782	0.7782	1.1461	1.3010			
5		6	14	20	-0.6990	-0.6990	-0.6990	0.7782	1.1461	1.3010			
4		9	18	27	-0.6021	-0.6021	-0.6021	0.9542	1.2553	1.4314			
3		12	23	35	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.0792	1.3617	1.5441			
2.5		22	42	64	-0.3979	-0.3979	-0.3979	1.3424	1.6232	1.8062			
10	P1	14	16	30	-1.0000	-1.0000	-1.0000	1.1461	1.2041	1.4771	1.4375	1.4505	1.4447
9		20	25	45	-0.9542	-0.9542	-0.9542	1.3010	1.3979	1.6532			
8		24	29	53	-0.9031	-0.9031	-0.9031	1.3802	1.4624	1.7243			
7		31	39	70	-0.8451	-0.8451	-0.8451	1.4914	1.5911	1.8451			
6		36	46	82	-0.7782	-0.7782	-0.7782	1.5563	1.6628	1.9138			
5		46	58	104	-0.6990	-0.6990	-0.6990	1.6628	1.7634	2.0170			
4		66	85	151	-0.6021	-0.6021	-0.6021	1.8195	1.9294	2.1790			
3		73	92	165	-0.4771	-0.4771	-0.4771	1.8633	1.9638	2.2175			

[illegible]

Tabla 8. Verificación de diagnósticos fractales

Casos	Dimensión Fractal			Armonía Matemática Intrínseca(AMI)			Diagnostico
	S	D	T	S y D	S y T	D y T	
S1	1.5905	1.6911	1.6513	1	1	2	Sano
S16	1.1949	1.3448	1.2975	1	1	1	Sano
S24	0.8993	1.1637	1.0778	0	0	1	Sano
S28	1.6687	1.6964	1.6855	2	2	2	Enfermo
S31	1.3912	1.4739	1.4430	1	1	2	Sano
S33	1.5860	1.5955	1.5904	2	2	3	Enfermo
P1	1.4375	1.4505	1.4447	2	2	2	Enfermo
P5	1.5343	1.5298	1.5307	2	3	2	Enfermo
P11	1.3182	1.3533	1.3426	2	2	2	Enfermo
P21	1.7545	1.7972	1.7778	2	2	2	Enfermo

En la Tabla 8 podemos confirmar los mismos diagnósticos fractales que habíamos ya obtenido en las Tablas 5 y 6, con el cual queda comprobado que si se usa 4 o más rejillas se llega a los resultados de los diagnósticos fractales establecidos anteriormente.

Tabla 9. Comparación de los diagnósticos clínicos y fractales del grupo S

Casos	Edades	Diagnósticos Clínicos	Diagnóstico fractales
S1	14 años	Corazón sano	Sano
S2	14 años	Corazón sano	Sano
S3	14 años	Corazón sano	Sano
S4	17 años	Corazón sano	Sano
S5	17 años	Corazón sano	Sano
S6	22 años	Corazón sano	Enfermo
S7	34 años	Corazón sano	Enfermo
S8	38 años	Corazón sano	Sano
S9	27 años	Corazón sano	Enfermo
S10	12 años	Corazón sano	Sano
S11	11 años	Corazón sano	Sano
S12	11 años	Corazón sano	Sano
S13	10 años	Corazón sano	Sano
S14	11 años	Corazón sano	Sano
S15	15 años	Corazón sano	Sano
S16	6 años	Corazón sano	Sano
S17	15 años	Corazón sano	Sano
S18	11 años	Corazón sano	Enfermo
S19	17 años	Corazón sano	Sano
S20	36 años	Corazón sano	Sano
S21	29 años	Corazón sano	Sano
S22	15 años	Corazón sano	P.E
S23	35 años	Corazón sano	Sano
S24	13 años	Corazón sano	Sano
S25	15 años	Corazón sano	Sano
S26	29 años	Corazón sano	Sano
S27	40 años	Corazón sano	Sano
S28	9 años	Corazón sano	Enfermo
S29	8 años	Corazón sano	Sano
S30	8 años	Corazón sano	Sano
S31	6 años	Corazón sano	Sano
S32	6 años	Corazón sano	Sano
S33	7 años	Corazón sano	Enfermo
S34	6 años	Corazón sano	Enfermo
S35	5 años	Corazón sano	Enfermo

Tabla 10. Comparación de los diagnósticos clínicos y fractales del grupo P

Casos	Edad	Diagnósticos Clínicos	Diagnósticos Fractales
P1	29 años	Endocarditis infecciosa de válvula mitral	Enfermo
P2	40 años	HVI concéntrica leve, DDVI tipo II	Enfermo
P3	40 años	FSBV conservada, DDVI tipo II, Insuficiencia mitral leve	Enfermo
P4	28 años	HVI severo excéntrica, FSVI deprimido leve, FSVD concéntrica	Enfermo
P5	37 años	HVI severo concéntrico, FSBV conservada, DDVI tipo I, normotensión pulmonar	Enfermo
P6	26 años	Esclerosis Valvular Ao, FSBV conservada, FDVI conservado	Enfermo
P7	38 años	CIA, HTP severa, Dilatación severa AI	Enfermo
P8	25 años	Cardiomiopatía dilatada, insuficiencia mitral moderada-severa, FSVI disminuido	Enfermo
P9	32 años	Post operación válvula mitral + plastia tricúspide ,prótesis control mecánico, FSVI deprimida	Enfermo
P10	34 años	Post operado de coartación de Ao	Enfermo
P11	23 años	Insuficiencia Mitral moderada	Enfermo
P12	24 años	FSBV conservada, dilatación leve de AI	Enfermo
P13	24 años	FSBV conservado, no DDVI, normotensión pulmonar, insuficiencia mitral	Enfermo
P14	34 años	FSBV conservada, DDVI tipo II, dilatación leve de AI	Enfermo
P15	38 años	CIV , dilatación de cavidad izquierda , FSBV conservada de Hipertensión pulmonar	Enfermo
P16	40 años	FSBV conservada, DDVI tipo I, Dilatación de Ao leve	Enfermo
P17	26 años	HVI severa concéntrica, FSBV conservado, DDVI tipo I, dilatación moderada de AI	Enfermo
P18	35 años	FSBV conservada, DDVI tipo I, Ao leve concéntrica	Enfermo
P19	40 años	Pericárdico moderado	Enfermo
P20	40 años	HVI leve, FSBV conservada , DDVI tipo II	Enfermo
P21	35 años	Cardiopatía congénita acianótica, CIA	Enfermo
P22	38 años	Ausencia de cardiopatía arterial, FBV normal, normotensión arterial pulmonar	Enfermo
P23	38 años	Cardiopatía reumática doble lesión mitral.	Enfermo

De acuerdo a la metodología desarrollada y con la ayuda de la tabla 9, de los 35 casos diagnosticados clínicamente como corazones sanos, aproximadamente el 25,71% de los pacientes del grupo S, que corresponden a 9 de ellos, fueron diagnosticados por el método fractal como corazones enfermos o en vía de posible enfermedad. A partir de todos los hallazgos encontrados, se acepta la hipótesis propuesta en la investigación que establece que a través de dimensiones fractales, se permitirá la evaluación simultánea en sístole y diástole de la estructura ventricular izquierda, estableciendo un parámetro entre salud y enfermedad; a la vez de optimizar los diagnósticos clínicos convencionales garantizando la objetividad del método fractal.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El presente trabajo desarrollado nos permite evaluar de manera simultánea la estructura ventricular izquierda en sístole y diástole, evaluando cada caso de manera objetiva a partir de las características geométricas del ventrículo izquierdo, independientemente de la patología especificada por el diagnóstico clínico (o en todo caso si es diagnosticado “sano”) y de la edad del paciente; así se demostró que las dimensiones fractales establecen diferencias matemáticas entre salud y enfermedad,
- Los diagnósticos clínicos de las diferentes muestras anteriormente estudiadas tanto en los grupos S y P, fueron proporcionados por los médicos especialistas del área de cardiología, logrando establecer que 9 de los 35 corazones evaluados clínicamente sanos, se encuentran en un estado de enfermedad o evolución hacia una posible enfermedad.
- Se ha logrado establecer las dimensiones fractales a través del método fractal de Box-Counting de las imágenes ecocardiográficas en sístole, diástole y totalidad, verificando que las dimensiones fractales no son un parámetro de caracterización entre los grupos.
- Se concluye que los diagnósticos fractales obtenidos por la armonía matemática intrínseca a través de las dimensiones fractales de las imágenes ecocardiográficas evaluadas, se asocian con un estado de salud cuando aparece el valor de 1 en cualquiera de las tres comparaciones (sístole-diástole, sístole-totalidad o diástole-totalidad); mientras que si presentan un valor de 2, 3 y 4 en más de una comparación sin un valor de 1, como mínimo, se asocia a un estado de enfermedad. En caso de que en la tercera comparación (diástole-totalidad) tenga un valor de 2 y el resto de comparaciones un valor de 0, posiblemente estén asociados a una posible evolución hacia la enfermedad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable que durante el proceso del conteo de cuadrículas de las imágenes ecocardiográficas a través de las rejillas, se use una pequeña lupa para una mayor visión, y que para próximos estudios se tome en cuenta más rejillas con cuadrículas de diferentes longitudes para una mejor precisión de las dimensiones fractales.
- Para próximas investigaciones de este tema, sería muy recomendable crear un software que permita directamente obtener las dimensiones fractales a partir del método de Box-Counting, es decir, con simplemente agregar las imágenes ecocardiográficas al software obtenga de manera automática los resultados para cada tipo de rejillas que se esté usando, con el fin de optimizar aún más los diagnósticos clínicos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rodriguez J, Prieto S, Correa C, Bernal P, Alvarez L, Forero G, et al. Diagnostico matematico de ecocardiografias pediatricas con medidas de dimension fractal evaluadas con armonica matematica intrinseca. Rev Colomb Cardiol 2010; 17: 79-86.
- [2] Rodriguez J, Prieto S, Correa C, Bernal P, Alvarez L, Forero G, et al. Diagnostico fractal del ventriculograma cardiaco izquierdo. Geometria fractal del ventriculograma durante la dinamica cardiaca. Rev Colomb Cardiol 2012; 19: 18-24.
- [3] Huikuri HV, Makikallia TH, Peng Ch, Goldberger AL, Hintze U, Moller M. Fractal Propiedades de correlación fractal de la dinámica del intervalo RR y la mortalidad en pacientes con función ventricular izquierda deprimida después de un infarto agudo de miocardio. Circulación 2000; 101: 47-53.
- [4] Rodriguez J, Mariño M, Avilan N, Echeverri D, Medidas fractales de las arterias coronarias en un modelo experimental de reestenosis; Armonia matematica intrinseca de la estructura arterial. Rev Col Cardiol 2002; 10 : 65-72
- [5] Bourbakian. (21 May.2017). Geometría fractal y medicina. 18 Feb.2018, de Blog de Contar Sitio web: <https://elblogdecontar.wordpress.com/2017/05/21/geometria-fractal-y-medicina/>
- [6] Javier O. Rodriguez MD, Signed E. Prieto, Sandra C. Correa PSY, Pedro A. Bernal, Diego Tapia, Luisa F. Alvarez, Jessica T. Mora, Sarith M. Vitery, Diego G. Salamanca. Diagnostico Fractal de disfuncion cardiaca. Dinamica fractal de la ramificacio coronaria izquierda. Rev Col Cardiol 2012; 19 : 225-232
- [7] Manuel Martínez- Lavín. (2011). Caos, Complejidad y Cardiología. 18 Feb.2018, de Archivos de Cardiología de México Sitio web:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402012000100009

[8] Ríos. J, Martínez, Del Baño.M. (11 Nov.2011). Análisis fractal y textural de imagen ecográfica de tendón: herramienta para la investigación clínica. 18 Feb.2018, de Facultad de Ciencias de la Salud. UCAM.Murcio (España) Sitio web: http://www.jornadasdefisioterapia.info/recursos/1jif/com03_1.pdf

[9] Rodríguez.J, Prieto.S, Posso.H. (2016). Fractales: Ayuda Diagnostica para Células Pre neoplásicas y Cancerígenas del epitelio Escamoso Cervical Confirmación de Aplicabilidad Clínica. Revista Med.24:1:79-88.

[10] Luque.B, Agea.A, (2012). Fractales en la Red. 18 Feb.2018, de Revista Digital Matemática, Educación e Internet Sitio web: <http://www.dmae.upm.es/cursofractales/index.htm>

[11] Rodríguez.J, Prieto.S, Ortiz.L, Avilan.N, Álvarez.L, (2006). Comportamiento fractal del Ventrículo Izquierdo durante la dinámica cardiaca. Revista Colombiana de Cardiología, 13 No.3, 165-170.

[12] Suaide.E. (2010). Ecocardiografía Principios y Aplicaciones Clínicas TOMO 1. Venezuela: AMOLCA.

[13] Vargas.A. (2008). Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomia del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos. *Medigraphic*, (6), 361-373,

[14] Rodríguez.M, Alejandro.J, Oyaga.V, Cantor.S, Susana del Pilar. (2007). Fundamentos Teoricos-Practicos del Ultrasonido. Tecnura, 10, 4 - 18.

- [15] Luthra, A. (2010). *Ecocardiografía fácil segunda edición*. Madrid: Mc Graw Hill
- [16] Pineda, C. (2012). Principios físicos básicos del ultrasonido. *Medigraphi*, (1), 25-34,
- [17] Alejandro Vidal. (16 Oct. 2015). Principios básicos del ultrasonido y la ecocardiografía final. 19 Feb.2018, de Prezi Inc Sitio web: <https://prezi.com/hrlavt8imvn0/principios-basicos-del-ultrasonido-y-la-ecocardiografia-final/>
- [18] Gerard J.Tortora, Bryan Derrickson. (2011). Principios de Anatomía y Fisiología, 11a Edición. México: Panamericana.
- [19] Luis R.Barone. (2008). Anatomía y Fisiología del Cuerpo Humano. Buenos Aires, Argentina: Cultural Librería Americana.
- [20] Morales.P. (18 de Marzo del 2011). *Los ventrículos del corazón*. La Guia2000. Biología Recuperada de <https://biologia.laguia2000.com/anatomia-animal/anatomia-humana/los-ventriculos-del-corazon>
- [21] MedinePlus. (2017). Temas de Salud. 28 Feb.2018, de Biblioteca Nacional de Medicina (BNM) Sitio web: https://medlineplus.gov/spanish/?_ga=2.194037291.720066170.1519821275-913299861.1516744511

[22] Bartolo Luque, Aida Agea. (2012). Fractales en la Red. 18 Feb.2018, de Revista Digital Matemática, Educación e Internet Sitio web: <http://www.dmae.upm.es/cursofractales/index.htm>

[23] Menendez, M. (2016). *Las Ondas de Elliot, Comportamiento Fractal de los Mercados Financieros*. Barcelona: PROFIT

[24] Peitgen, H, Ritcher.P,(1986); The Beauty of Fractals,Nueva York-Tokio Springer-Verlag.

[25] J.Azor.M. (2013). Dimensión fractal mediante Box Counting. 27 Feb.2018, de Universidad de Mendoza Sitio web: http://www.um.edu.ar/catedras/ANASEN/document/fractal/box_counting.pdf

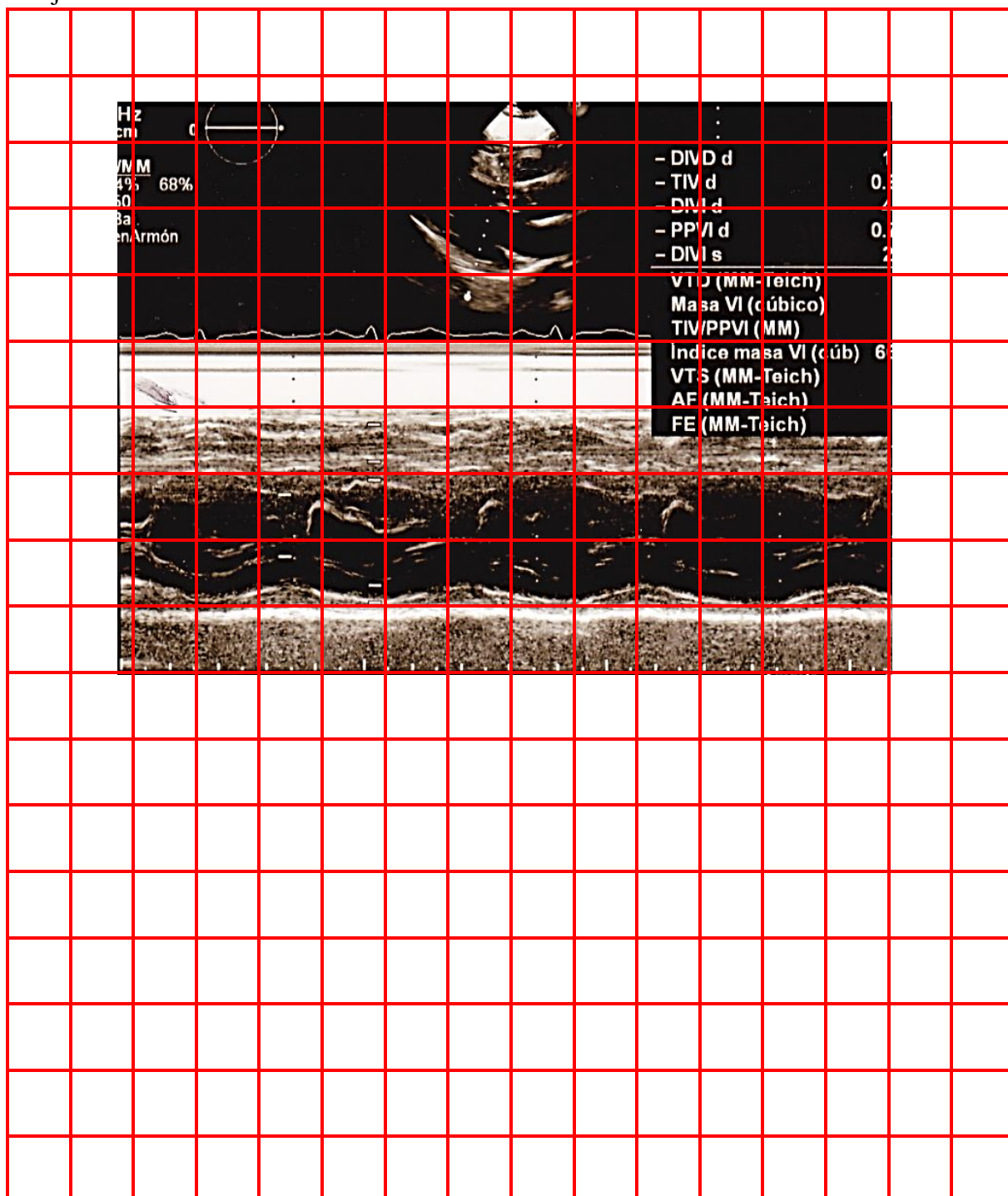
[26] Jairo Serrano. (01 Oct.2013). Fundamentos de ecografía. 20 Feb.2018, de Prosegran Sitio web: <http://jairoserano.com/2013/10/fundamentos-de-ecografia/>

ANEXOS

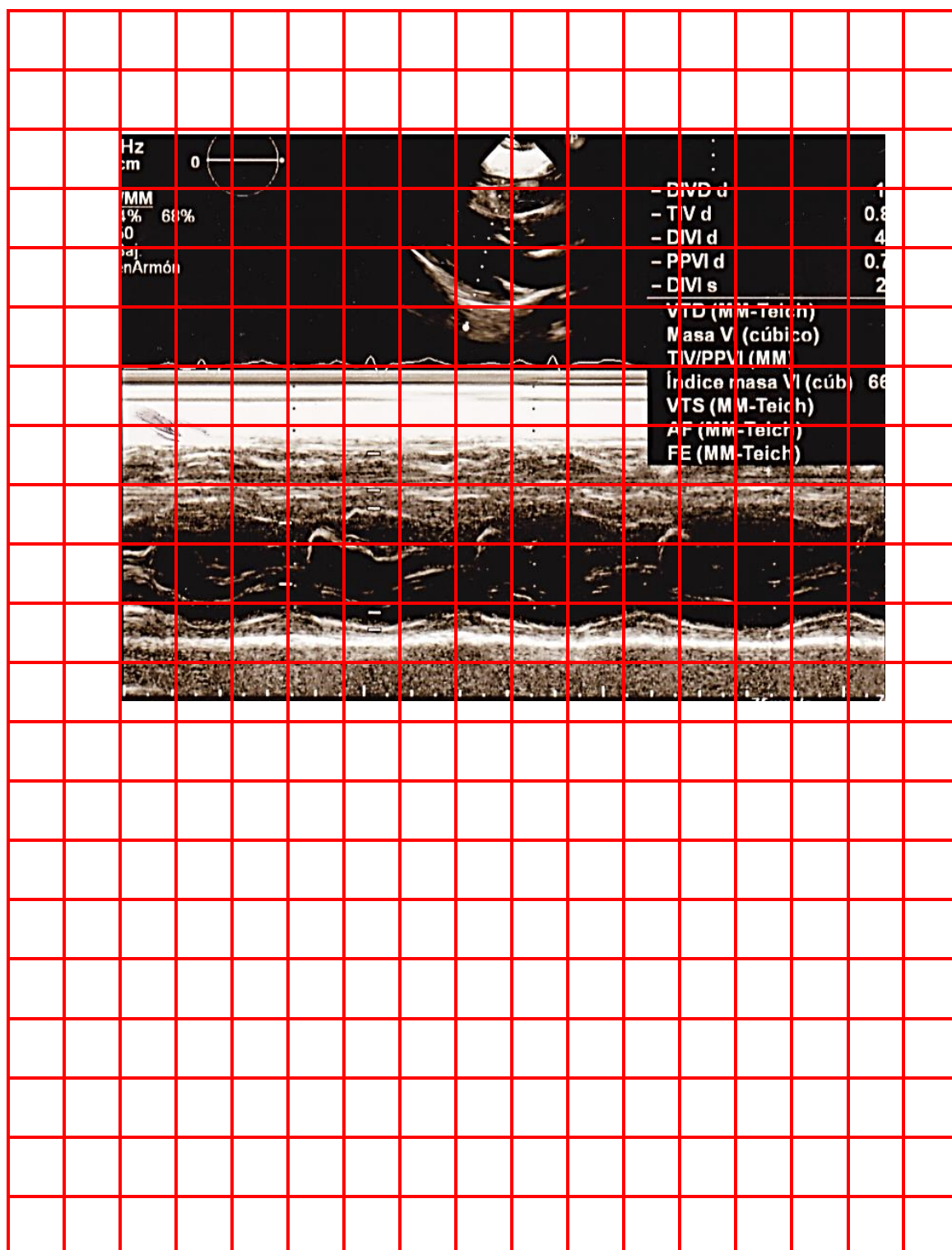
Ejemplos de algunos casos de los grupos S y P

CASO "S24"

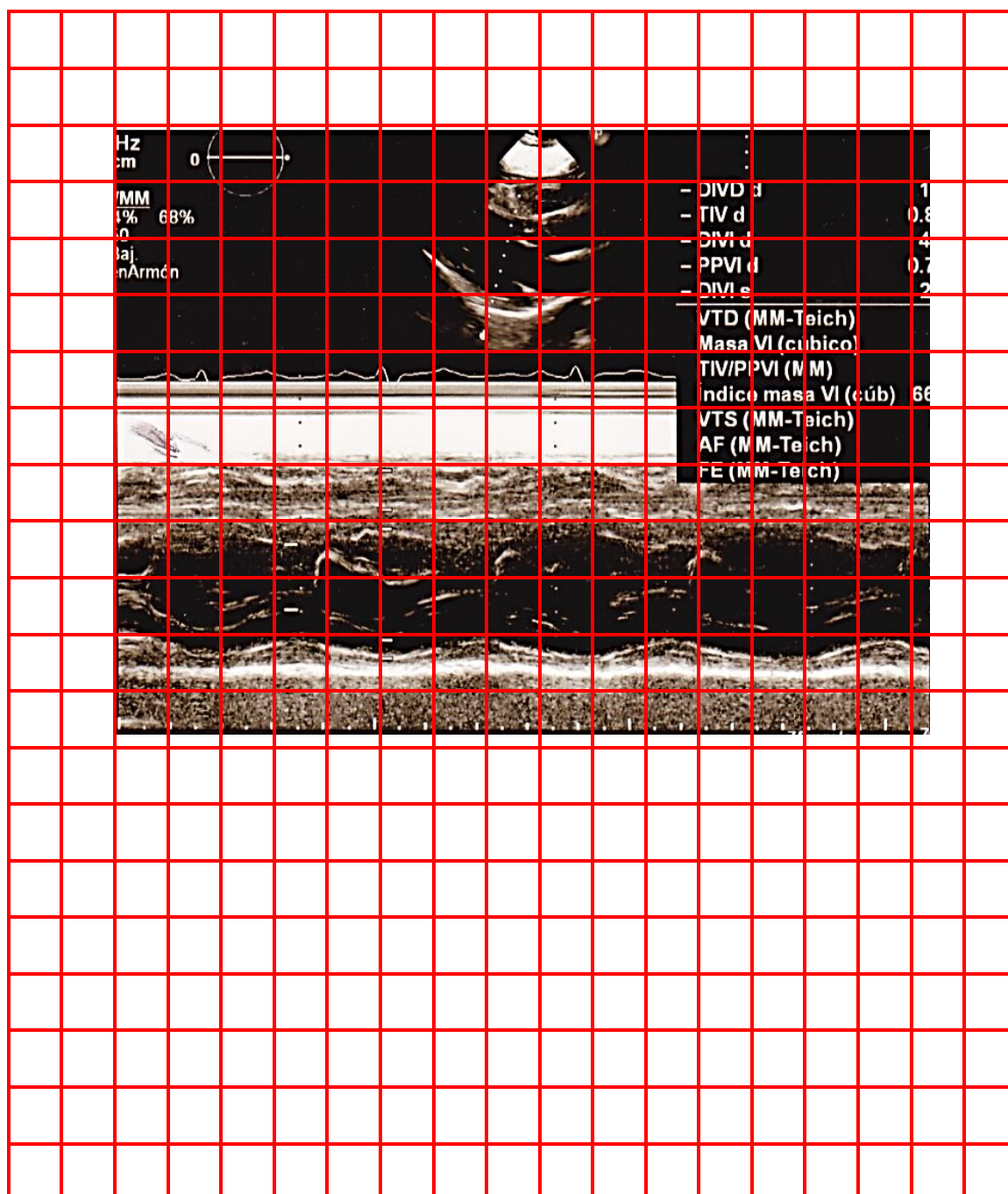
Rejilla milimetrada de 10 mm



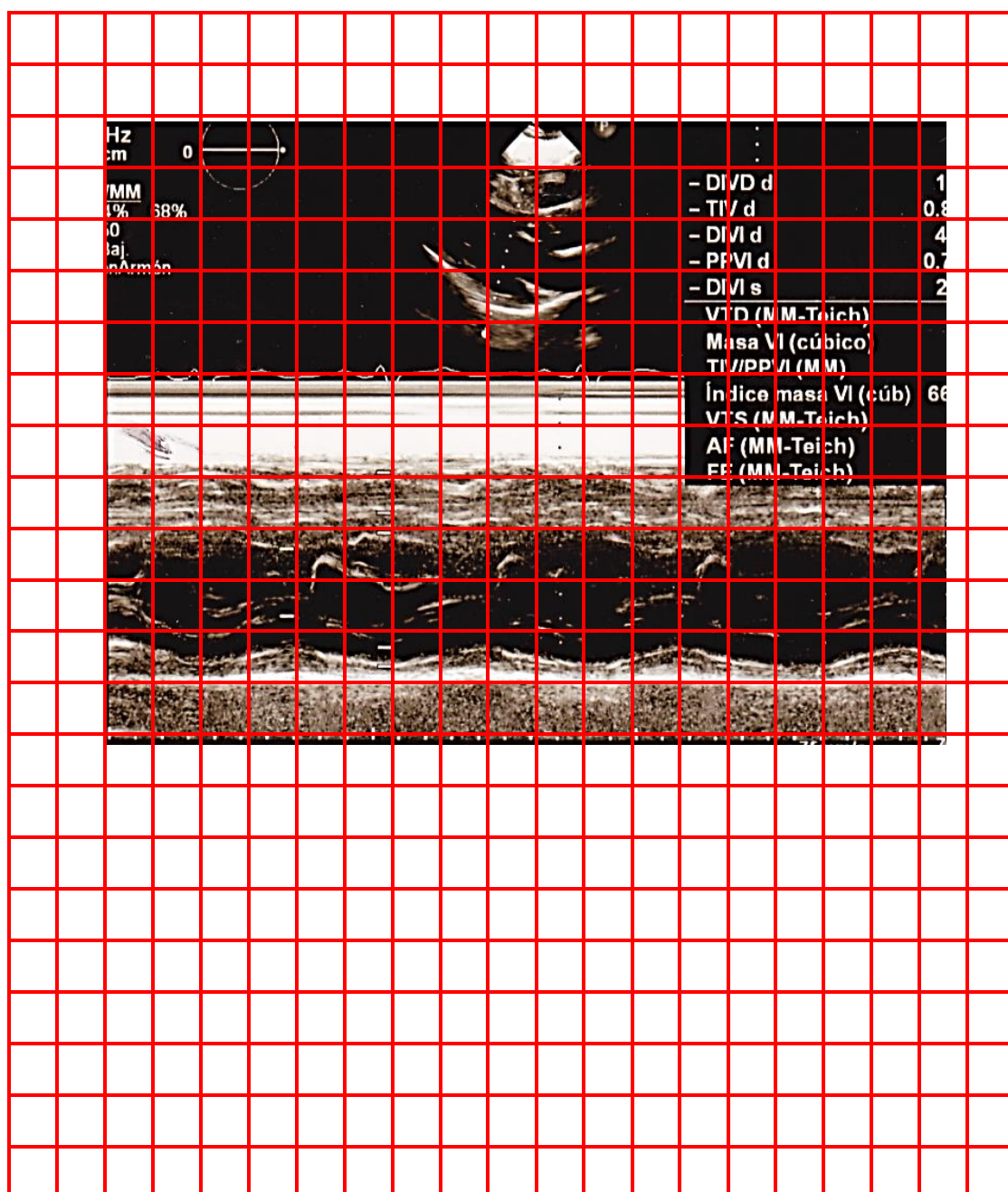
Rejilla milimetrada de 9 mm



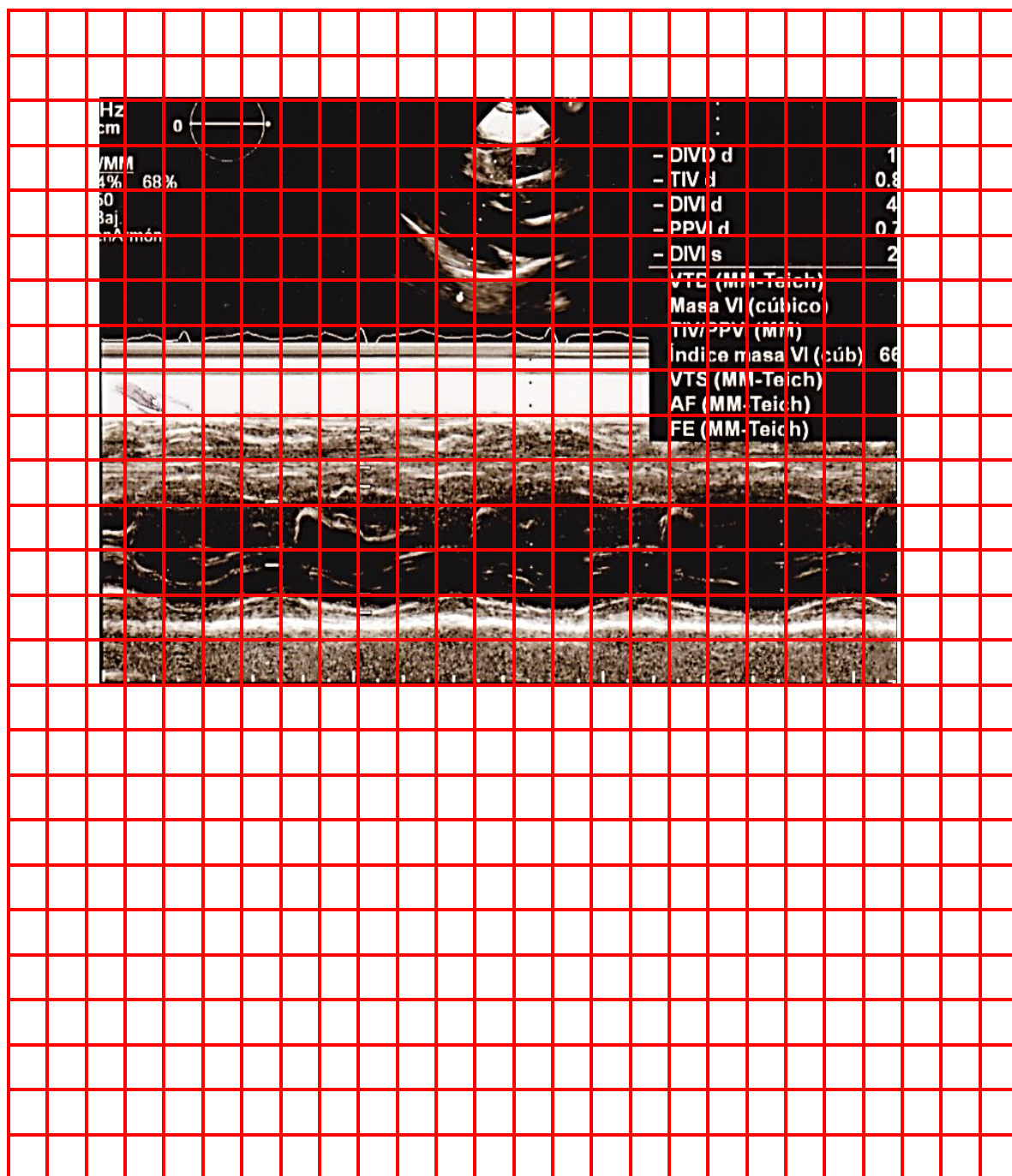
Rejilla milimetrada de 8 mm



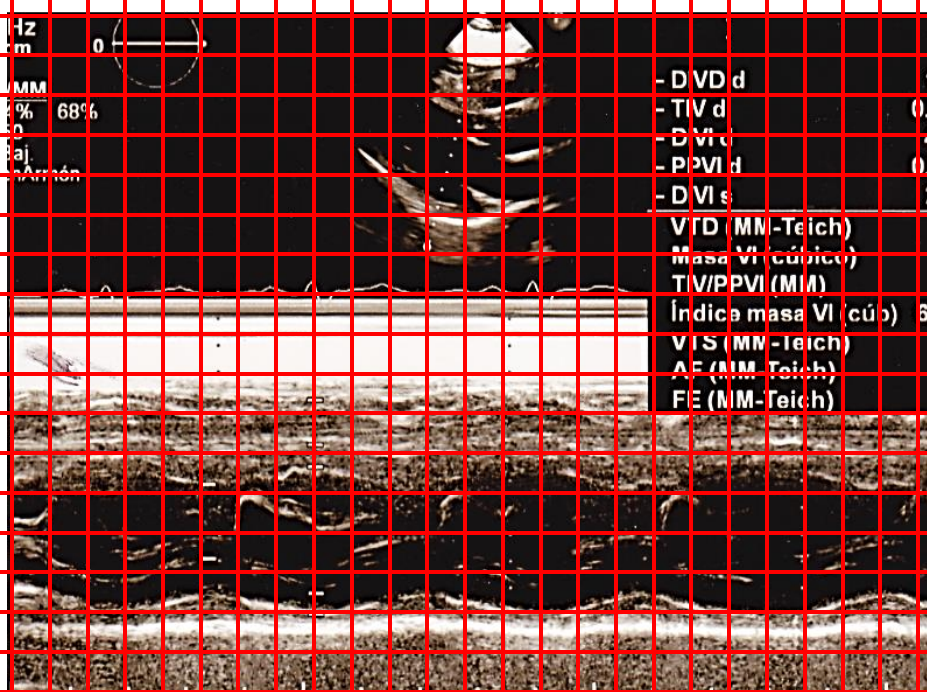
Rejilla milimetrada de 7 mm



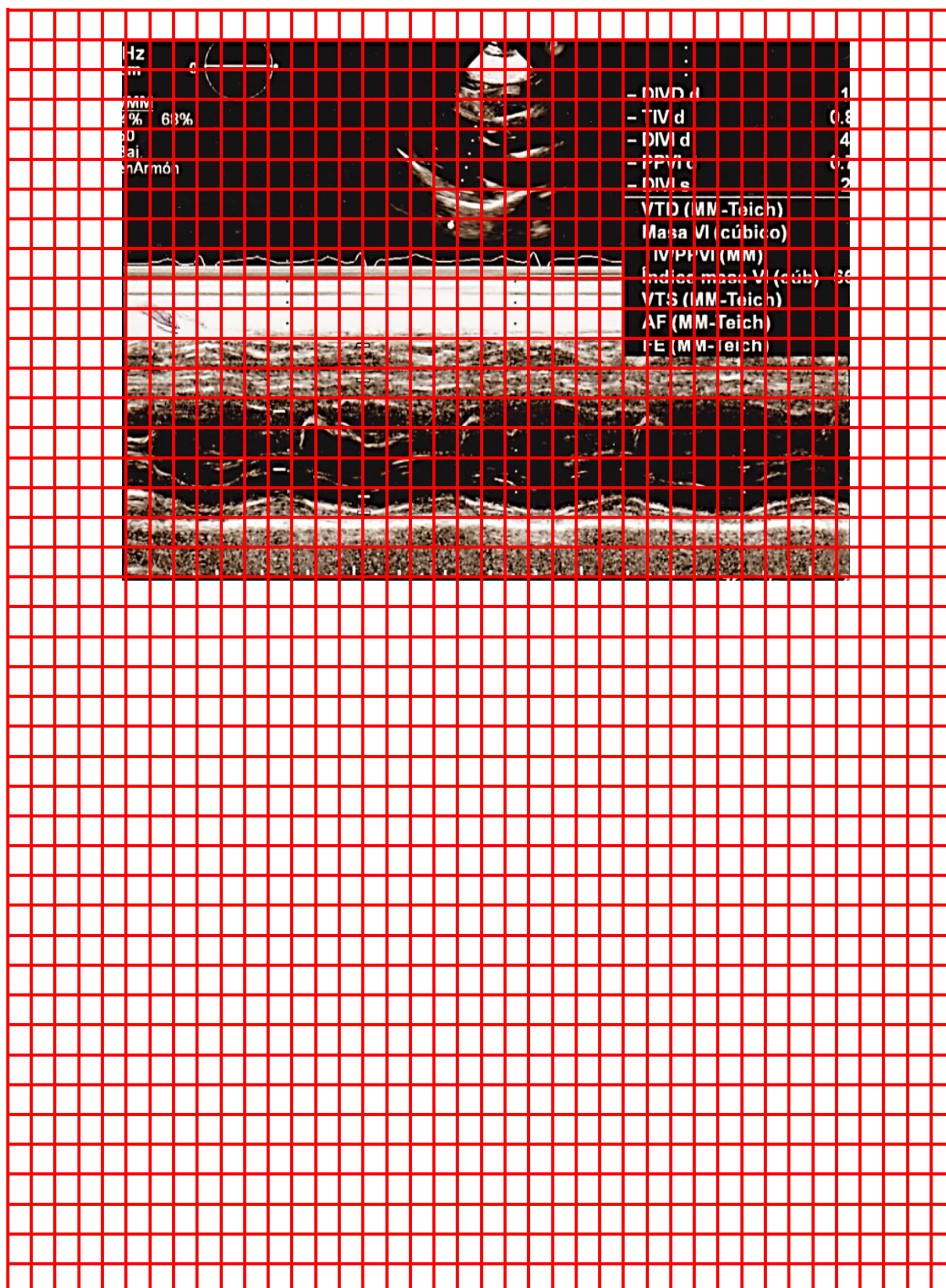
Rejilla milimetrada de 6 mm



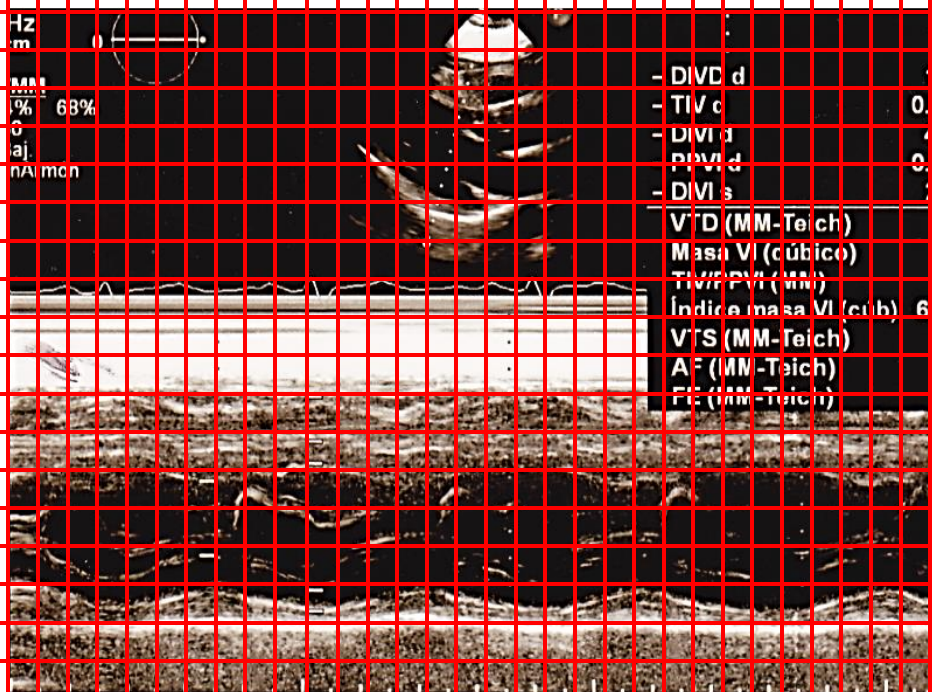
Rejilla milimetrada de 5mm



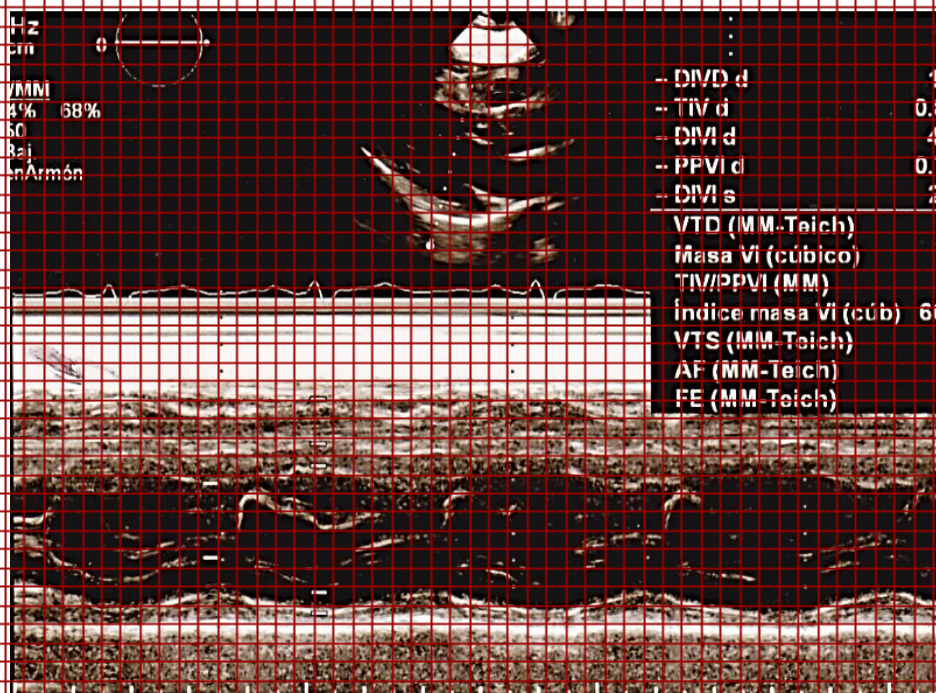
Rejilla milimetrada de 4 mm

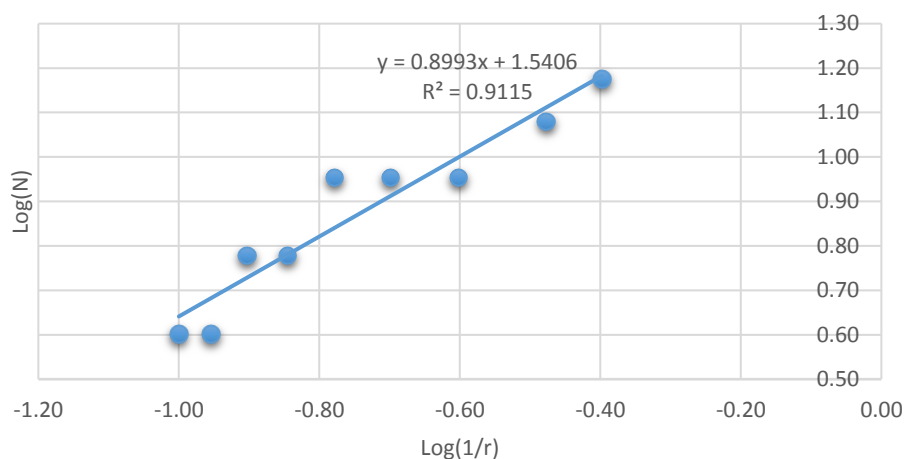
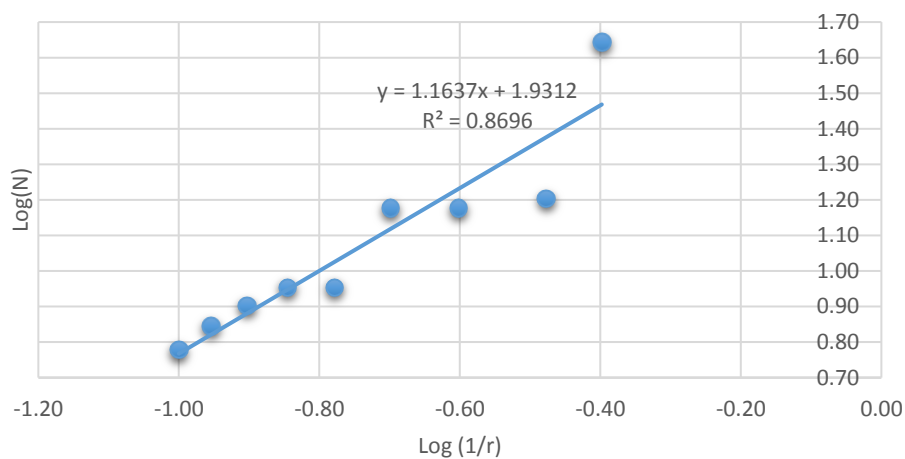
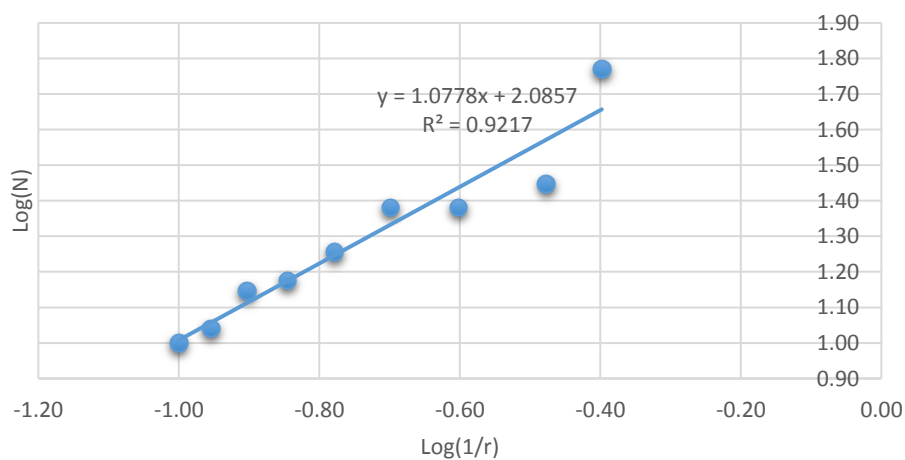


Rejilla milimetrada de 3 mm



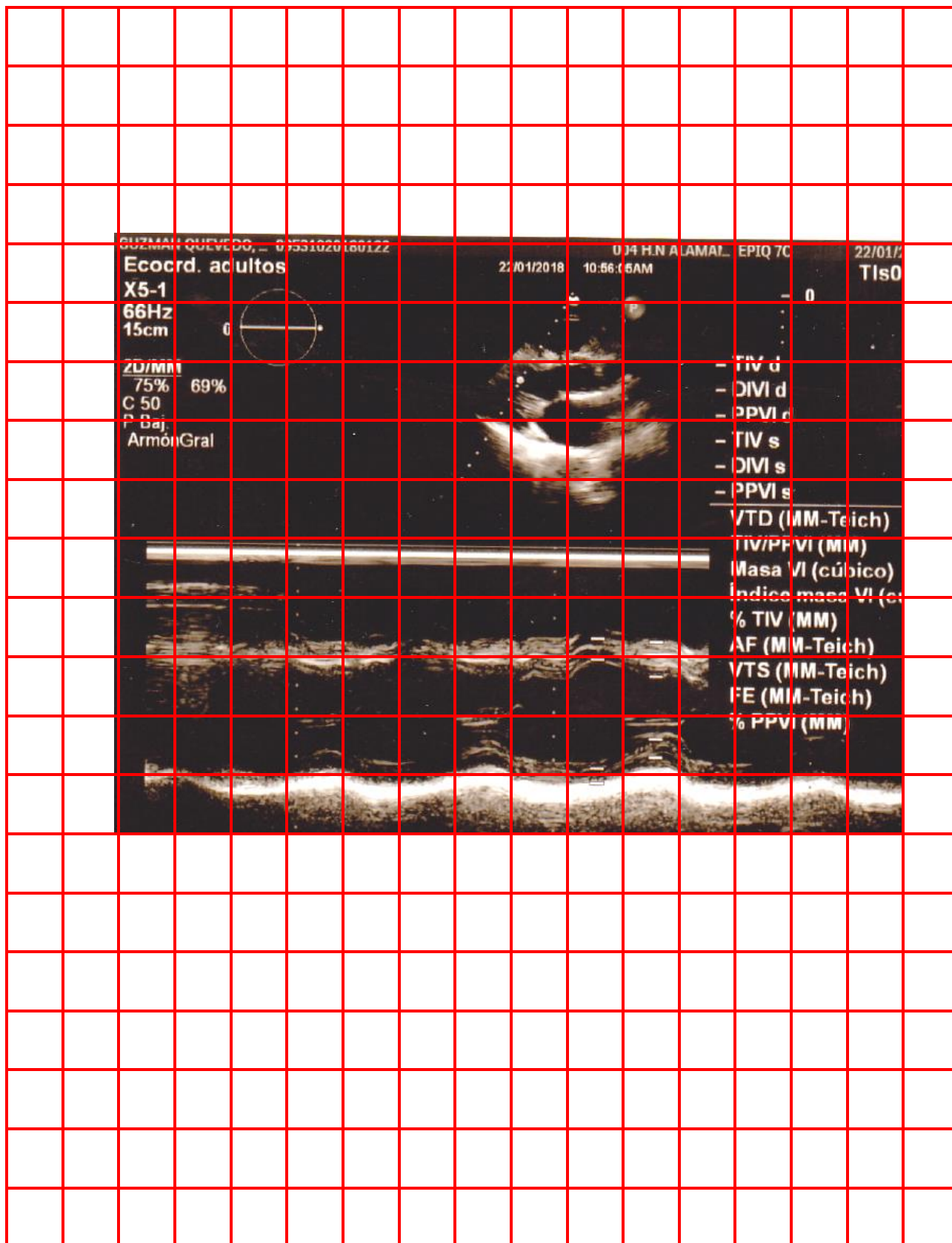
Rejilla milimetrada de 2.5 mm



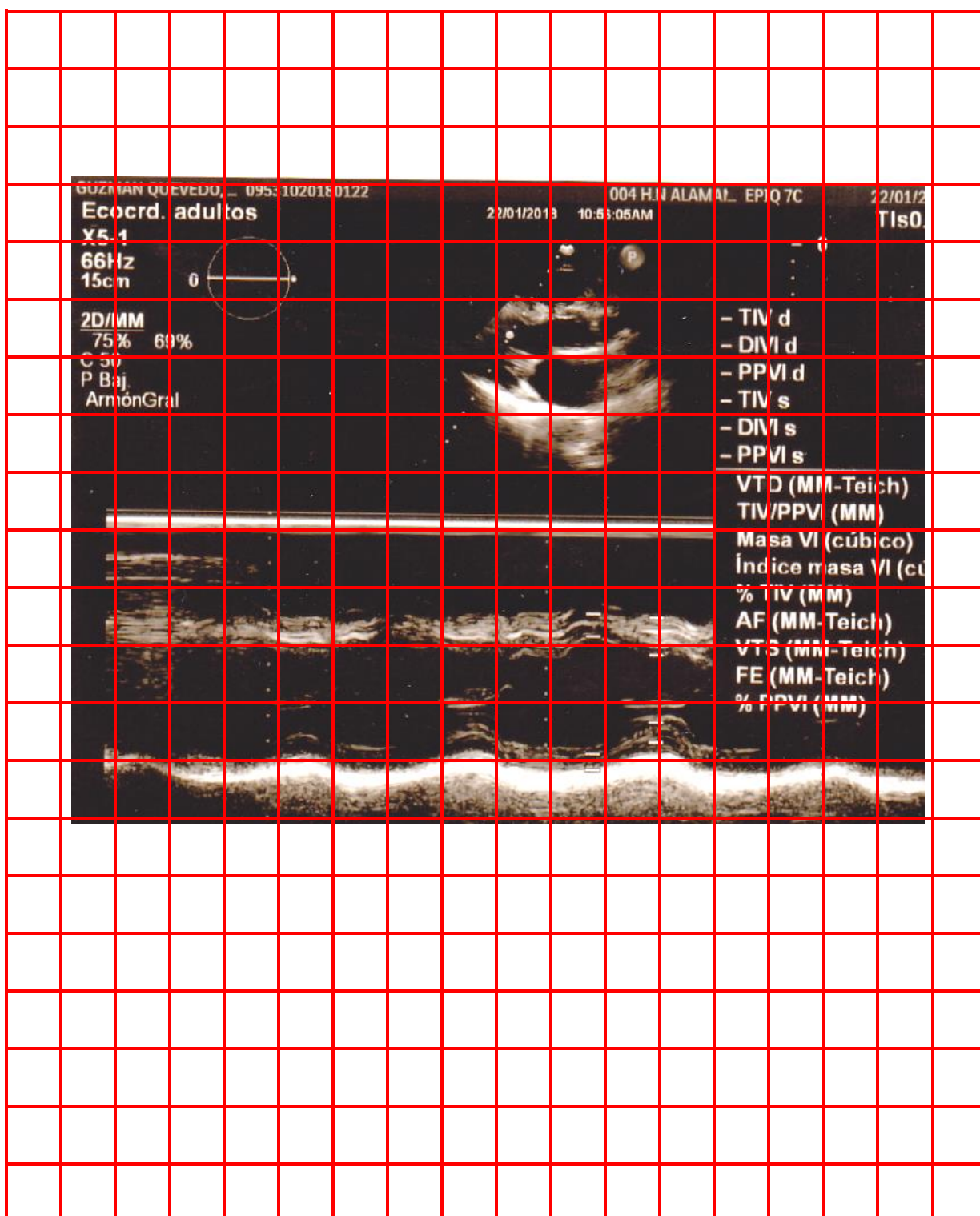
CASO S24 : SISTOLE**CASO S24 : DIASTOLE****CASO S24 : TOTALIDAD**

CASO "S31"

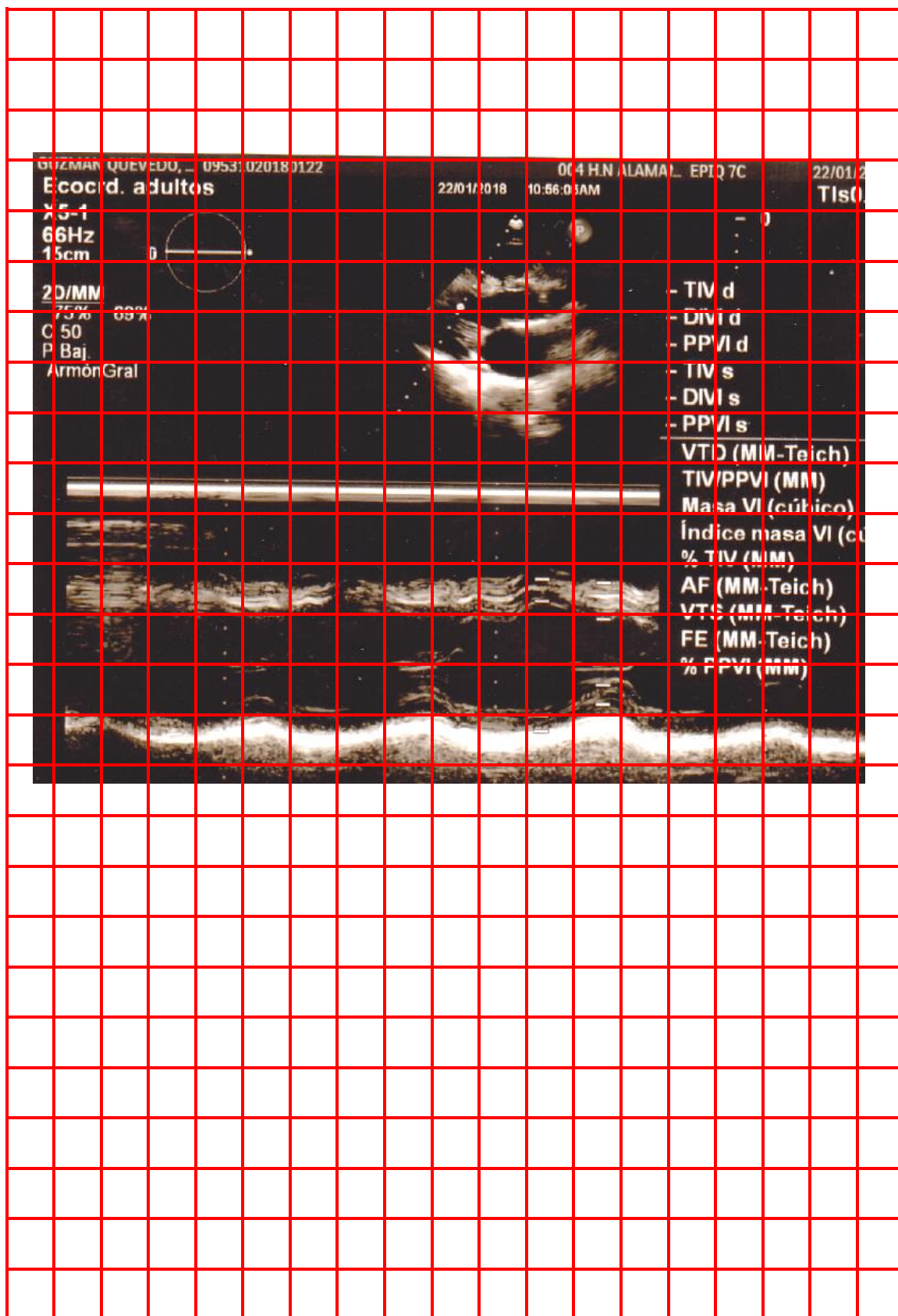
Rejilla milimetrada de 10 mm



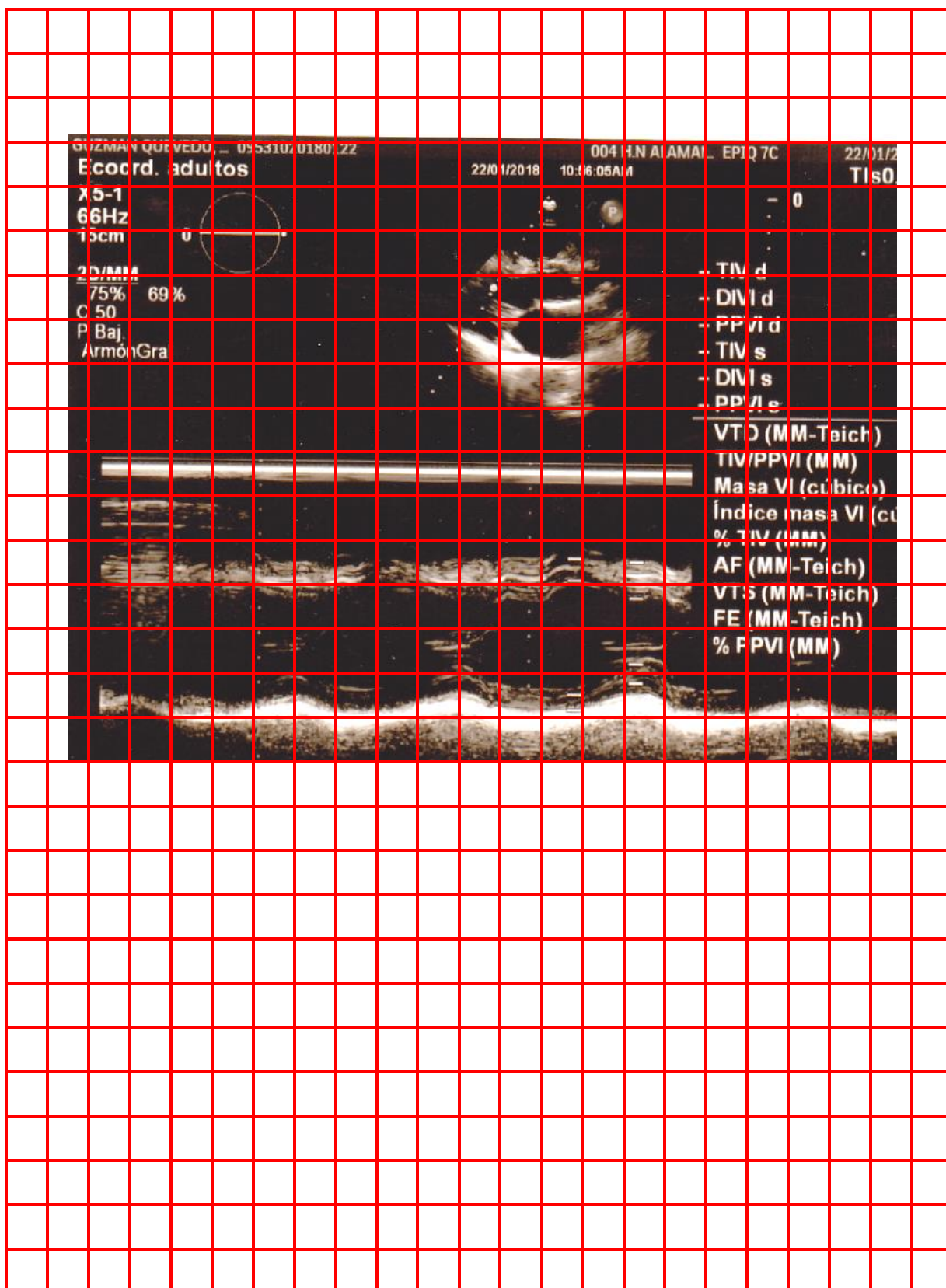
Rejilla milimetrada de 9 mm



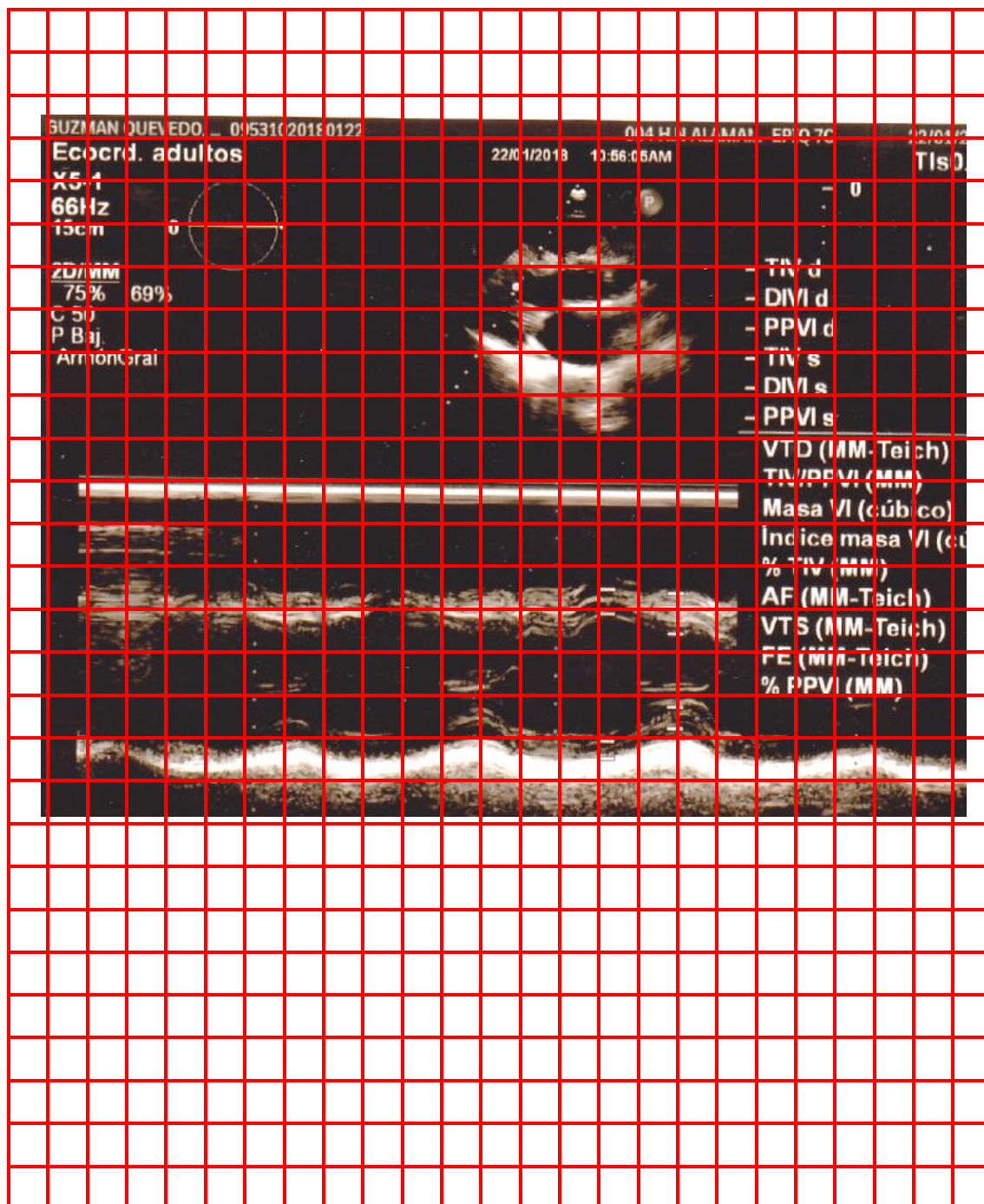
Rejilla milimetrada de 8 mm



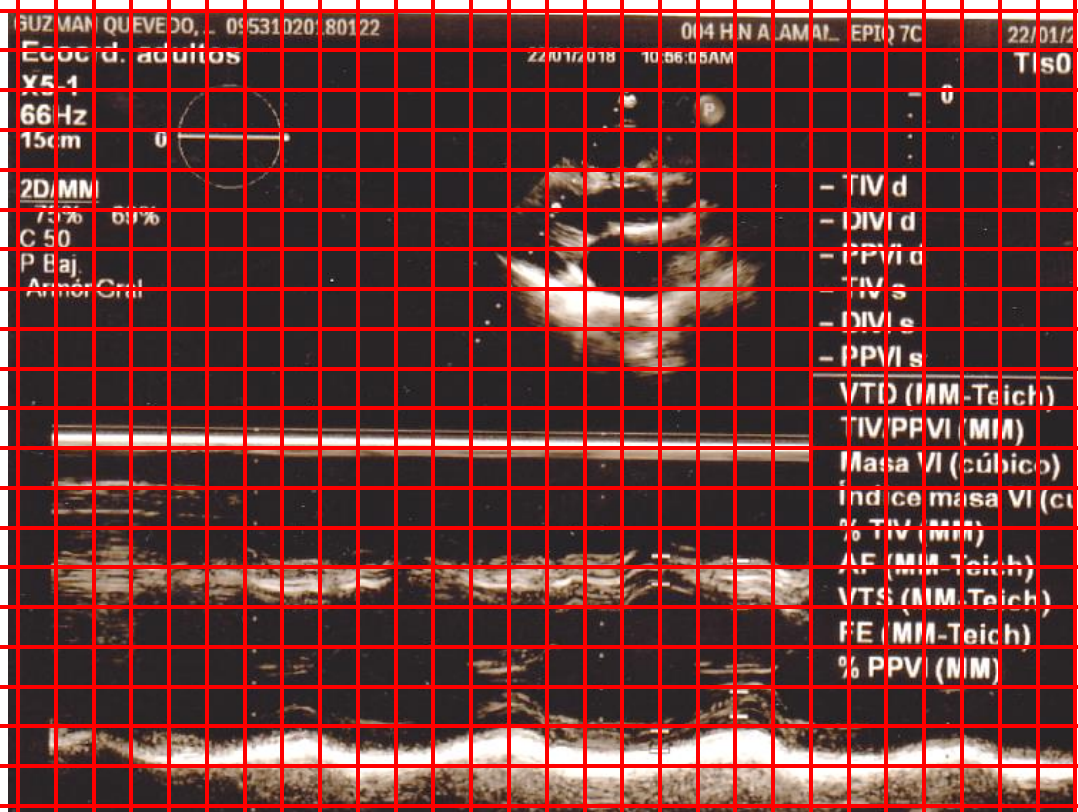
Rejilla milimetrada de 7 mm



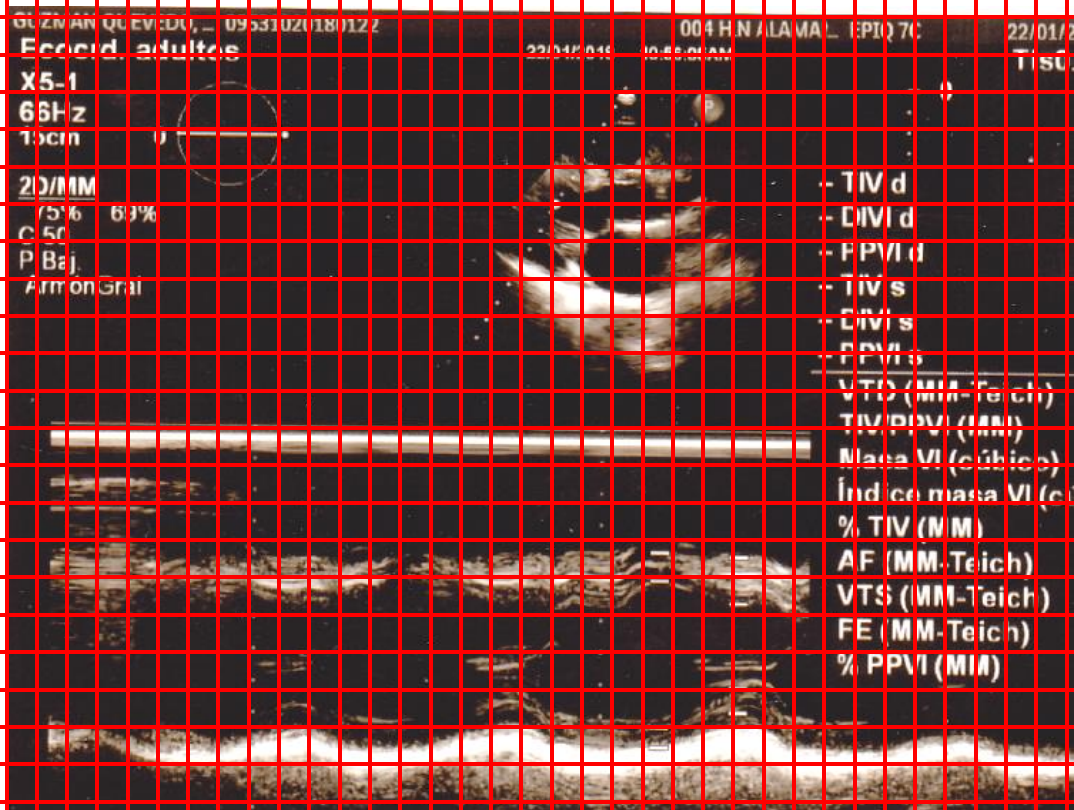
Rejilla milimetrada 6 mm



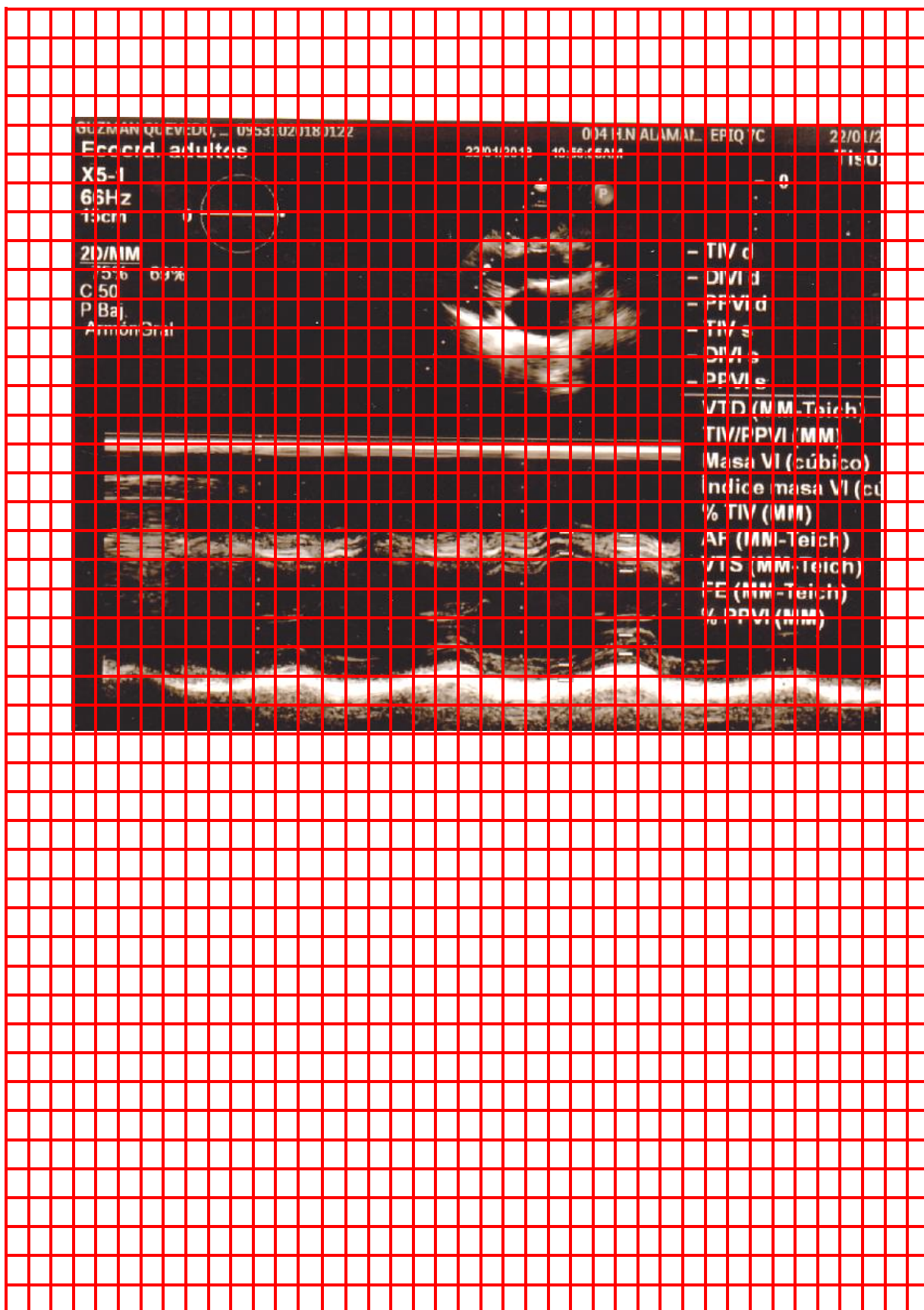
Rejilla milimetrada de 5 mm



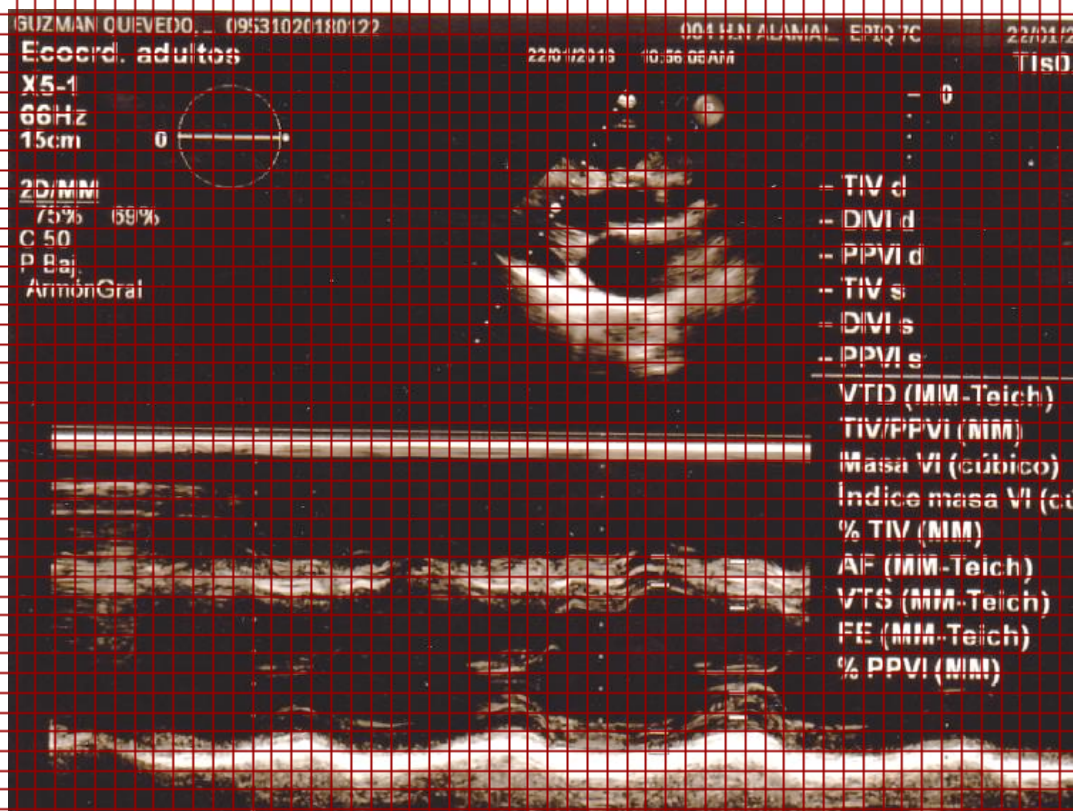
Rejilla milimetrada de 4 mm



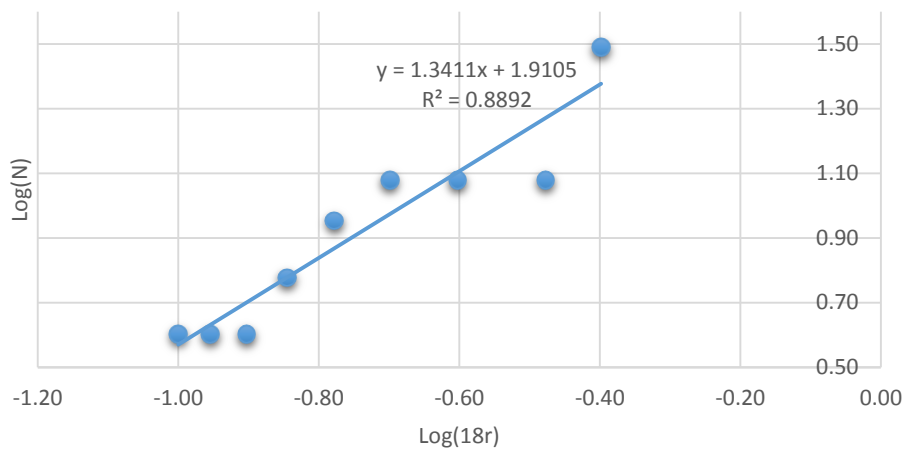
Rejilla milimetrada de 3 mm



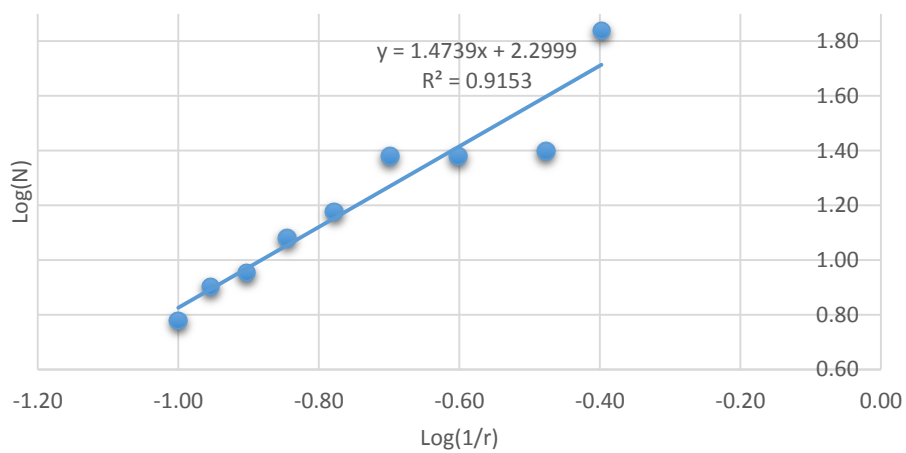
Rejilla milimetrada de 2.5 mm



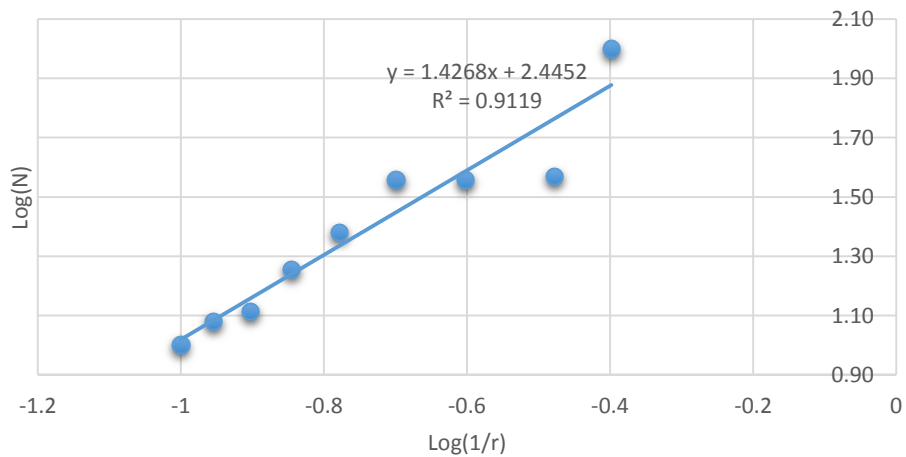
CASO S31 : SISTOLE



CASO S31 : DIASTOLE

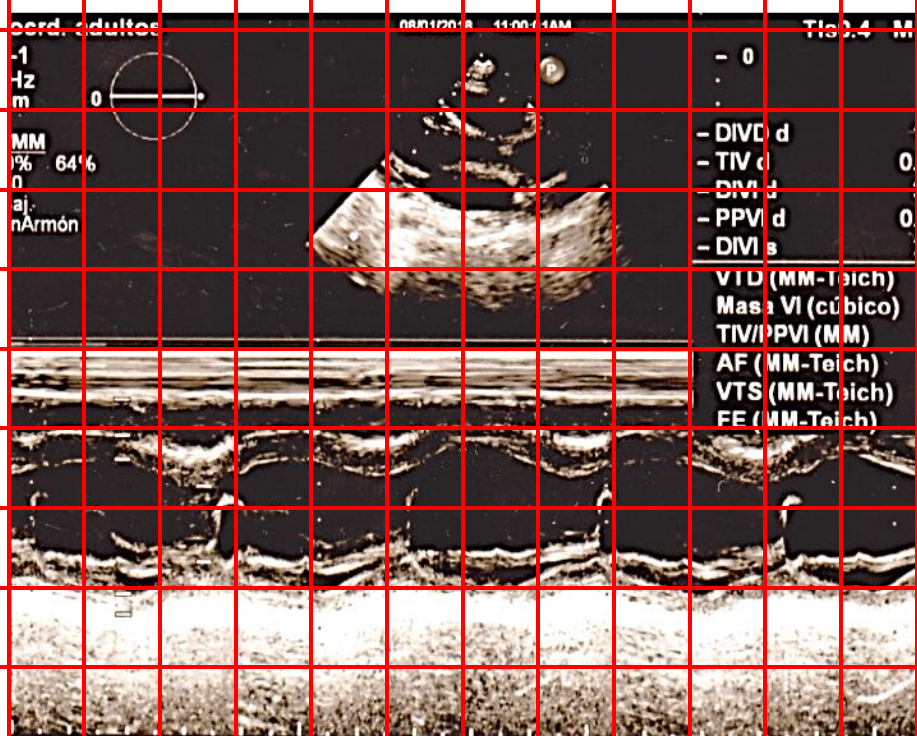


CASO S31 : TOTALIDAD

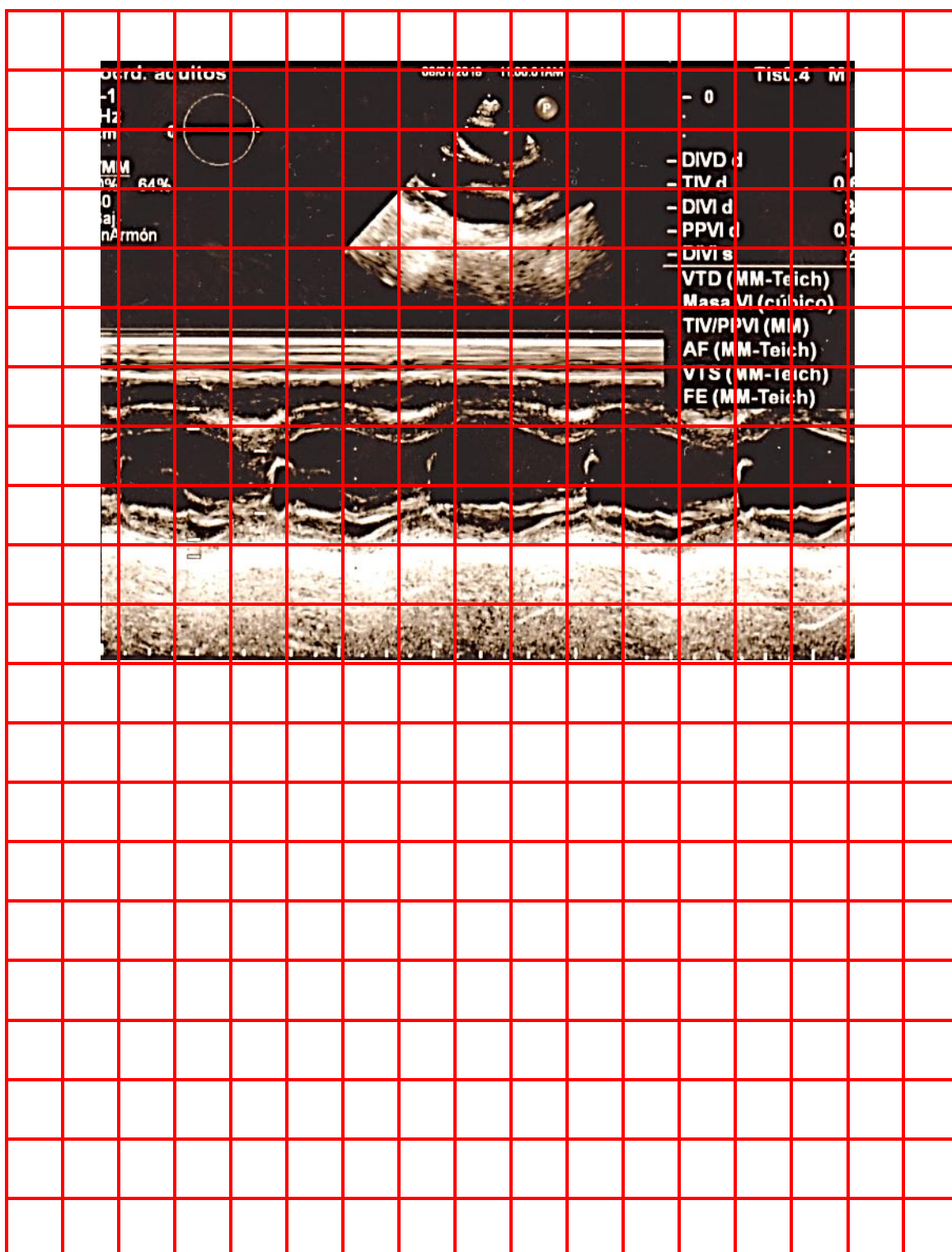


CASO “S33”

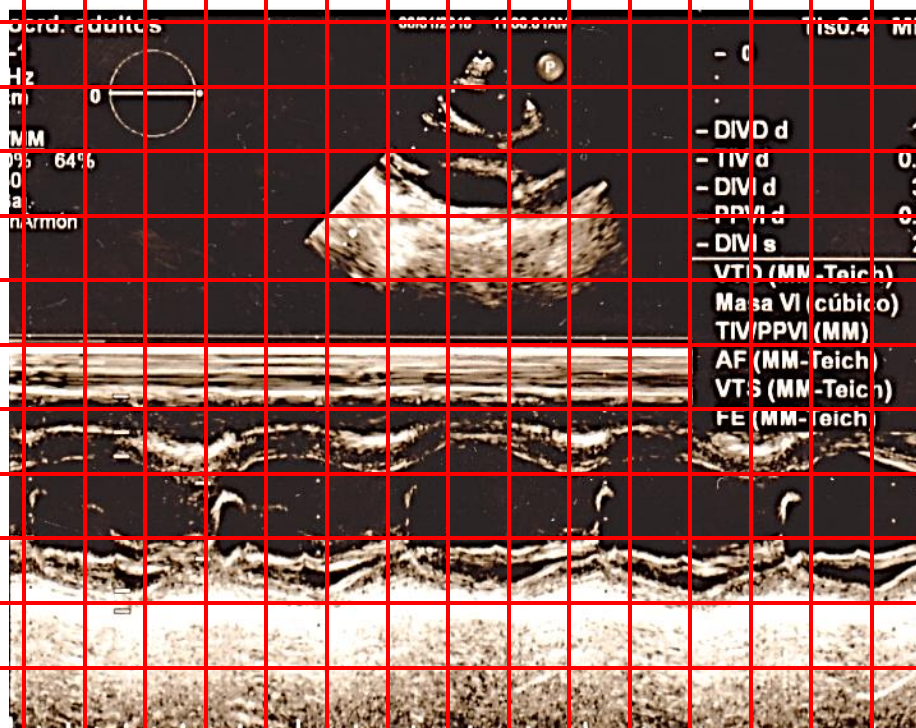
Rejilla milimetrada de 10 mm



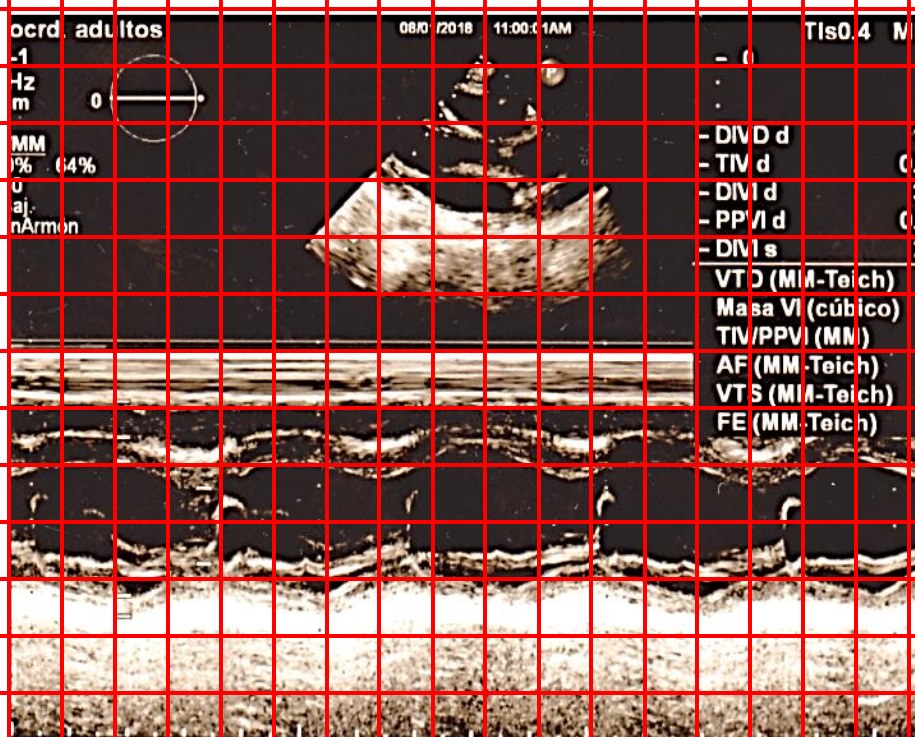
Rejilla milimetrada de 9 mm



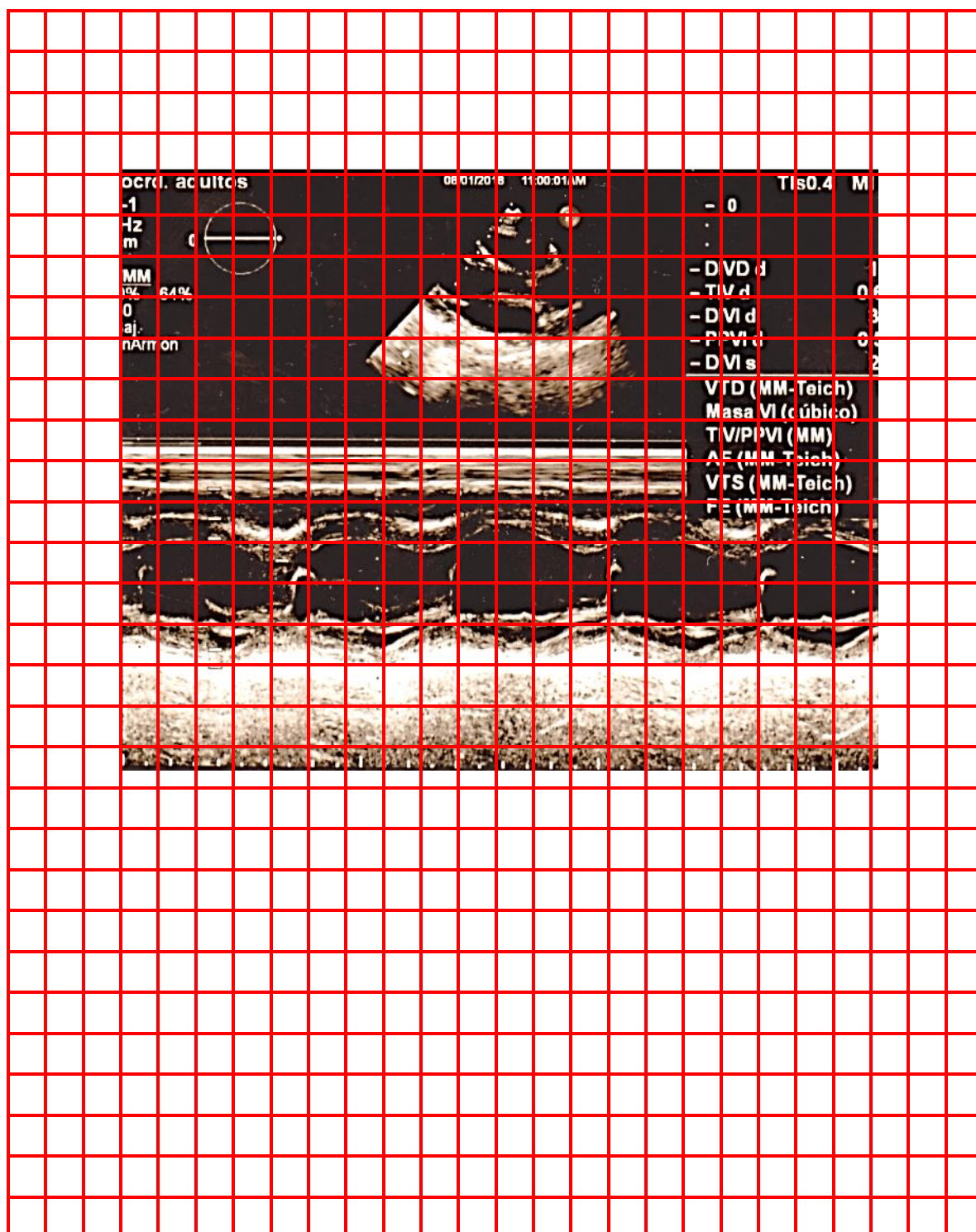
Rejilla milimetrada de 8 mm



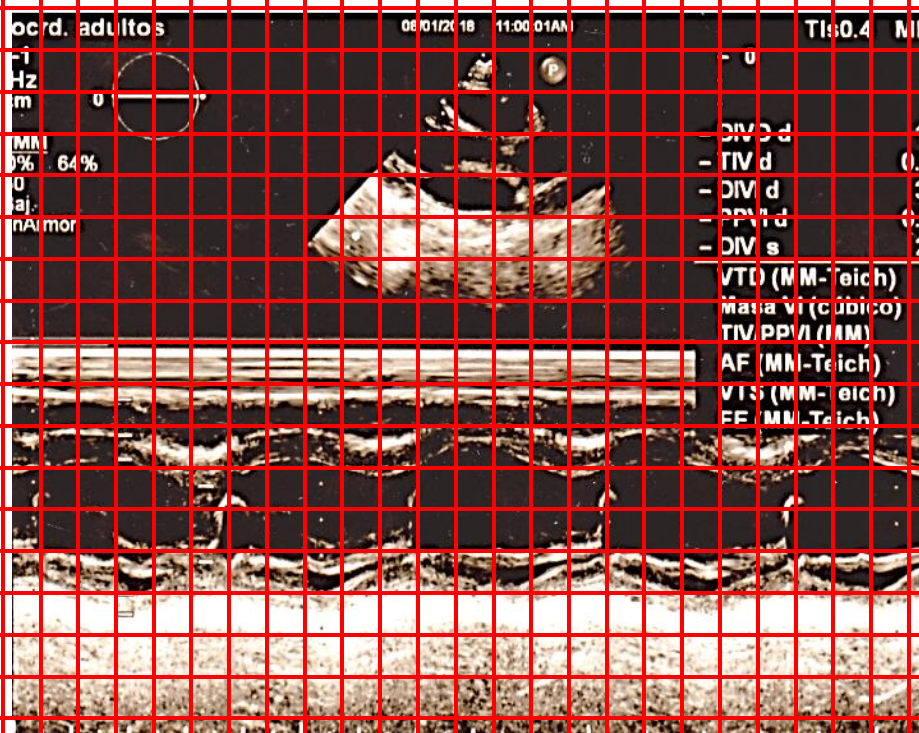
Rejilla milimetrada de 7 mm



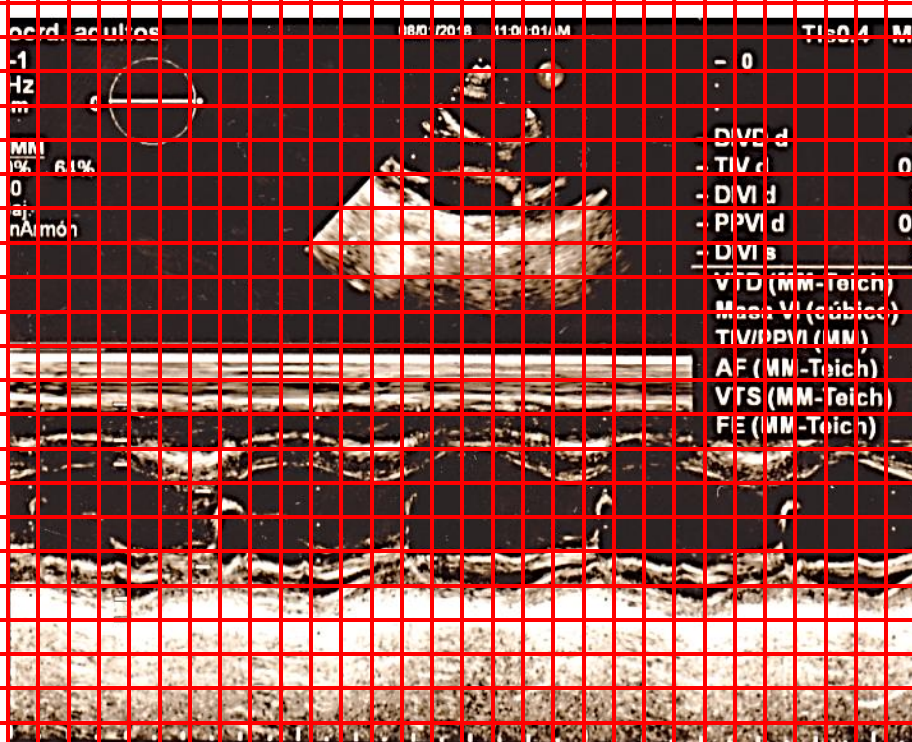
Rejilla milimetrada de 6 mm



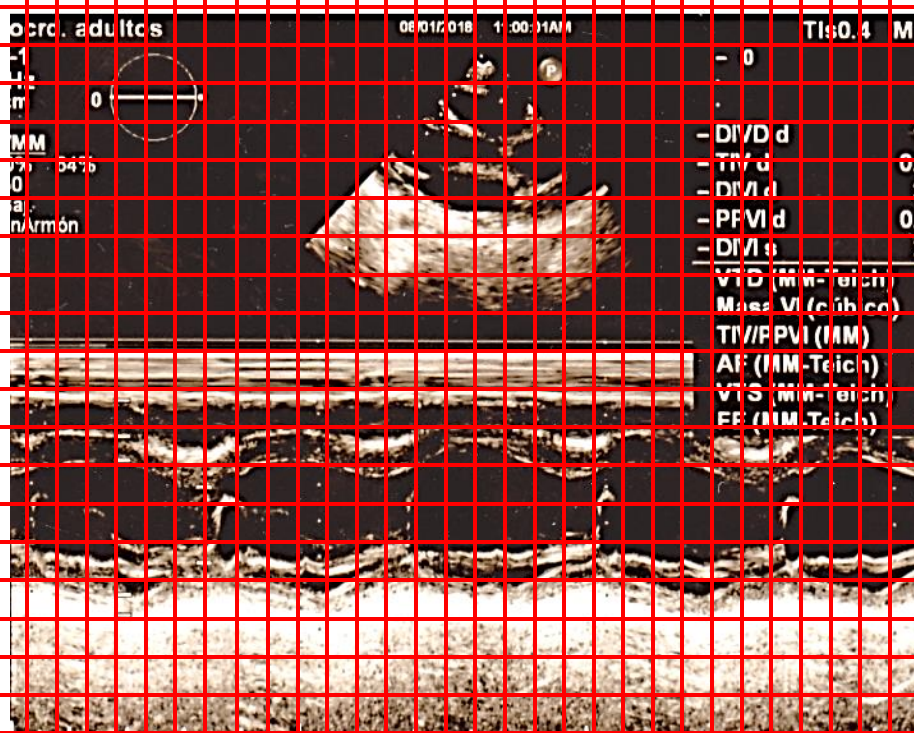
Rejilla milimetrada de 5 mm



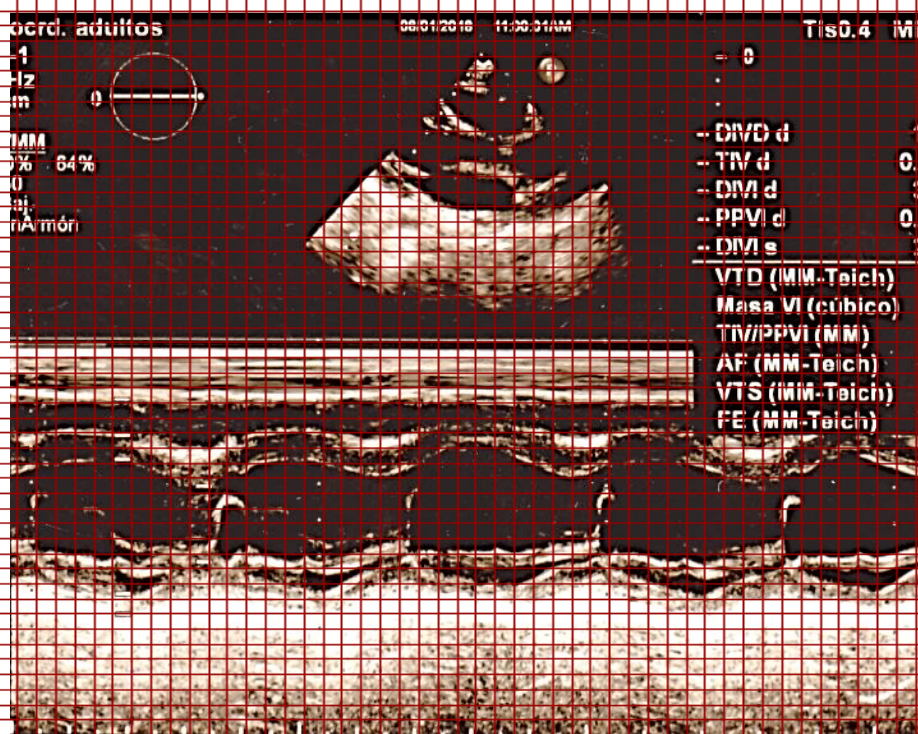
Rejilla milimetrada de 4 mm

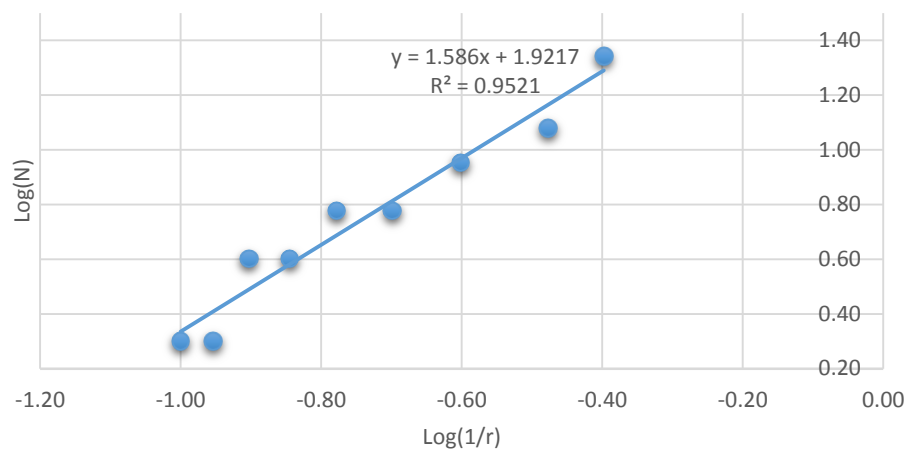
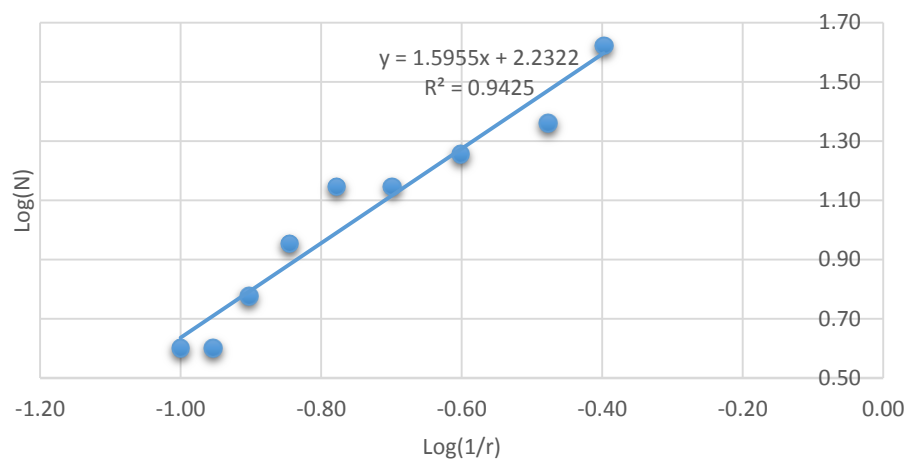
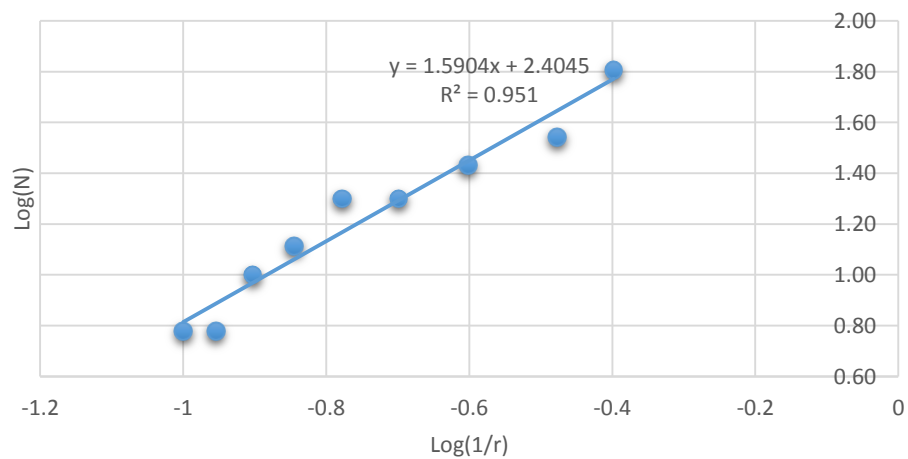


Rejilla milimetrada de 3 mm



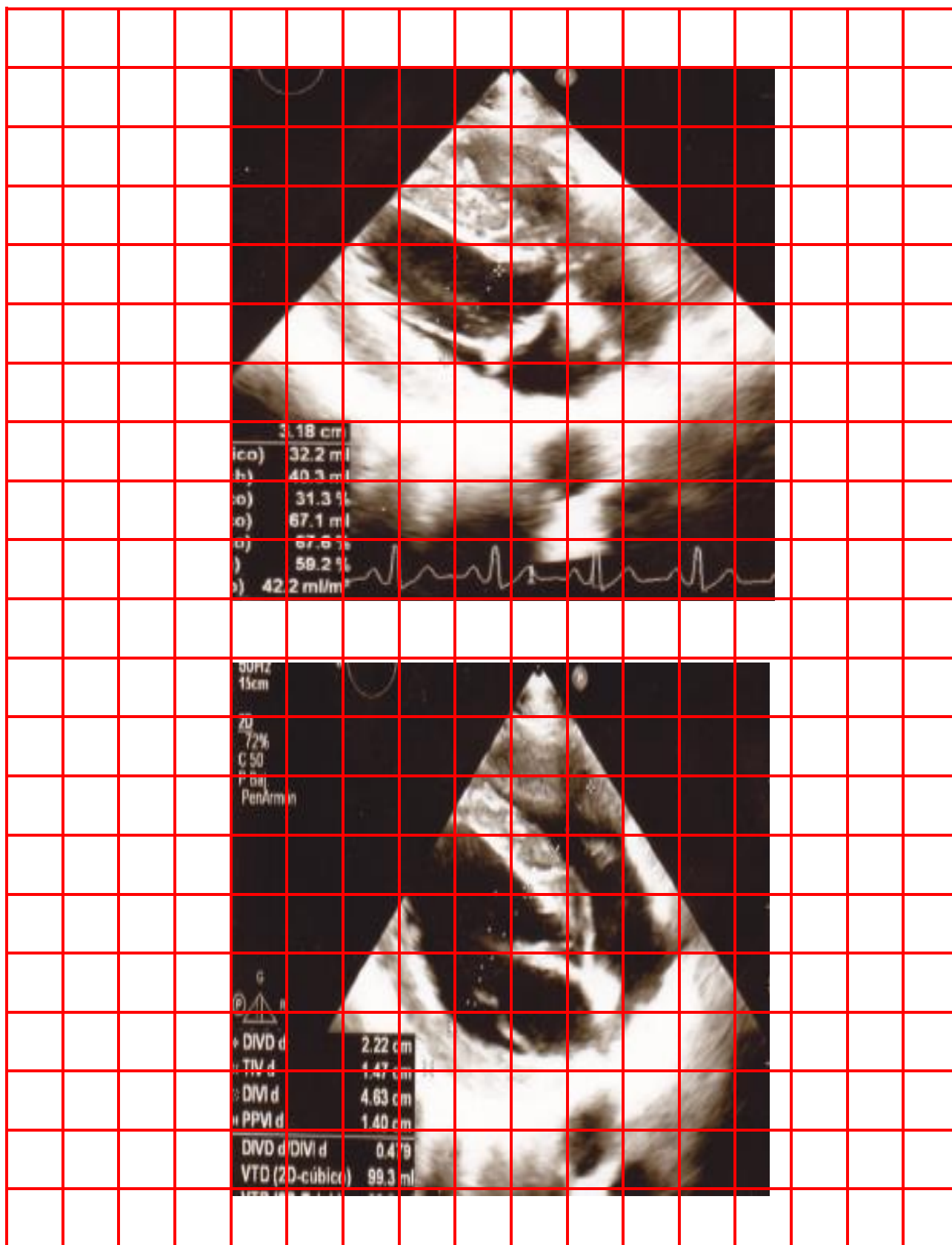
Rejilla milimetrada de 2.5 mm



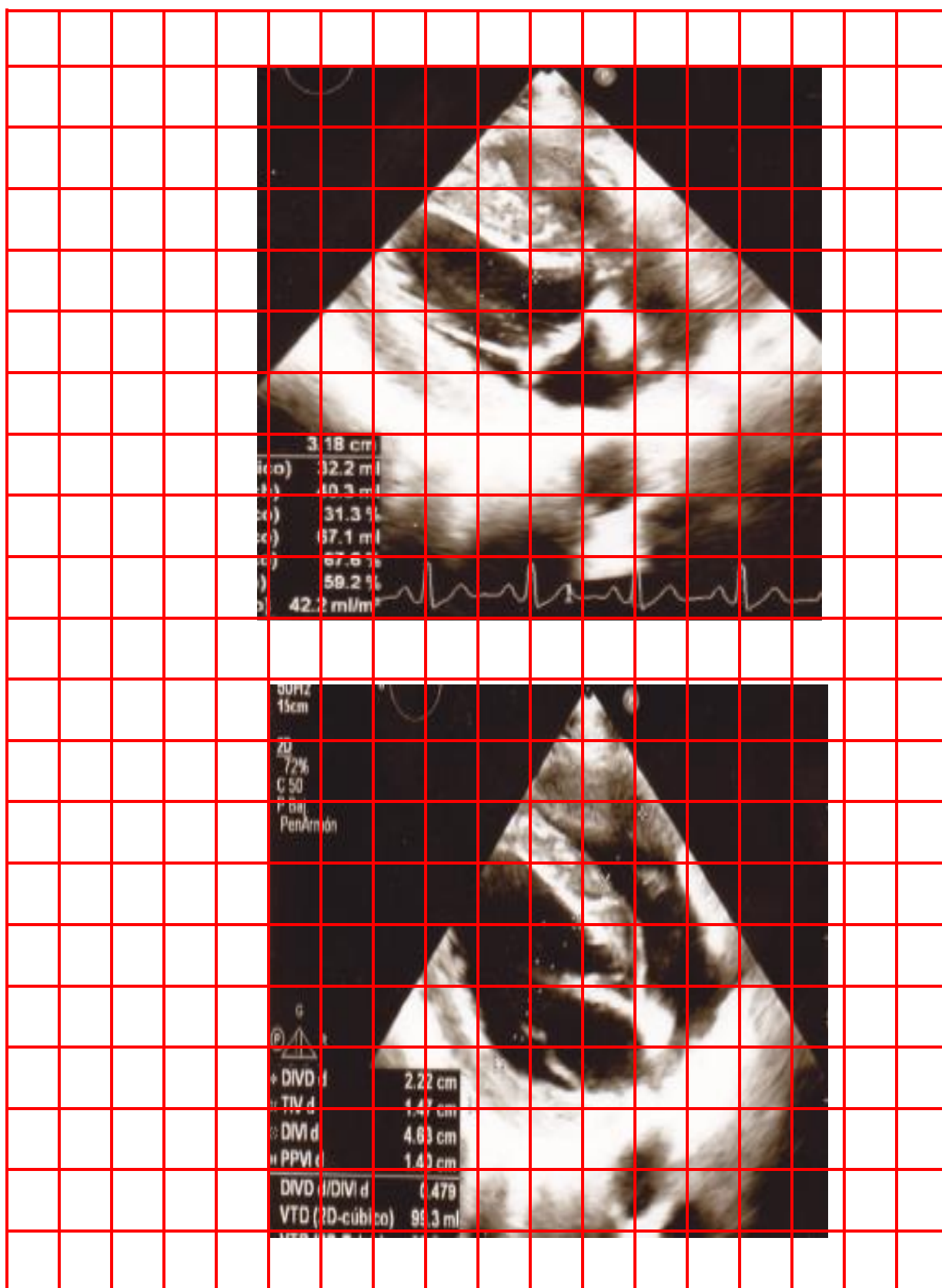
CASO S33 : SISTOLE**CASO S33 : DIASTOLE****CASO S33 : TOTALIDAD**

CASO “P5”

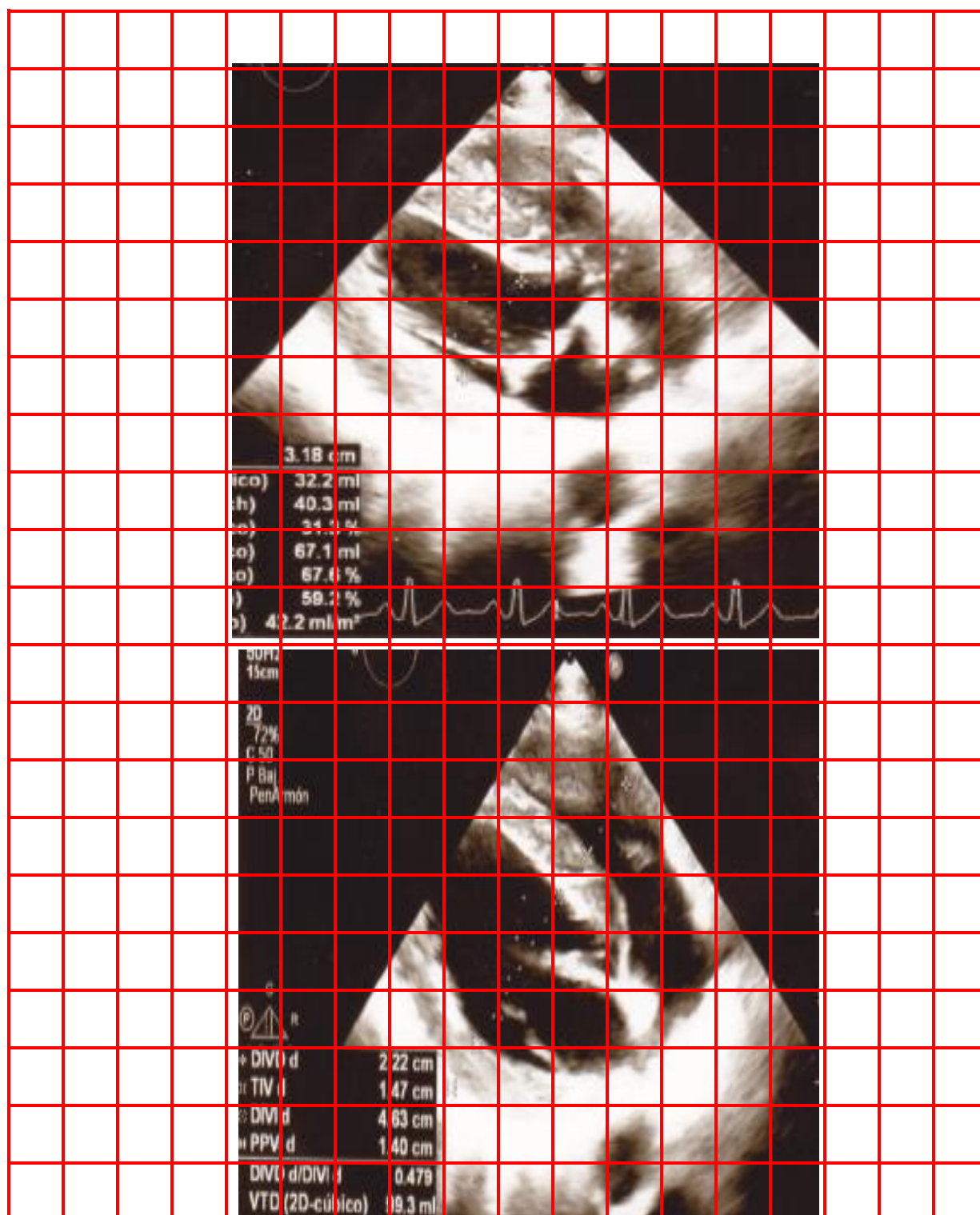
Rejilla milimetrada de 10 mm



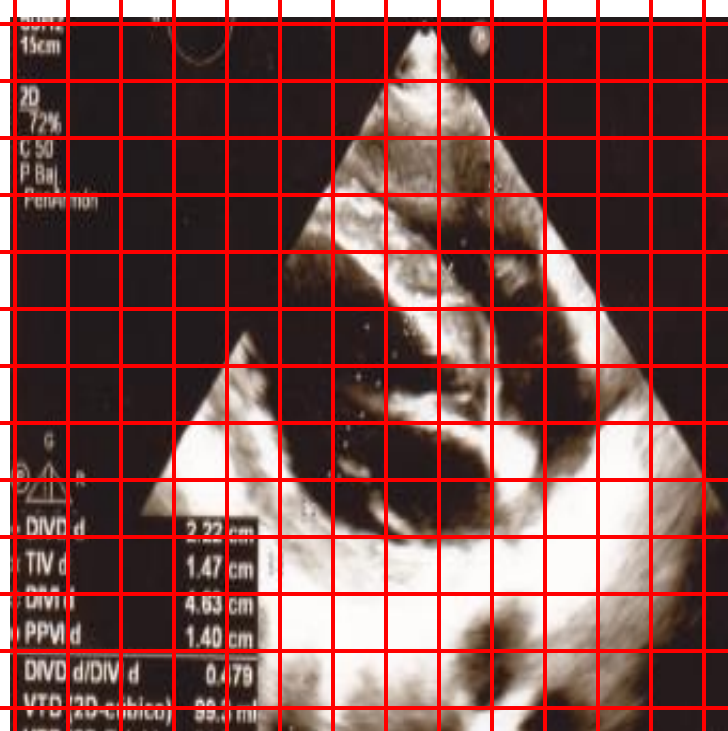
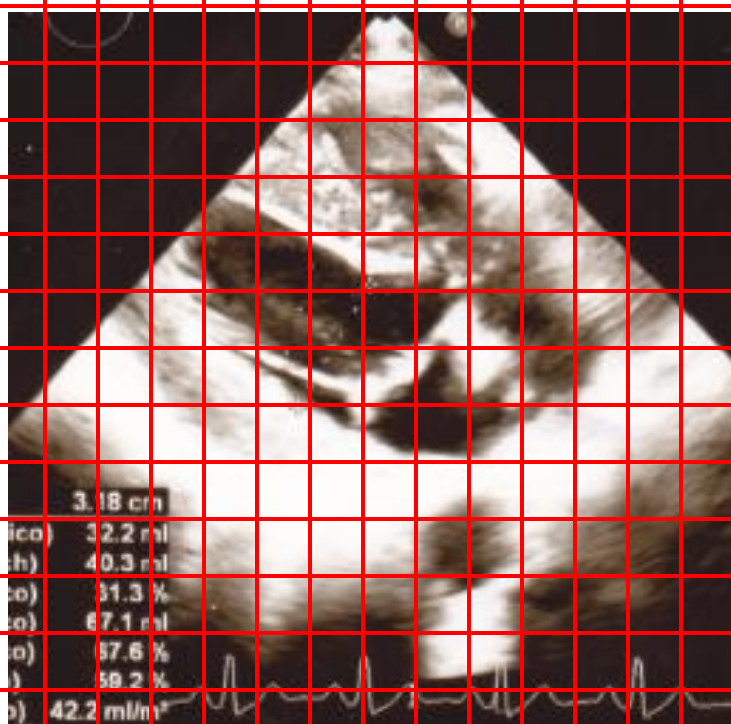
Rejilla milimetrada de 9 mm



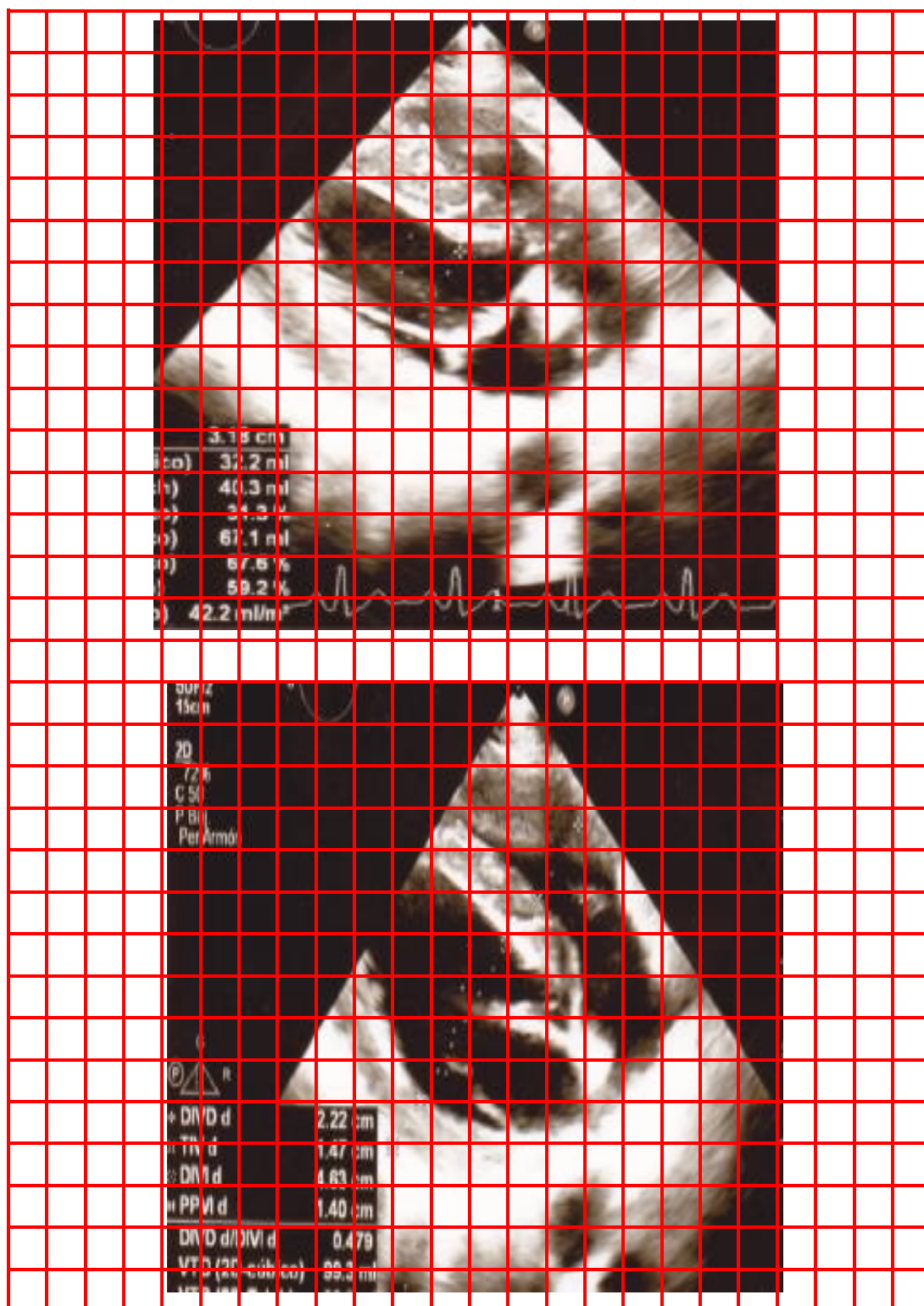
Rejilla milimetrada de 8 mm



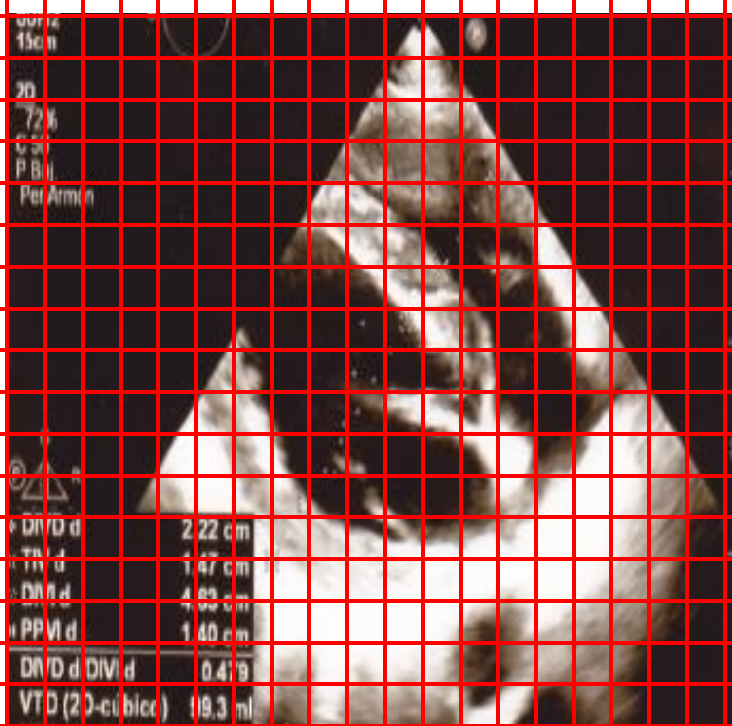
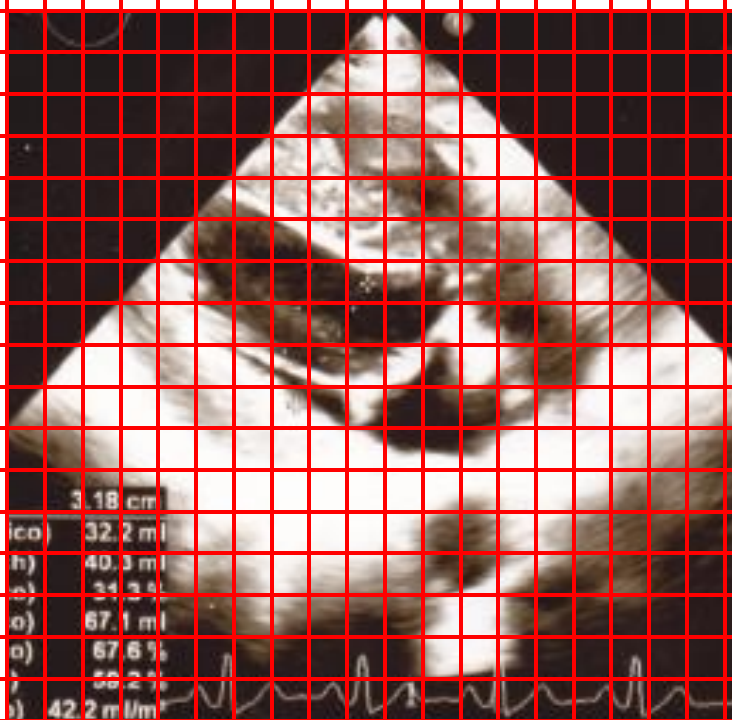
Rejilla milimetrada de 7 mm



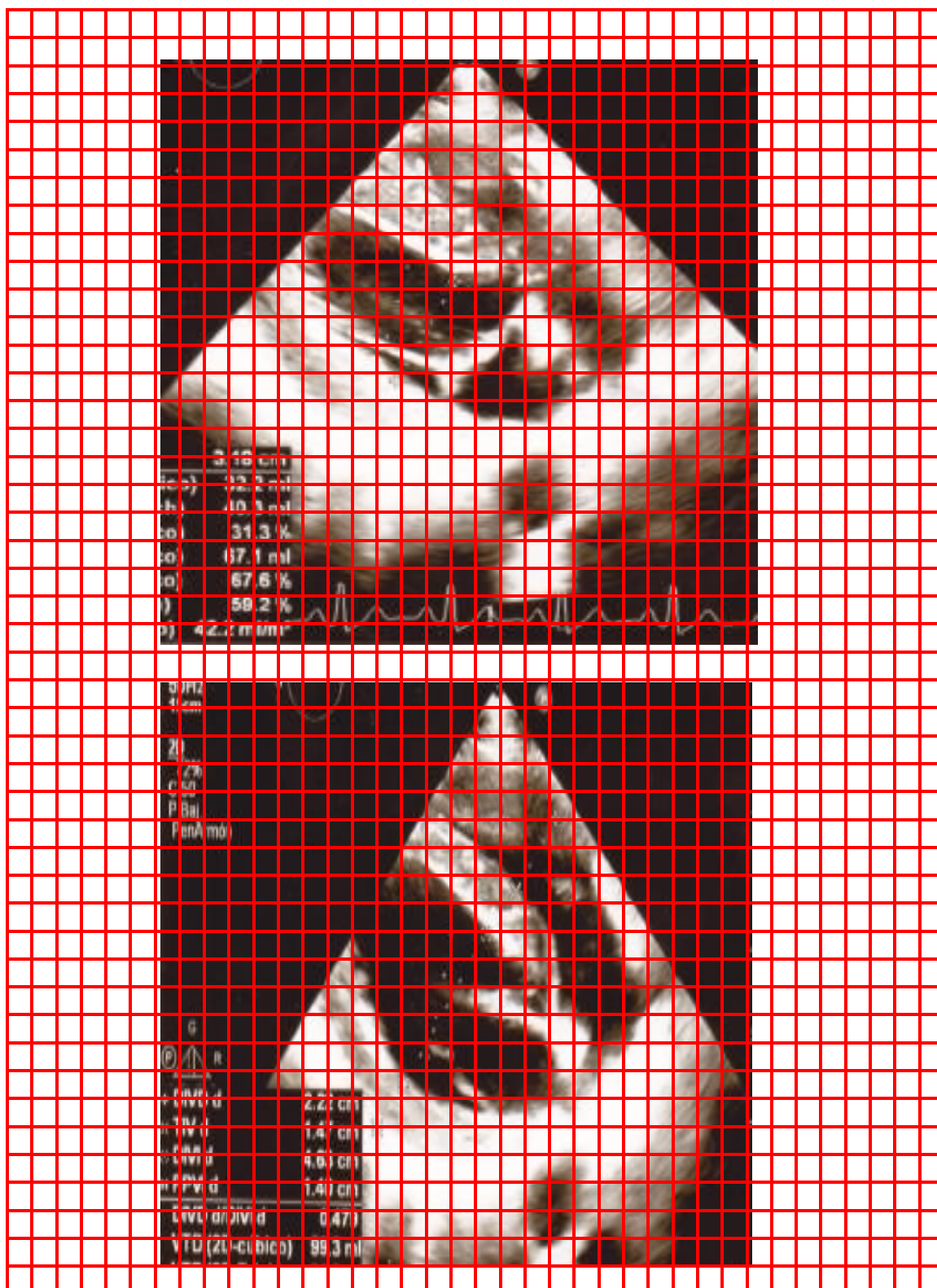
Rejilla milimetrada de 6 mm



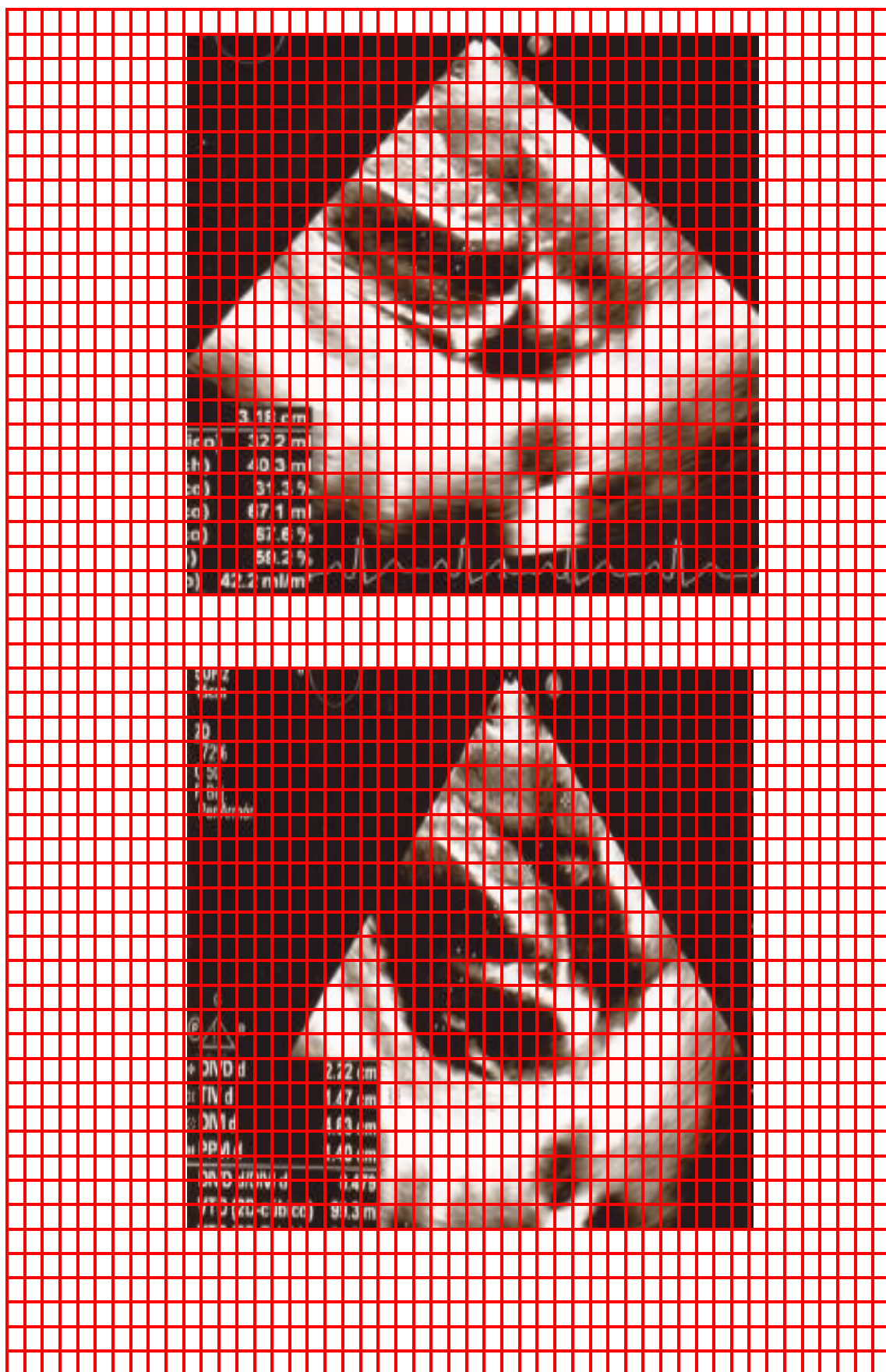
Rejilla milimetrada de 5 mm



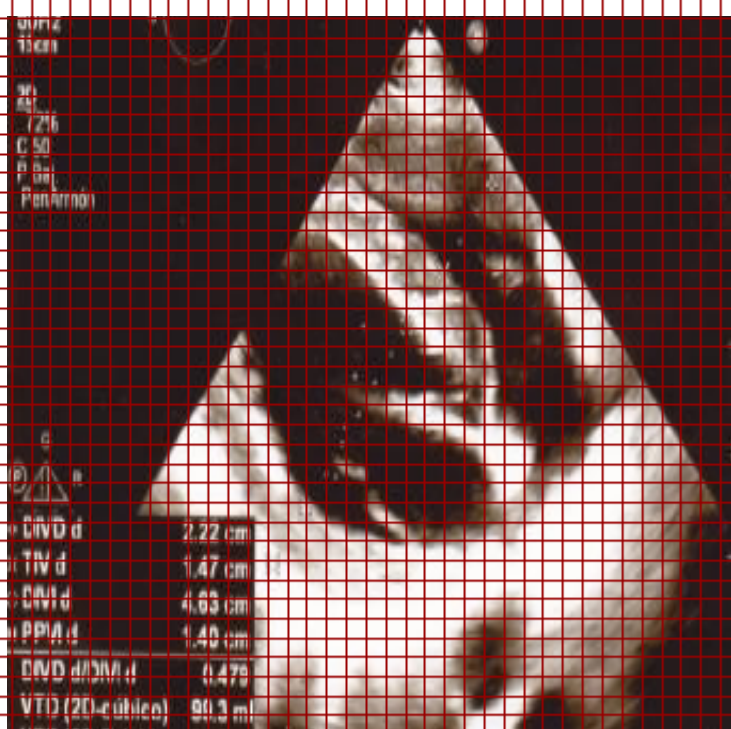
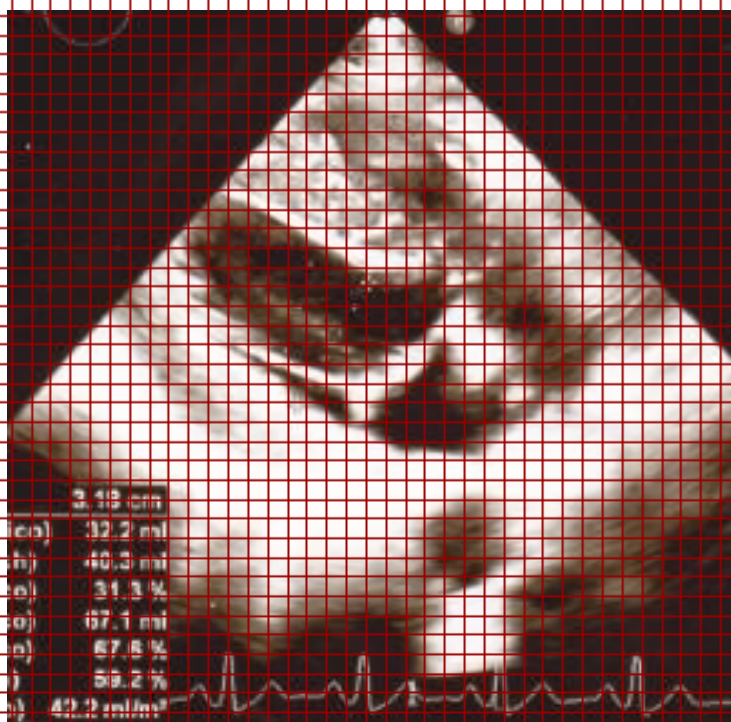
Rejilla milimetrada de 4 mm

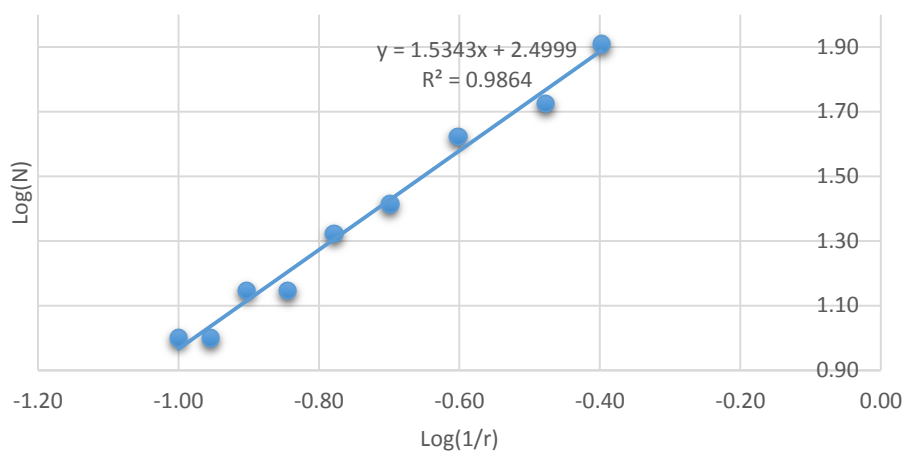
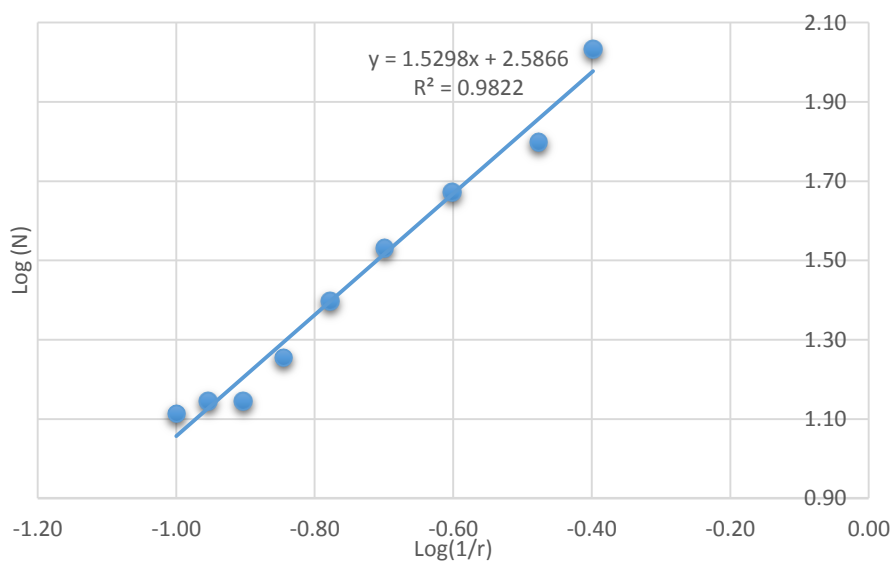
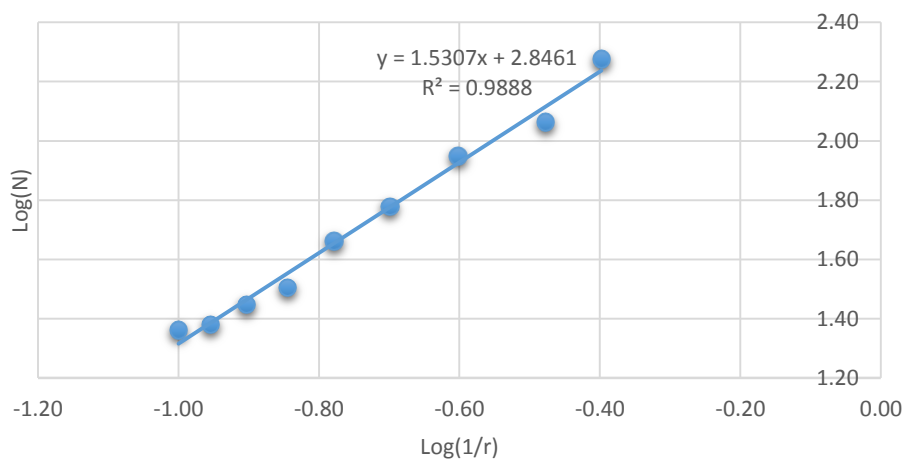


Rejilla milimetrada de 3 mm



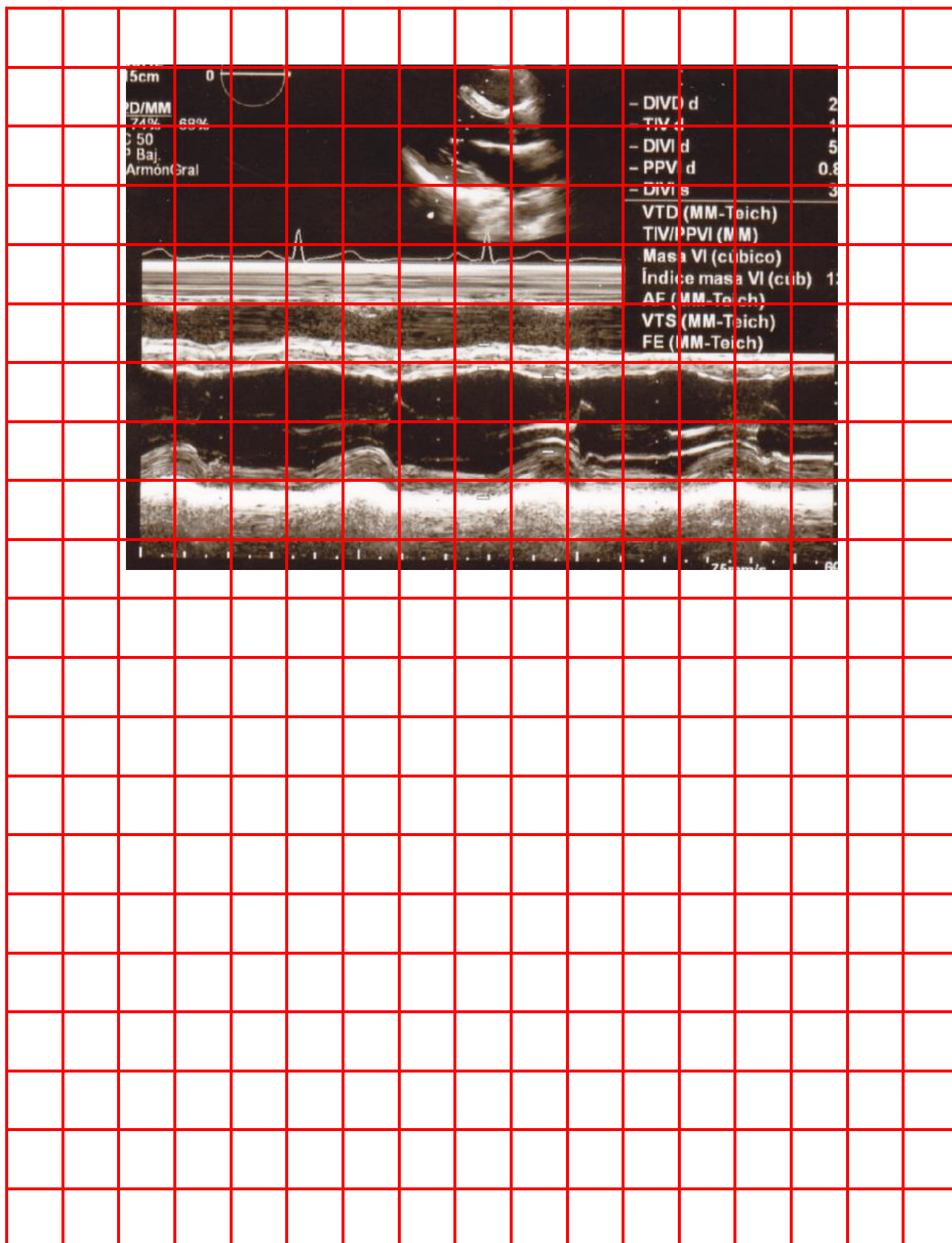
Rejilla milimetrada de 2.5 mm



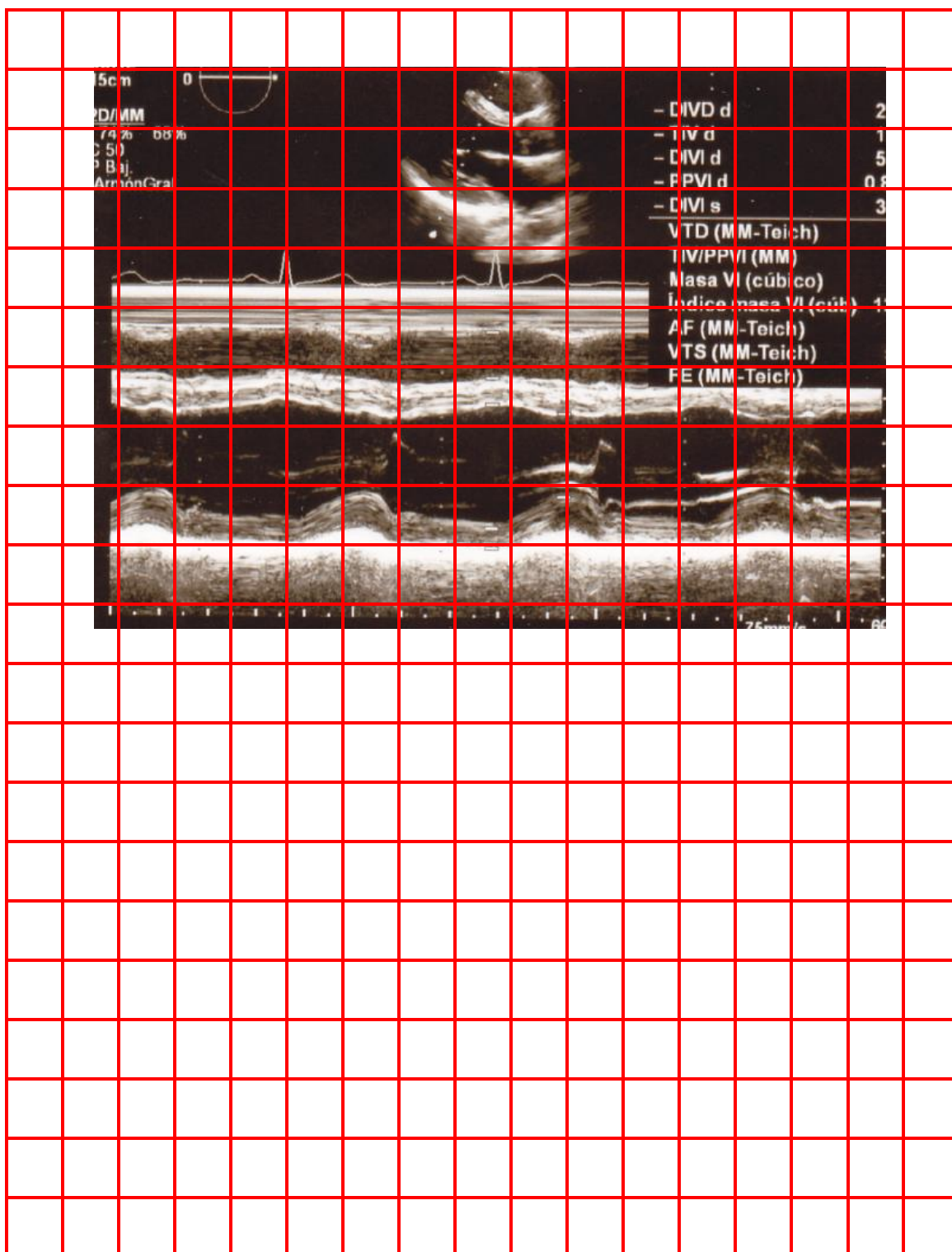
CASO P5 : SISTOLE**CASO P5 : DIASTOLE****CASO P5 : TOTALIDAD**

CASO "P11"

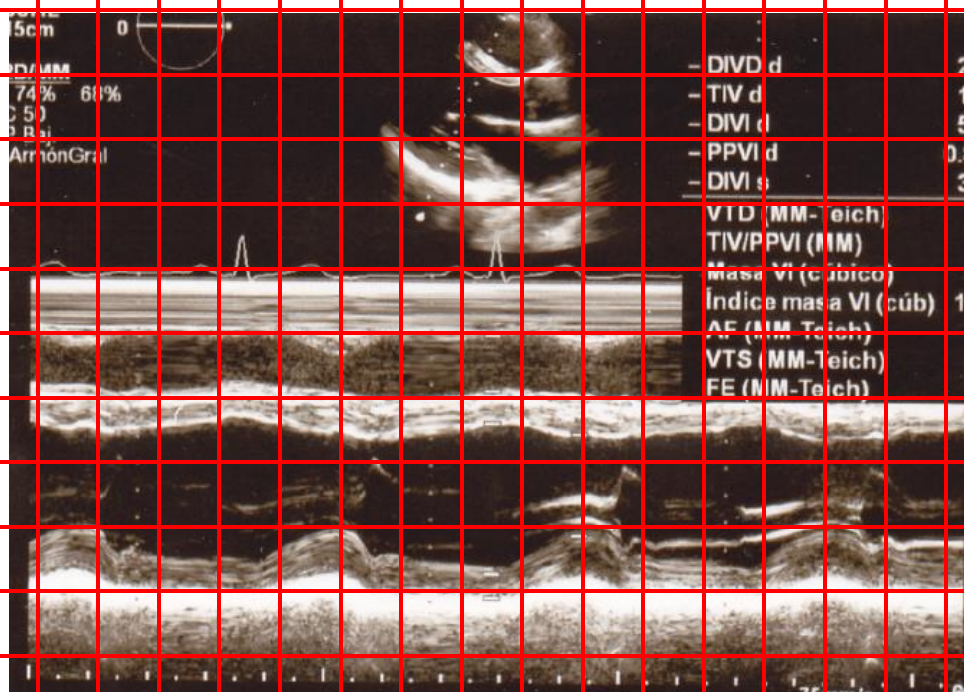
Rejilla milimetrada de 10 mm



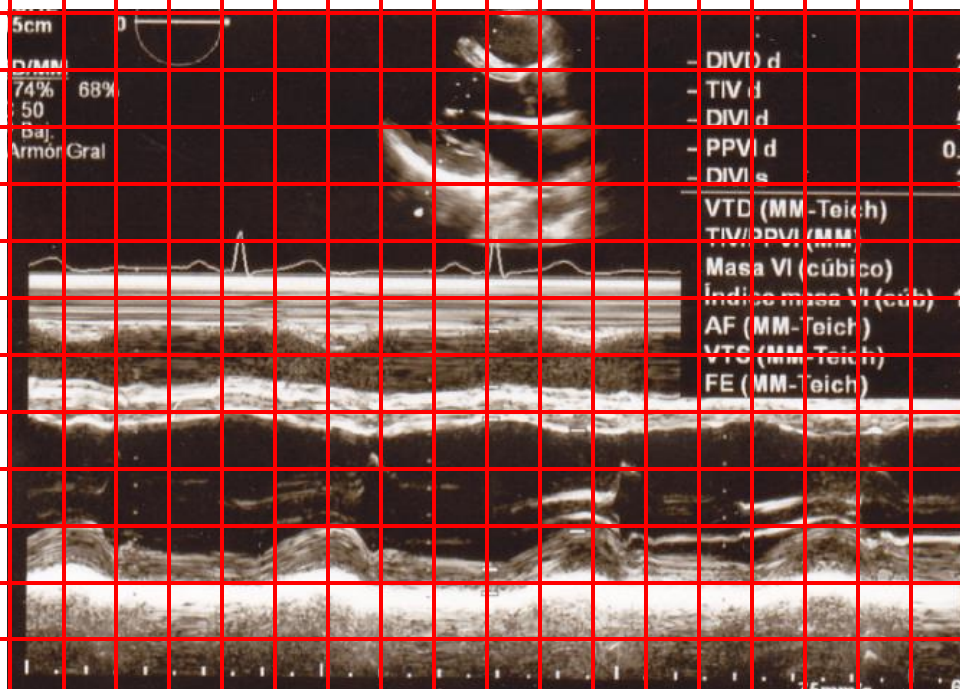
Rejilla milimetrada de 9 mm



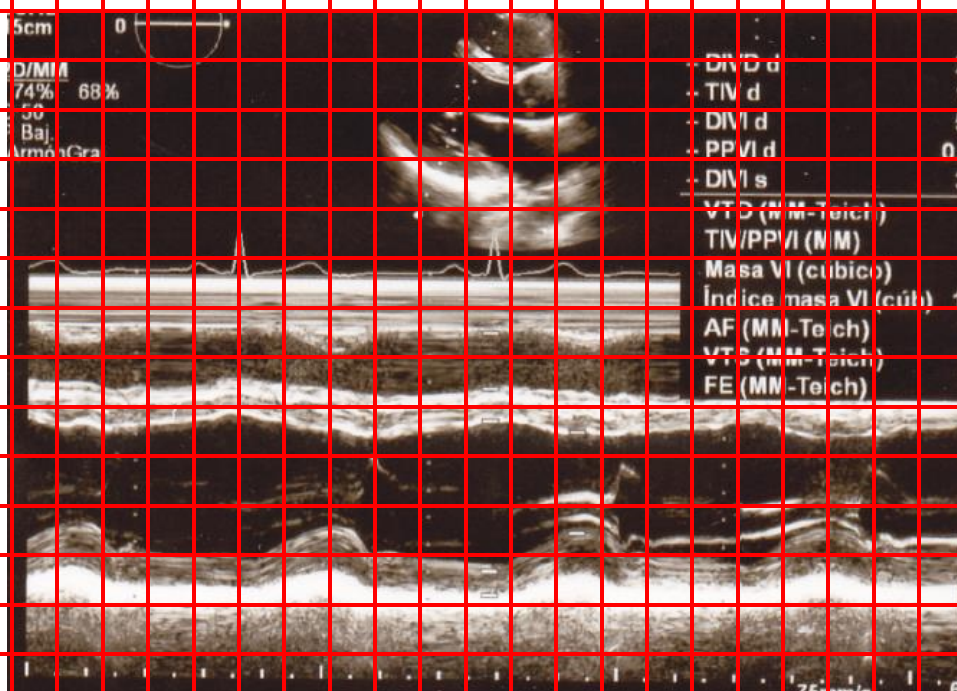
Rejilla milimetrada de 8 mm



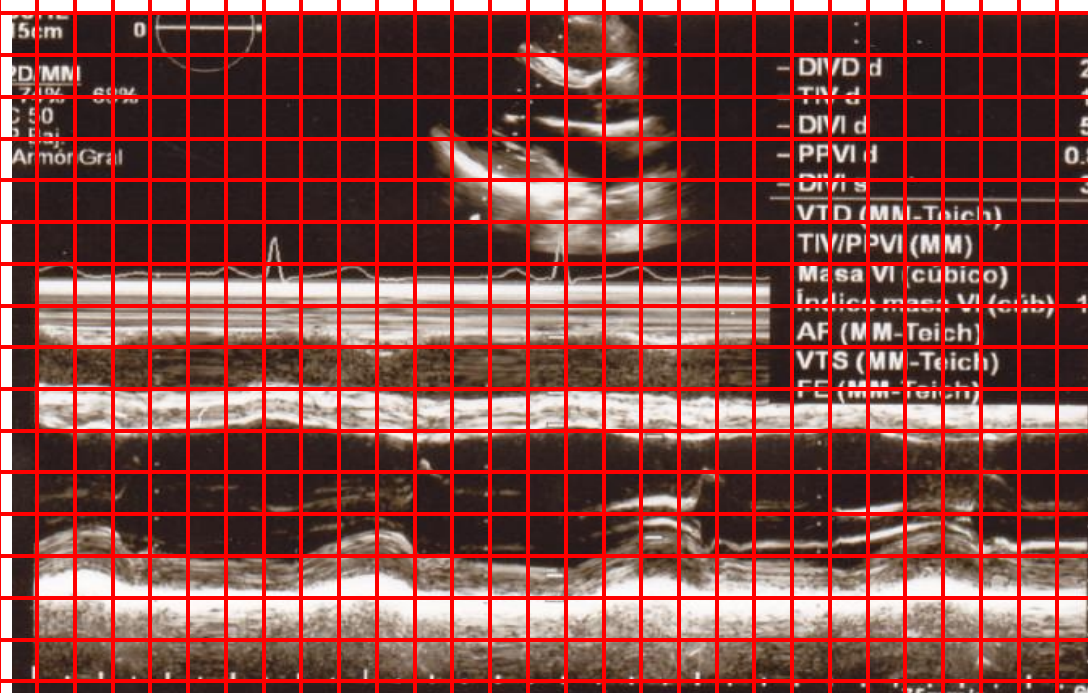
Rejilla milimetrada de 7 mm



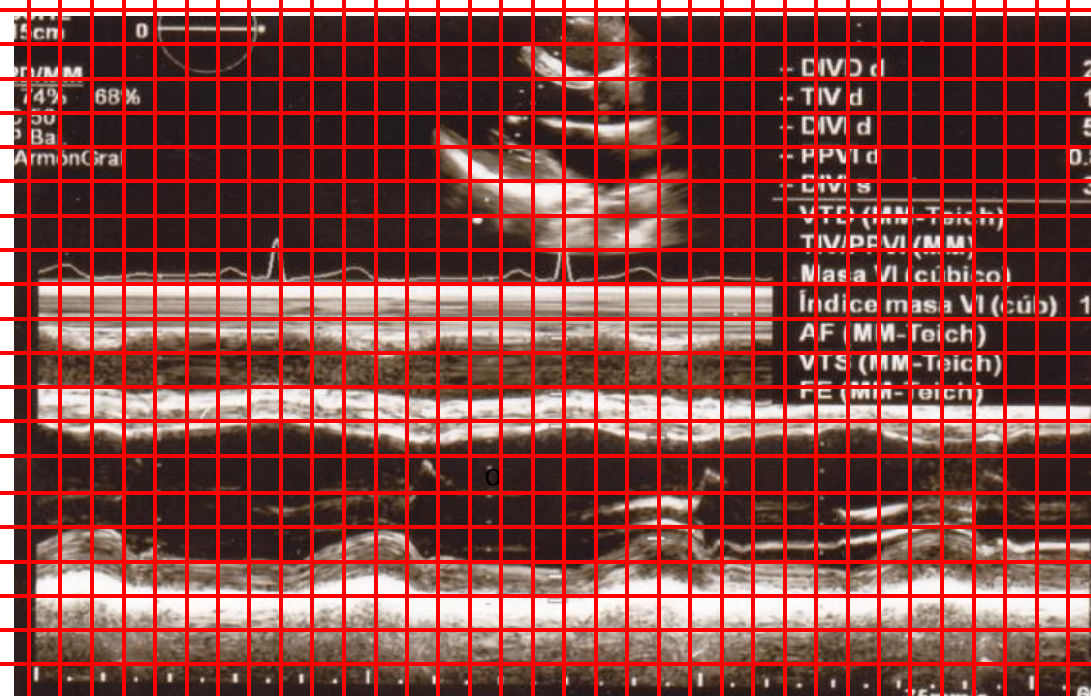
Rejilla milimetrada de 6 mm



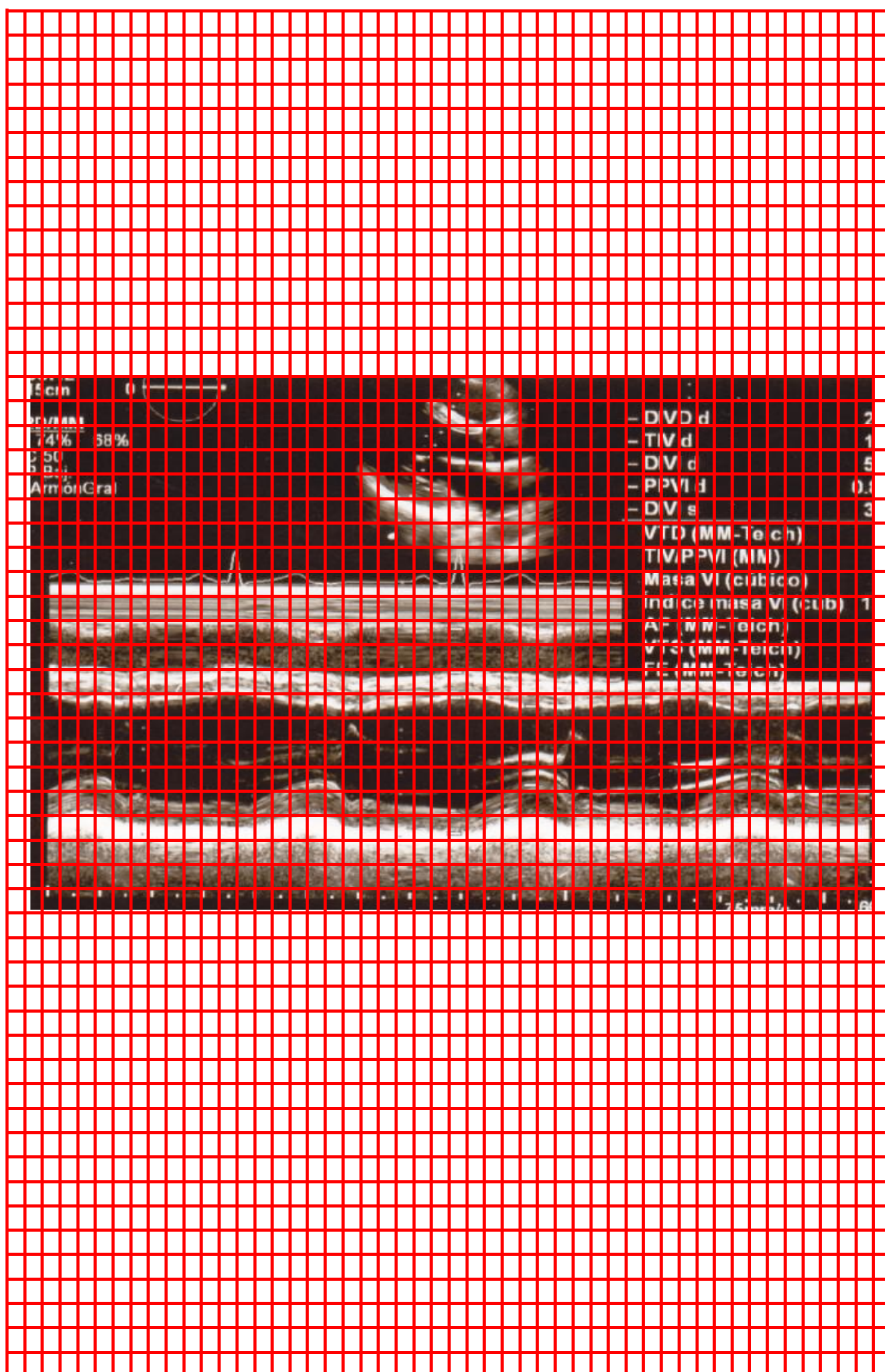
Rejilla milimetrada de 5 mm



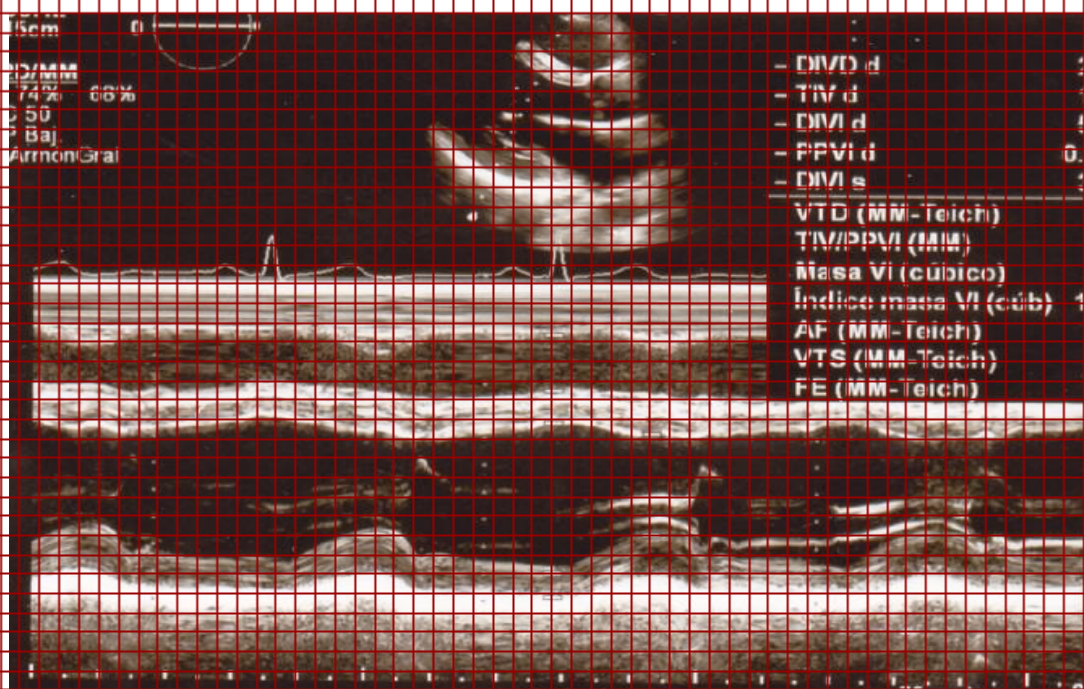
Rejilla milimetrada de 4 mm

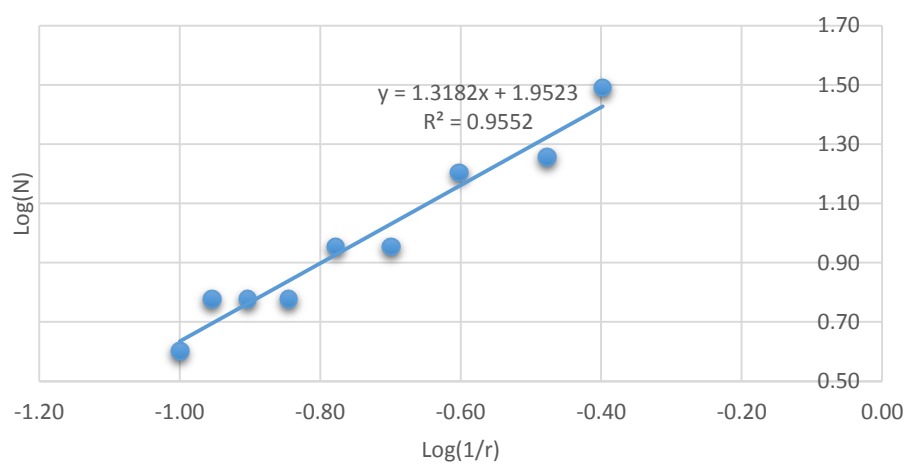
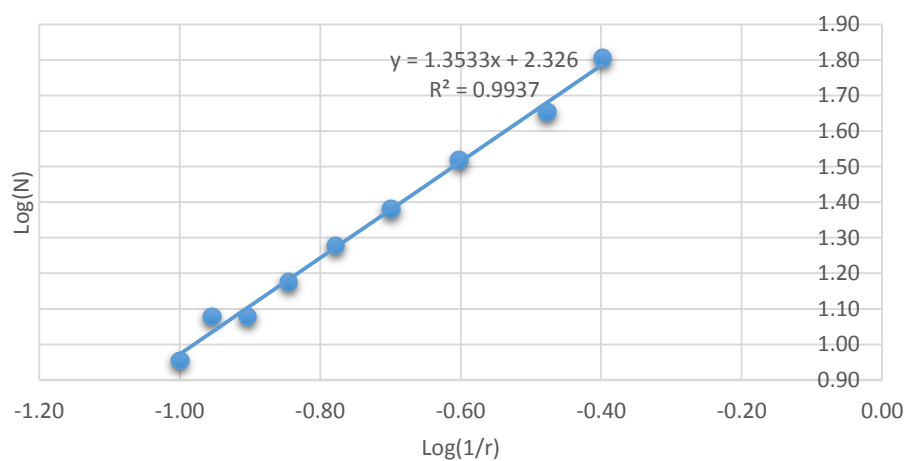
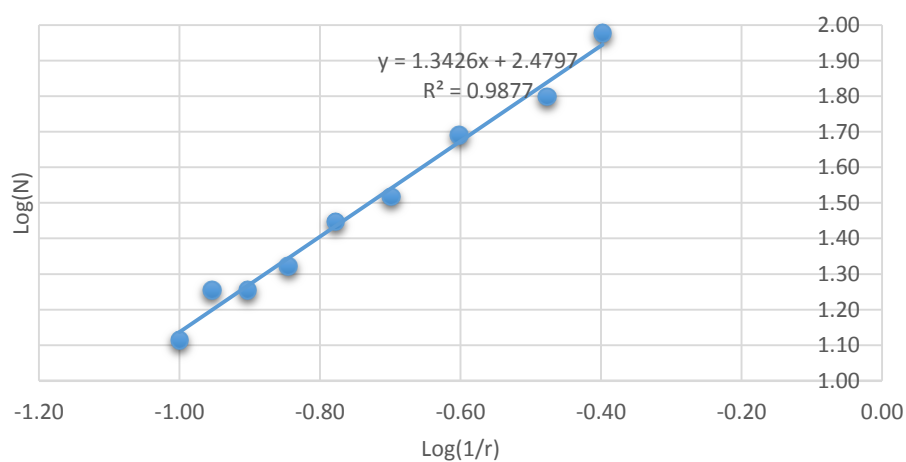


Rejilla milimetrada de 3 mm



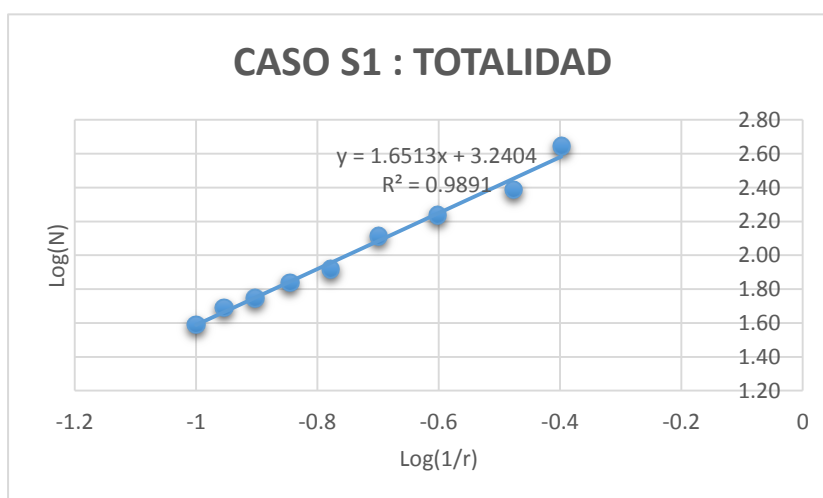
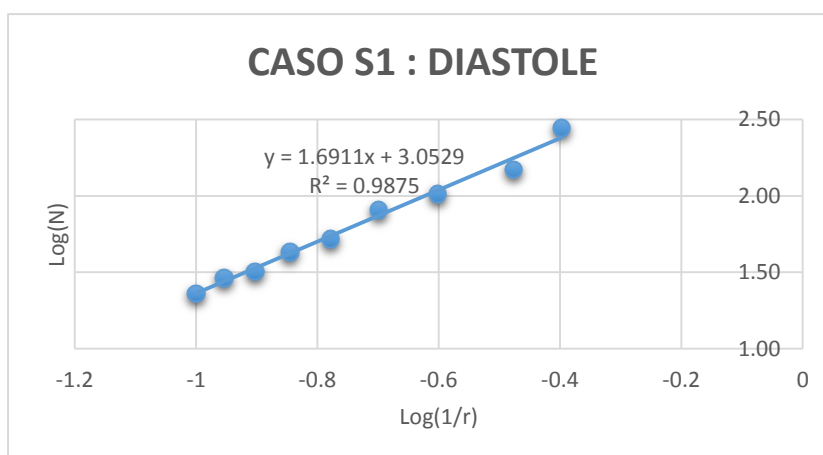
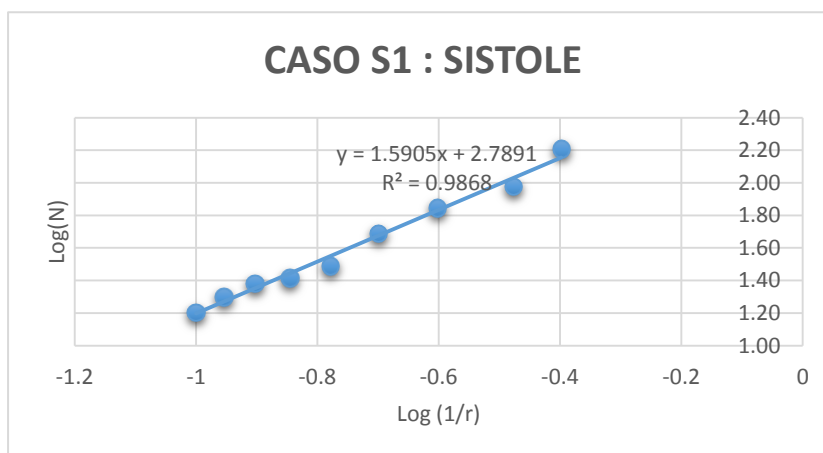
Rejilla milimetrada de 2.5 mm



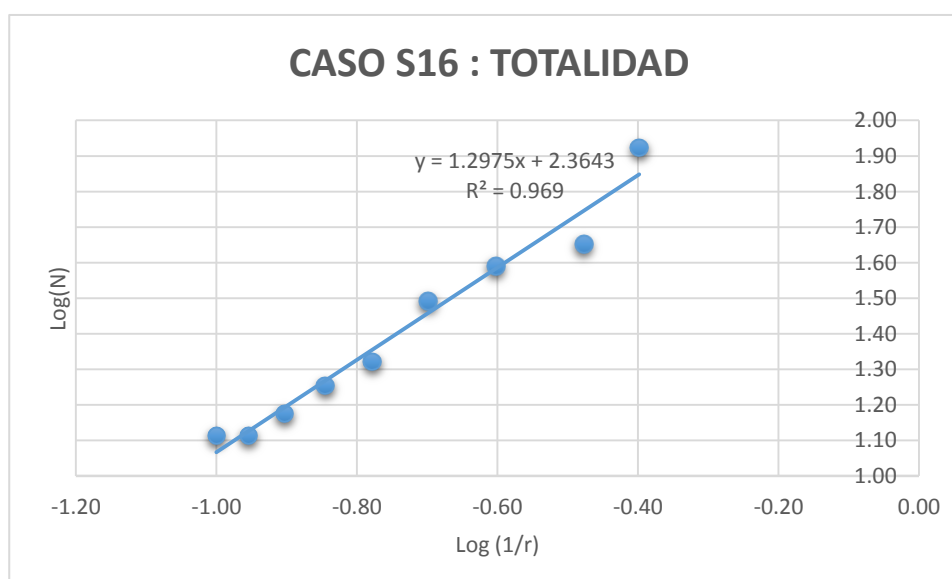
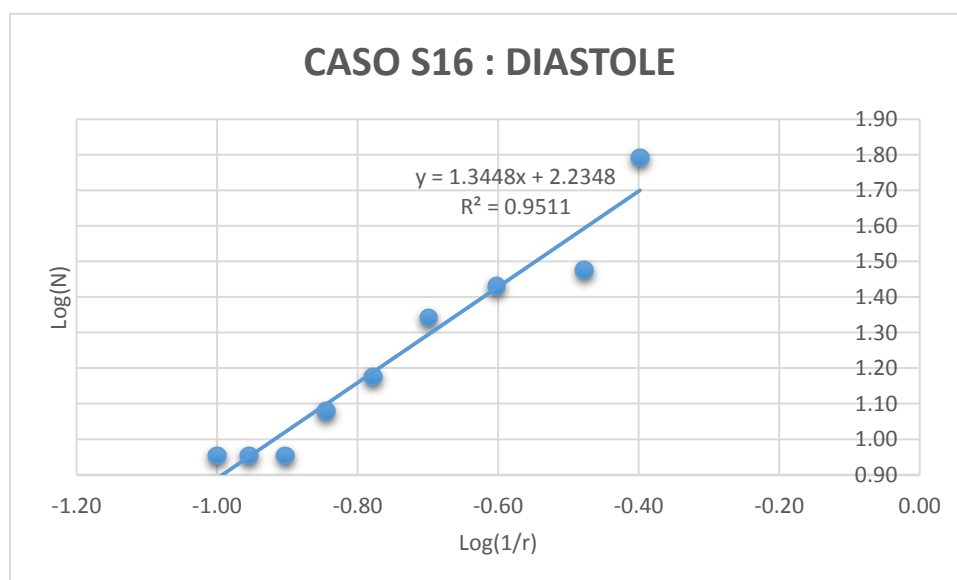
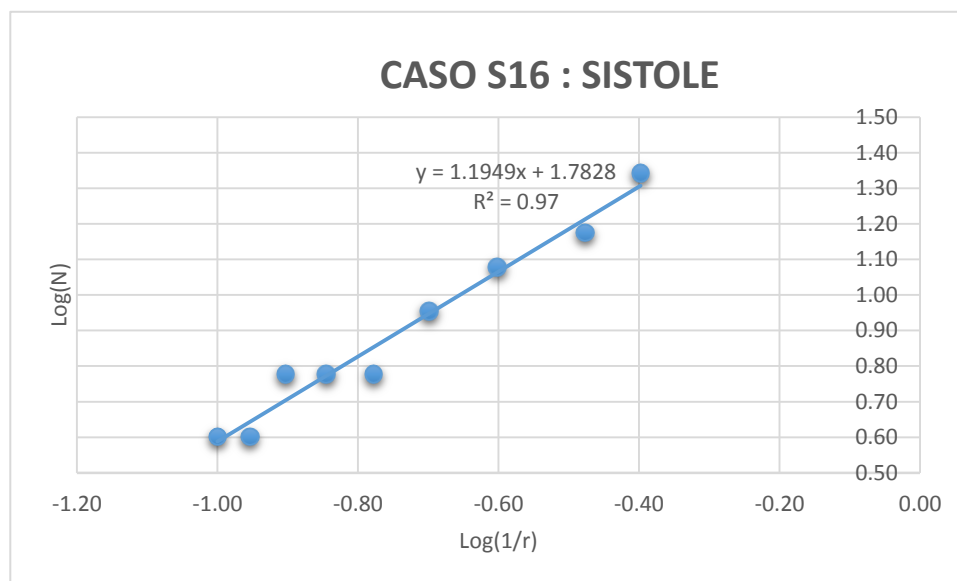
CASO P11 : SISTOLE**CASO P11 : DIASTOLE****CASO P11 : TOTALIDAD**

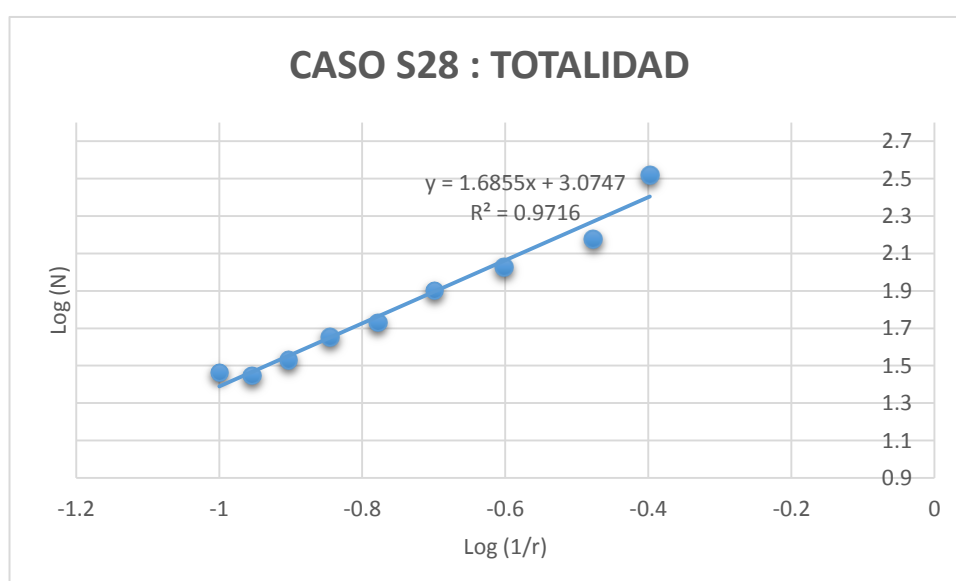
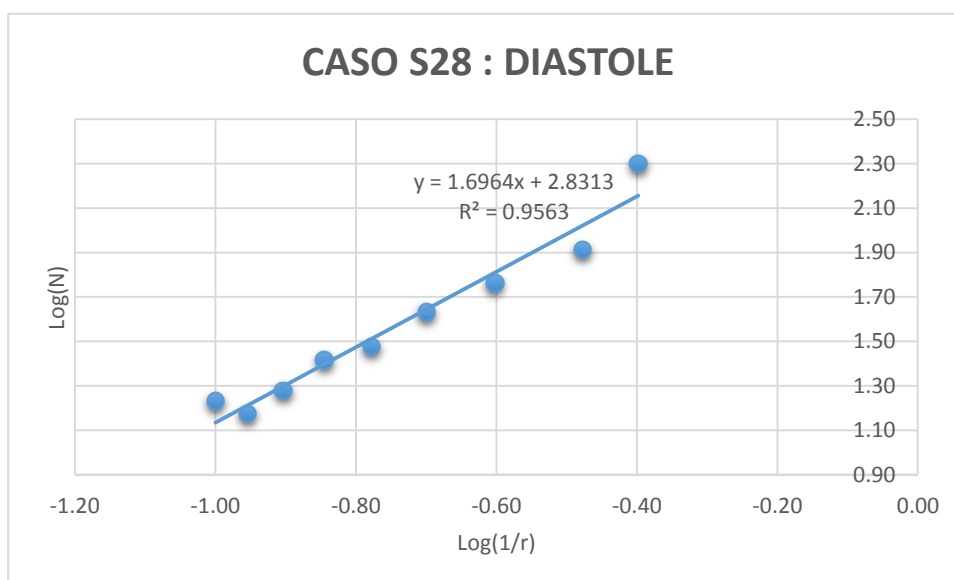
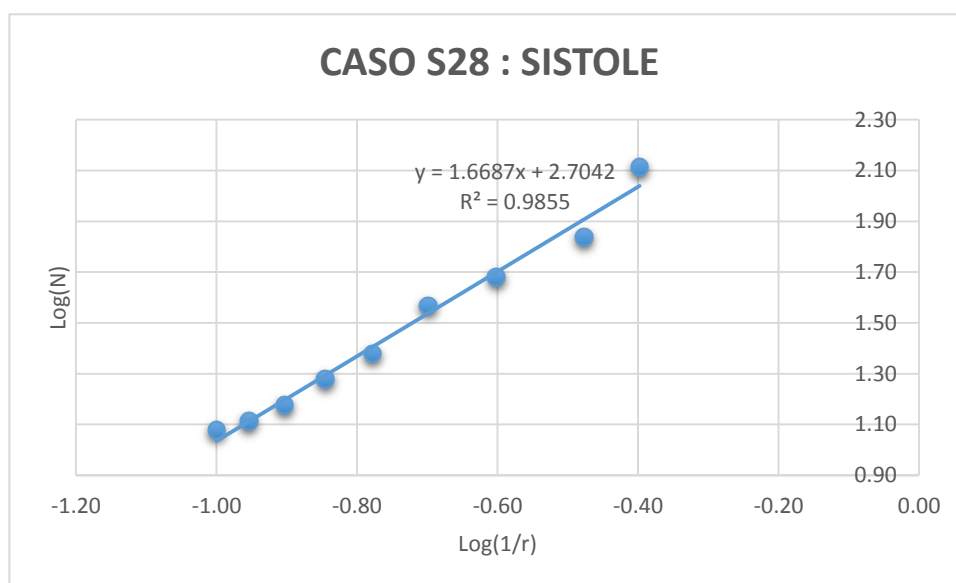
De manera análoga tal y como en cada uno de los 5 casos anteriores, se realizó el mismo procedimiento para el conteo de cuadrículas empleando el método de Box-Counting para 5 casos más de corazones diagnosticados clínicamente sanos como enfermos, obteniendo las siguientes graficas:

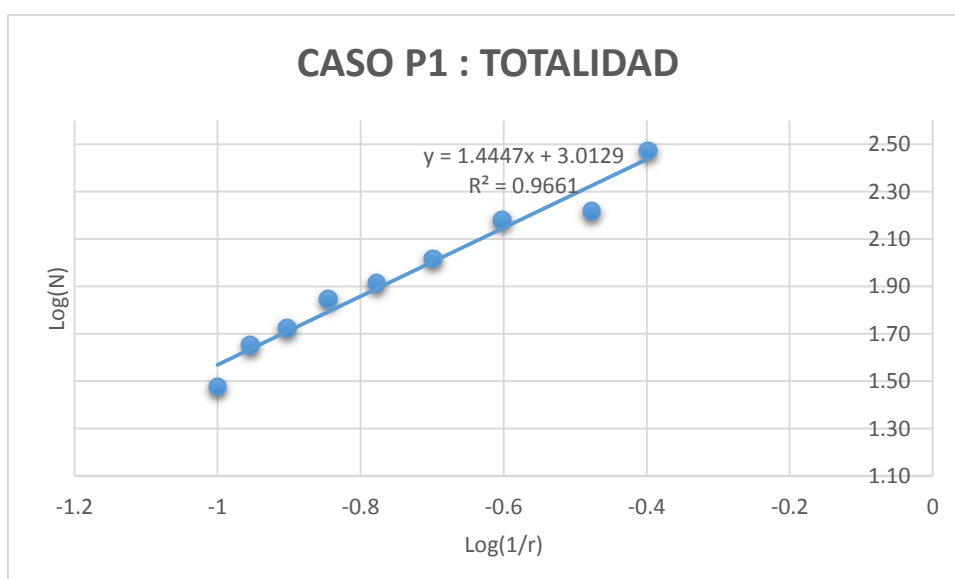
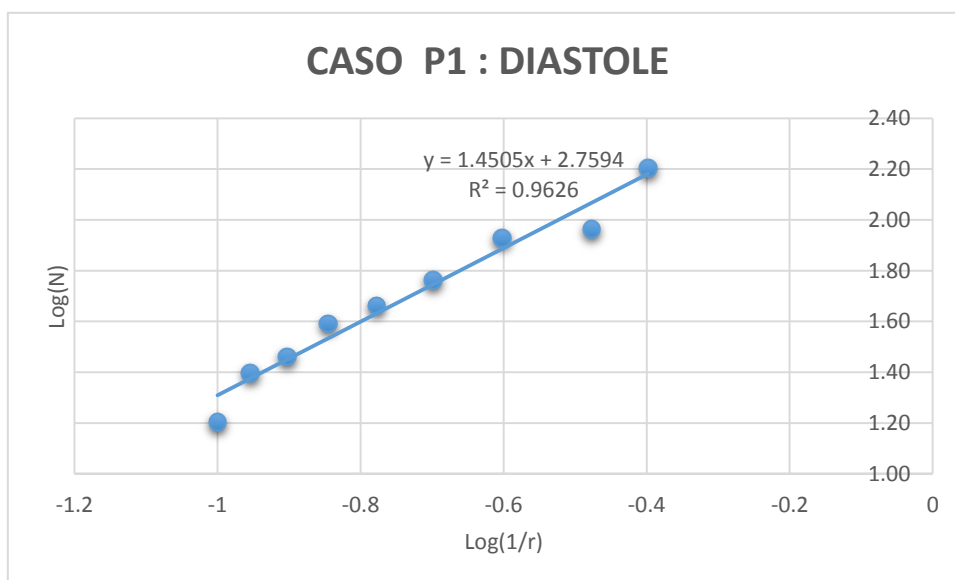
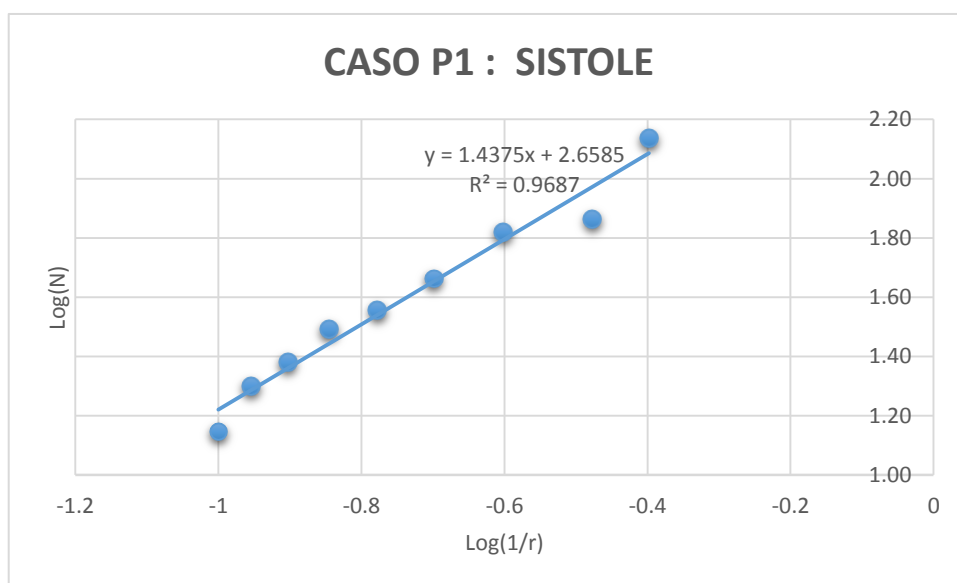
CASO “S1”

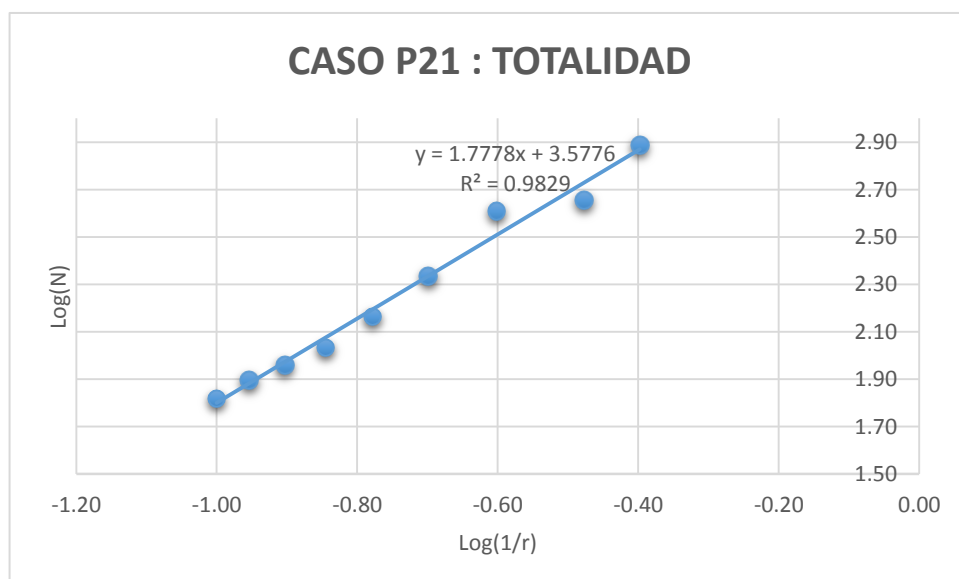
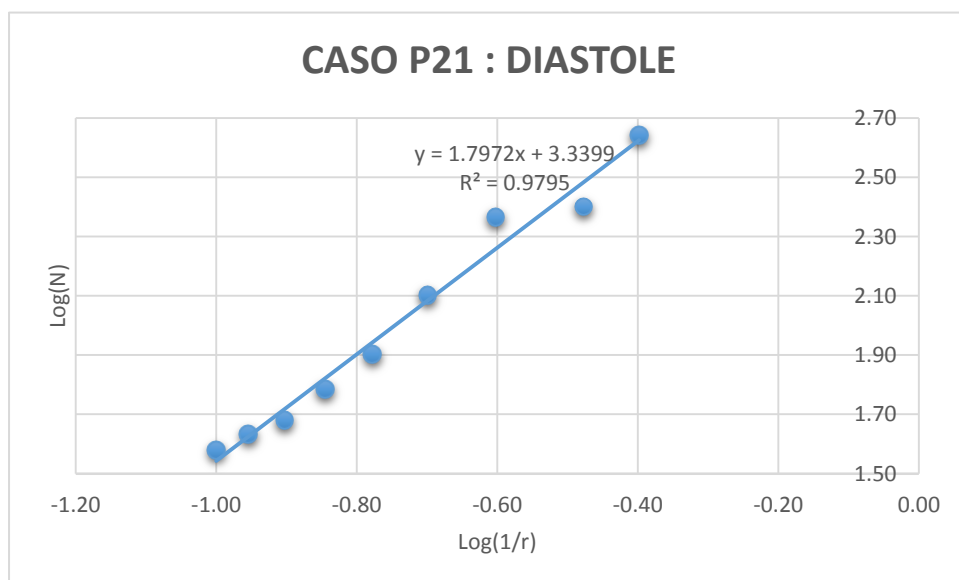
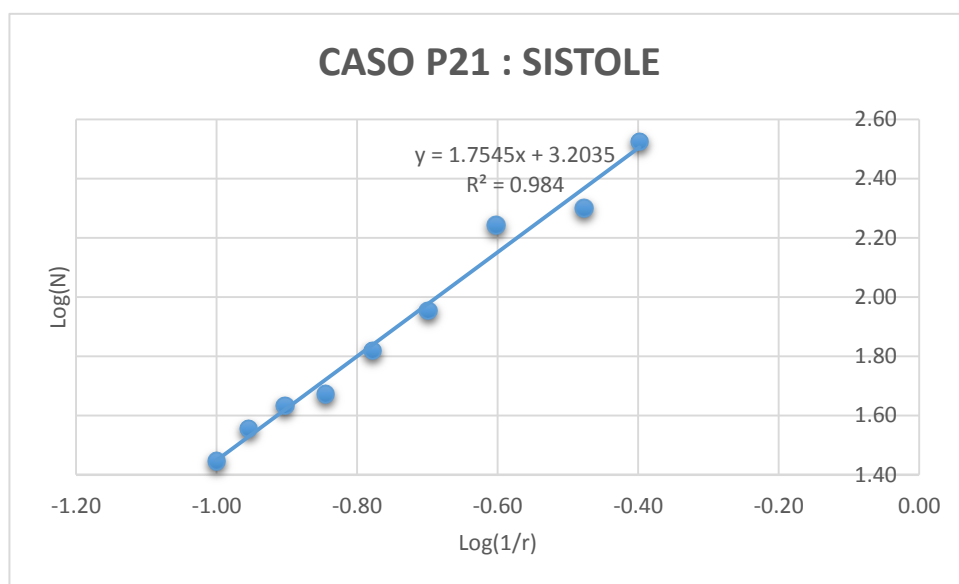


CASO “S16”



CASO “S28”

CASO “P1”

CASO “P21”

Lambayeque, 16 de Octubre del 2018

Terán Flores Flavio César

Bachiller en física

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'J' followed by several loops and a final flourish.

M Sc. Tuñoque Gutierrez Justo Vladimir.

ASESOR