ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria 1
Agradecimientos 3
Resumen 4
Resum 4
Abstract 4
Gantt del proyecto 5
Capítulo 1: Introducción 7
1.1. La insuficiencia cardíaca 7
1.1.1. Insuficiencia cardiaca Sistólica 8
1.1.2. Insuficiencia cardiaca diastólica 9
1.1.3. Causas de IC 9
1.2. La Insuficiencia Respiratoria 13
1.2.1. Causas 13
1.2.2. Síntomas 13
Capítulo 2: Técnicas de Procesado de señales 15
2.1. Estadísticos 15
2.2. Densidad Espectral de Potencia (DSP). 17
2.3. Definición de "Correntropy" 18
2.3.1. Portadora y Moduladora 19
2.3.2. Blackman – Tukey 19
2.3.3. Yule - Walker 19
2.4. Prueba de Mann Whitney con SPSS 20
Capítulo 3: Presentación de la base de datos 22
3.1. Parámetros Clínicos 27
Capítulo 4: Resultados de los análisis Estadísticos 37
4.1. Análisis Estadístico de las series temporales 37
4.2. Análisis Estadístico de las series frecuenciales (DSP) 39
4.2.1. Presentación de los datos 39
4.2.2. Resultados Obtenidos de la PSD 40
4.3. Análisis Estadístico de la densidad espectral de correntropy 41
4.3.1. Presentación de los datos 41

Capítulo 5: Análisis discriminante..... 43
5.1. Análisis discriminante.....43
5.2. Fases del análisis discriminante con SPSS.....44
5.3. Resultados del análisis discriminante para PSD.....47
5.4. Resultados del análisis discriminante para CSD 52
5.5. Recopilación de resultados.....56
Capítulo 6: Conclusiones 57
Capítulo 7: Presupuesto 58
Capítulo 8: Bibliografia 59
8.1. Referencias bibliográficas 59
8.2. Bibliografía de Consulta.....60

AGRADECIMIENTOS

Agradecer, sobretodo, a la profesora Beatriz Giraldo por su gran ayuda, a Ainara Garde por cederme los datos de su tesis doctoral para utilizarlos en mi proyecto, y a los Drs. Salvador Benito y Antonio Bayés-Genís y sus equipos de trabajo, por su colaboración en la adquisición de la base de datos para nuestro estudio en el Hospital de la Santa Creu de San Pau.

RESUMEN

El siguiente proyecto, es el estudio de una base de datos de pacientes con insuficiencias cardiacas crónica (CHF) para el estudio de la variabilidad del patrón respiratorio. Estos pacientes pueden presentar patrones de respiración periódica (PB) o respiración no periódica (nPB). La identificación de estos patrones pueden ser de ayuda en la estratificación del nivel de riesgo de los pacientes. A partir de diferentes técnicas de procesado de señales se obtienen series de datos que permiten caracterizar estos patrones respiratorios. Se proponen diferentes tipos de técnicas de análisis estadístico de datos como la Prueba de Mann Whitney y el análisis discriminante. Aplicando estas técnicas a series temporales, a parámetros frecuenciales obtenidos a partir de la densidad espectral de potencia (PSD) y de la densidad espectral de "correntropy" (CSD) se obtienen índices que clasifican los pacientes de acuerdo con la respiración periódica, respiración no periódica, y el patrón respiratorio de sujetos sanos.

RESUM

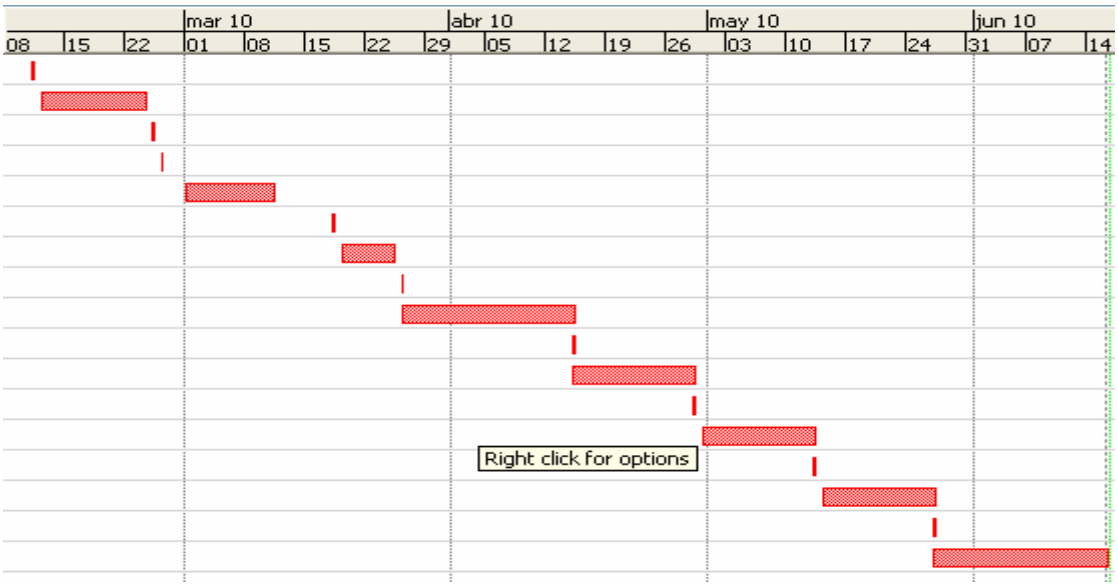
El següent projecte, és l'estudi d'una base de dades de pacients amb insuficiències cardíaques crònica (CHF) per a l'estudi de la variabilitat del patró respiratori. Aquests pacients poden presentar patrons de respiració periòdica (PB) o respiració no periòdica (nPB). La identificació d'aquests patrons poden ser d'ajuda en l'estratificació del nivell de risc dels pacients. A partir de diferents tècniques de processament de senyals s'obtenen sèries de dades que permeten caracteritzar aquests patrons respiratoris. Es proposen diferents tipus de tècniques d'anàlisi estadística de dades com la Prova de Mann Whitney i l'anàlisi discriminant. Aplicant aquestes tècniques a sèries temporals, a paràmetres freqüencials obtinguts a partir de la densitat espectral de potència (PSD) i de la densitat espectral de "correntropy" (CSD) s'obtenen índexs que classifiquen els pacients d'acord amb la respiració periòdica, respiració no periòdica, i el patró respiratori de subjectes sans.

ABSTRACT

The next project is the study of a database of patients with chronic heart failure (CHF) for the study of the variability of breathing pattern. These patients may have patterns of periodic breathing (PB) or no periodic breathing (nPB). Identifying these patterns can be helpful in the stratification of the risk level of patients. From different signal processing techniques are obtained series of data that characterize these breathing patterns. Different types of statistical analysis techniques like data Mann Whitney test and discriminant analysis. Applying these techniques to time series, frequency parameters obtained from power spectral density (PSD) and spectral density "correntropy" (CSD) are obtained indices that classify patients according to periodic breathing, no periodic breathing, and breathing pattern in healthy subjects.

GANTT DEL PROYECTO

		Nombre	Du...	Inicio	Termina...
1		Entrevista tutora	1 ...	11/02/10...	11/02/10...
2		Recopilación de informació	9 ...	12/02/10...	24/02/10...
3		entrevista tutora	1 ...	25/02/10...	25/02/10...
4		Instalación de software	1 ...	26/02/10...	26/02/10...
5		Trabajos con MatLAB	9 ...	27/02/10...	11/03/10...
6		Entrevista tutora	1 ...	18/03/10...	18/03/10...
7		Trabajos con excel y SPSS	5 ...	18/03/10...	25/03/10...
8		Entrevista tutora	1 ...	26/03/10...	26/03/10...
9		Trabajos con excel y SPSS	15...	26/03/10...	15/04/10...
10		Entrevista tutora	1 ...	15/04/10...	15/04/10...
11		Trabajos con excel y SPSS	11...	15/04/10...	29/04/10...
12		Entrevista tutora	1 ...	29/04/10...	29/04/10...
13		Trabajos con excel y SPSS	10...	30/04/10...	13/05/10...
14		Entrevista tutora	1 ...	13/05/10...	13/05/10...
15		Redacció memoria	10...	14/05/10...	27/05/10...
16		Entrevista tutora	1 ...	27/05/10...	27/05/10...
17		Redacción memoria	15...	27/05/10...	16/06/10...



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. La insuficiencia cardíaca

El síndrome de insuficiencia cardíaca (IC) ha sido, es y será unos de los problemas fundamentales a la hora de estudiar las enfermedades del sistema cardiovascular, y es, de hecho, uno de los campos en los que más se centran los esfuerzos de los investigadores de todo el mundo: un correcto diagnóstico, así como un eficaz tratamiento, pueden mejorar y prolongar la vida de millones de afectos de este síndrome. La insuficiencia cardíaca, que no es sino el punto de encuentro final de la mayoría de las enfermedades del corazón, es, junto con el cáncer, la principal causa de mortalidad en los países desarrollados. Para enmarcar el problema bastan las siguientes cifras: se consideran que existen unos quince millones de afectados en todo el mundo, cifra que se espera continúe ascendiendo a lo largo de los próximos años, es decir, se trata de un problema de salud pública creciente que en unos años puede adquirir proporciones epidémicas, en parte porque la población cada vez vive más, merced a los avances científicos, siendo las enfermedades del corazón, en su mayor parte, propias en edades avanzadas. Y, además, se trata de un síndrome con un alto coste de sanitario: se estima que, sólo en Estados Unidos, esta enfermedad genera unos gastos sanitarios cercanos a los 11.000 millones de dólares al año [6],[12].

Ya se ha comentado que la insuficiencia cardíaca es un denominador común en la evolución de la mayoría de las enfermedades cardiovascular, siempre que estas no sean tratadas o corregidas a tiempo. Pero a la hora de definir cual es la causa más frecuente de IC nos encontramos con otra de las grandes epidemias dentro de la patología cardiovascular: la cardiopatía isquémica. Se estima que, en aproximadamente el 65% de los casos de IC, la patología subyacente de base es la cardiopatía isquémica. Otras causas menos frecuentes, aunque a menudo solapadas con la cardiopatía isquémica, serían la cardiopatía hipertensivas, las

miocardiopatías (fundamentalmente la miocardiopatía dilatada idiopática), las valvulotapías o las cardiopatías congénitas.

La insuficiencia cardíaca casi siempre es una afección crónica y prolongada, aunque algunas veces se puede desarrollar repentinamente.

La enfermedad puede afectar el ***lado derecho***, el ***lado izquierdo*** o ambos lados del corazón.

- La ***insuficiencia cardíaca derecha*** significa que el ventrículo derecho del corazón pierde su función de bombeo.
- La ***insuficiencia cardíaca izquierda*** significa que la capacidad del corazón para bombear sangre desde el lado izquierdo del corazón está disminuida. El lado izquierdo del corazón normalmente recibe sangre rica en oxígeno de los pulmones y la bombea al resto del cuerpo.

La insuficiencia cardíaca con frecuencia se clasifica ya sea como sistólica o diastólica.

- La ***insuficiencia cardíaca sistólica*** significa que el miocardio no puede bombear o expulsar muy bien la sangre fuera del corazón.
- La ***insuficiencia cardíaca diastólica*** significa que la cámara de bombeo del corazón no se llena con sangre.

Ambos problemas significan que el corazón ya no puede bombear suficiente sangre al resto del cuerpo, sobre todo cuando se hace ejercicio o está activo.

A medida que se pierde la acción de bombeo del corazón, la sangre puede represarse en otras áreas del cuerpo, produciendo congestión en los pulmones, el hígado, el tracto gastrointestinal, al igual que en los brazos y las piernas. Como resultado, hay una falta de oxígeno y nutrición a órganos, lo cual les causa daño y reduce su capacidad para funcionar adecuadamente.

Globalmente se va a caracterizar por un bajo gasto cardiaco y congestión, aunque hay formas de IC en las que solo existe congestión siendo el gasto cardiaco normal.

1.1.1. Insuficiencia cardiaca Sistólica

Existe bajo gasto cardiaco (por depresión de la función sistólica, disminución del gasto cardiaco, disminución del volumen/minuto) y congestión retrograda (que, en el caso de IC izquierda se transmitirá al cuerpo y en el caso de la IC izquierda se transmitirá al pulmón).

Existe también una activación neurohormonal en respuesta al bajo gasto cardiaco, el cual es responsable de la progresión de la enfermedad y muerte del paciente.

Un ejemplo de IC sistólica es el infarto de miocardio, que altera la función sistólica.

Alteración de la función sistólica. La causa más común y principal es la pérdida de miocitos (elementos contráctiles).

Ocurre en la cardiopatía isquémica. Lesiones valvulares crónicas (sobretodo insuficiencias): insuficiencia mitral y aórtica. Provocan que el corazón se dilate hasta que sobrepasa el punto optimo de desacoplamiento (ley de Starling), momento en el cual deja de contraerse adecuadamente.

Cardiopatía hipertensiva evolucionada/sostenida que deriva en IC sistólica por apoptosis miocitaria.

Si el corazón pierde elementos contráctiles (miocitos) se dilatará para mantener el estrés parietal (viene determinado por la ley de Laplace).

1.1.2. Insuficiencia cardiaca diastólica

La función contráctil del corazón es normal de modo que es gasto cardiaco en reposo será normal (en el ejercicio sí disminuye). Ello implica que no existirá tanta activación neurohormonal.

No hay hipoperfusión sistémica (mala oxigenación celular).

Como existe dificultad en el llenado, lo que si se da en la IC diastólica es la congestión retrograda. Como el volumen de eyección se mantiene, el vaciado es normal.

Un ejemplo de causa de IC diastólica es la HTA.

La insuficiencia cardiaca es la enfermedad cardiovascular con mayor incidencia y prevalencia. Ello se debe a:

- Envejecimiento de la población.
- Otras cardiopatías de menor mortalidad (las enfermedades cardiacas son menos mortales) pero producen daño cardiaco por lo que el paciente acaba evolucionando a IC.
- Disminución de la mortalidad de los pacientes con insuficiencia cardiaca (existirán más casos).

La prevalencia de la IC aumenta con la edad; así, un 5% de los individuos de 70-80 anos tienen IC y en los >80 anos la prevalencia es del 10%.

1.1.3. Causas de IC

1. Cardiopatía isquémica (IAM previo)→ La **cardiopatía isquémica** es la **enfermedad** ocasionada por la arteriosclerosis de las arterias coronarias, es decir, las encargadas de proporcionar sangre al **músculo cardíaco (miocardio)**. La **arteriosclerosis** coronaria es un proceso lento de formación de colágeno y acumulación de lípidos (grasas) y células inflamatorias (linfocitos). Estas tres causas provocan el estrechamiento (estenosis) de las arterias coronarias.

Este proceso empieza en las primeras décadas de la vida, pero no presenta síntomas hasta que la estenosis de la arteria coronaria se hace tan grave que causa un desequilibrio entre el aporte de **oxígeno al miocardio** y sus necesidades. En este caso se produce una **isquemia miocárdica** (**angina de**

pecho estable) o una oclusión súbita por **trombosis de la arteria**, lo que provoca una falta de oxigenación del **miocardio** que da lugar al **síndrome coronario agudo (angina inestable e infarto agudo de miocardio).D**ebido a lo cual muchos pueden tener disfunción ventricular asintomática por depresión de la función ventricular.

2. HTA (Hipertensión Arterial)→ es una condición médica caracterizada por un incremento continuo de las cifras de presión arterial por encima de 139/89 mmHg. La HTA produce cambios hemodinámicos, macro y microvasculares, causados a su vez por disfunción del mismo endotelio vascular y el remodelado de la pared de las arteriolas de resistencia, responsables de mantener el tono vascular periférico.

La HTA Puede causar:

- Hipertrofia ventricular izquierda: en inicio hay engrosamiento parietal sin incremento de la masa ventricular total (remodelado concéntrico); luego se desarrolla franca hipertrofia concéntrica, que podría llegar a fase dilatada (hipertrofia excéntrica)
- Fibrosis miocárdica, como parte del proceso de hipertrofia, con deterioro de la distensibilidad parietal y de las propiedades viscoelásticas del miocardio contráctil
- Isquemia microvascular coronaria, principalmente por rarefacción de la red capilar y disfunción endotelial de los vasos remanentes.
- Síndrome coronario agudo: angina inestable o infarto sin onda Q (también conocido como infarto sin elevación de segmento S-T)
- Infarto agudo miocárdico
- Disfunción diastólica ventricular izquierda, a consecuencia de isquemia, hipertrofia y fibrosis ventricular, que conducen a anomalías regionales y globales de la relajación y, en fases más avanzadas, de la distensibilidad
- Disfunción sistólica ventricular izquierda, con caída de la fracción de eyección ventricular izquierda (FE, el porcentaje de toda la sangre que, habiendo llenado el ventrículo en diástole, es bombeada de manera efectiva fuera de la cavidad).
- Insuficiencia cardíaca congestiva (ICC) global; como consecuencia de la falla ventricular izquierda hay además compromiso secundario del hemicardio derecho, con dilatación de cámaras e hipertensión arterial pulmonar secundaria
- Valvulopatías calcíficas degenerativas de hemicardio izquierdo, en especial de las válvulas mitral (insuficiencia) y aórtica (estenosis y/o insuficiencia)
- Fibrilación auricular (arritmia supra-ventricular).
- Arritmias ventriculares, como consecuencia de micro-reentrada por fibrosis, lesión o isquemia

3. DM (diabetes Mellitus)→ La Diabetes Mellitus describe un desorden metabólico de etiología múltiple, caracterizado por hiperglicemia crónica con disturbios en el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas, que resulta de trastornos en la secreción y/o en la acción de la insulina.

Es una enfermedad progresiva dual, caracterizada en primer lugar por resistencia a la insulina, pero también por una falla progresiva de la función de las células β de los islotes pancreáticos.

- La DM abarca cuatro grupos de entidades:
- Diabetes mellitus tipo 1 (DM1)
- Diabetes mellitus tipo 2 (DM2)
- Otros tipos específicos de diabetes
- Diabetes mellitus gestacional (DMG).

4. Valvulopatias→Las valvulopatías son las enfermedades propias de las válvulas del corazón. La función de las válvulas del corazón es abrirse y cerrarse correctamente durante el ciclo cardiaco. Esto permite el paso de la sangre de una cavidad a otra y que pueda avanzar sin retroceder [14].

Las válvulas pueden estropearse por infecciones, por traumatismos, por envejecimiento, etc.

El mal funcionamiento de las válvulas cardíacas puede deberse a que se escape sangre por ellas (regurgitación o insuficiencia valvular) o a que no se abran adecuadamente (estenosis valvular). Cada trastorno puede alterar gravemente la capacidad de bombeo del corazón. En ocasiones, una misma válvula puede tener ambos problemas.

- Insuficiencia de la válvula mitral
- Prolapso de la válvula mitral
- Estenosis de la válvula mitral
- Insuficiencia de la válvula aórtica
- Estenosis de la válvula aórtica
- Insuficiencia de la válvula tricúspide
- Estenosis de la válvula tricúspide
- Estenosis de la válvula pulmonar

5. Míocardiopatías dilatada (habitualmente idiopática)→ La miocardiopatía dilatada (MCD) es una enfermedad del músculo cardiaco que hace que el corazón se agrande y tenga menos fuerza para bombear la sangre.

Las razones por las que el músculo cardiaco se debilita son inciertas, pero el proceso es probablemente lento y sólo da síntomas cuando está bastante avanzado. Como resultado de la enfermedad el corazón se vuelve débil, delgado o flojo y es incapaz de bombear la sangre de forma eficiente al resto del cuerpo. Esto hace que la sangre no expulsada se acumule en los pulmones que se vuelven congestivos, lo que produce la sensación de falta de aire: es decir, deriva en una insuficiencia cardiaca.

6. Alcoholismo (miocardiopatía de origen etílico)→ La ingestión prolongada de alcohol, durante 10 a 40 años , lleva a un 10 % de estos bebedores a padecer miocardiopatia dilatada de origen etílico. Puede debutar con fallo cardiaco congestivo de bajo. Existe cardiomegalia , galope ventricular etc... Un 40 % de estos presenta también cirrosis hepática, aunque hay series que consideran excluyente la afectación cardiaca y hepática. Se observa también con frecuencia miopatia alcohólica (músculo esqueletico) asociada a la miocardiopatia.

Alteración de la función diastólica. El fenómeno fundamental es la hipertrofia y la fibrosis del ventrículo, que genera la disfunción.

Causas:

Fundamentalmente por envejecimiento: con la edad se pierden miocitos por apoptosis. Para compensar esa perdida, los miocitos que quedan se hipertrofian y, con la edad, se producirá fibrosis.

La HTA es la causa mas importante.

Además de las causas existen FACTORES PRECIPITANTES:

- Abandono del tratamiento o sobrecarga de sal (mala dieta).
- Episodio/s de FA rápida (Fibrilación auricular).
- Síndrome coronario agudo (IAM o angina inestable).
- Crisis hipertensiva.
- Fármacos inotropos negativos, tales como:
    a. Ca2+ antagonistas bradicardizantes
    b. AINEs (producen retención hidrosalina e interfieren con PGs)
    c. Antidepresivos
    d. Alcohol, DM .

NOTA: Presión hidrostática capilar pulmonar = 11 mmHg

1.2. La Insuficiencia Respiratoria

La función esencial del aparato respiratorio consiste en procurar que existan unos niveles óptimos de oxígeno (O2) y una adecuada eliminación de anhídrido carbónico (CO2). Para que este intercambio de gases sea correcto es necesario que las funciones del aparato respiratorio se realicen correctamente. Estas funciones son: ventilación (entrada de aire en los pulmones), difusión alveolocapilar (movimiento del O2 y CO2 entre los alveolos pulmonares y la sangre) y perfusión sanguínea (flujo de sangre a los pulmones). Cualquier alteración en una o varias de estas funciones origina un fallo en el intercambio pulmonar de gases, lo cual provoca insuficiencia respiratoria [8].

La insuficiencia respiratoria consiste en una reducción de la presión parcial de O2 en la sangre arterial (hipoxia) y/o una elevación de la presión parcial de CO2 (hipercapnia). Es decir, una reducción de la oxigenación de los tejidos (hipoxia) y/o una elevación de la cantidad de anhídrido carbónico.

1.2.1. Causas

- Disminución de la ventilación: sobredosis de sedantes, enfermedades neuromusculares, síndromes de apneas del sueño, obstrucciones de la vía respiratoria superior.
- Alteraciones en el paso del oxígeno de los pulmones a la sangre: fibrosis pulmonares difusas.
- Acumulación de líquido pulmonar: edema pulmonar, neumonías, hemorragia intrapulmonar.
- Desequilibrios en la relación ventilación/perfusión: enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), embolia pulmonar.
- Reducción del flujo sanguíneo: obstrucciones arteriales. . Reducción de la hemoglobina: anemia.

1.2.2. Síntomas

Los signos de hipoxemia aguda se relacionan con trastornos del sistema nervioso central y del sistema cardiovascular. Entre los primero destacan la incoordinación motora, la somnolencia, y la disminución de la capacidad intelectual. Si la hipoxemia empeora puede presentarse depresión de los centros respiratorios con muerte súbita. Las manifestaciones cardiovasculares principales son la taquicardia y la hipertensión arterial en las fases iniciales. A medida que se acentúa la hipoxemia aparece bradicardia (ritmo cardiaco muy lento), depresión del miocardio y finalmente shock cardiocirculatorio.

La hipoxemia crónica se acompaña de apatía, falta de concentración y respuesta lenta a los estímulos. Las manifestaciones cardiovasculares son mínimas, aunque pueden aparecer signos y síntomas de hipertensión pulmonar y cor pulmonale.

CAPÍTULO 2:TÉCNICAS DE PROCESADO DE SEÑALES

2.1. Estadísticos

A continuación se presentan todos los Estadísticos y Técnicas de procesado de señales realizadas en este proyecto, así como los datos estadísticos utilizados.

- ***media de cada serie:*** *[Mean]:* La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos**.**

(1)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i-1}^{n} Xi}{N}$$

- ***desviación estándar*****:** *[Sigma]:* La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto a la media aritmética.

$$\sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (2)$$

- **distancia intercuartil:** [InQuar]: Los cuartiles son los tres valores de la variable dividen a un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales.

$$Q_k = L_{i-1} + \frac{\frac{K*N}{4} - F_{i-1}}{fi} * a_i \qquad (3)$$
$$K = 1,2,3$$

- ***percentil 5:*** *[Perc5]:* Los percentiles son los **5** valores que dividen la serie de datos en 100 partes iguales**.**
- **percentil 95**: *[Perc95]:* Los percentiles son los **95** valores que dividen la serie de datos en 100 partes iguales**.**

$$P_k = L_{i-1} + \frac{\frac{K*N}{100} - F_{i-1}}{fi} * a_i \qquad (4)$$
$$K = 1,2...,99$$

- ***Curtosis*****:** *[Kurto]:* La curtosis es una medida de la forma o apuntamiento de las distribuciones. Así las medidas de curtosis (también llamadas de apuntamiento o de concentración central) tratan de estudiar la mayor o menor concentración de frecuencias alrededor de la media y en la zona central de la distribución.

  El coeficiente de apuntamiento de uso más extendido es el basado en el cuarto momento con respecto a la media y define como:

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} \qquad (5)$$

  donde μ_4 es el 4º momento centrado o con respecto a la media y σ es la desviación estándar.

- ***Asimetría:*** *[Asime]***:** Las medidas de asimetría son indicadores que permiten establecer el *grado de simetría* (o asimetría) que presenta una distribución de probabilidad de una variable aleatoria sin tener que hacer su representación gráfica.
- ***coeficiente de variación*****:** *[Coefvar]: Sigma / Mean.* En estadística el coeficiente de variación o de Pearson, es una medida de dispersión útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida invariante ante cambios de escala. Uno de sus usos más comunes es para expresar la desviación standar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estandar. El coeficiente de variación es típicamente menor que uno.

  Exigimos que: $\bar{x} > 0$

  Se calcula:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \qquad (6)$$

2.2. Densidad Espectral de Potencia (DSP).

Un proceso aleatorio es una colección de señales en tiempo discreto, por tanto, no se puede calcular la transformada de Fourier del proceso en sí mismo. Pero si se puede obtener una representación del proceso en el dominio de la frecuencia si expresamos la transformada de Fourier en términos de un promedio del conjunto de realizaciones. La secuencia de autocorrelación de un proceso estacionario en sentido amplio (WSS) proporciona una descripción en el dominio del tiempo del momento de segundo orden del proceso[7].

Estimación de la densidad espectral**:**

Un problema muy común y con grandes aplicaciones prácticas en procesado de señal es el de estimar la densidad espectral de potencia de una señal aleatoria estacionaria. Decimos "estimar" puesto que, como la señal es un proceso estocástico (estacionario) dada la naturaleza estocástica del mismo no es posible determinar con absoluta precisión su *DEP* a no ser que dispongamos de un registro de señal infinito, lo cual no es posible.

Las técnicas de estimación se dividen en dos grandes grupos:

- ***No Paramétricas.*** Están basadas siempre de una u otra forma en el cálculo del periodograma. Calcular la transformada de fourier (en un ordenador es la DFT) de un registro de señal para estimar su espectro es un ejemplo de técnica no paramétrica.
- ***Paramétricas.*** Consisten en suponer un determinado modelo para el proceso estocástico (modelos AR, MA, ARMA, etc) y en la estimación de los parámetros de estos modelos mediante técnicas de predicción lineal (filtrado lineal óptimo) u otros métodos.

La ***DE*** sólo está matemáticamente bien definida en el caso de señales con una función de autocorrelación estacionaria, i.e, que no dependa de la posición de las variables aleatorias que componen el proceso sino sólo de la distancia entre ellas. Es decir, la DE sólo está bien definida para el caso de señales deterministas y señales aleatorias estacionarias.

Un proceso aleatorio no estacionario que es estacionario a trozos se llama cuasi-estacionario y es posible definir la DEP en cada uno de estos trozos. Para estimar la DEP en este tipo de procesos lo normal es usar un método de estimación espectral paramétrico adaptativo (por ejemplo mediante un modelo AR y el algoritmo LMS para identificar el modelo AR).

2.3. Definición de "Correntropy"

Las pruebas de linealidad se han convertido en un paso esencial en el sistema de análisis y modelado debido a las exigencias de cómputo y la complejidad de análisis que participan en el modelado no lineal ("Correntropy: Properties and Applications in Non-Gaussian Signal Processing")[10]. Dado que las medidas estándar no lineales son demasiado complicadas para estimar con precisión (como exponentes de Lyapunov y la dimensión de correlación), o no capaces de capturar suficiente, pero no las condiciones necesarias de no linealidad (como la asimetría del tiempo). La "correntropy" es una medida de similitud basada en el kernel que contiene la información de carácter estadístico y temporal de la estructura del conjunto de datos subyacente. Por su capacidad de conservar las características no lineales, la "correntropy" es un candidato idóneo, como medida para la determinación de la dinámica no lineal. Además, dado que la "correntropy" hace uso de métodos núcleo, su estimación es computacionalmente eficiente[1].

Usando la "correntropy" como prueba estadística, las pruebas de linealidad sobre la base de la hipótesis nula de que las señales de interés son realizaciones de procesos estocásticos lineales de Gauss se llevan a cabo a través de métodos de datos sustitutos. Los experimentos realizados en el lineal de Gauss, Gauss-no lineal, no lineal y sistemas con diferentes bandas en los niveles de ruido, la longitud de datos, y los tamaños del núcleo confirman que la "correntropy" puede ser empleada como una medida discriminatoria para la detección de características no lineales en series de tiempo. Los resultados de las pruebas realizadas en los datos recogidos de los sistemas naturales están de acuerdo con los hallazgos en la literatura de análisis de series temporales.

2.3.1. Portadora y Moduladora

Normalmente los términos de *moduladora y portadora* se aplican a la transmisión de datos por radiofrecuencia pero no deja de ser un modo de obtener dos señales con distintas características; ancho de banda, frecuencia de pico etc., relacionadas entre sí[9].

Normalmente la ***señal en banda base o señal moduladora*** es la señal procedente del transductor (el mensaje a transmitir). En nuestro caso es la señal proporcionada por la base de datos.

La ***señal portadora o de alta frecuencia*** es la señal normalmente de tipo senoidal, que sirve de soporte para trasladar la frecuencia de la moduladora.

La ***señal modulada*** es combinación de las señales moduladora y portadora. En radiofrecuencia sería la señal que se emite.

2.3.2. Blackman – Tukey

El análisis espectral es una metodología ampliamente utilizada para el estudio de series temporales. En síntesis, el objetivo de este método es la identificación de patrones que rigen las oscilaciones (ciclicidades) presentes en una serie temporal. Para ello establece un modelo que considera a la serie como una combinación lineal de funciones sinusoidales de periodo conocido pero de amplitud y fase desconocidas.

El análisis espectral pretende la estimación de estos parámetros, amplitud y fase, de cada función sinusoidal de la serie analizada. En particular, la amplitud está relacionada con la varianza de los datos de la serie, de modo que ésta puede descomponerse en componentes que equivalen a la parte de la varianza explicada por cada función sinusoidal. La función que relaciona la varianza explicada con respecto a la frecuencia de los armónicos se conoce como "densidad espectral". Para este trabajo se una posible solución es utilizar el método de ***Blackman-Tukey*** que permite calcular la densidad espectral a partir de la función covarianza de la serie.

2.3.3. Yule - Walker

En estadística y procesamiento de señales, la media móvil autorregresiva de modelos (ARMA), a veces llamados modelos de Box-Jenkins después de la metodología iterativa de Box-Jenkins utilizada generalmente para estimarlos, se aplican normalmente a autocorrelaciones de series temporales de datos.

Dada una serie temporal de datos Xt el modelo ARMA es una herramienta para la comprensión y, tal vez, predecir los valores futuros de esta serie. El modelo consta de dos partes, una autorregresivo (AR) parte y una media móvil (MA) parte. El modelo es por lo general se refirió a como el ARMA ***(p, q)*** modelo en el que ***p*** es el orden de la parte autorregresiva y ***q*** es el orden de la parte media móvil.

Los modelos ARMA en general pueden, después de elegir p y q, estar provistos por la regresión de mínimos cuadrados para encontrar los valores de los parámetros que minimizan el término de error. En general se considera una buena práctica para encontrar que los menores valores de p y q que

proporcionan un ajuste aceptable a los datos. Para un modelo AR pura las ecuaciones de Yule-Walker se pueden utilizar para proporcionar un ajuste. Encontrar los valores adecuados de p y q en la ARMA (p, q) el modelo puede ser facilitado mediante el trazado de las funciones de autocorrelación parcial para una estimación de p, y también mediante las funciones de autocorrelación para una estimación de q. Para más información se puede obtener al considerar las mismas funciones para los residuos de un modelo equipado con una selección inicial de p y q.

En la tabla de valores proporcionada aparecen diferentes variables que caracterizan las señales moduladoras y portadora.

2.4. Prueba de Mann Whitney con SPSS

Para tratar las series temporales y realizar las pertinentes pruebas sobre cada una de ellas, se ha utilizado el programa SPSS 2006. Este programa es muy completo en lo que se refiere a tratamiento de datos y estudios estadísticos permitiendo realizar múltiples pruebas de manera simple y rápida para extraer conclusiones.

Las técnicas que se presentan a continuación permiten comprobar si dos muestras aleatorias e independientes proceden de una misma población. El único requisito para aplicar estos contrastes es que la variable esté medida al menos en una escala ordinal.

Algunas de las pruebas que pueden realizarse con el programa SPSS son: la prueba U de Mann-Whitney, la prueba Z de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de rachas de Wald-Wolfowitz. En nuestro caso se ha realizado la prueba de Mann Whitney a todas las muestras y casos ya que es la que más información nos aporta para nuestro propósito.

Prueba U de Mann Whitney

La hipótesis nula del contraste es que las dos muestras, de tamaño n1 y n2, respectivamente, proceden de poblaciones continuas idénticas. La hipótesis alternativa puede ser unilateral o bilateral y únicamente supone que la tendencia central de una población difiere de la otra, pero no una diferencia de forma o de dispersión. Por esta razón esta prueba es el equivalente no paramétrico de la prueba t para la diferencia de dos medias cuando las muestras son independientes pero no puede suponerse la normalidad de las poblaciones de origen.

Para realizar el contraste se ordenan conjuntamente las observaciones de las dos muestras, de menor a mayor, y se les asignan rangos. Si la tendencia central de ambas poblaciones es la misma los rangos deberían distribuirse aleatoriamente entre las dos muestras y el rango medio correspondiente a las observaciones de una muestra debería ser muy similar al correspondiente a las observaciones de la otra. El estadístico de prueba U de Mann-Whitney se construye a partir de la suma de rangos de una de las muestras, Ri, elegida arbitrariamente:

$$U_i = n_1 n_2 + \frac{n_i(n_i+1)}{2} - R_i \qquad (7)$$
$$donde \longrightarrow i = 1,2$$

Para tamaños de muestra pequeños la distribución del estadístico U, bajo el supuesto de que la hipótesis nula sea cierta, es discreta y está tabulada. Si los tamaños son suficientemente grandes la distribución del estadístico se aproxima a una normal de parámetros.

CAPÍTULO 3: PRESENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS

La insuficiencia cardiaca crónica se asocia con los principales anomalías del control autonómico cardiovascular, y este grupo de pacientes a menudo desarrollan anomalías en la respiración tales como diversas formas de patrones de respiración oscilatoria caracterizada por subidas y bajadas de la ventilación [1]. En la respiración Periódica (PB) los patrones se pueden clasificar en ventilación con apnea, conocido como respiración de Cheyne-Stokes (CSR), y ventilación sin apnea (PBnap). La respiración periódica tiene una prevalencia del 70% en pacientes con ICC, y se asocia con mayor mortalidad, especialmente en pacientes CSR. Los patrones de respiración son también influenciados por la vigilia o el sueño, la postura, así ya que la actividad fisiológica y mental. Utilizar los parámetros fisiológicos para la caracterización y detección de diferentes patrones de respiración se ha sugerido en un número de estudios clínicos recientes. Algunos estudios relacionan CHF a alteraciones en la respiración patrón. Por ejemplo, los desordenes respiratorios durante el sueño se asocian con una acelerada disminución de la función cardiaca y aumento de la morbilidad y la mortalidad hasta en el 50% de los pacientes con ICC.

Para el estudio se dispone de los datos y el historial clínico de 27 pacientes con insuficiencia cardiaca y sus patrones respiratorios así como los registros de 35 pacientes sanos.

Por tanto, la clasificación de los pacientes realizada en la base de datos es la siguiente:

1. Pacientes con ventilación no Periódica ***[nPB]***: 19 pacientes presentan disfunciones respiratorias pero sin periodicidad.
2. Pacientes con ventilación periódica***[PB]***:
   - "Cheyne-Stokes respiration" ***[CSR]:*** 3 de los pacientes presentan ventilación con apnea.
   - Respiración sin apnea ***[PBnap]:*** 5 de los pacientes presentan respiración sin apnea.
3. Pacientes sanos ***[HEAL]***: Se dispone de una base de datos de 35 pacientes sin insuficiencia cardiaca ni respiratoria.

Para todos estos pacientes se dispone de su historial clínico; si sufre DM o HTA, si tiene alguna valvulopatía, si ha sufrido algún infarto de miocardio, si es fumador etc. También se dispone de información sobre sus niveles de nitratos, potasio, urea, creatina etc, en sangre.

El número de pacientes de cada grupo se muestra en la Figura 1.

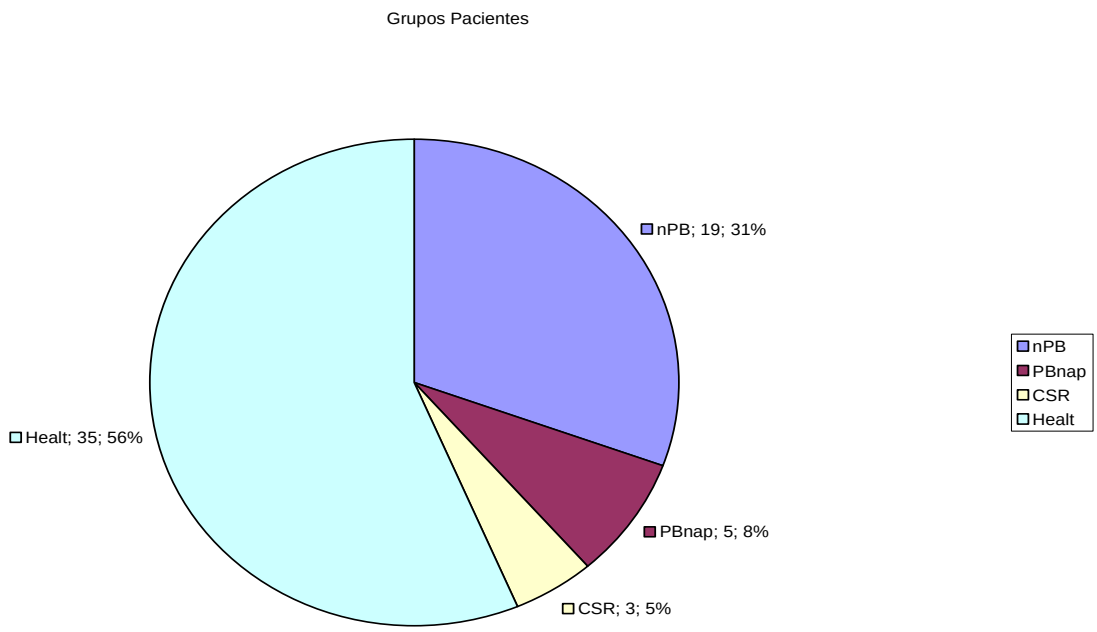


Figura1. *Número y porcentaje de pacientes de cada grupo.*

CHFAILDB es una base de datos de pacientes con insuficiencia cardiaca crónica (CHF), registrados en el Servicio de Cardiología del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, de acuerdo con el protocolo aprobado por el comité ético.

La base de datos contiene dos registros:

- Señal electrocardiográfica (ECG).
- Señal de flujo respiratorio (FLU), obtenida a partir de un neumotacógrafo, utilizando un monitor Datex–Ohmeda con transductor de reluctancia variable Validyne Model MP45-1-871.

Ambas señales fueron registradas con una tarjeta National Instruments (DAQCard 6024 E), utilizando software Labview, a una frecuencia de muestreo de 250 Hz, durante 30 minutos.

Las señales fueron registradas originalmente a 1000Hz (pcxxxxc1.bin para FLU y pcxxxxc2.bin para ECG). Para todo el proceso ambas señales se han remuestreado a 50 Hz (pcsxxxxc1.bin para FLU y pcsxxxxc2.bin para ECG).

La información de la base de datos consta de los siguientes directorios:

Sen_CHF_Normaliz contiene los diferentes directorios con toda la información de la base de datos. La señal de flujo ha sido preprocesada previamente: se han remplazado los "outliers" considerando los valores que están fuera de los percentiles 1% y 99%. La Señal FLU está multiplicada por un factor de 100.

Sen_NCHF: Registros de la señal ECG **(pcsxxxx**) y la señal FLU (**pncsxxxx**), en formato binario (.bin), y la señal de volumen (**pncsxxxx**) en formato texto.

Head_NCHF: Información correspondiente a la cabecera de los registros de la señal, en formato texto (.txt)

Res_NCHF: Información correspondiente al resultado de procesado de cada señal para la obtención de las series temporales, en formato texto (.txt)

Series: Contiene una carpeta por cada una de las series obtenidas a partir de las señales ECG y FLU, en formato dato (.dat)

NFV_CHF: Directorio de las series f/VT. Incluye los ficheros **NFV_pncsxxxx** (identificación de la serie y del paciente) para cada paciente.

NRR_CHF: Directorio de las series R-R. Incluye los ficheros **NRR_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

NTE_CHF: Directorio de las series TE. Incluye los ficheros **NTE_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

NTI_CHF: Directorio de las series TI. Incluye los ficheros **NTI_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

NTO_CHF: Directorio de las series TI/TTot. Incluye los ficheros **NTO_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

NTT_CHF: Directorio de las series TTot. Incluye los ficheros **NTT_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

NVI_CHF: Directorio de las series VT/TI. Incluye los ficheros **NVI_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

NVT_CHF: Directorio de las series VT. Incluye los ficheros **NVT_ pncsxxxx** (identificación de la serie y del sujeto) para cada sujeto.

Los ficheros correspondientes a las series contienen dos columnas, la primera correspondiente al tiempo, y la segunda al valor de la serie. Los intervalos de la serie RR están dados en milisegundos, y los intervalos correspondientes a la señal FLU están dados en segundos.

La tabla **Estad_CHF_Normaliz.xls** contiene los estadísticos de todas las series temporales y todos los sujetos:

Patient: identificación del sujeto

Sex: sexo 1: hombre, 2 mujer

Age: edad

Weight: peso

High: altura

Test: validez de los registros: 1, válido, 0 no válido

A continuación se presentan la descripción de las señales de la base de datos relacionadas con las formas de onda de las señales.

RR: Representa el periodo de la señal cardiaca.

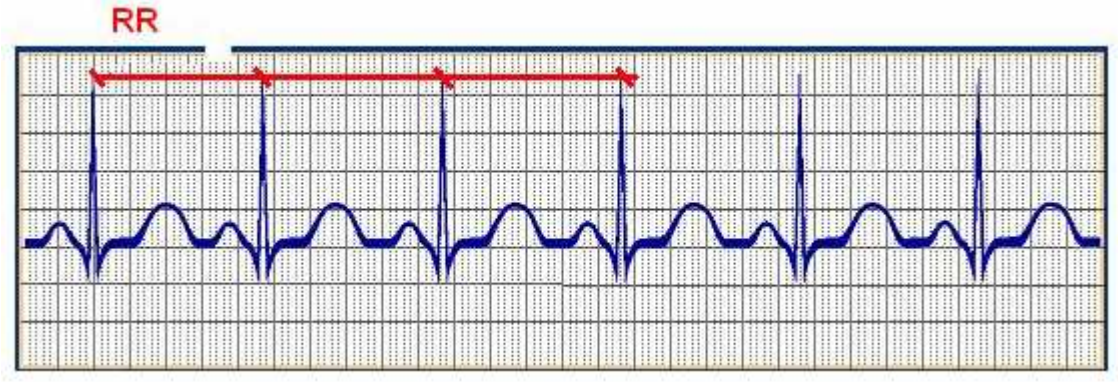


Figura 2. *Período de la frecuencia Cardiaca*

TI, TE, TTOT: Los siguientes parámetros se encuentra en las señales de flujo respiratorio obtenidas y corresponden a sus periodos de estado alto, estado bajo y periodo total.

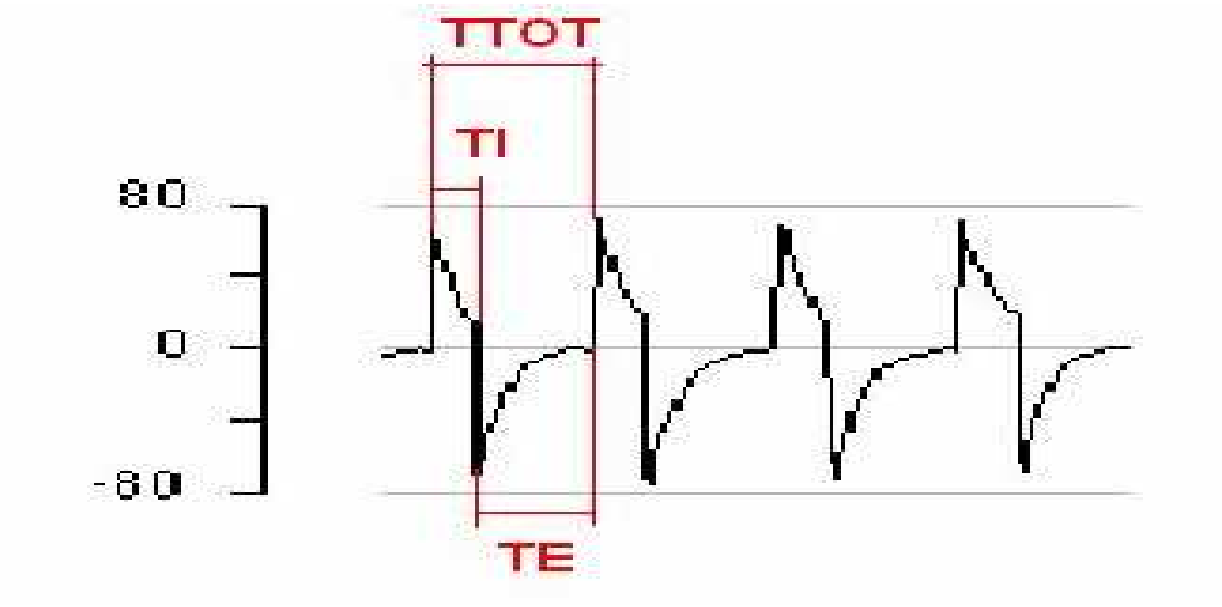


Figura 3*. Parámetros de flujo respiratorio.*

VT: Es el volumen de la señal de presión respiratoria.

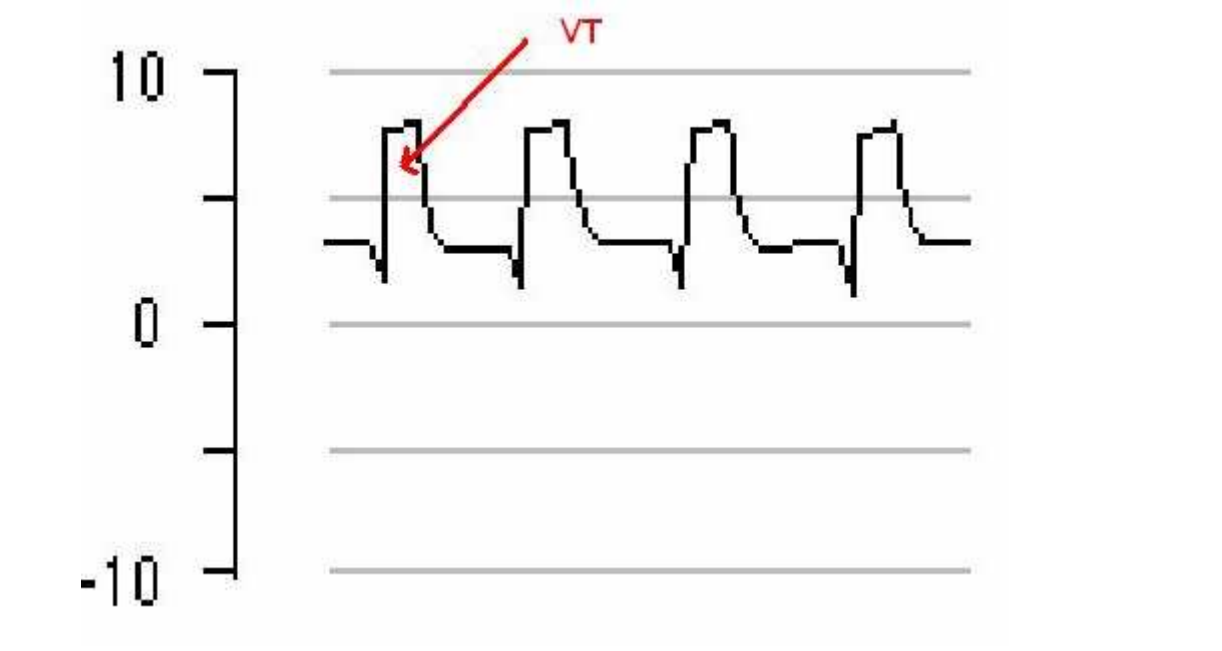


Figura 4*. Volumen*

3.1. Parámetros Clínicos

A continuación se ha realizado una breve búsqueda de los términos médicos recogidos en la base de datos para mejorar la comprensión de los datos y el estado de cada paciente[2], [6], [12].

HTA [Hipertensión Arterial]: es una condición médica caracterizada por un incremento continuo de las cifras de presión arterial por encima de 139/89 mmHg. La HTA produce cambios hemodinámicos, macro y microvasculares, causados a su vez por disfunción del mismo endotelio vascular y el remodelado de la pared de las arteriolas de resistencia, responsables de mantener el tono vascular periférico.

La HTA Puede causar:

- **Hipertrofia ventricular izquierda:** en inicio hay engrosamiento parietal sin incremento de la masa ventricular total (remodelado concéntrico); luego se desarrolla franca hipertrofia concéntrica, que podría llegar a fase dilatada (hipertrofia excéntrica)
- **Fibrosis miocárdica,** como parte del proceso de hipertrofia, con deterioro de la distensibilidad parietal y de las propiedades viscoelásticas del miocardio contráctil
- **Isquemia microvascular coronaria,** principalmente por rarefacción de la red capilar y disfunción endotelial de los vasos remanentes.
- **Síndrome coronario agudo:** angina inestable o infarto sin onda Q (también conocido como infarto sin elevación de segmento S-T)
- **Infarto agudo miocárdico**
- **Disfunción diastólica ventricular izquierda**, a consecuencia de isquemia, hipertrofia y fibrosis ventricular, que conducen a anomalías regionales y globales de la relajación y, en fases más avanzadas, de la distensibilidad
- **Disfunción sistólica ventricular izquierda**, con caída de la fracción de eyección ventricular izquierda (FE, el porcentaje de toda la sangre que, habiendo llenado el ventrículo en diástole, es bombeada de manera efectiva fuera de la cavidad).
- **Insuficiencia cardíaca congestiva (ICC) global;** como consecuencia de la falla ventricular izquierda hay además compromiso secundario del hemicardio derecho, con dilatación de cámaras e hipertensión arterial pulmonar secundaria
- **Valvulopatías calcíficas degenerativas de hemicardio izquierdo**, en especial de las válvulas mitral (insuficiencia) y aórtica (estenosis y/o insuficiencia)

- **Fibrilación auricular** (arritmia supra-ventricular).
- **Arritmias ventriculares**, como consecuencia de micro-reentrada por fibrosis, lesión o isquemia.

ENOLISMO: Forma de alcoholismo provocada por el abuso casi exclusivo del vino y que se traduce particularmente por trastornos digestivos, hepáticos (cirrosis) y nerviosos (neuritis periférica, delirium tremens).

DM [Diabetes Mellitus]: La Diabetes Mellitus describe un desorden metabólico de etiología múltiple, caracterizado por hiperglicemia crónica con disturbios en el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas, que resulta de trastornos en la secreción y/o en la acción de la insulina.

Es una enfermedad progresiva dual, caracterizada en primer lugar por resistencia a la insulina, pero también por una falla progresiva de la función de las células β de los islotes pancreáticos.

La DM abarca cuatro grupos de entidades:

- Diabetes mellitus tipo 1 (DM1)
- Diabetes mellitus tipo 2 (DM2)
- Otros tipos específicos de diabetes
- Diabetes mellitus gestacional (DMG)

DISLIPEMIA: es cualquier alteración en los niveles normales de lípidos plasmáticos (fundamentalmente colesterol y triglicéridos).

Los lípidos viajan en la sangre asociados a lipoproteínas, por lo que es fundamental el análisis de éstas para detectar fallos en el metabolismo lipídico. Las más relevantes para su estudio son:

(Las siglas y los nombres entre paréntesis corresponden a la dicción en inglés)

- HDL. Lipoproteínas de alta densidad (High Density Lipoproteins). Vulgarmente conocida como "colesterol bueno", dado que el colesterol ligado a HDL no se adhiere fácilmente a las paredes arteriales y una alta concentración de HDL en sangre es considerada, en alguna forma, un factor "protector" de los efectos del colesterol total.
- VLDL. O lipoproteínas de muy baja densidad (Very Low Density Lipoproteins). Su concentración elevada por encima de valores normales, se asocia a una elevación en la concentración de triglicéridos.
- LDL. Lipoproteínas de baja densidad (Low Density Lipoproteins). Un aumento de las mismas suele verse en la hipercolesterolemia aislada. lo que habitualmente se llama "colesterol malo".
- Las dislipidemias como factor de riesgo cardíaco: Esto se debe a que el colesterol tiende a fijarse en las paredes de las arterias, formando placas de ateroma, que las van estrechando hasta obstruirlas. Si bien la afectación más estudiada y comentada es la de las arterias coronarias, que lleva al infarto agudo de miocardio, en realidad esta afectación puede ocurrir a nivel de todo el árbol arterial y llevar a la afectación de los más diversos órganos. La arterioesclerosis y la ateroesclerosis son patologías

importantes que cuya incidencia en los últimos años ha ido en aumento. A estos dos términos suelen atribuírseles diferencias, pero estás son básicamente semánticas. Así una aterosclerosis se caracteriza por un engrosamiento de la íntima y un depósito de lípidos y es una variante morfológica que queda bajo el término amplio de arteriosclerosis. Mientras que la arteriosclerosis significa literalmente "endurecimiento de las arterias". Sin embargo, se refiere a un grupo de enfermedades que tienen en común un engrosamiento de las paredes arteriales y una pérdida de su elasticidad. La aterosclerosis es la variante más importante y frecuente de la arteriosclerosis.

En este sentido, tiene particular importancia la relación Colesterol total/Colesterol HDL, considerándose un nivel "seguro", una relación no superior a 3.5.

La Figura 5 nos muestra el número de pacientes de cada grupo que según sus historias clínicas. Nos muestra el sexo de cada paciente, sus hábitos con el tabaco, si ha sufrido un enolismo, si tiene hipertensión, si es diabético o si tiene dislipemia.

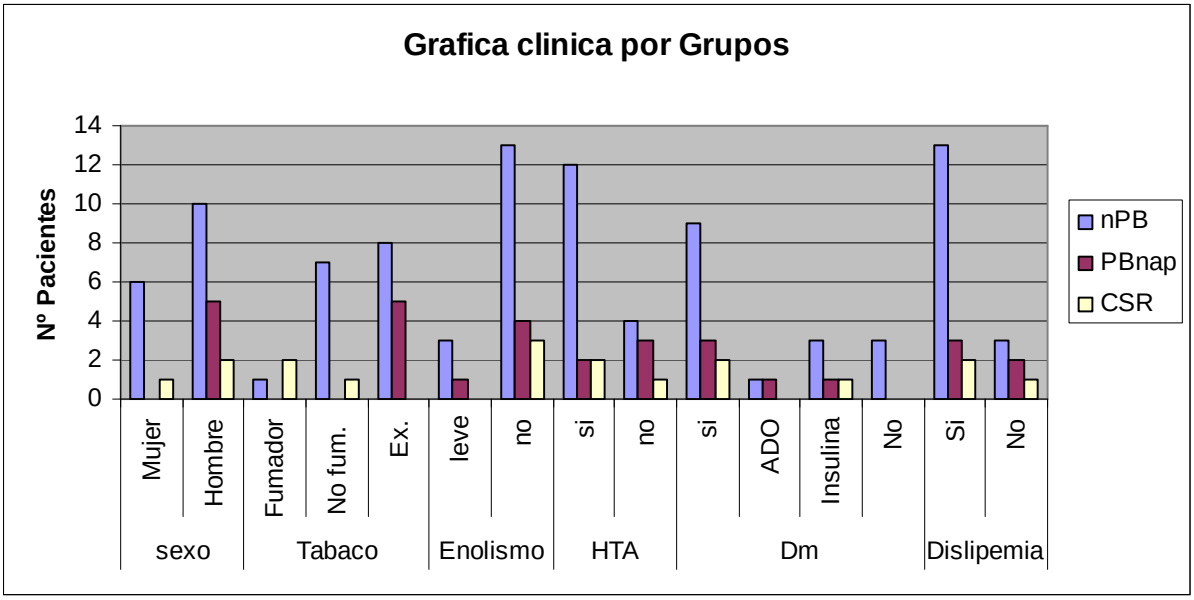


Figura 5. *Resumen gráfico del historial clínico por grupos*

IAM PREV [Infarto Agudo de Miocardio Previo]:La cardiopatía isquémica es la enfermedad ocasionada por la arteriosclerosis de las arterias coronarias, es decir, las encargadas de proporcionar sangre al músculo cardíaco (miocardio). La arteriosclerosis coronaria es un proceso lento de formación de colágeno y acumulación de lípidos (grasas) y células inflamatorias (linfocitos). Estas tres causas provocan el estrechamiento (estenosis) de las arterias coronarias.

Este proceso empieza en las primeras décadas de la vida, pero no presenta síntomas hasta que la estenosis de la arteria coronaria se hace tan grave que causa un desequilibrio entre el aporte de oxígeno al miocardio y sus necesidades. En este caso se produce una isquemia miocárdica (angina de pecho estable) o

una oclusión súbita por trombosis de la arteria, lo que provoca una falta de oxigenación del miocardio que da lugar al síndrome coronario agudo (angina inestable e infarto agudo de miocardio).Debido a lo cual muchos pueden tener disfunción ventricular asintomática por depresión de la función ventricular.

BYPASS PREV: es una técnica quirúrgica de derivación cardíaca para evitar una obstrucción de las arterias que irrigan al corazón.

Esta técnica consiste en una circunvalación de las arterias parcialmente bloqueadas, realizada con segmentos de otras venas o arterias, o incluso con materiales sintéticos. De esta forma se restaura la circulación normal.

En el bypass coronario (Coronary Artery Bypass Graft - CABG), se toma una parte de otra vena o arteria corporal, un extremo se une a la arteria aorta para conseguir aporte de sangre y el otro al sector coronario que se encuentra más allá de la obstrucción.

ACTP PREV: La angioplastia coronaria transluminal percutánea (ACTP) es un procedimiento mínimamente invasivo para desbloquear las arterias coronarias y permitir el flujo de la sangre sin obstáculos hacia el músculo cardiaco, mediante pistola o stents.

MCP PREV[CONTRAPULSACIÓN MUSCULAR]: es un procedimiento no invasivo, de bajo riesgo y de bajo costo que puede reducir o eliminar la obstrucción de las arterias coronarias y sus complicaciones asociadas. Por esto se recomienda especialmente en pacientes con enfermedad cardiovascular detectada para disminuir sus síntomas y mejorar su calidad de vida.

DAI [DESFIBRILADOR AUTOMATICO IMPLANTABLE]: Restablece el ritmo cardiaco normal mediante la aplicación de una descarga eléctrica. Los hay externos e implantables, éste último sólo se recomienda en algunos casos. a desfibrilación se basa en la aplicación brusca y breve de una corriente eléctrica de alto voltaje para detener las arritmias rápidas cardiacas (situaciones en las que el número de latidos cardíacos aumenta en exceso debido a que alguna zona o foco del corazón "dispara" impulsos de forma descontrolada). El choque eléctrico detiene la arritmia, lo que permite al médico, identificar y solucionar las causas que la produjeron.

BIVENTRIC [DESFIBRILADOR BIVENTRICULAR]: Instalado en ambos ventrículos.

AÑOS DX: Años diagnosticado.

M. ISQUEM [MIOCARDIOPATIA ISQUÉMICA]: La miocardiopatía isquémica se presenta cuando las arterias que traen sangre y oxígeno al corazón, llamadas arterias coronarias se bloquean. Puede haber una acumulación de colesterol y otras sustancias, llamada placa, en las arterias que le traen oxígeno al tejido del músculo cardíaco. Con el tiempo, el miocardio no trabaja bien y es más difícil para el corazón llenarse y liberar sangre.

La miocardiopatía isquémica es una causa común de insuficiencia cardíaca congestiva. Los pacientes con este diagnóstico pueden en un momento haber tenido ataque cardíaco, angina o angina inestable y es posible que unos pocos pacientes no hayan notado ningún síntoma previo.

M. DILATADA ID-IS [MIOCARDIOPATIA DILATADA]: En la miocardiopatía dilatada el miocardio está debilitado y las cavidades, dilatadas. La consecuencia

es que disminuye la fracción de eyección o cantidad de sangre que el corazón expulsa en cada latido.

M.VALVUL [MIOCARDIOPATIA VALVULAR]: Afección debido al mal funcionamiento de las válvulas cardiacas.

IECAS [Inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina]: son una clase de medicamentos que se emplean principalmente en el tratamiento de la hipertensión arterial y de la insuficiencia cardíaca crónica y forman parte de la inhibición de una serie de reacciones que regulan la presión sanguínea: el sistema renina angiotensina aldosterona. Las sustancias inhibidoras ECA se descubrieron por primera vez en venenos de serpientes. Los inhibidores ECA más importantes utilizados para tratamientos son el captopril (Capoten), el enalapril, el lisinopril y el ramipril.

SEGURIL: Medicamento que aumenta la cantidad de orina (DIURETICO), ayudando a regular la presión sanguínea (ANTIHIPERTENSIVO).

ESPIRINOLACT: es un medicamento usado como diurético por sus propiedades antagonistas de la aldosterona. La espironolactona es una droga sintética derivada del 17-lactona, el cual es un antagonista competitivo renal de la aldosterona y un diurético ahorrador de potasio, indicado en medicina para el tratamiento de la insuficiencia cardíaca, ascitis en pacientes con enfermedad hepática, hipertensión arterial de baja renina, hipopotasemia y el síndrome de Conn. Por su cuenta, la espironolactona es un diurético debil, por lo que generalmente se usa en combinación con otros diuréticos. Cerca del 1% de los pacientes hipertensos tienen un nivel elevado de aldosterona, por lo que los efectos antihipertensivos de la espironolactona pueden ser superiores a las terapias combinadas de complejos antihipertensivos.

BETA-BLOC: En farmacología, un beta bloqueador (escrito β-bloqueador) es un tipo de medicamento usado en varias condiciones médicas, en particular en el tratamiento de los trastornos del ritmo cardíaco y en la cardioprotección posterior a un infarto de miocardio[5].

Los betabloqueantes son también llamados agentes bloqueadores beta-adrenérgicos, antagonistas beta-adrenérgicos o antagonistas beta. La mayoría de los betabloqueadores son antagonistas puros, es decir, la unión del medicamento al receptor no lo activa, aunque algunos son antagonistas parciales, causando activación limitada del receptor—aunque es una activación considerablemente menor que los agonistas completos.[

ARA-II: Los antagonistas de los receptores de la angiotensina II, también llamados bloqueantes del receptor de la angiotenisna, son un grupo de medicamentos que modulan al sistema renina angiotensina aldosterona. Su principal indicación en medicina es en la terapia para la hipertensión arterial, la nefropatía diabética—que es el daño renal debido a la diabetes mellitus—y insuficiencia cardíaca congestiva[3].

AMIODARONA: La amiodarona es un anti-arrítmico de la clase III utilizado en el tratamiento de las arritmias ventriculares graves, aunque en los últimos años también se viene utilizando el tratamiento de arritmias auriculo y ventriculares tanto a nivel ambulatorio como a nivel hospitalario. Inicialmente comercializada como antianginosa, pronto se descubrieron sus propiedades antiarrítmicas. Actualmente la amiodarona es considerada como fármaco de primera elección en el tratamiento de la fibrilación auricular y el mantenimiento del ritmo sinusal. Se

utiliza frecuentemente para suprimir arritmias en pacientes con un desfibrilador implantable y también se considera como fármaco de primera elección por delante de la lidocaína para el tratamiento de la fibrilación taquicárdica ventricular. Los resultados de estudios clínicos han mostrado que el uso hospitalario de la amiodarona es eficaz en los pacientes con paro cardíaco subsiguiente a una fibrilación auricular. Además, las directrices de la American Heart Association del 2000 para la cirugía con by-pass coronario, listan la amiodarona como una opción de tratamiento junto con otros terapias de primera línea (como los b-bloqueantes o el sulfato magnésico) para prevenir la fibrilación auricular que se presenta a veces después de la cirugía. Aunque la amiodarona tiene muchos efectos secundarios, su uso no ha sido asociado a proarritmias como es el caso de otros anti-arrítmicos.

NITRATOS: Sales de ácido nítrico.

HIDRALAZINA: La hidralazina es un medicamento que actúa relajando la pared de los vasos sanguíneos, haciendo que la sangre pase más fácilmente a través de ellos y aumentando la cantidad de sangre y oxígeno que llegan al corazón. Se utiliza para tratar la hipertensión arterial y la insuficiencia cardiaca congestiva.

DIGOXINA: La digoxina es un glucósido cardiotónico, usado como agente antiarrítmico en la insuficiencia cardíaca y otros trastornos cardíacos. Actúa, como efecto directo, inhibiendo la bomba Na+ K+ ATPasa en el corazón, disminuyendo la salida de Na+ y aumentando la entrada de Ca+2, por lo que tiene un efecto inotrópico positivo, aumentando la fuerza de contracción del músculo cardíaco; y como efecto indirecto inhibe la bomba Na+ K+ ATPasa a nivel neural, creando una estimulación vagal que disminuye la frecuencia cardíaca y la estimulación simpática.

SINTROM: El SINTROM (Acenocumarol) es un medicamento anticoagulante que disminuye la capacidad de coagulación de la sangre, por eso impide la formación de coágulos que pueden obstruir la circulación en los vasos sanguíneos.

Deben tomar anticoagulantes todas aquellas personas con riesgo de sufrir una trombosis o una embolia y, si ésta ha tenido lugar, para evitar una recaída.

AAS: El ácido acetilsalicílico o AAS (C9H8O4), también conocido con el nombre de Aspirina, es un fármaco de la familia de los salicilatos, usado frecuentemente como antiinflamatorio, analgésico, para el alivio del dolor leve y moderado, antipirético para reducir la fiebre y antiagregante plaquetario indicado para personas con alto riesgo de coagulación sanguínea,[1] principalmente individuos que ya han tenido un infarto agudo de miocardio.[2] [3

ESTATINAS: grupo de fármacos usados para disminuir el colesterol en sus distintas formas, en pacientes que lo tienen elevado (hipercolesterolemia) y que presentan, por tanto, un mayor riesgo de desarrollar ateroesclerosis y de sufrir episodios de patología cardiovascular. Desde el punto de vista farmacológico, se encuadran dentro de los inhibidores de la HMG-CoA reductasa, aunque de forma genérica y coloquial son más conocidas por el primer nombre. Es precisamente esta inhibición enzimática la que justifica la disminución del algunas fracciones del colesterol en el organismo y explica su importancia: su intervención positiva sobre los factores de riesgo cardiovascular, que conducen a numerosas patologías cardiovasculares, y que son la principal causa de muerte en el mundo desarrollado.

CLOPIDOGREL: El Clopidogrel es un Agente antiplaquetario (del tipo tienopiridina) administrado por vía oral, que inhibe la formación de coágulos en la enfermedad arterial coronaria, enfermedad vascular periférica, y enfermedad cerebrovascular.

PROCAINAMIDA: es un medicamento que actúa a nivel del corazón como agente antiarrítmico clase I indicado en el tratamiento de ciertos trastornos del ritmo cardíaco. Se administra por vía intravenosa u oral y actúa abriendo los canales de sodio (Na+) en el músculo cardíaco, prolongando así la duración del potencial de acción de la célula cardíaca. Esa conducción eléctrica en lentecida se ve en el electrocardiograma como un ensanchamiento del complejo QRS.

La procainamida se usa tanto para las arritmias supraventriculares como las ventriculares. Los efectos de la procainamida son muy similares a los de la quinidina, tiende a ser levemente menos efectivo en la supresión de actividad de marcapasos ectópicos anormales pero más efectiva en el bloqueo de los canales de sodio en células despolarizadas. La procainamida tiene menos efectos antimuscarínicos colaterales que la quinidina.

Para el control de arritmias ventriculares se suele requerir dosis de 2-5 gr/día. Por razón de la necesidad de dosis frecuentes de la procainamida, no se acostumbra a usar este medicamento en terapias de larga data y evitar los síntomas lúpicos. Después de la lidocaína, la procainamida es la droga de preferencia en la mayoría de las unidades de cuidados coronarios para el tratamiento de arritmias ventriculares sostenidas asociadas a los infartos de miocardio.

CF NYHA [Clasificación funcional de la New York Heart Association (NYHA)]: establece cuatro categorías en base a como la IC afecta a la actividad física del paciente.
La clasificación funcional tiene un importante valor pronóstico y se utiliza como criterio decisivo en la elección de determinadas intervenciones terapéuticas, tanto médicas como quirúrgicas. La evaluación periódica de la clase funcional permite seguir la evolución y la respuesta al tratamiento.

TA [Tensión Arterial]: es la presión que ejerce la sangre contra la pared de las arterias. Esta presión es imprescindible para que circule la sangre por los vasos sanguíneos y aporte el oxígeno y los nutrientes a todos los órganos del cuerpo para que puedan funcionar. Es un tipo de presión sanguínea.

En la Figura 6 se muestran de forma gráfica los niveles de tensión de cada uno de los pacientes identificados por el grupo al cual pertenecen.

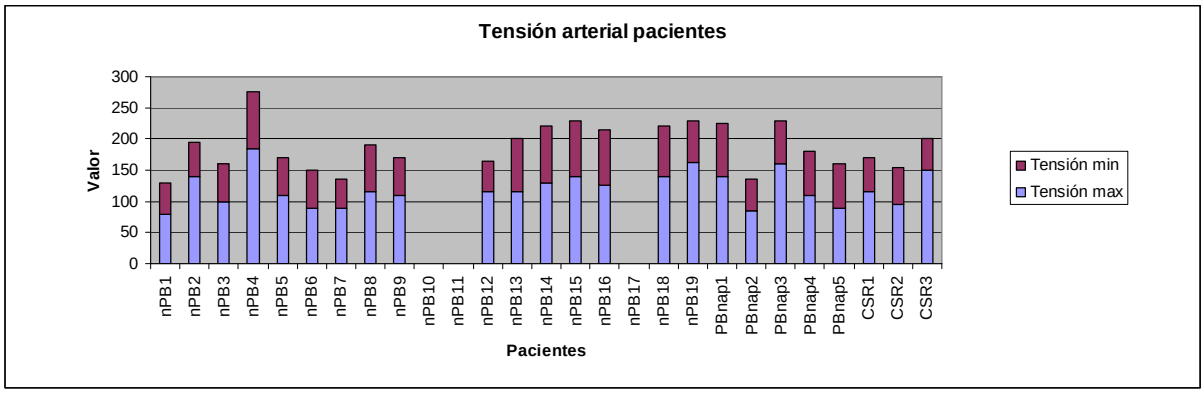


Figura 6. *Muestra la tensión arterial mín y máx de cada paciente*

FC [Frecuencia cardiaca]: es el número de latidos del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo. Su medida se realiza en unas condiciones determinadas (reposo o actividad) y se expresa en latidos por minutos (lpm). La medida del pulso se puede efectuar en distintos puntos, siendo los más habituales la muñeca, en el cuello (sobre la arteria carótida) o en el pecho. Figura 7.

FR: es el número de respiraciones que efectúa un ser vivo en un lapso específico (suele expresarse en respiraciones por minuto). Figura 7.

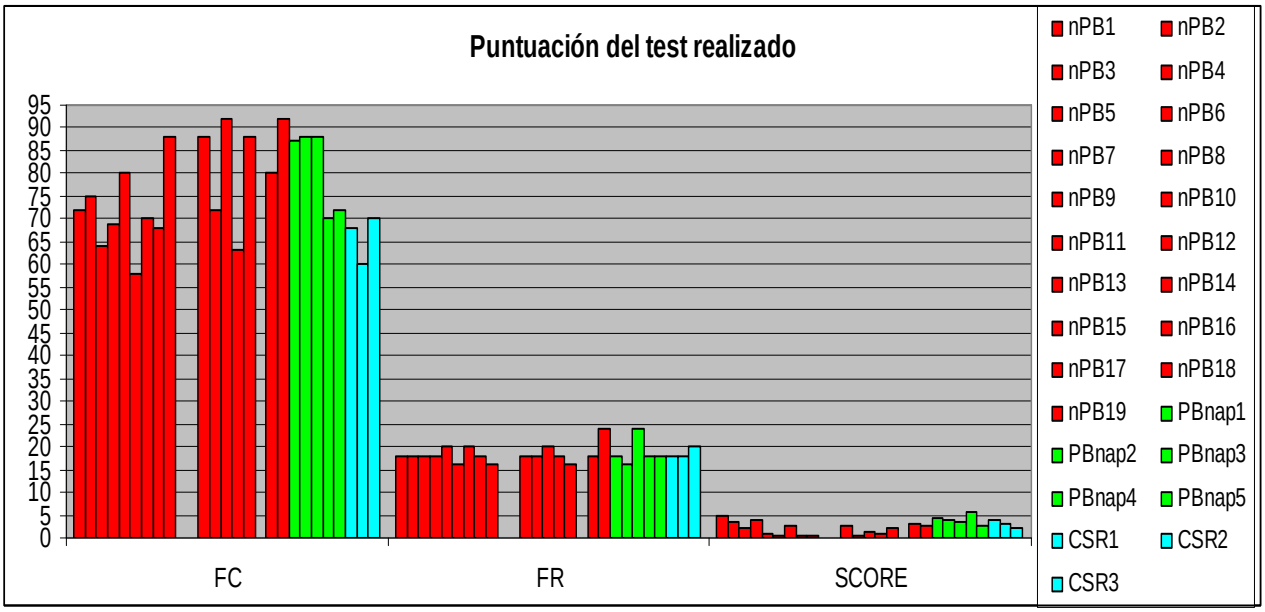


Figura 7. *En esta tabla se muestra la puntuación obtenida por cada paciente de cada grupo. Este test se obtiene de la relación entre la tensión arterial, la frecuencia cardiaca y la respiratoria.*

NTPRO BNP [Péptido natriurético tipo B]: Tanto BNP como NT-pro BNP pueden solicitarse para ayudar al diagnóstico de la insuficiencia cardiaca y para estratificar la gravedad de la misma. Existen diferentes causas de insuficiencia cardiaca. Actualmente, este trastorno se diagnostica por síntomas como hinchazón en las piernas (edema), dificultad al respirar, disnea y fatiga además de una radiografía de tórax y una prueba de ultrasonidos llamada ecocardiografía. A pesar de toda esta información, la insuficiencia cardiaca es, a

menudo, confundida con otros trastornos. Los niveles de BNP y NT-proBNP pueden ayudar al médico a diferenciar la insuficiencia cardiaca de otras patologías como la enfermedad respiratoria. Es importante efectuar un diagnóstico preciso ya que la insuficiencia cardiaca puede tratarse con éxito usando diferentes fármacos.

Otra razón por la que solicitar la determinación de BNP o NT-proBNP es cuando se quiere evaluar el riesgo en pacientes que presentan dolor torácico. Se ha visto que una concentración elevada de BNP predice un aumento de la mortalidad o de infarto en pacientes con síndrome coronario agudo.

HB [Hemoglobina]: es una heteroproteína de la sangre, de peso molecular 64.000 (64 kD), de color rojo característico, que transporta el oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos, en vertebrados y algunos invertebrados.

La hemoglobina es un pigmento de color rojo, que al interaccionar con el oxígeno toma un color rojo escarlata, que es el color de la sangre arterial y al perder el oxígeno toma un color rojo oscuro, que es el color característico de la sangre venosa.

NA [sodio]: El catión sodio (Na+) tiene un papel fundamental en el metabolismo celular, por ejemplo, en la transmisión del impulso nervioso (mediante el mecanismo de bomba de sodio-potasio). Mantiene el volumen y la osmolaridad. Participa, además del impulso nervioso, en la contracción muscular, el equilibrio ácido-base y la absorción de nutrientes por las membranas.

La concentración plasmática de sodio es en condiciones normales de 137-145 mmol/L. El aumento de sodio en la sangre se conoce como hipernatremia y su disminución hiponatremia.

K [Potasio]: El potasio, es el catión mayor del líquido intracelular del organismo humano. Está involucrado en el mantenimiento del equilibrio normal del agua, el equilibrio osmótico entre las células y el fluido intersticial y el equilibrio ácido-base, determinado por el pH del organismo. El potasio también está involucrado en la contracción muscular y la regulación de la actividad neuromuscular, al participar en la transmisión del impulso nervioso a través de los potenciales de acción del organismo humano. Debido a la naturaleza de sus propiedades electrostáticas y químicas, los iones de potasio son más grandes que los iones de sodio, por lo que los canales iónicos y las bombas de las membranas celulares pueden distinguir entre los dos tipos de iones; bombear activamente o pasivamente permitiendo que uno de estos iones pase, mientras que bloquea al otro. El potasio promueve el desarrollo celular y en parte es almacenado a nivel muscular, por lo tanto, si el músculo está siendo formado (periodos de crecimiento y desarrollo) un adecuado abastecimiento de potasio es esencial. Una disminución importante en los niveles de potasio sérico (inferior 3,5 meq/L) puede causar condiciones potencialmente fatales conocida como hipokalemia, con resultado a menudo de situaciones como diarrea, diuresis incrementada, vómitos y deshidratación. Los síntomas de deficiencia incluyen: debilidad muscular, fatiga, astenia, calambres, a nivel gastrointestinal: íleo, estreñimiento,

anormalidades en el electrocardiograma, arritmias cardiacas, y en causas severas parálisis respiratorias y alcalosis.

La hiperkalemia, o aumento de los niveles de potasio por encima de 5,5 meq/L, es uno de los trastornos electrolíticos más graves y puede ser causado por aumento del aporte (oral o parenteral: vía sanguínea), redistribución (del liquido intracelular al extracelular) o disminución de la excreción renal. Por lo general, las manifestaciones clínicas aparecen con niveles mayores a 6,5 meq/L, siendo las principales: cardiovasculares: con cambios en el electrocardiograma, arritmias ventriculares y asístole (paro cardíaco), a nivel neuromuscular: parestesias, debilidad, falla respiratoria y a nivel gastrointestinal náuseas y vómitos.

UREA: La urea es un compuesto químico cristalino e incoloro, de fórmula CO(NH2)2. Se encuentra abundantemente en los riñones y en la materia fecal. Es el principal producto terminal del metabolismo de proteínas en el hombre y en los demás mamíferos. La orina humana contiene unos 20g por litro, y un adulto elimina de 25 a 39g diariamente.

En cantidades menores, está presente en la sangre, en el hígado, en la linfa y en los fluidos serosos, y también en el corazón, en los pulmones, en los huesos y en los órganos reproductivos así como el semen. La urea se forma principalmente en el hígado como un producto final del metabolismo. El nitrógeno de la urea, que constituye el 80% del nitrógeno en la orina, procede de la descomposición de las células del cuerpo pero, sobre todo, de las proteínas de los alimentos.

CREATINA: (también denominada α-metil guanido-acético y frecuentemente abreviado en la literatura como Cr) es un ácido orgánico nitrogenado que se encuentra en los músculos y células nerviosas de algunos organismos vivos. Es un derivado de los aminoácidos muy parecido a ellos en cuanto a su estructura molecular. Se sintetiza de forma natural en el hígado, el páncreas y en los riñones a partir de aminoácidos como la arginina, la glicina y la metionina a razón de un gramo de creatina por día. Constituye la fuente inmediata y directa para regenerar ATP y proveer de energía a las células musculares.

DTDVI [Diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo]: La alteración de la función diastólica es un acompañante habitual de la disfunción ventricular sistólica. Para identificar la disfunción diastólica primaria se requiere la presencia de una función sistólica normal o sólo ligeramente alterada del ventrículo izquierdo. El DTDVI se utiliza para evaluar estas alteraciones.

DTSVI [Diámetro telesistólico del ventrículo izquierdo]: Se utiliza para evaluar la función sistólica.

FE: La fracción de eyección de un corazón es la medida más importante del funcionamiento cardíaco. Este valor, expresado en porcentaje, mide la disminución del volumen del ventrículo izquierdo del corazón en sístole, con respecto a la diástole, por lo que una fracción de eyección del 50% significa que el corazón, al contraerse, reduce el volumen de su ventrículo izquierdo a la mitad, con respecto a su posición relajada.

Los valores normales de fracciones de eyección están entre 60%-75%. Valores entre 40% y 50% pueden significar un principio de insuficiencia cardíaca. Valores menores de 30% indican una insuficiencia moderada.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

4.1. Análisis Estadístico de las series temporales

Para realizar el análisis estadístico de los grupos de los pacientes primero se han extraído los datos más relevantes de las series temporales para ver si se podía identificar alguna característica relevante. (Tabla 1)

Tabla 1. *Muestra la media y la desviación típica de los parámetros RR, TTot y VT por grupo.*

	nPB		***PBnap***		***CSR***		***Heal***	
	Media	**Desv. típ.**	**Media**	**Desv. típ.**	**Media**	**Desv. típ.**	**Media**	**Desv. típ.**
Mean RR	831,90	91,19	751,46	41,56	831,21	139,15	803,11	92,68
Sigma RR	132,46	119,42	111,86	72,57	636,19	689,20	132,97	236,32
Mean TO	0,350	0,039	0,372	0,034	0,334	0,042	0,480	0,053
Sigma TO	0,049	0,014	0,045	0,013	0,067	0,015	0,075	0,021
Mean VT	1893,56	573,86	2063,46	446,20	1687,28	527,71	490,79	267,16
Sigma VT	535,58	233,42	656,78	189,06	696,57	363,90	271,96	205,06

Utilizando la prueba U descrita en el capítulo 2 se han comparado todas las señales de cada grupo con los otros grupos. Esto quiere decir que si, como se dijo en apartados anteriores, disponemos de 4 grupos diferentes (nPB, PBnap, CSR, y Heal) y de cada grupo disponemos de las señales cardiacas y respiratorias. Se han comparado grupo por grupo todas esas señales para buscar

diferencias significativas entre ellas de forma que podamos obtener resultados relevantes.

Al realizar el test, el programa SPSS nos muestra una tabla con el número de casos introducido y una serie de coeficientes que revelan si existen diferencias entre las medias de cada grupo. Si el resultado del test nos muestra un coeficiente de p<0'05 significa que las medias de cada grupo se diferencian en un 5%. Para nuestro estudio, con estos valores se considera que la prueba es positiva.

Tabla resumen de los resultados:

Después de realizar la prueba descrita en el apartado anterior para todas las combinaciones posibles de los grupos y entre todos los parámetros de las series se obtiene la siguiente tabla resumen.

En la tabla 2 se muestran color distinto los diferentes grupos. Obviamente no se puede comparar un grupo con él mismo y además, la prueba no entiende de orden entre grupos (el resultado es el mismo al comparar nPB – CSR que CSR – nPB). Por este motivo, estas casillas están marcadas con los símbolos (--).

Tabla 2. *Muestra los resultados de la prueba U.*

GRUPOS	nPB	PBnap	CSR
nPB	----------	----------	----------
PBnap	No se aprecian diferencias significativas en ninguna de las series	----------	----------
CSR	No se aprecian diferencias significativas en ninguna de las series	No se aprecian diferencias significativas en ninguna de las series	----------
HEAL	RR	RR	RR

Solo se obtienen diferencias significativas en la comparación del RR entre los grupos de pacientes enfermos y los sanos.

4.2. Análisis Estadístico de las series frecuenciales (DSP)

A continuación se procede a realizar la comparación de cada una de las variables de los datos de la DSP. Como ya se hizo con las series, se compararan mediante la prueba U de Mann Whitney entre los parámetros de los distintos grupos.

4.2.1. Presentación de los datos

En la Tabla 2, a continuación, se detalla el significado de cada una de las abreviaturas y en la Figura 8 se muestras una explicación gráfica, para mayor comprensión, del significado de cada abreviatura.

Tabla 2. *Abreviaturas de la Datos del PSD*

frecuencia pico	fPeak
Amplitud pico- pico	Ampp
Curtosis	Cap
Energía total	Entot
Energía en la parte derecha	ER
Energía en la parte Izquierda	EL
Pendiente	Sl
pendiente máxima	Msl
frecuencia media	Fm
radio polo 1	rr1
radio polo 2	rr2
fase polo 1	phh1
fase polo 2	phh2

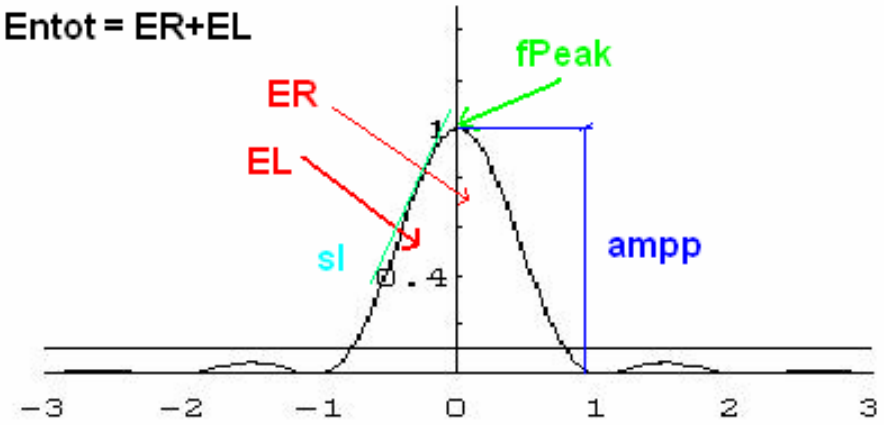


Figura 8. *Explicación gráfica de las abreviaturas.*

4.2.2. Resultados Obtenidos de la PSD

En esta tabla 3 se muestran los resultados obtenidos mediante la comparación de los datos por la prueba U de Mann Whitney por grupos. Se representan por sus iniciales, las variables en las que se han obtenido diferencias significativas.

Las marcas en la tabla (---) significan que no se puede comparar los datos entre un mismo grupo.

Tabla 3. *Resultados PSD*

Gru	nPB	PBnap	CSR
nPB	----------	----------	----------
PBnap	ampp, Entot, ER, EI, sl, rr1, slp	----------	----------
CSR	ampp, Cap, Entot, ER, EI, sl, a2, rr1, slp	fPeak, fm, a2, phh1	----------
HEAL	ampp, Cap, Entot, ER, EI, sl, a1, a2, rr1, slp	ampp, Cap, Entot, ER, EI, sl, a1, a2, a3, a4, rr1, phh2, slp	fPeak, ampp, Cap, Entot, ER, EI, sl, fm, a2, rr1, slp

4.3. Análisis Estadístico de la densidad espectral de correntropy

A continuación se realiza una breve descripción sobre los datos proporcionados.

4.3.1. Presentación de los datos

Para facilitar la comprensión de los resultados a continuación se detalla el significado de las abreviaturas de la tabla 4.

Tabla 4. *Variables CSD.*

frecuencia pico moduladora	'fpp'
curtosis de la moduladora	'capp'
Energía total moduladora	Etotm'
Energía parte derecha moduladora	Erm'
Energía parte Izquierda moduladora	Elm'
Pendiente moduladora	Slm'
Pendiente máxima moduladora	mslm'
Frecuencia media moduladora	fmm'
frecuencia pico portadora	fpp'
curtosis de la portadora	capp'
Energía total portadora	Etotp'
Energía parte derecha portadora	Erp'
Energía parte Izquierda portadora	Elp'
Pendiente portadora	slp'
Pendiente máxima portadora	mslp'
Frecuencia media portadora	fmp'
Relación entre energías totales	'Retot'
Relación entre energías izquierdas	'ReI'
Relación entre energías derechas	' Rem'
Correntropy	Vmean
desviación estándar	'sigma'
CSDmediana	Mediana
Información potencial	Información del potencial

4.1.1. Resultados obtenidos de la CSP

Como en el caso de las series temporales, lo que se ha realizado en nuestro estudio es aplicar el método U de Mann Whitnney entre los pacientes de los distintos grupos para así observar las posibles relaciones que existen entre los grupos. Como se ha dicho antes, solo se han utilizado los datos de las tablas de Yule - Walker.

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos al realizar las comparaciones por grupos con la prueba de MannWhitney de los datos de Yule . Solo se han añadido los resultados que presentan diferencias significativas representadas por sus abreviaturas. También se han añadido los resultados obtenidos de las series temporales.

Tabla 5. *Resultados CSD.*

Gru	nPB	PBnap	CSR
nPB	----------	----------	----------
PBnap	retot', 'reI', 'rem', info-potencial	----------	----------
CSR	fpp', 'ampp', Etotm', Erm', Eim', mslm', fmm', 'retot', 'reI', 'rem'	fpp', Etotm', Erm', EIm', fmm'	----------
HEAL	'ampp', Etotm', Erm', Eim', mslm', ampp', Etotp', Erp', EIp', slp', mslp', fmp', \mean', 'sigma', CSDmediana, Info-potencial	'ampp','capp', Etotm', Erm', Eim', mslm', fmm', fpp', ampp', Etotp', Erp', Eip', slp', mslp', fmp', 'retot', 'reI', 'rem', \mean', 'sigma', CSDmediana	'fpp', fmm', fpp', ampp', Etotp', Erp', Eip', slp', mslp', fmp', 'retot', 'reI', 'rem', \mean', 'sigma', CSDmediana', Info-potencial

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DISCRIMINANTE

5.1. Análisis discriminante

Introducción

Supongamos que un conjunto de objetos está ya clasificado en una serie de grupos, es decir, se sabe previamente a qué grupos pertenecen[15]. El Análisis Discriminante se puede considerar como un análisis de regresión donde la variable dependiente es categórica y tiene como categorías la etiqueta de cada uno de los grupos, y.las variables independientes son continuas y determinan a qué grupos pertenecen los objetos. Se pretende encontrar relaciones lineales entre las variables continuas que mejor discriminen en los grupos dados a los objetos.

Un segundo objetivo es construir una regla de decisión que asigne un objeto nuevo, que no sabemos clasificar previamente, a uno de los grupos prefijados con un cierto grado de riesgo.

Es necesario considerar una serie de restricciones o supuestos:

- Se tiene una variable categórica y el resto de variables son de intervalo o de razón y son independientes respecto de ella.
- Es necesario que existan al menos dos grupos, y para cada grupo se necesitan dos o más casos.
- El número de variables discriminantes debe ser menor que el número de objetos menos 2:
- x1, ..., xp, donde p < (n − 2) y n es el número de objetos.
- Ninguna variable discriminante puede ser combinación lineal de otras variables discriminantes.

- El número máximo de funciones discriminantes es igual al mínimo entre el número de variables y el número de grupos menos 1 (con q grupos, (q − 1) funciones discriminantes).
- Las matrices de covarianzas dentro de cada grupo deben ser aproximadamente iguales.

- Las variables continuas deben seguir una distribución normal multivariante.

5.2. Fases del análisis discriminante con SPSS

Comprobación de los supuestos paramétricos del análisis discriminante

En sentido estricto, la función discriminante minimiza la probabilidad de equivocarse al clasificar los individuos en cada grupo. Para ello, las variables originales se deben distribuir como una normal multivariante y las matrices de covarianzas deben ser iguales en todos los grupos. En la práctica es una técnica robusta y funciona bien aunque las dos restricciones anteriores no se cumplan.

Si un conjunto de variables se distribuye como una normal multivariante, entonces cualquier combinación lineal de ellas se distribuye como una normal univariante. Por ello, si alguna de las variables originales no se distribuye como una normal, entonces es seguro que todas las variables conjuntamente no se distribuirán como una normal multivariante.

La segunda restricción se refiere a la igualdad entre las matrices de covarianzas de los grupos. Para comprobar esto, se puede usar la prueba M de Box, que está incluida en el SPSS. Dicha prueba tiene como hipótesis nula que las matrices de covarianzas son iguales. Se basa en el cálculo de los determinantes de las matrices de covarianzas de cada grupo. El valor obtenido se aproxima por una F de Snedecor. Si el p-valor es menor que 0,05 se rechaza la igualdad entre las matrices de covarianzas.

El test M de Box es sensible a la falta de normalidad multivariante, es decir, matrices iguales pueden aparecer como significativamente diferentes si no existe normalidad. Por otra parte, si las muestras son grandes, pierde efectividad (es más fácil rechazar la hipótesis nula).

Selección de las variables discriminantes

Primero se puede realizar un análisis descriptivo univariante calculando las medias y las desviaciones estándar de las variables originales para cada uno de los grupos por 7 separado. Si para alguna variable las medias de los grupos son diferentes y la variabilidad es pequeña, se considera que dicha variable será importante a la hora de discriminar a los grupos.

A continuación, se observan las relaciones entre las variables. Se calculan matrices de correlaciones en lugar de matrices de covarianzas por ser más fácilmente interpretables. Además de analizar la correlación entre pares de variables sin distinguir grupos, se debe analizar las correlaciones dentro de cada grupo y luego considerar la media de las mismas.

Se calcula también la matriz Pooled within-groups correlation matrix. Dicha matriz se calcula como una matriz media de correlaciones calculadas por separado en cada grupo. A menudo no se parece a la matriz de correlaciones total.

Estadísticos usados

F de Snedecor Se compara para cada variable las desviaciones de las medias de cada uno de los grupos a la media total, entre las desviaciones a la media dentro de cada grupo. Si F es grande para cada variable, entonces las medias de cada grupo están muy separadas y la variable discrimina bien. Si F es pequeña, la variable discriminará poco, ya que habrá poca homogeneidad en los grupos y éstos estarán muy próximos.

λ de Wilks También se la denomina U-estadístico. Cuando se considera a las variables de modo individual, la λ es igual al cociente entre la suma de cuadrados dentro de los grupos y la suma de cuadrados total (sin distinguir grupos). Es decir, equivale a las desviaciones a la media dentro de cada grupo, entre las desviaciones a la media total sin distinguir grupos. Si su valor es pequeño, la variable discrimina mucho: la variabilidad total se debe a las diferencias entre grupos, no a las diferencias dentro de grupos.

Variables originales que se consideran

La idea del Análisis discriminante es construir funciones lineales de las variables originales que discriminen entre los distintos grupos. Sin embargo, no todas las variables discriminan de la misma forma o tienen los mismos valores de la F de Snedecor o de la λ de Wilks. Por ello, a la hora de construir las funciones lineales, no es necesario incluir a todas las variables iniciales en la función.

Como criterio general para seleccionar una variable se emplea la selección del valor de la λ deWilks o, de modo equivalente, del valor de su F asociada.

Se usan fundamentalmente dos métodos de selección de variables: el método directo y el método stepwise.

En el método directo se consideran todas las variables originales que verifiquen un criterio de selección.

El método stepwise es un método que funciona con varios pasos:

a) Se incluye en el análisis la variable que tenga el mayor valor aceptable para el criterio de selección o de entrada.

b) Se evalúa el criterio de selección para las variables no seleccionadas. La variable que presenta el valor más alto para el criterio se selecciona (siempre que esté dentro de un límite).

c) Se examinan las variables seleccionadas según un criterio de salida y se examinan también las variables no seleccionadas, para ver si cumplen el criterio de entrada. Se excluyen o se incluyen variables según cumplan los criterios de entrada y de salida.

d) Se repite el paso (iii) hasta que ninguna variable más pueda ser seleccionada o eliminada.

Además de todo lo anterior, en el SPSS se considera un número máximo de pasos, dado que una variable puede ser incluida y eliminada en más de una ocasión. Se toma el doble del número de variables originales como número máximo de pasos del método stepwise.

En el SPSS se considera también para cada variable la tolerancia asociada.

Los pasos siguientes que realiza el programa son:

1. *Cálculo de la F y de la λ de Wilks multivariantes para fijar los criterios de entrada y salida.*
2. *Cálculo de estadísticos en el procedimiento stepwise*

- **F de entrada (F to enter):**

Expresa la disminución en la λ de Wilks que se produce si se incluye una variable dada entre las que no están dentro de la función discriminante. Si el valor es pequeño, la disminución de la λ de Wilks será inapreciable y la variable no entrará en la función.

- **F de salida (F to remove):**

Expresa el incremento que se produce en la λ de Wilks, si se elimina de la función discriminante una variable dada. Si el valor de la F de salida es pequeño, el incremento no será significativo y la variable se eliminará del análisis.

- **Correlación Canónica**

Da una medida del grado de asociación entre las puntuaciones discriminantes de cada uno de los objetos.
Cuando sólo se tienen dos grupos, la correlación canónica es igual al coeficiente de correlación entre la puntuación discriminante y el grupo de pertenencia, que se representa por una variable codificada en 0—1 (en SPSS).

3. Coeficientes de las funciones discriminantes

Cuando no existen diferencias entre los grupos, las funciones discriminantes sólo indican variabilidad aleatoria (ruido). Se puede usar la λ de Wilks para realizar un test en el cual la hipótesis nula es que las medias de las funciones discriminantes en cada grupo son iguales.

Cuando se tienen varios grupos y varias funciones, se calcula una λ de Wilks total mediante el producto de las λ de Wilks de cada función.

Si la significación asociada al valor obtenido es menor que 0,05 (o bien otro valor prefijado) se rechaza la hipótesis nula (a dicho nivel de confianza).

4. Clasificación de los objetos

Una vez calculadas las funciones discriminantes, es decir, las combinaciones lineales de las variables originales, a cada objeto se le puede asignar una puntuación o valor dado en la función discriminante.

- **Matriz de confusión**

Da una idea de la tasa de clasificaciones incorrectas. Como se sabe el grupo al que pertenece cada objeto, se puede comprobar la efectividad del método de clasificación usando la máxima probabilidad a posteriori, cuando se observa el porcentaje de casos bien clasificados. No obstante, se tiene que tener en cuenta también la tasa de clasificaciones incorrectas esperadas según las probabilidades a priori.

5.3. Resultados del análisis discriminante para PSD

A continuación se expondrán los resultados obtenidos mediante dos clases de tablas y el porcentaje de clasificación obtenido gracias al análisis discriminante.

Discriminante entre nPB - PBnap

Los coeficientes de clasificación de Fisher. Pueden utilizarse directamente para la clasificación. Se obtiene un conjunto de coeficientes para cada grupo, y se asigna un caso al grupo para el que tiene una mayor puntuación discriminante.

Tabla 6.Coeficientes de las funciones canónicas discriminantes

	Función 1
ER	,000
a4	3,864
(Constante)	-,888

Coeficientes no tipificados

Validación cruzada: para comprobar la capacidad predictiva de la función discriminante, para ello el SPSS genera tantas funciones discriminantes como casos válidos tiene el análisis; cada una de esas funciones se obtiene eliminando un caso; después, cada caso es clasificado utilizando la función discriminante en la que no ha intervenido.

Tabla 7. Resultados de la clasificación(b,c)

		Grupos	Grupo de pertenencia pronosticado		Total
			1	2	1
Original	Recuento	1	19	0	19
		2	1	4	5
		Casos desagrupados	36	2	38
	%	1	100,0	,0	100,0
		2	20,0	80,0	100,0
		Casos desagrupados	94,7	5,3	100,0
Validación cruzada(a)	Recuento	1	19	0	19
		2	2	3	5
	%	1	100,0	,0	100,0
		2	40,0	60,0	100,0

a La validación cruzada sólo se aplica a los casos del análisis. En la validación cruzada, cada caso se clasifica mediante las funciones derivadas a partir del resto de los casos.

b Clasificados correctamente el 95,8% de los casos agrupados originales.

c Clasificados correctamente el 91,7% de los casos agrupados validados mediante validación cruzada.

Discriminante entre nPB – CSR

Tabla 8. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
ER	1,404
a1	1,294
rr1(radio_polo1)	,796
rr2(radio_polo2)	-1,180

Tabla 9. Resultados de la clasificación(a)

		Grupos	Grupo de pertenencia pronosticado 1	2	Total
Original	Recuento	1	19	0	19
		2	0	3	3
		Casos desagrupados	39	1	40
	%	1	100,0	,0	100,0
		2	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	97,5	2,5	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre nPB – Heal

Tabla 10. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función 1
EnTot	,705
a2	,509
rr1(radio_polo1)	,536

Tabla 11. Resultados de la clasificación(a)

		Grupos	Grupo de pertenencia pronosticado 4	5	Total
Original	Recuento	4	32	3	35
		5	5	14	19
		Casos desagrupados	0	8	8
	%	4	91,4	8,6	100,0
		5	26,3	73,7	100,0
		Casos desagrupados	,0	100,0	100,0

a Clasificados correctamente el 85,2% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre PBnap – CSR

Tabla 12. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
msl	1,462
a2	1,874

Tabla 13. Resultados de la clasificación(a)

			Grupo de pertenencia pronosticado		
		Grupos	2	3	Total
Original	Recuento	2	5	0	5
		3	0	3	3
		Casos desagrupados	48	6	54
	%	2	100,0	,0	100,0
		3	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	88,9	11,1	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre PBnap – Heal

Tabla 14. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
ampp	-1,539
EnTot	-10,682
ER	12,421
a3	,786
rr1(radio_polo1)	,834
rr2(radio_polo2)	,428

Tabla 15. Resultados de la clasificación(a)

			Grupo de pertenencia pronosticado		
		Grupos	3	4	Total
Original	Recuento	3	5	0	5
		4	0	35	35
		Casos desagrupados	7	15	22
	%	3	100,0	,0	100,0
		4	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	31,8	68,2	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre CSR – Heal

Tabla 16. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función 1
ER	1,065
a1	,938
a2	,851
rr1(radio_polo1)	,582
rr2(radio_polo2)	-,521
phh2(fase_polo2)	-,610

Tabla 17. Resultados de la clasificación(a)

			Grupo de pertenencia pronosticado		
		Grupos	3	4	Total
Original	Recuento	3	3	0	3
		4	0	35	35
		Casos desagrupados	1	23	24
	%	3	100,0	,0	100,0
		4	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	4,2	95,8	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

5.4. Resultados del análisis discriminante para CSD

Discriminante entre nPB – PBnap

Tabla 18. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
fmp'	1,114
'Retot'	-2,965
'Rem'	3,602

Tabla 18. Resultados de la clasificación(a)

			Grupo de pertenencia pronosticado		
		GRUPOS	1	2	Total
Original	Recuento	1	19	0	19
		2	0	5	5
		Casos desagrupados	33	5	38
	%	1	100,0	,0	100,0
		2	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	86,8	13,2	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre nPB – CSR

Tabla 19. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
fpp'm	1,960
slm'	2,113
slp'	-,787
'Rem'	2,631

Tabla 19. Resultados de la clasificación(a)

		GRUPOS	Grupo de pertenencia pronosticado 1	2	Total
Original	Recuento	1	19	0	19
		2	0	3	3
		Casos desagrupados	38	2	40
	%	1	100,0	,0	100,0
		2	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	95,0	5,0	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre nPB – Heal

Tabla 20. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función 1
Elp'	-,545
'sigma'	,615

Tabla 21. Resultados de la clasificación(a)

		GRUPOS	Grupo de pertenencia pronosticado 4	5	Total
Original	Recuento	4	33	2	35
		5	1	18	19
		Casos desagrupados	0	8	8
	%	4	94,3	5,7	100,0
		5	5,3	94,7	100,0
		Casos desagrupados	,0	100,0	100,0

a Clasificados correctamente el 94,4% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre PBnap – CSR

Tabla 23. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
Elm'	31,559
mslm'	-31,460
'vmean'	1,989

Tabla24. Resultados de la clasificación(a)

			Grupo de pertenencia pronosticado		
		GRUPOS	2	3	Total
Original	Recuento	2	3	0	3
		3	0	5	5
		Casos desagrupados	8	46	54
	%	2	100,0	,0	100,0
		3	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	14,8	85,2	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre PBnap – Heal

Tabla 25. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función
	1
Etotp'	,896
'sigma'	1,509

Tabla 26. Resultados de la clasificación(a)

		GRUPOS	Grupo de pertenencia pronosticado 6	7	Total
Original	Recuento	6	34	1	35
		7	0	5	5
		Casos desagrupados	11	11	22
	%	6	97,1	2,9	100,0
		7	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	50,0	50,0	100,0

a Clasificados correctamente el 97,5% de los casos agrupados originales.

Discriminante entre CSR – Heal

Tabla 27. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	Función 1
fpp'm	,365
Erm'	-7,784
Etotp'	1,901
'Retot'	6,683

Tabla 28. Resultados de la clasificación(a)

		GRUPOS	Grupo de pertenencia pronosticado 3	4	Total
Original	Recuento	3	3	0	3
		4	0	35	35
		Casos desagrupados	2	22	24
	%	3	100,0	,0	100,0
		4	,0	100,0	100,0
		Casos desagrupados	8,3	91,7	100,0

a Clasificados correctamente el 100,0% de los casos agrupados originales.

5.5. Recopilación de resultados

En la tabla 29 se recogen los datos de todos los resultados del análisis discriminante realizado por grupos. En las dos primeras columnas se representa el porcentaje de clasificación y las variables utilizadas para ello de las datos del PSD y, en las 2 ultimas, los resultados del CSD. La explicación de las abreviaturas utilizadas se puede consultar en las tablas 2 y 4.

Tabla 29. *Recopilación de los resultados del PSD y CSD*

Grupos	***% PSD***	***Variables clasif. PSD***	***% CSD***	***Variables clasif. CSD***
nPB – PBnap	*91,7%*	*ER, a4*	*100%*	*Fmp', 'Retot', 'Rem'*
nPB – CSR	*100%*	*ER, a1, rr1, rr2*	*100%*	*Fpp'm, slm' slp', 'Rem'*
nPB – Heal	*85,2%*	*Entot, a2, rr1*	*94,4%*	*Elp', 'sigma'*
PBnap – CSR	*100%*	*Msl, a2*	*100%*	*Elm', mslm', Vmean'*
PBnap–Heal	*100%*	*Ampp, Entot, ER, a3, rr1, rr2*	*97'5%*	*Etotp', 'sigma'*
CSR - Heal	*100%*	*ER, a1, a2, rr1, rr2, phh2*	*100%*	*Fpp'm, Erm', Etotp', 'Retot'*

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Después de realizar todas las pruebas a nuestra base de datos, se puede afirmar que es posible identificar cada paciente según al grupo que pertenezca.

Se puede observar que la clasificación resulta más sencilla entre los grupos de los pacientes enfermos y los sanos, aunque se han obtenido variables que nos permiten diferenciar y clasificar a cada paciente en su grupo de pertenencia.

Las técnicas utilizadas para procesar los datos, la "Potencial Spectral Density" (PSD) y la "Correntropy espectral density" (CSD) ayudan a mejorar la clasificación correcta los pacientes.

En este estudio se muestra que con las técnicas de de Densidad espectral y "correntropy" aplicadas como clasificación de un conjunto de datos clínicos, se pueden obtener resultados que están particularmente bien adaptados para la caracterización de los patrones de respiración modulada.

También es importante remarcar que la base de datos es muy limitada. Solo se dispone de 27 pacientes con insuficiencia cardiaca, de los cuales solo hay 3 que pertenezcan al grupo CSR y 5 del grupo PBnap, además de los 35 pacientes sanos. Con una base de datos mucho más extensa, los resultados que se obtendrían serían mucho más significativos y la tasa de clasificación entre grupos mucho más exacta.

CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO

Aunque en el proyecto no ha sido necesario realizar ningún tipo de montaje, maquetas o prototipos, si ha sido necesario obtener los softwares así como muchas horas de nuestro tiempo.

	Precio unidad	*Duración*	*Nº Semanas*	*Total*
→Software necesario				
Microsoft Office	60 €			60 €
SPSS 15.0 para Windows	20 €			20 €
Matlab 2008ª	35 €			35 €
→Gastos de investigación				
Mano de obras	20 €/hora	3 horas/dia	17 sem=119 dias	7140 €
TOTAL				**7255 €**

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFIA

8.1. Referencias bibliográficas

[1]Ainara Garde, Student Member, IEEE, Leif S¨ornmo, Senior Member, IEEE, Raimon Jan´e, Member, IEEE, and Beatriz F. Giraldo, Member, IEEE, September 2-6, 2009, "Correntropy-based Analysis of Respiratory Patterns in Patients with Chronic Heart Failure", 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS Minneapolis, Minnesota, USA.

[2]AMARIS PENA, Oscar Ernesto. "INSUFICIENCIA CARDÍACA CONGESTIVA O COR PULMONALE." Rev.fac.med.unal. jun. 2006, vol.54, no.2, p.124-133. ISSN 0120-0011.

[3]BARRIOS ALONSO, Vivencio. "Insuficiencia cardíaca y bloqueadores de los receptores de angiotensina II (BRA)." Rev. costarric. cardiol. dic. 2001, vol.3, no.3, p.13-23. ISSN 1409-4142.

[4]CAMACHO ROSALES, JUAN, 2005. "ESTADÍSTICA CON SPSS PARA WINDOWS VERSIÓN 12.", Editorial Ra-Ma, ISBN: 847897654X ISBN-13: 9788478976546.

[5]CONTRERAS, F, TERAN, L, BARRETO, N et al. "Aspectos Funcionales del Sistema Renina Angiotensina Aldosterona y Bloqueantes de los Receptores ATI de Angiotensina II en Hipertensión Arterial. AVFT." July 2000, vol.19, no.2, p.121-128. ISSN 0798-0264.

[6]Dr. Fernando de la Serna. Federación Argentina de Cardiología. "Insuficiencia Cardíaca Crónica." Editorial Federación Argentina de Cardiología 2da. Edición 2003 (Actualizaciones a marzo de 2007), pág 15.

[7]John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. Prentice Hall,"Tratamiento digital de señales. Principios, algoritmos y aplicaciones". ISBN 0-13-373762-4.

[8]Latorre Arteche, Francisco de. " ABC DE LA INSUFICIENCIA RESPIRATORIA.", año edición 1995, Edika-med S.L, ISBN: 9788478771158.

[9]Lathi, B.P., 1998. "Modern Digital and Analog Communication Systems", Third Edition. Oxford University Press. Capítulo 3.

[10]Liu, W.; Pokharel, P. P. & Príncipe, J. C. "Correntropy: Properties and Applications in Non-Gaussian Signal Processing".

[11]MONTERO LORENZO, Jose María, 2007. " Estadística descriptiva. ", Paraninfo, ISBN: 8497325141 ISBN-13: 9788497325141.

[12]PEREZ PEREZ, Roidel, LOPEZ SANCHEZ, Idania y FAJARDO PEREZ, Mario. "Insuficiencia cardíaca congestiva por estenosis aórtica calcificada tratada con éxito en el hogar." Rev Cubana Med Gen Integr. [online]. nov.-dic. 2003, vol.19, no.6, p.0-0. ISSN 0864-2125.

[13]Steven M. Scharf and Sharon S. Cassidy, 2000. "Heart – Lung : Interctions in health and disease". Volum 42.

[14]SUAREZ ARANA, Ricardo, SUAREZ, José Alejandro y VILLARROEL ABREGO, Hugo. "La respuesta inflamatoria en la insuficiencia cardíaca crónica: papel de las citocinas pro-inflamatorias." Rev. costarric. cardiol. dic. 2003, vol.5, no.3 , p.31-38. ISSN1409-4142.

[15]Visauta Vinuca, Bienvenido & Martori, Cañas, Joan Carles, 2003. "ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON SPSS PARA WINDOWS VOL II ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE." 2ª edición, S.A MCGRAW-HILL / Interamerica de España.

8.2. Bibliografía de Consulta

http://www.ub.es/aplica_infor/spss/cap6-2.htm

http://es.wikipedia.org/wiki/Densidad_espectral

http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000158.htm

http://www.texasheart.org/hic/topics_esp/cond/chf_span.cfm

http://www.revespcardiol.org/cardio/ctl_servlet?_f=40&ident=13057268

http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion4/capitulo53/capitulo53.htm

http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema6am.pdf