

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES



**RUIDO DE LA AVIACIÓN MILITAR Y SUS EFECTOS SOBRE EL
CORAZÓN DE LAS TRIPULACIONES Y PERSONAL DE TIERRA**

Fredesvinda M. Méndez Castillo

Graduada de pedagoga en ciencias experimentales mención biología, por la
"Universidad Pedagógica Experimental Libertador"

TESIS DOCTORAL

Para la obtención del grado de Doctor

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

**RUIDO DE LA AVIACIÓN MILITAR Y SUS EFECTOS SOBRE EL
CORAZÓN DE LAS TRIPULACIONES Y PERSONAL DE TIERRA**

TESIS DOCTORAL

Fredesvinda M. Méndez Castillo

Graduada de pedagoga en ciencias experimentales mención biología, por la
"Universidad Pedagógica Experimental Libertador

Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación
Director: Manuel Recuero López
Doctor en Ciencias Físicas

Tribunal nombrado por el Magfco., y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día_____de _____de 2010.

Presidente D._____

Secretario D._____

Vocal D._____

Vocal D._____

Vocal D._____

Realizado el acto de defensa y lectura de la tesis el día_____ de _____de

2010.

Calificación

El Presidente

El Secretario

Los Vocales

AGRADECIMIENTOS

En memoria de mi padre, origen de mis raíces españolas, mi madre el sabor del mestizaje, mis hijos, mi continuidad de vida y en amor, Juan siempre el compañero. A todos les debo parte de lo que soy y de lo que hago...

Imaginando que han alcanzado nuevas jerarquías profesionales, pero que en el tiempo en que correspondió la toma de medidas ocuparon estos rangos, muy respetuosamente dedico este agradecimiento personal

Al Gral. Brig. (Av.) Pedro Antonio Medina Pérez. Comandante de la Base Aérea de Barquisimeto, por su inmediata disposición para la realización de esta investigación.

A los Gral. Brig. (GNB) Omer Carmona y Gumersindo Piña, por ser entrañables amigos y con quienes compartí trabajo ambiental.

Tte. Cnel.(Av) Alfredo Freitez, por la gentileza en ofrecer su esfuerzo para la toma de las medidas.

A los Tte. Cnel. Iván Hidalgo Terán, comandante del grupo Caza 16, y entre sus miembros al My, (Av.) Leonardo Chacón y Cap. (Av.) Alfredo Tanzella Rangel, por estar atentos a cada una de mis peticiones.

Al Tte. Cnel. Rafael Mirabal, comandante del grupo de Apoyo Aéreo de la Guardia Nacional Bolivariana, por prestar las instalaciones aéreas del Core 4.

Al My. (Av.) Sanabria; por ser mi interlocutor ante todas mis necesidades, cuando se trabajo con el grupo Caza 12

Al Cpt. (GNB) Luis López. Jefe de Operaciones de Mantenimiento de Apoyo Aéreo N° 4 de Comando Regional 4 y todo su grupo de trabajo.

Y a todos los miembros de la Fuerza Aérea Militar Venezolana de los grupos Caza 12, Caza 16 y a los miembros de apoyo aéreo de la Guardia Nacional Bolivariana Venezolana del grupo Core 4, por aceptar mi

propuesta de trabajo, al colocar las condiciones operativas de los aviones y los equipos de mantenimiento, para la toma de las muestras de las emisiones sonoras. Y al grupo de sujetos que después de seleccionados aportaron todo su entusiasmo para la aplicación de los instrumentos de medida cardiovascular y psicoacústicos.

Al Instituto Experimental de Tecnología Andrés Eloy Blanco de Barquisimeto (IUTAEB), por su contribución con los equipos de medición de ruido.

A Roberto Corona, quien con paciencia durante las mediciones de ruido, me acompañó en horas diurnas y nocturnas, colocando y ajustando los equipos de medida según mis indicaciones.

A mis compañeros del Tecnológico por sus palabras de aliento, entre ellas a Lili Hernández, Eloisa Quintero, Flor Vásquez, Graciela Castillo, Francisco Gallardo y en especial Jhonny Chirinos y Neyda Díaz.

A Ramón Aguilar, médico cardiólogo quien creyó en mí desde el primer momento a pesar de su incredulidad, al verificar clínicamente la condición cardiovascular de los sujetos.

A los representantes de la Universidad Politécnica de Madrid en el Vicerrectorado de Relaciones Internacionales, por hacer posible mi estadía en Madrid por medio del programa de becas BSCH.

Al grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada (I2A2) de la Universidad Politécnica de Madrid, con quienes compartí durante ocho meses mis jornadas de investigación, en especial a Miguel Ausejo, a los amigos Jean, Mattia y David y al grupo de técnicos entre ellos Josué Sánchez y Eva Yuste, asistente del Dr. Recuero por facilitar la información que en todo momento requerí.

De manera muy especial al Dr. Manuel Recuero, mi director de tesis, maestro de maestros, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios finales de tesis en un ambiente dedicado a la investigación, por su paciencia y gentileza al orientar las discusiones para llegar a esta

presentación. Por el compromiso de una vida dedicada a la investigación y a la divulgación del conocimiento.

Por las razones que se guardan en el alma, a todos mi profundo agradecimiento. Llegue a Uds., de esta autora, la inspiración que desató el proceso de investigación en el campo del ruido y sus efectos en el corazón.

SUMMARY

In the last years, some of the factors contributing to human mortality rate are cardiovascular diseases. Unfortunately, new factors such as environmental noise have now added to the equation. On top of this, there is lack of scientific work that actually proves the connection between heart diseases and noise impact. Instead, research has been devoted to demonstrate auditory route as the means through which neuro-hormonal changes are induced, resulting in cardiovascular variation.

Pathologies mostly studied in aviation medicine are related to pressure, altitude, acceleration, and the relationship between circadian rhythm, time zones and subjects' immobility, during long flights. But what is the case for subjects exposed to airplane noise during working hours? Statistics show that most of these subjects' main cause of impairment is due to cardiac pathologies. So, noise might be presumed as a factor of risk for the heart.

For this reason, in this thesis the non-auditory effects of noise and its potential role as cardiac pathology generator, caused by military aircrafts on crew members and ground maintenance staff, is analyzed.

This research was possible thanks to the Venezuelan Military Air Force authorization in Barquisimeto, Venezuela. The experimental phase of the study was developed considering three variables, sonic characterization of each source of noise, cardiovascular test and psychoacoustic study on subjects of the sample.

The subject sample was made according to the kind of aircraft they work with; thus, having the following groups: 1. Caza 12 with VF-5 aircraft; 2. Caza 16 with F-16 aircraft, and 3. Core 4 with Sky truck M28 aircraft and Bell 206 and 412 helicopters.

The procedure to collect data for the three variables was based on standard research methods. For the study of noise, guidelines of the Federal Aviation Administration and ISO 1999 and 9612 procedures were considered. For cardiologic assessment, the JAR-FCL 3.130 norms and the American Society of Heart ultrasound protocol were used. Finally, for psychoacoustic valuation a

survey that followed recommendations of the Head of the Department of Psychology from the Civil Aviation National Institute of Venezuela was applied. Additionally, there was also external variable control to reduce interference in cardiac assessment of subjects. The subjects of the sample were those qualified as healthy and apt according to preliminary medical tests, whose age range was 30 years old approximately. Once all data was collected, the analysis of each variable was made, establishing relations of cause. In addition, results in three groups of subjects were compared for a general analysis.

In the analysis of noise, the calculation of uncertainty was established taking into account the results showed by dosimeters. The calculation was monitored through three measures for each group and for each source individually in order to fulfill the following requirements: validity of each measurement, the ranges among which validity is distributed; standard deviation with a **p** probability of 95% for a K factor of cover of 1.65, and a level of ∞ confidence of 0,05. The data are comparable to that of other investigations in aviation.

Results of noise analysis show that facilities lack of appropriate acoustic comfort for subjects to rest. Low frequency noise, ranging from 16 to 250 Hz, and exceeding the 100 dB, is produced in all operating phases of different aircrafts, having the takeoff as the phase where the highest level of pressure is registered in the start of the runway. The peak values registered 121 dB in ground operations, being higher than 135 dB during the takeoff of aircrafts in the Caza group. The amount of noise subjects are exposed is higher than 100% of the limit allowed. The level of constant noise per work day (6 hours) exceeds the 85 dB, which is considered the criterion for working exposure.

The cardiac parameters allowed outlined the sequence of facts observed in subjects who do not reveal any symptom. These facts are very highly predictive. Electrocardiographic results show all subjects have a sinusal heartbeat. The rest of the electrical variables tend to reveal existence of bradycardias. Subjects from Core 4 registered vast variability out of normal limits.

Ecocardiographic results reported cardiac geometry dimensions tend to thicken in contrast with the value of the auricle which tends to decrease. However, in

subjects from the three groups an increment of the value of pericardic membranes takes place, including, in some cases, liquid discharge.

Variability in hemodynamic values was also observed. In subjects from Caza groups these values registered an over estimation of the fraction of ejection; whereas the case for subjects from Core 4 was an under estimation. The diastolic indicator analysis proved that Core 4 subjects are beginning to produce alterations of transmitral flow and reduction of flow in pulmonary arteries. This alteration of transmitral flow and reduction may be a sign of severe cardiac alterations in time.

Psychoacoustic parameters indicate that cardiac wear is due to exposure to low frequency sound in high values of energy that disturb the rest and increase states of fatigue. Likewise, irritability, discomfort, and somnolence experienced in the airport environment might be related to the same low frequency sounds.

Regarding cognitive elements such as memory and concentration, there does not seem to be apparently any alterations during working hours. Besides, stress is reduced by adjusting all procedures to protocol during flying practice as well as maintenance duty. All these results conform to a database oriented to revise noise effects in aeronautical medicine.

Generally, the following conclusions are drawn.

Noise generated by aircraft in military aviation bases is usually a low frequency type with levels that exceed the 100 dB, which impact in human body may be harmful.

The pericardic membrane dimension registers a thickness that might be causing alterations in hemodynamic conditions, perceived through indicators such as transmitral flow.

Diastolic function indicators tend to show values that might be considered as predictive for cardiac anomalies even in healthy subjects.

Finally, noise, which is transformed into an electrical impulse by the brain, serves as a means to increase fatigue, manifested through irritability and tiredness during duty hours.

RESUMEN

En el contexto de la alta tasa de mortalidad humana, las enfermedades cardiovasculares, así como también, los nuevos factores de riesgo como el ruido ambiental, han sido determinantes. Se observa, no obstante, la carencia de una explicación que desvele la secuencia de hechos en la instauración de una patología cardíaca. En su lugar, en la mayoría de las investigaciones prevalece la vía auditiva para inducir cambios neuro-hormonales que influyen en las variaciones cardiovasculares.

Las patologías que con mayor énfasis han sido estudiadas en la medicina aeronáutica, están relacionadas con los factores de presión, altitud, aceleración, ritmo circadiano con el tiempo entre los husos horarios y la inmovilidad de los sujetos, cuando los vuelos son de larga trayectoria. Ahora bien, ¿cuál será el caso de los sujetos que se exponen a ruidos de aviones en el campo laboral, cuya estadística señala que el mayor número de sujetos con discapacidad responde a patologías cardíacas? Ante esta situación, se presume que el ruido pudiera ser un factor de riesgo para la salud del corazón.

En esta tesis doctoral, se analizan los efectos no auditivos del ruido producidos por los aviones militares sobre el personal de tripulaciones y de mantenimiento, y su papel como posibles generadores de patologías cardíacas.

Para llevar a cabo el estudio, se contó con la autorización de la Fuerza de Aviación Militar venezolana con sede en la ciudad de Barquisimeto - Venezuela, realizando la fase experimental conforme a tres variables: la caracterización sonora de cada una de las fuentes de ruido, la valoración cardiovascular y el estudio psicoacústico en los sujetos expuestos.

La muestra de sujetos se estructuró en tres grupos atendiendo a la designación operativa de las naves, siendo estos: 1) Grupo Caza 12, de los aviones VF-5; 2) Grupo Caza 16, del avión F-16 y 3) Grupo Core 4, del avión Sky truck M28 y los helicópteros Bell 206 y 412.

Los procedimientos para la toma de los datos en las tres variables, se suscribieron a métodos estandarizados con aplicación del rigor científico, estableciendo para el estudio del ruido las pautas de la *Federal Aviation Administration* y las normas ISO 1999, y 9612. Para la valoración cardiológica las pautas de la norma JAR-FCL 3.130, y el protocolo de la Sociedad Americana de Ecocardiografía. Y para la valoración psicoacústica se estructuró una encuesta con las recomendaciones del jefe de la unidad de psicología del Instituto Nacional de Aviación Civil de Venezuela.

Adicionalmente se estableció el control de variables externas, disminuyendo en todo caso la interferencia de estas en la valoración cardíaca de los sujetos, partiendo de la catalogación de sujetos sanos y aptos, por los valores de sus exámenes médicos preliminares y de que la media de edad por grupos está registrada entre 30 años.

Con los datos obtenidos se procedió al análisis particular de cada variable, estableciendo relaciones de causa. Además, se procedió al establecimiento de comparaciones entre los grupos de sujetos, para luego integrar un análisis global.

En los análisis de ruido, el cálculo de la incertidumbre se determinó a partir de los datos obtenidos con dosímetros, monitorizado por tres medidas en cada uno de los grupos y sobre cada fuente en particular para establecer los siguientes requerimientos: la validez de cada medida, los rangos entre los cuales se distribuye la misma; la desviación típica con una probabilidad p del 95%, para un factor de cobertura K de 1.65 y un nivel de confianza ∞ de 0.05. Los valores estimados son comparables a otras investigaciones en el campo de la aviación.

Los resultados de los análisis del ruido demuestran que la infraestructura carece de confort acústico, que permita el adecuado descanso para los sujetos de estudio. En todas las fases operativas de las diversas aeronaves se produce ruido en bajas frecuencias comprendidas entre 16 y 250 Hz, con valores que sobrepasan los 100 dB, y la fase que emite mayor nivel de presión es durante el despegue, en la cabecera de la pista. Los valores picos se registraron en 121 dB, en operaciones en tierra, superando los 135 dB durante el despegue de los

aviones caza. La dosis de ruido a la que están expuestos los sujetos supera el 100% del valor límite umbral permisible. El nivel de ruido continuo equivalente para una jornada de trabajo de 6 horas es superior a los 85 dB como valor criterio de exposición laboral.

Los parámetros cardiacos permitieron esbozar la secuencia de hechos, que sin manifestación de sintomatología, se observa en los sujetos, siendo estos de alto valor predictivo. Los resultados electrocardiográficos señalaron que todos los sujetos tienen un ritmo sinusal, y el resto de variables eléctricas tienden a demostrar la existencia de bradicardias, los sujetos del grupo Core 4, presentaron un amplio margen de variabilidad fuera de los rangos de normalidad.

Los resultados del estudio ecocardiográfico reportaron que las dimensiones de la geometría cardiaca tienden a un engrosamiento, a diferencia del valor de la aurícula con tendencia a la disminución de la misma; sin embargo, es resaltante en los sujetos de los tres grupos de estudio, el incremento del valor de las membranas pericárdicas, con casos de derrame de líquido.

Igualmente se observó variabilidad en valores hemodinámicos, con una sobre estimación de la fracción de eyección para los sujetos de los grupos caza, y una subestimación para los sujetos del grupo Core 4. El análisis de indicadores diastólicos determinó que los sujetos del grupo Core 4, presentan indicios de alteraciones del flujo transmitral y reducción del flujo a nivel de arterias pulmonares. Con lo que pueden ser predictores de graves alteraciones cardiacas en el tiempo.

Los parámetros psicoacústicos evidencian que la contribución al desgaste cardiaco puede explicarse por el efecto que causa la exposición a las bajas frecuencias del sonido audible en altos valores de energía, que perturban el descanso y aumentan los estados de fatiga, a expensas de mantener el ritmo laboral. Asimismo, la irritabilidad, la molestia y los estados de soñolencia generados en el ambiente aeroportuario pueden estar asociados a estas mismas frecuencias de ruido.

En los aspectos cognitivos de la atención y la memoria, parece no haber alteraciones que se hagan manifiestas durante la realización de los trabajos, y disminuyen el estrés ajustando todo procedimiento a los protocolos establecidos, ya sea en labores de mantenimiento o durante maniobras de aviación. Estos aportes pueden contribuir a la base de datos que oriente la revisión de los efectos del ruido en medicina aeronáutica.

De manera general, se llega a las siguientes conclusiones puntuales:

En los ambientes aeromilitares, la emisión sonora generada por las naves se caracteriza por la predominancia de la baja frecuencia en niveles superiores a 100 dB, cuyo impacto en el cuerpo de los sujetos puede ser nocivo.

La dimensión de la membrana pericárdica registra un engrosamiento que puede estar alterando las condiciones hemodinámicas, observadas a través de indicadores como el flujo transmitral.

Los indicadores de función diastólica tienden a arrojar valores que pudieran interpretarse como predictores de anomalías cardíacas, aún estando los sujetos en condiciones sanas.

Finalmente, el ruido, transformado en señal eléctrica por el cerebro, posibilita el incremento de los estados de fatiga, y ésta, a su vez, se manifiesta a través de irritabilidad, cansancio, durante las labores.

ÍNDICE

SUMMARY	XI
RESUMEN	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XXV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL PROBLEMA.	1
1.2. RUIDO DE AVIONES MILITARES Y SUS EFECTOS EN EL CORAZÓN DE LOS TRIPULANTES.	3
1.3. RUIDO DE AVIONES Y LOS ASPECTOS PSICOACÚSTICOS.....	9
1.4. OBJETIVO DE LA TESIS.....	14
1.4.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.	14
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	15
1.6. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	16
CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	19
2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	19
2.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	19
2.2.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	19
2.2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	21
2.3. DETERMINACIÓN DE EXPOSICIÓN A RUIDO OCUPACIONAL.....	22
2.3.1 DESCRIPCIÓN GEOESPACIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	22
2.3.2. SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MEDIDA.....	25
2.3.2.1 Procedimiento por muestreo.....	26
2.3.2.1 Procedimiento de todo el día.....	26
2.3.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	27
2.3.4. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDIDAS DE RUIDOS DE AVIONES.....	27
2.4. DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE CARDIACA.....	29
2.4.1 TÉCNICA ELECTROCARDIOGRÁFICA.....	30

2.4.2 TÉCNICA ECOCARDIOGRÁFICA.....	31
2.4.2.1 Aspectos geométricos.....	31
2.4.2.2 Aspectos hemodinámicos.....	32
2.5. DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE PSICOACÚSTICA.....	33
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE DATOS.....	37
3.1 DETERMINACIÓN Y VALORACIÓN DEL RUIDO.....	37
3.1.1 ANÁLISIS DEL RUIDO EN ZONAS INTERNAS.....	37
3.1.1.1 Ruido en las habitaciones y áreas administrativas.....	38
3.1.1.2. Ruido en el hangar de mantenimiento.....	39
3.1.2. ANÁLISIS DE RUIDO EN PISTA.....	41
3.1.2.1 Exposición durante la recarga de batería.....	41
3.1.2.2 Análisis de frecuencias: una comparativa entre percepción auditiva y no auditiva.....	43
3.1.2.3 Operaciones de despegue. Una comparativa entre naves militares.....	50
3.1.2.4 Operaciones de despegue. Una comparativa entre torques para la nave M28.....	51
3.1.2.5 Análisis estadístico en operaciones de despegue y aterrizaje. Una comparativa entre naves de turbina y turbo hélice.....	53
3.1.3 ANÁLISIS DE RUIDO CON DOSÍMETRO.....	56
3.1.3.1 Nivel de ruido continuo equivalente.....	57
3.1.3.2 Nivel pico.....	58
3.1.3.3 Nivel máximo.....	59
3.1.3.4 Dosis.....	60
3.1.3.5 Proyección de dosis.....	62
3.1.4 CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	62
3.2. VALORACIÓN CARDIOLÓGICA.....	65
3.2.1 ANÁLISIS ELECTROCARDIOGRÁFICO.....	65
3.2.2 ANÁLISIS ECOCARDIOGRÁFICO.....	69
3.2.2.1 Dimensiones cardiacas.....	69
3.2.2.2. Valoración hemodinámica.....	74
3.3. ANÁLISIS PSICOACÚSTICO.....	89
3.3.1 RELACIÓN RUIDO - SUEÑO.....	89
3.3.2 RELACIÓN RUIDO - ATENCIÓN.....	93

3.3.3 RELACIÓN RUIDO – MEMORIA.....	95
3.3 ANÁLISIS INTEGRADO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....	98
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTURO.....	103
4.1 CONCLUSIONES.....	103
4.1.1 VARIABLE RUIDO:.....	103
4.1.2. VARIABLE CARDIACA.....	107
4.1.3 VARIABLE PSICOACÚSTICA.....	109
4.2 APORTACIONES.....	111
4.3 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	112
4.3.1 ÁREA: FISIOLÓGÍA CARDIOVASCULAR.....	113
4.3.2 ÁREA: RUIDO OCUPACIONAL.....	113
4.3.3 ÁREA: DE LA JURISPRUDENCIA.....	114
4.3.4 ÁREA: TECNOLÓGICA.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	133
A. DATOS CLIMÁTICOS DE LOS DÍAS DE MEDICIÓN.....	135
B. DATOS EXPERIMENTALES DE DOSIMETRÍA PARA CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE.....	137
C. DATOS DE REFERENCIA DE NORMALIDAD CARDIACA.....	139
D. DATOS CON DOSÍMETRO.....	141
E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Relación de las variables.....	20
Tabla 2.2. Sujetos y objetos de estudio.....	22
Tabla 3.1 Determinación de la incertidumbre de medidas con dosímetros.....	64
Tabla 3.2: ANOVA – EDAD - DDVI en sujetos de VF-5.....	75
Tabla: 3.3 ANOVA – EDAD – DSVI.....	75
Tabla: 3.4 ANOVA – EDAD - FE%.....	76
Tabla 3.5 Correlación entre FE % y DDVI en sujetos de F16.....	77
Tabla 3.6 Correlación entre FE % y DDVI en sujetos de Core 4.....	77
Tabla 3.7 Correlación entre E/A.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1. Distribución geográfica espacial en las zonas de estudios: Caza 12, Core 4.....	24
Figura 2.2. Representación del electrocardiograma.....	30
Figura 3.1 Ruido Ambiental en áreas de habitaciones y servicios de la zona Core 4. Serie 1: con el ruido generado desde el hangar de Core 4; serie 2: con el ruido generado por aviones externos. Serie azul valor criterio NR.....	38
Figura 3.2 Hangar de Core 4: Serie 1 compresor. Serie 2: compresor y máquina 1. Serie 3: planta eléctrica, compresor y máquina 1 / Hangar Caza 12: Serie 4: turbina VF-5. Serie 5: planta eléctrica. Serie 6: planta hidráulica.....	40
Figura 3.3 Recarga de batería en aeronaves militares: Serie 1: Bell 206. Serie 2: Bell 412. Serie 3: M28. Serie 4: VF-5. Serie 5: F-16.....	42
Figura. 3.4. Análisis de frecuencias en helicópteros. Serie 1 mínima velocidad en Bell 206. Serie 2 máxima velocidad. Serie 3 mínima velocidad en Bell 412. Serie 4 máxima velocidad.....	44
Figura. 3.5 Análisis de frecuencia para las operaciones de vuelo del avión M28. Serie 1, calentamiento de motor, en la serie 2, el despegue; en la serie 3 el vuelo y en la serie 4, el recorrido en aterrizaje.....	45
Figura 3.6 Ubicación de los sujetos de mantenimiento y línea de vuelo durante las operaciones de despegue.....	46
Figura. 3.7 Análisis de frecuencia durante las fases operativas del F-16: L1 Planta 60 A; L2 pre-vuelo (compresor); L3 calentamiento (del motor); L4 recorrido a pista; L5 cabecera de pista.....	49
Figura 3.8 Comparativa de nivel de ruido equivalente, valores pico y nivel de presión sonora ponderado rápido, entre las naves militares estudiadas.....	50
Figura 3.9 Comparación del nivel de ruido equivalente durante las operaciones aéreas del M28, Vuelo 1 despegue en torque 70. Vuelo 2 despegue en torque 40. Vuelo 3 despegue en torque 90.....	52
Figura. 3.10 Comparativa de valores estadísticos en operación de despegue....	54
Figura 3.11 Comparativa de valores estadísticos en operación de aterrizaje.....	55

Figura 3.12 Posición de los sujetos línea de vuelo a 0°- 60° y 90° con respecto a las naves en operaciones para vuelo.....	56
Figura 3.13 Nivel de ruido continuo equivalente en los sujetos expuestos a ruidos de aviones.....	57
Figura 3.14 Valor pico registrado en los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares.....	58
Figura 3.15 Nivel máximo registrado en los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares.....	59
Figura 3.16 Dosis recibida por los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares.....	60
Figura 3.17 Proyección normalizada a un día de trabajo para los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares.....	61
Figura. 3.18 Medidas en la pared del septum en relación a la edad en sujetos del grupo VF-5.....	69
Figura. 3.19 Distribución del grosor del pericardio en los sujetos del grupo Caza 12.....	72
Figura 3. 20 Dispersión valor de grosor del pericardio con respecto a la edad en sujetos del grupo Caza16.....	72
Figura 3.21 Dispersión de valor de grosor del pericardio con respecto a la edad en sujetos del grupo Core 4	73
Figura. 3.22 Valores de media aritmética de Fracción de eyección (FE) y de Acortamiento (FA), frente a nivel de ruido continuo equivalente, generado en las aeronaves de estudio en condición de operaciones.....	79
Figura. 3.23 Tiempo de desaceleración en imagen doppler para evaluar función diastólica.....	81
Figura: 3.24 Relación E/A en flujo trasmitral.....	83
Figura 3.25 Composición de velocidad en arteria pulmonar y tiempo pico para alcanzar velocidad máxima en los sujetos del grupo Core 4.....	85
Figura 3.26 (a) Diámetro diastólico en VI en engrosamiento pericárdico.....	86
Figura 3.26 (b) Diámetro sistólico en VI inalterado con pericardio engrosado...	86

Figura. 3.27 Horas de desvelo intra grupo de los miembros de Caza 12.....	88
Figura 3.28 Molestia de ruido durante la noche cuando no ejecutan actividades	89
Figura 3.29 Relación de ruido – condición del sueño (1) calidad de sueño; (2) si escucha tintineo; (3) perdida de sueño; (4) le cuesta conciliar el sueño; (5) necesidad de descanso entre sesión de trabajo y (6) sensación de fatiga durante el trabajo con ruido.....	92
Figura. 3.30 Relación Ruido – Atención: (1) disminuye atención consciente (2) en el tiempo de trabajo pierde la atención, (3) sin importar el ruido puede mantener la atención, (4) ejecuta el trabajo con rapidez y precisión, (5) atiende a doble tareas durante el procedimiento, (6) mejora la atención visual con el ruido, (7) mejora su atención auditiva con el ruido.....	94
Figura. 3.31 Relación Ruido- Memoria: (1) recuerda procedimientos antes de chequear el manual, (2) revisa constantemente el manual, (3) se esfuerza por recordar los procedimientos, (4) presenta la mente en blanco durante sus actividades, (5) revisa el manual sólo al final, (6) se ven afectadas sus actividades repetitivas, (7) visualiza las piezas y/o las acciones de vuelo antes de ejecutarlas, (8) el ruido le permite distinguir el funcionamiento de su fuente...	97
Figura. 3.32 Relación Integrada de las variables Ruido, Psicoacústica y Cardíaca.....	100

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL PROBLEMA

La contaminación acústica es especialmente crítica en ambientes laborales de aviación, donde la generación del ruido responde a las características de las fuentes, diferenciando en este caso, las fuentes móviles como las aeronaves y las no móviles como equipos de mantenimiento. El ruido ocupacional desde el punto de vista legal, ha sido establecido desde una concepción de pérdida auditiva, para considerar límites permisibles de exposición laboral que tienden a la protección del trabajador [Rosentock L. 1998], [ISO 1999].

Entre los organismos que han establecido criterios aplicados a los límites de exposición se encuentran, la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la cual en su Artículo 366, sobre las condiciones ambientales del trabajo lo señala; de igual manera lo expone el Comité Mixto OIT/OMS, sobre medicina del trabajo. Ambas organizaciones definen en la actualidad el término “límite de exposición” con dos vertientes en carácter complementario. La primera definición es el nivel de exposición admitido, habida cuenta de los criterios médicos y de lo que se puede conseguir razonablemente en el lugar de trabajo, aun cuando no asegura que no puedan sobrevenir consecuencias adversas; si bien, puede ser un porcentaje muy reducido de trabajadores que se hallen expuestos durante un largo período. La segunda expone que es la concentración en el aire de una sustancia nociva o intensidad de ruido y vibraciones, que no se considera conforme a los conocimientos científicos actuales, como causante de consecuencias adversas para la salud, incluidas las consecuencias a largo plazo, que impactará sobre generaciones futuras de trabajadores expuestos a un horario de trabajo normal [OIT 1987].

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento legal del problema de las emisiones de ruido generadas por las aeronaves, es uno de los más estudiados a partir de la denominada Carta Magna de la Aviación, representada por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), así como por otros tipos de organismos técnicos. Las normativas legales de cada país analizan el problema del ruido generado por aviones de manera global, siendo el ámbito de acción de gran parte de esas normativas, los efectos que cómo el ruido ambiental impacta sobre la población, dejando un vacío legal, primero para el componente militar y segundo, con respecto a las estimaciones del ruido sobre la salud en general por un énfasis en el efecto auditivo.

En concordancia con lo establecido en el ordenamiento jurídico internacional al que se acogen diversos países, la certificación de aeronavegabilidad se sustenta en la menor emisión de ruido para naves de tipo subsónico, basados en los esfuerzos conjuntos de la Administración Federal de Aviación (FAA), el Consejo Europeo de Autoridades Conjuntas de Aviación (JAA) y la Comisión Consultiva de Aviación Rulemaking (ARAC); todo ello para la categoría de grandes aviones de transporte [FAA 2002].

De igual manera, la FAA patrocinó en el año 1981, investigaciones para determinar el impacto potencial del ruido de las aeronaves en el interior de los espacios para la tripulación y pasajeros; contrastando los resultados de la valoración con los criterios de riesgo de daño establecidos por CHABA. Estos estudios indicaron que la tripulación de la aeronave no debería presentar problemas de salud, siempre y cuando la media diaria de exposición sea de cuatro horas, la cual representa en la actualidad la cantidad máxima diaria media de vuelo en aviones comerciales a reacción [FAA 1985].

Desde esta perspectiva, para el caso de la aviación militar venezolana, este principio laboral se asume para el desarrollo de misiones de entrenamiento y cuando corresponde a funciones tácticas las horas se extienden hasta llegar a seis horas de vuelo máximas al día.

En el campo de los efectos no auditivos, la polémica se mantiene al considerar que los métodos empleados para establecer la certeza de los hechos, no cuentan

con la rigurosidad para ser juzgada; no obstante, la relación del ruido con la pérdida auditiva es clara. En la actualidad los datos se orientan a profundizar en áreas de los efectos fisiológicos, psíquicos y emocionales de los sujetos expuestos al ruido generados por aviones [FAA 1985].

En este sentido, es pertinente la presente investigación que se plantea como novedosa, al asumir tres variables de estudio para una relación de causa. La primera, el ruido generado por aviones militares en una concepción de ruido laboral al que se exponen tripulantes y personal de mantenimiento de tres grupos diferentes; asegurando la protección auditiva para inferir la propagación y el impacto de la presión sonora en el cuerpo de los sujetos expuestos. Una segunda variable es la respuesta cardiaca que puede manifestarse en condiciones eléctricas, anatómicas y hemodinámicas; la tercera, es el efecto psicoacústico que puede influir en variaciones cognitivas que se manifiestan en la atención y la memoria, capacidades primordiales para los sujetos en el ambiente de trabajo aeromilitar.

1.2. RUIDO DE AVIONES MILITARES Y SUS EFECTOS EN EL CORAZÓN DE LOS TRIPULANTES

El corazón es un órgano vital encargado de mantener en circulación la sangre en el cuerpo humano. Su función está regulada por cuatro componentes principales: la contractilidad del miocardio, la precarga del ventrículo (el volumen diastólico final y la longitud resultante de la fibra de los ventrículos antes del inicio de la contracción), la poscarga aplicada a los ventrículos (la impedancia a la expulsión ventricular izquierda) y la frecuencia cardiaca [Guzmán 2000]. Interviniendo a su vez todas las estructuras que conforman este órgano.

Cuando el corazón falla, ocurren sistemáticamente diversas adaptaciones en él, que lo conducen a estados patológicos catalogados como leves, crónicos y agudos. Los datos estadísticos de la Organización Mundial de la Salud [OMS/WHO 2007] señalan que, las primeras causas en la tasa de mortalidad humana se deben a enfermedades cardiovasculares (ECV) y accidentes

1. INTRODUCCIÓN

cerebrovasculares (ACV). En el año 2005, 17.5 millones de personas perdieron la vida por estas patologías. La proyección realizada en el año 2007 para el año 2030, prevee cuatro causas de mortalidad: cardiopatías isquémicas, infartos cerebro-vasculares, SIDA y la enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC), por lo que, entre sus objetivos, se expresa la necesidad de invertir la tendencia al aumento de los factores de riesgo.

Igualmente la OMS/WHO [OMS/WHO 2007] ha determinado claramente los factores de riesgo tradicionales tanto para los ECV, como para los ACV, como son: los hábitos alimentarios, vida sedentaria y consumo de tabaco; éstos a su vez, crean efectos en los organismos que condicionan estados de diabetes, dislipidemias, obesidad, sobrepeso y aumento en la tensión arterial. Sin embargo, frente al control de estos elementos, aparecen nuevos determinantes como cambios sociales, condiciones laborales y estrés, que se transforman en factores de riesgo [Goldhaber S.1983]. En el año 2005, se publicó el estudio denominado NaRoMI (Noise and Risk of Myocardial Infarction), en el cuál Willich y colaboradores, determinan que el aumento de las enfermedades cardiovasculares parecen asociarse más estrechamente a los niveles de sonido real y no con molestia subjetiva, en los casos de ruido ambiental [Willch et al 2005] [Willch S. 2006].

Desde el campo de la medicina aeronáutica, Hein (2005) menciona que el estrés externo relacionado con la aviación militar incluye: ruido, combate, vibración, efectos de altitud, temperaturas, vuelos a baja altura con visores nocturnos y baja humedad relativa; como las causas de fatiga [Hein 2005]. No obstante, plantea Tvavyanas y colaboradores (2009), que en pilotos de aviación civil, la fatiga es el resultado probable de la insuficiencia de oportunidades para la recuperación y reestructuración del sueño; aunque solo es la condición psicológica, ésta puede afectar en caso de generar estrés y tener como respuesta una hipertensión arterial, [Tvavyanas & Mac Pherson. 2009].

Por su parte Pérez (2006) destaca los estudios continuos realizados entre los años 1993 hasta 1998, en que reportaron 83 millones de horas de vuelo, con solo 4 muertes registradas en el campo de la aviación civil de los Estados

1. INTRODUCCIÓN

Unidos. Estos estudios revelaron que la muerte de pilotos durante el vuelo es poco probable. De las 4 registradas, 3 fueron por infarto y 1 por arritmia. De las tres de infarto, se tenía historia clínica conocida y coinciden en origen de cardiopatía isquémica. Entre los casos registrados de incapacitación a bordo se observó: a) casos de pérdida de conciencia, cuyo origen fue el síncope y b) los casos cardiacos, con origen en cardiopatía isquémica con resultados de infartos fatales, anginas inestables y espasmos coronarios.

Sin embargo, la información estadística que permite vislumbrar la existencia de la problemática, proviene de los países miembros de la OACI y de las Autoridades Conjuntas de Aviación (JAA) [Ministerio de Fomento 2004]. Estos entes hicieron énfasis para el año 2004, en la relación del síndrome coronario en los términos de entre 1/3 ó 1/4 de la población fallecerá de infarto al miocardio antes de los 65 años; en 1/6 de la población aparecerán nuevos casos que morirán de manera súbita, sin síntomas reconocidos como premonitorios; para 2/5 partes de los sujetos, presentarán infarto al miocardio o angina de pecho, con la existencia de enfermedades arteriales que predicen la aparición de episodios coronarios y un tercio de pacientes que sufren de infarto morirán en los primeros 28 días; de estos, la mitad muere en los 15 minutos seguidos al evento.

Adicionalmente, la enfermedad coronaria es la causa del 50% de la pérdida de la autorización para volar en Europa Occidental y Estados Unidos. Sobre este particular, la OACI plantea que el riesgo en que se produzca un cuadro incapacitante no sea superior al 1% anual [Ministerio de Fomento 2004], de lo que se deduce que, las enfermedades cardiovasculares en el contexto aeronáutico, deben ser estudiadas considerando todos los factores que conlleven al inicio de una patología.

De igual manera acontece en el campo militar, cuyo estudio ha sido dirigido por organismos como la OTAN, donde diversos investigadores hacen frente a la problemática con programas de rehabilitación. En este sentido, autores como Shakula y otros (2000), combinan métodos psicofisiológicos, para aumentar en el profesional de la aviación los niveles de capacidad física de trabajo. Entre

1. INTRODUCCIÓN

sus logros se cuentan la prevención de la arteriosclerosis y las enfermedades cardiovasculares en un 20-30%, ayudando a reducir la discapacidad laboral de los pilotos entre el 1.6 y 1.9 veces de incidencia cardíaca [ShaKula et al 2000].

La literatura actual igualmente destaca proyectos en la línea de ruido ambiental, considerando como factor de riesgo el ruido y su incidencia en patologías cardíacas. Uno de ellos, el proyecto HYENA [Jarup et al 2005], cuyas siglas corresponden a Hypertension and Exposure to Noise near Airports, relacionó los valores de hipertensión arterial y cardiopatía isquémica, con el ruido. Se estudiaron poblaciones que incluyeron una muestra de 6.000 sujetos, distribuidos en ciudades de Alemania, Grecia, Italia, Suecia, Irlanda y Reino Unido, que vivían en las cercanías de los respectivos aeropuertos. Los sujetos seleccionados oscilaban en segmentos de edades entre 40 y 75 años, viviendo en la zona de mayor tráfico, con un mínimo de tiempo de 5 años. La conclusión de este estudio estableció que el nivel de ruido equivalente (Leq) de 24 horas, con una oscilación de valores entre 65 y 70 dB(A), aumenta el riesgo de infarto al miocardio en 12%, como resultado de un incremento en la tensión arterial.

Otros estudios observan las condiciones de ruido laboral u ocupacional, en relación a los cambios en la hemodinámica y secreciones hormonales y que por inducción endocrina son riesgo de patologías cardíacas. En este sentido, Liu y colaboradores, (2007), estudiaron los efectos del ruido laboral sobre la bioactividad de la secreción hormonal de la norepinefrina (NE) y su efecto en el sistema cardiovascular. Contaron con dos grupos de sujetos: uno expuesto y otro controlado. Los resultados obtenidos son altamente significativos, al proceder mediante la técnica ELISA, para analizar muestras de sangre en sujetos bajo condición de ayuno y corroborar los niveles de NE. Las conclusiones indican que la ocupación en puestos de trabajo con ruido, puede aumentar la NE en la sangre periférica y tal vez afecte al sistema cardiovascular [Liu et al 2007].

En este mismo sentido de la hemodinámica, los trabajos continuos del grupo de investigadores como Andrén y colaboradores (1979, 1982, 1983), han abordado los aspectos de exposición breve a ruido comprendidos entre 95 y

1. INTRODUCCIÓN

100 dB(A), en sujetos normotensos sanos y en pacientes con hipertensión esencial. Los resultados revelan diferencias entre los dos grupos. El grupo de normotensos presentó aumento de gasto cardiaco, sin aumento de los niveles de catecolaminas, prolactina y cortisol y en el grupo de hipertensos, se registró un aumento de noradrenalina. [Andrén et al 1979] [Andrén et al 1982], [Andrén et al 1983]

Estos estudios también presentan una relación importante al señalar la acción de los betabloqueadores para la hipertensión. La observación en sujetos que toman medicación para la hipertensión durante una exposición al ruido, determinó el efecto hormonal mediado; aunque los sujetos generaron respuestas igualmente de aumento para el gasto cardiaco. La conclusión sobre este aspecto expuso que: *“si un aumento de la presión es esencial durante la exposición al ruido y una parte del sistema nervioso simpático está bloqueado, en otras partes, puede ser activado con el fin de mantener la presión arterial en un elevado nivel. Lo que indica un reajuste temporal de los barorreceptores, durante la exposición al ruido, que probablemente está mediada por el hipotálamo”*. [Andrén et al 1982]

Autores como Reyes y colaboradores (1993), desarrollaron estudios relacionando el control y la defensa cardiaca frente a la estimulación auditiva por el ruido, aplicando un bloqueo farmacológico. El estudio se realizó en sujetos que recibieron el fármaco metoprolo, por vía intravenosa (10-15 mg iv) y atropina intravenosa (0.03 mg / kg iv). Al grupo controlado se le administró una solución salina como placebo. Para ambos grupos fue el tratamiento inicial, antes de emprender una prueba de la defensa cardiaca, en respuesta a una distorsión de sonido de 109 dB de intensidad, en la frecuencia de 400 Hz, a partir de un tiempo de 0.5 s de duración, y aumentando el tiempo de exposición. Las variables continuas fueron golpear repetidamente, la frecuencia cardíaca, el accidente cerebrovascular, el volumen y la presión arterial [Reyes et al 1993].

Los resultados del trabajo de Reyes y colaboradores (1993), sugieren: a) un origen vagal (nervio vago), de la primera aceleración y desaceleración de la

1. INTRODUCCIÓN

frecuencia cardíaca y una primera interacción simpático; b) un patrón de respuesta de la presión arterial, caracterizada por un aumento durante el primer ritmo cardíaco con una desaceleración (4-11 s), una posterior disminución de la presión que coincide con la segunda aceleración de la frecuencia cardíaca (de 12 a 37 s), y un ligero incremento durante una desaceleración en el ritmo cardíaco (de 38 a 63 s) y c) una implicación del reflejo barorreceptor, mediada por la inhibición de la actividad parasimpática cardíaca, durante el segundo componente de aceleración de la respuesta cardíaca.

En el caso específico de la exposición de ruido de aviones por parte de pilotos tanto civiles como militares y personal de mantenimiento, se reseñan los trabajos de Tomei y colaboradores (1996) y (2000). En el año 1996, reportaron una muestra de 416 pilotos de aviones civiles, expuestos en dos grupos: uno con aviones turbo propulsor y el otro con aviones jet, expuestos entre Leq de 93 dB(A), para el grupo A y Leq de 79 dB(A), para el grupo B. Los sujetos fueron valorados en control hemodinámico y exámenes electrocardiográficos. Las conclusiones manifiestan las siguientes situaciones: a) los pilotos pueden tener riesgo de afectación al sistema cardiovascular por el ruido; b) el ruido como factor de riesgo está relacionado con la intensidad, el tipo y el tiempo de exposición; c) la enfermedad cardiovascular está relacionada con otros eventos, siendo la respuesta auditiva diferente a la respuesta cardiovascular y d) los cambios de hipertensión al tiempo laboral es basal; es decir, irreversible. La última acotación en su línea de trabajo es la relación adrenérgica; en otras palabras, una respuesta neurohormonal ante el ruido. [Tomei et al 1996], [Tomei et al 2000].

Manteniendo la línea de investigación, Tomei y colaboradores (2005) obtienen resultados que sugieren que la exposición crónica al ruido es un factor de riesgo para la hipertensión arterial en los pilotos expuestos a niveles altos de ruido, y la caída de la presión arterial, puede ser una señal de efecto más sensible del ruido sobre la presión arterial [Tomei et al 2005].

En el campo específico de la aviación militar, Rhee y colaboradores (2008) establecen la relación entre la exposición crónica a ruidos generados por

aviones militares y el aumento en la prevalencia de la hipertensión. Este estudio cuenta además con la comparativa entre naves de combate a reacción y helicópteros. Se establecieron dos grupos de sujetos en referencia a los que viven en un radio de 5 Km. dentro de la zona aérea y los que viven fuera de este radio. Adicionan datos de tipo personal en cuanto a hábitos y antecedentes de riesgos genéticos. Los resultados obtenidos sugieren que la exposición crónica al ruido de aviones militares, pueden asociarse con la hipertensión. La diferencia en los efectos entre los helicópteros y las naves de combate, implica diferencias de ruido y tienen diferentes influencias sobre la prevalencia de la hipertensión, siendo mayor en la exposición ante el ruido de helicóptero militar [Rhee et al 2008].

La línea de investigación de Castelo y colaboradores (1998), a lo largo del tiempo, destaca el registro de un hecho diferenciador ante los trabajos mencionados, al describir los cambios en la matriz celular del pericardio, cuando los sujetos están expuestos al ruido [Castelo B. et al 1998]. En estudios sobre el efecto de ruido en pilotos militares observa, además, que son las de baja frecuencia las más perjudiciales [Col & Castelo 2001]. Este hallazgo es pertinente en el sentido que es una respuesta cardiaca fuera de la vía neurohormonal, por ser el pericardio eléctricamente neutro; por lo tanto, se puede inferir que existe una vía distinta a la estimulación que no es la auditiva.

El estado actual del arte continúa reportando datos en la relación neurohormonal y sus manifestaciones en el sistema cardiovascular, con énfasis en una prevalencia de: hipertensión, isquemia, alteración de la frecuencia cardiaca, cambios en la concentración de adrenérgicos y cambios en la composición molecular de la sangre, como respuesta a los efectos del ruido como factor de riesgo, [Kim et al 2008].

1.3. RUIDO DE AVIONES Y LOS ASPECTOS PSICOACUSTICOS

En la aviación el hombre es el factor número uno, por lo que la psicología aeronáutica se desarrolla con criterios que se asocian a la ejecución cognitiva durante el vuelo, en la selección de los predictores del aprendizaje para el vuelo

1. INTRODUCCIÓN

y las tareas que a ella le competen, evaluando a los sujetos a través de la elaboración de diversos tipos de test. Prieto y otros (1991) reseñan los inicios de la Psicología Aplicada a la Aeronáutica, al fechar en 1917, con la primera selección de pilotos llevada a cabo en los Estados Unidos de América, por el equipo dirigido por W.R. Miles y L.T. Troland, [Prieto et al 1991].

Por su parte, Bandres y Llavona (1996) citan a Iñigo en la referencia de las experiencia de vuelo durante la I Guerra Mundial, al mencionar la psicofisiología del aviador: *“los militares que prestan ese servicio, no basta que tengan las aptitudes físicas e intelectuales que se requiere para ingresar a sus filas... sólo a fuerza de reunir valor, intrepidez, sangre fría, agudeza visual, capacidad respiratoria... pueden desempeñarse con probabilidad de éxito...”*, para ello, acotaban los exámenes de tipo psicofisiológicos, de preferencia al sistema nervioso, mentalidad y temperamento y los que se refieren a los actos involuntarios y los reflejos [Bandres & Llavona 1996].

[Mirabal J. 1998], [Pascual F. 1997], [Bandres & Llavona 1996], [Prieto et al 1991], dirigen sus investigaciones hacia el proceso de aprendizaje y la selección de tripulantes y personal de mantenimiento aeronáutico. Todos ellos coinciden en tres elementos comunes: a) la aptitud al vuelo, que incluye las relaciones espaciales, la orientación y la visualización; b) la atención, tanto selectiva como compartida y c) la personalidad, en términos de control de ansiedad, el temperamento y la motivación al logro y su consecuente valoración en el mantenimiento de dichas facultades.

Sin embargo, las patologías están asociadas a la derivación de cada uno de los elementos señalados como indicadores cognitivos; aunque el ruido puede ser un factor de interferencia para los recuerdos, siendo la memoria una de las vías de procesar información cognitivamente. Clark y colaboradores (2006) reseñan el ruido como problema de salud pública ambiental y relacionan el efecto de la exposición de ruidos de aeronaves y de tráfico rodado, con la comprensión lectora en niños de 9 a 12 años de edad, determinando mediante modelado multinivel, que el ruido de aviones está asociado a la alteración de la comprensión lectora. De igual manera, se manifestó la disminución de la

1. INTRODUCCIÓN

memoria episódica, la memoria de trabajo y un sostenido en la atención [Clark C. et al 2006]. Para el caso de los pilotos se ha planteado que esta desviación puede ser superada por el entrenamiento permanente.

Los trabajos de Bodrov y otros (1985) manifiestan lo que es una declaración de principios para la formación de pilotos, que a su vez reflejan patrones psicofisiológicos que contemplan el modelado de pilotos. Coinciden para pilotos civiles y militares en cuanto al entrenamiento para dirigir la atención, el manejo de la percepción y la solución de problemas durante el vuelo de manera que disminuya la carga en el corto plazo y mantengan la memoria a largo plazo en la caracterización de las respuestas psicológicas [Bodrov VA. et al 1985].

El campo empírico de los aspectos cognitivos y su expresión fisiológica de estrés, ha sido destacado por investigadores como Leino y colaboradores (1999), al establecer la relación entre la carga psicológica durante el trabajo de vuelo y las reacciones de estrés, generando una activación neuroendocrina. Estos investigadores describen las pruebas realizadas con pilotos militares finlandeses, en vuelos controlados de 40 minutos y posterior examen sanguíneo en tiempos de 5, 25 y 60 minutos después del vuelo. Los resultados obtenidos destacaron que la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) en plasma, fue significativamente más alta antes y 5 minutos después del vuelo, en comparación con el nivel del grupo de control, encontrando que aumentó significativamente sólo antes del despegue del avión. Otros valores significativos de este estudio fueron el resultado elevado para cortisol antes y 5 minutos después del vuelo, y el denominado plasma prolactina, presentando un aumento significativo hasta 5 minutos después del vuelo [Leino et al 1999].

Estos mismos investigadores diferenciaron dos tipos de estrés: el de anticipación y el de manera continua; desarrollando la discusión en torno a que el estrés de anticipación que se genera después del vuelo: es similar a las reacciones cuando se produce estrés de manera continua. Concluyen en la siguiente idea: *“los factores psicológicos, el rendimiento de vuelo y las respuestas neuroendocrinas al vuelo, parecen estar relacionadas entre sí. Por lo tanto, las reacciones neuroendocrinas como respuesta a la carga de trabajo*

1. INTRODUCCIÓN

psicológico de militares en vuelo, podría ser utilizado para identificar el estrés en la tolerancia de los pilotos militares” [Leino et al 1999].

En la actualidad, los estudios sobre el funcionamiento humano han revelado que las respuestas emocionales guardan estrecha relación con los procesos cognitivos y se correlacionan a otros factores que actúan como inductores, siendo uno de ellos el ruido. El trabajo de Ruiz y colaboradores (2004) plantea la defensa cardíaca como un proceso de aceleración y desaceleración de la frecuencia cardíaca, frente a dos situaciones: a) una fobia a las arañas como componente emocional y b) una estimulación por ruido blanco a 105 dB, por 500 milisegundos de duración instantánea. La experimentación varió para un grupo, al colocar la imagen de una flor con enmascaramiento de ruido. Los resultados mostraron una mayor respuesta cardíaca en el primer juicio y una menor reducción de la respuesta cardíaca en el segundo juicio. Cuando el ruido fue precedido por la imagen fóbica, en virtud de los procedimientos de enmascaramiento, la respuesta fue acompañada por un aumento en la subjetiva desagradable de los ruidos [Ruiz et al 2004].

Autores como Vila y colaboradores, continúan la línea de investigación de Ruiz y otros; un análisis crítico de sus hipótesis sobre la diferenciación del reflejo cardíaco, sigue centrado en las pruebas de una investigación sistemática de la respuesta cardíaca a la intensa estimulación acústica. Por último, en un modelo integrador de defensa cardíaca que presentan, hacen hincapié en el carácter dinámico de esta reacción de defensa, caracterizado por un complejo patrón de la frecuencia cardíaca con cambios de los componentes de aceleración y desaceleración, en relación con el sistema simpático y parasimpático en conjunto a la respuesta cognitiva [Vila et al 2007].

En el campo de los trastornos psicológicos, la ansiedad es considerada una patología que puede ser manejada de acuerdo a la capacidad del sujeto para adaptarse a la situación que le genera la misma; sin embargo, el ruido puede ser un inductor. Al respecto, Kim y colaboradores (2008) han estudiado el ruido ambiental, determinando que en zonas aéreas militares el ruido producido por aeronaves y helicópteros militares, afecta a la población con una prevalencia de

1. INTRODUCCIÓN

ansiedad e insomnio primario. Los resultados conducen a relacionar que el ruido generado por aeronaves militares tiene efectos adversos en la función auditiva, la salud cardiovascular y la salud mental [Kim et al 2008].

Esta referencia se acota en la presente investigación por caracterizar a la población militar que en su mayoría vive en la misma zona aeroportuaria militar, prevaleciendo en ella las incidencias cardiovasculares, cuando a los sujetos le adicionan componentes de perturbaciones del sueño, ansiedad y estrés, como lo menciona el documento de la Organización Europea de la Salud [WHO Europe 2005].

En resumen de esta introducción se presenta la siguiente investigación en una concepción de ruido ocupacional generado por naves militares como factor de riesgo, en dos dimensiones: a) el ruido como energía acústica que impacta directamente en el cuerpo humano, con la posibilidad de producir desviaciones anatómicas y funcionales del corazón y b) el ruido como inductor de variaciones psicoacústicas, relacionando los elementos cognitivos de: atención, memoria y perturbación del sueño, que se reflejan en mayor fatiga y estrés, siendo factores que incrementan las incidencias cardiovasculares.

Es importante destacar que para esta investigación, la selección del personal militar como sujetos de estudio, contempló el entrenamiento permanente y el control de variables externas, que permiten que los análisis e inferencias sean más ajustados a un estudio experimental. Asimismo, se hacen comparaciones de grupos entre el ruido generado por aviones turbo, turbo hélice y helicópteros, para caracterizar cada ambiente laboral. En este sentido, los tres grupos de sujetos corresponden a su asignación por los aviones militares:

1. Grupo Caza 12, con el avión VF-5.
2. Grupo Caza 16, con el avión F16.
3. Grupo de Apoyo Aéreo Core 4, con el avión Skytruck M28 y los helicópteros militares Bell 206 y Bell 412.

1.4. OBJETIVO DE LA TESIS

Valorar los efectos del ruido generado por aeronaves militares y sus equipos de mantenimiento, sobre el grupo de tripulantes y personal de mantenimiento, de la Fuerza Aérea Militar Venezolana (FAM), en su condición cardiaca como unidad funcional en sus variables eléctricas y anatómicas y sus posibles efectos psicoacústicos, que ante la exposición al ruido incrementen el riesgo de cardiopatías.

1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar el estado del arte de la emisión acústica en ambientes aeroportuarios militares, sus efectos cardiacos y psicoacústicos.
- Aplicar el método de muestreo de medida más acorde para caracterizar la energía acústica en el área de estudio.
- Determinar la percepción de ruido según los grupos de trabajo de los sujetos de estudio.
- Valorar la relación dosis-efectos en los sujetos expuestos.
- Caracterizar los sujetos de estudio para la fase de análisis cardiaco.
- Registrar las condiciones hemodinámicas en la muestra de sujetos.
- Analizar las variables cardiacas por medio de las técnicas electro y ecocardiográficas.
- Elaborar instrumento de percepción cognitiva, relacionado al ruido y las respuestas en el área aeronáutica.
- Relacionar la variación de la memoria y la atención con posible estrés generado por el ruido y que puedan incrementar el riesgo de afectación cardiaca en los sujetos de estudio.

- Cotejar las relaciones entre las variables de ruido-cardiaca-psicoacústicas, de manera que se proyecte a futuro un algoritmo de secuencias de hechos.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La racionalidad ambiental requiere de la construcción teórica y de la validez práctica, dentro de la armonía objetiva y subjetiva de los fenómenos ambientales, que en el caso de la contaminación sonora, permita cuantificar el riesgo sobre la salud humana y más importante aún, determinar el trayecto de afectación, con lo cual se incrementa la probabilidad en la búsqueda de soluciones.

En la actualidad, la cooperación entre los países del mundo es cada vez mayor, vislumbrándose así, un panorama que implica una noción global del problema. Al respecto, se destaca la relación bilateral en materia comercial entre países fabricantes de aviones y los países que adquieren los mismos; en este último caso, es cada país donde se desarrolla la fase operativa entre las aeronaves y los trabajadores.

En el marco de las ideas señaladas, esta tesis tiene repercusiones académicas, sociales y económicas que justifican su presentación, desde tres criterios:

Relevancia Social. La investigación se soporta en el campo de la física, la acústica, la biología y la psicología, como ejes de aplicación en la medicina, por lo que trasciende el ámbito local y su extrapolación teórica es contrastable en cualquier espacio geográfico, lo cual le confiere valor en el campo del conocimiento.

Implicaciones Prácticas. Mediante estudios transversales es evaluado el comportamiento de las variables de investigación y mediante estudios horizontales, se pueden hacer seguimientos y evaluaciones de los cuadros clínicos de los sujetos, que se mantengan en la situación de exposición a ruidos de aeronaves militares.

Otra implicación práctica está asociada a los métodos de medida, para la variable ruido, el método de medida combinado (muestreo y *full day*), permitió la caracterización sonora del ambiente de estudio. En el caso de la variable cardiaca, los procedimientos están estandarizados, no son invasivos, son de bajo costo y los datos obtenidos poseen alto valor predictivo. Y para la consideración psicoacústica, permitió de manera sencilla que los sujetos evaluaran su propio desempeño.

Implicación Legal. Las pautas regulatorias en medicina aeronáutica se justifican en dos campos: a) basan las patologías cardiacas en los agentes etiológicos tradicionales; es decir, no se considera el ruido como causal de enfermedad cardiaca, para la población de sujetos suscrita a estas normas y b) los valores criterio para los rangos de normalidad en la consideración de sujetos sanos son diferentes a los valores clínicos establecidos en la actualidad por los organismos internacionales que estudian el corazón.

Por lo antes expuesto, la presente investigación se justifica al contribuir con una base de datos que pueden abrir el debate, en el sentido de identificar y controlar todos los factores de riesgo que pueden ser causal de patologías cardiacas. Asimismo, se contribuye con la solicitud por parte de la WHO, al identificar el ruido como factor de riesgo para la salud cardiaca. Además, demarca la sucesión de posibles hechos en la progresión de una cardiopatología, así como, la introducción de modificaciones en las variables psicoacústicas derivadas del efecto ruido y que igualmente pueden afectar la condición cardiaca.

1.6. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo se presenta organizado en cuatro capítulos. El primero, de introducción, coloca al lector en el marco de referencia, en conjunción de tres variables; el ruido y su impacto en el corazón, y las modificaciones psicoacústicas en tripulantes y personal de tierra expuesto al ruido de aeronaves. Se expresan los objetivos y la justificación de la investigación en criterios de interés científico.

1. INTRODUCCIÓN

En el segundo capítulo, se establecen los métodos y procedimientos de la investigación ejecutada entre los años 2005 y 2009, con las tres variables de estudio:

A) La variable ruido: se caracterizaron las condiciones laborales de cada grupo de sujetos y se seleccionaron los métodos y puntos de medida de ruido, según normas internacionales. Se estableció el método de muestreo para caracterizar el ambiente sonoro y el método de todo el día para la percepción total de ruido por día de trabajo de los grupos de sujetos caracterizados. Se planteó un procedimiento para el cálculo de la incertidumbre de las medidas, la incertidumbre asociada y la desviación típica para cada grupo.

B) La variable cardíaca: se explicitó el procedimiento de medida conforme a los protocolos internacionales en el área médica, conjuntamente se reseñan los indicadores que conforman la unidad cardíaca para los estudios electro y ecocardiográficos.

C) La variable psicoacústica: se detalló la operacionalización de la variable para la construcción del instrumento de medida, de los aspectos que se relacionan con la atención, la memoria y la perturbación del sueño, así como la determinación de los procedimientos para su respectiva confiabilidad y validez.

El capítulo tres se estructuró en tres subtítulos para el análisis independiente de cada una de las variables estudiadas y al final unir y cotejar en conjunto los resultados. De esta manera, se organizó: a) Las gráficas que representan los datos de ruido de manera inter a intra grupo, con análisis sustentados en investigaciones y estudios realizados por otros investigadores, para asumir una interpretación objetiva, a los planteamientos realizados; b) los datos cardíacos se analizaron comparativamente y estadísticamente entre los grupos de sujetos, atendiendo a las condiciones eléctricas, anatómicas y hemodinámicas, igualmente se sustenta en investigaciones asociadas y c) los datos psicoacústicos se interpretaron por las respuestas de los sujetos en relación porcentual y se representan en gráficas inter e intragrupo, sobre la base de investigaciones previas relacionadas.

1. INTRODUCCIÓN

El capítulo de conclusiones y trabajo futuro se ordenó en tres aspectos fundamentales: primero, las conclusiones en atención a los hallazgos independientes de cada variable y, seguidamente, las relaciones entre las variables estudiadas. De estas premisas se deduce el segundo subtítulo de las aportaciones al campo científico. Y como tercer subtítulo se tiene la proyección del trabajo en la profundización y seguimiento de la variable cardiaca frente a las evidencias detectadas, que sugieren la necesidad de continuar los estudios sobre los efectos no auditivos del ruido, con riesgo a la salud cardiovascular de los trabajadores en el área de aviación militar. Además, se proponen líneas de investigación que están asociadas a diversos campos científicos y de aplicación tecnológica.

Por último, la bibliografía presenta parte del estado del arte revisado y la sección de los anexos, donde se ordenan las tablas con los valores experimentales y los datos climáticos durante la toma de las muestras medidas.

CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Por las características de las variables de esta investigación, el diseño combinó diversas técnicas en un estudio transversal, [Shadish, W. and Cook, T. 2009]. Se describe en las siguientes subsecciones de este capítulo, los procedimientos para medir y caracterizar el ruido, los índices cardiacos y el estudio psicoacústico; organizando en fases la obtención de las medidas experimentales.

2.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las tripulaciones y el personal de tierra que trabajan ante la exposición al ruido generado por aviones y helicópteros militares, así como los equipos de mantenimiento de los mismos, presentan mayor riesgo de una afectación cardiaca, que se manifiesta en cambios eléctricos, anatómicos o hemodinámicos, estando asociadas con aspectos cognitivos observables, como: la variación en la atención, la memoria y la perturbación del sueño, pudiendo contribuir en la variación de la condición normal del corazón.

2.2.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: el ruido generado por cada una de las naves previamente seleccionadas y el conjunto de equipos para lograr su mantenimiento diario, conforman las condiciones de medida sonoras, como campo experimental para cada grupo de sujetos en la concepción de ruido ocupacional [ISO 1999:1990].

Variable Dependiente: la medición se establece para las condiciones anatómicas y fisiológicas del corazón en cada uno de los sujetos estudiados, en

2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

términos de rangos de normalidad, que son estandarizados para sujetos sanos [Sud, S. et al 2008], [AHA 2002].

Variable Dependiente: las funciones cognitivas entendidas como los modelos que crea el sujeto para interpretar la realidad que percibe, se delimita a la memoria y la atención, [Adswar, J. 2006]. La condición psicofisiológica del sueño se consideró como el espacio mental-fisiológico para recuperar y mantener el estado de salud global de cada sujeto [Adswar, J. 2006].

Variabes de Control: son las condiciones que se establecen igual para el conjunto de sujetos de estudio, quienes permanecen en Base Aérea Militar durante los días laborales. En la fase de estudio se consideraron de forma homogénea las siguientes condiciones: a) alimentación; b) horas de trabajo; c) horarios de descanso; d) protección auditiva y e) condición médica, la cual los caracterizó con el grado de apto [Monroe S. 2008] [Pita & Pértegas. 2002]. Con estas pautas el estudio parte de una muestra de sujetos considerados sanos.

En la siguiente tabla (2.1), se esquematizan las variables estudiadas con los indicadores que permiten determinar cada una de ellas.

Tabla 2.1. Relación de las variables

Tipo de variable	Equipo	Condición de la variable	Indicadores
Ruido Independiente	Sonómetro	Ruido en el campo de trabajo aeroportuario Ruido dentro de la cabina	Leq, SPL, Ln, Lpico, análisis en banda de octava
	Dosímetro	Ruido laboral en hangar y durante el vuelo	Leq. Dosis.dosis proyect. Lmax L ₁₀ L ₅₀
Cardíaca Dependiente	Eco cardiógrafo	Condición anatómica – fisiológica	DD, DS, VD, SEP, PP, P, Ao, AI,FE, FA, VAo, E, A, AP, TAM
	Electro cardiógrafo	Condición eléctrica - fisiológica	Fc, ritmo, PR, QRS, AQRS, QT
Cognitiva Dependiente	Encuesta- Entrevista	Percepción subjetiva del ruido y relación cognitiva	Atención, memoria, perturbación del sueño

2.2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Por el objetivo de investigación, la población se define como unidades de análisis a sujetos y objetos, [Knutti, K. 1991]. Los sujetos están representados por el grupo con sede operacional en la ciudad de Barquisimeto (Venezuela), conformado por las tripulaciones y el personal de tierra, quienes ejecutan labores de mantenimiento en el sector aeronáutico militar, asociado a las mismas naves; delimitando a la población en correspondencia con una serie de especificaciones [Macnee & McCobe. 2006]. Los objetos de estudio fueron las aeronaves de uso militar, que igualmente tienen su base de operación en la ciudad de Barquisimeto.

Sobre la premisa anterior, el criterio de selección está asociado directamente al equipo de trabajo y a la emisión sonora de las aeronaves militares, de manera que, la selección de la muestra es intencional [Macnee & McCobe. 2006], con los siguientes criterios para los sujetos: a) la exposición global del ruido de los aviones militares; b) la exposición en acciones directas en los aviones y su mantenimiento, durante la jornada de medición de ruido y considerarlos como sujetos únicos seleccionados de manera no probabilística; c) siempre y cuando los sujetos permanezcan en sus funciones; es decir, que no tengan que cumplir guardias fuera de la zona de investigación; y d) sujetos sanos, sin antecedentes de eventos cardíacos. Y para los objetos: a) aeronaves de uso militar en funcionamiento en pista y vuelo y b) equipos de recarga de batería, plantas eléctricas y compresores como las herramientas de uso diario en el hangar.

No se siguió fórmula para obtener una muestra de sujetos por estrato. Por ser la población tan delimitada, la muestra se suscribió al equipo de trabajo por nave seleccionada. Se incluyen además los siguientes parámetros: a) todos respondieron la encuesta y la entrevista; b) aplicación de los exámenes de eco y electrocardiograma y c) la valoración del ruido in situ. En atención al número de sujetos de muestra como caso de estudio es válido el mismo, ya que no se aplicó la relación de pérdida muestral por asumir los criterios señalados [Pita & Pértegas. 2002].

2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En cuanto a los objetos de estudio, el análisis contempló las mediciones de ruido en diversas aeronaves militares y sus equipos de mantenimiento. En la tabla 2.2., se especifica por grupo de sujetos, la aeronave que le corresponde y el número de muestra de los sujetos.

Tabla 2.2. Sujetos y objetos de estudio

Grupo	Objetos de estudio, tipos de nave	Muestra de sujetos
Caza 12	VF-5 (doble turbina) y equipos de mantenimiento	21
Caza 16	F 16 (turbina) Planta hobart	16
CORE 4	Skytruck M28 (turbo hélice) y equipos de mantenimiento. Helicópteros: Bell 206 y Bell 412	28

2.3. DETERMINACIÓN DE EXPOSICIÓN A RUIDO OCUPACIONAL

Las naves militares específicas de cada grupo y las máquinas de uso diario ubicadas dentro de los respectivos hangares, conformaron los objetos de estudio como fuentes generadoras de ruido (ver tabla 2.2.). La técnica para la obtención de los datos de ruido se ajustó a los parámetros establecidos en norma ISO 1999:1990. Se consideraron las condiciones geoespaciales de la zona de estudio, así como las características climáticas durante los días en que se efectuaron las medidas [ISO 1996-3] (Anexo A).

2.3.1. DESCRIPCIÓN GEOESPACIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde geográfica y espacialmente al aeropuerto de la ciudad de Barquisimeto (Venezuela), ubicada en una meseta a 629 m. sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 29 °C. Sus instalaciones cubren un área de 550 hectáreas; siendo las coordenadas geográficas las

2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

siguientes: latitud 10°02'05" norte y longitud 69°21'06" oeste, [Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 12, 2006].

Posee una pista principal (RWY), con extensión pavimentada de 2.852 m. y una longitud disponible de 2.380 m. por 45 m. de ancho. Dentro de los límites internos del aeropuerto funcionan cuatro sectores, que se señalan a continuación: a) al noroeste de la pista, la base aérea Militar "Teniente Vicente Landaeta Gil", sede del grupo Caza 12, responsables de los entrenamientos en la nave militar VF-5. Allí mismo, realizan misiones los del grupo Caza 16, responsables de las operaciones en el avión F-16; b) en el centro de la pista se ubica el Aeropuerto Internacional Jacinto Lara, correspondiendo ese sector al espacio operativo para la aviación comercial; c) hacia el noreste, en distancia de 200 m. con respecto al anterior, se encuentra el espacio de la Base de Apoyo Aéreo de la Guardia Nacional Bolivariana CORE 4, que operan los helicópteros y el avión M28, y d) al este de la pista, se encuentran las instalaciones del Aeroclub local. Al norte de la zona que corresponde al área operativa del grupo Caza 12, se ubican además, las viviendas unifamiliares para este componente militar [Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 12, 2006].

Las zonas aeroportuarias están delimitadas para cada grupo militar y durante las medidas de ruido, se controló por horarios de trabajo la no interferencia de ruidos provenientes de otras aeronaves. Sin embargo, la ubicación geográfica espacial del Grupo de Operaciones de Apoyo Aéreo del CORE 4, en distancia de 1.434 m, al noreste con respecto al resto de los operadores militares, lo coloca en posición de recibir además del ruido que generan sus propias naves, el que producen las operaciones aéreas de despegue y aterrizaje del resto de las aeronaves, como aparece en la figura 2.1.

La velocidad de propagación de la onda sonora se modifica con la variación de la temperatura y la velocidad del viento, con respecto a la altura. Aun cuando la influencia del aire se manifieste en fenómenos de refracción, absorción y dispersión, la absorción de la energía sonora por el aire es poca significativa en distancias cortas [Heiman D. 2003], [González J. et al 2005].

estrategia de medida combinó el muestreo y la exposición *full day*, para cubrir todas las áreas de trabajo, incluyendo además el ruido dentro de las cabinas de las diversas aeronaves.

Las actividades dentro del ambiente aeromilitar son complejas, por cuanto son múltiples las funciones que ejecutan los sujetos adscritos a dicho ambiente; por lo tanto, se procedió a caracterizar los diferentes grupos de trabajo en el contexto de ruido ocupacional.

1. El personal de tierra identificado como los sujetos de mantenimiento, trabajan en tres grandes áreas: a) dentro del hangar en labores de mecánica y aviónica; b) en pista, para la actuación de línea de vuelo; c) dentro del respectivo comando, para cumplir guardias de 24 a 48 horas, y d) cuando en funciones de comando, forman parte de los pasajeros de aviones de carga militar.
2. Los pilotos tienen establecidas sus funciones entre la distribución de horas de vuelo y el trabajo administrativo realizado en ambientes de oficina; sin embargo, también realizan actividades de guardia dentro de sus respectivos comandos.
3. La condición de sujetos que viven en la base aérea, los mantiene en exposición ante ruidos, tanto ocupacionales como ambientales, en niveles superiores a 65 dB [WHO 2001], aunque el tráfico operativo de vuelos, en la sede del aeropuerto es limitado.

2.3.2. SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MEDIDA

Dadas las características de las diferentes áreas donde se encuentran las fuentes de ruido, se propuso una combinación de métodos y equipos. Los sonómetros se utilizaron para caracterizar cada fuente particular, aplicando el método de muestreo y los dosímetros, para determinar la percepción en los grupos de trabajo; empleando el procedimiento de todo el tiempo de medida [ISO 9612], [ISO 1996-1].

Se incluyó parte de lo suscrito en Federal Aviation Administration [FAA 2005], en relación a las medidas laterales para las naves [FAA 2005_a]. También se contemplaron los cambios en el diseño del tubo de salida en los helicópteros

[FAA 2005_b]. En cuanto a la selección de los descriptores seleccionados, se suscribe a ISO 1990 y las indicaciones de FAA (1985). Las áreas de estudio fueron las siguientes:

2.3.2.1. Procedimiento por muestreo

1. En áreas internas:
 - a) Dentro de habitaciones y servicios
 - b) Dentro del hangar de operaciones en mantenimiento del M28
 - c) Dentro del hangar del VF5, con los equipos de mantenimiento
2. En pista próxima:
 - a) En posición del sujeto que ejecuta la tarea de línea de vuelo, para cada una de las naves
 - b) Dentro de la cabina de cada aeronave
 - c) Durante las operaciones de calentamiento de motores, despegue y aterrizaje
3. En ejecución de vuelo, medidas dentro de cabina
 - a) En caza VF5, a velocidad militar
 - b) En caza F-16, a velocidad militar [Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 16, 2004]
 - c) En M28, en torques de 40 y 70, a una altura de 7000 pies como tope de altura, desarrollando maniobras de viraje y estabilidad a diversas velocidades y potencia de los motores, [CORE 4 1999]
 - d) En helicópteros Bell 206 y 412, a velocidad mínima y máxima [FAA 2005_b]

2.3.2.1. Procedimiento de todo el día

1. Pilotos en labores de vuelo.
2. Personal de mantenimiento.
 - a) En labores de línea de vuelo.
 - b) En actividades de trabajo múltiple.

2.3.3. EQUIPOS DE MEDICIÓN

La evaluación del ruido se realizó con sonómetros de la serie CEL 593, tipo 1, promediador integrador. Para la comprobación de medida se empleó un calibrador CEL 282. Se registraron los siguientes descriptores: nivel de ruido equivalente (Leq), niveles percentiles (Ln), nivel de presión sonora (SPL), valores pico; el análisis de banda en frecuencia de octava se expresó en decibel (dB) y ponderados temporales rápido y lento [FAA 2005].

Para la valoración de la percepción de ruido en cada grupo de sujetos y dadas las características del ambiente, se realizó con dosímetros de la serie CEL 460, comprobando la medida con el calibrador CEL- 284/2. Se aplicó una tasa de intercambio de 3 dB(A) a un criterio de 85 dB(A) para 8 horas de trabajo, en criterio de recomendación NIOSH 1998 [Rosenstock L. 1998]. Se registraron valores de los siguientes descriptores: nivel de ruido equivalente (Leq), valor máximo (Lmax), pico, dosis y dosis proyectada, percentiles (Ln), nivel de exposición sonora normalizado a 8 horas (Lep,d), para un análisis desde lo que percibe el sujeto [FAA 1985].

2.3.4. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDIDAS DE RUIDOS DE AVIONES

El cálculo de la incertidumbre en los aeropuertos, como producto del ruido generado por aeronaves, ha cubierto las áreas de contorno, destacando en la revisión de la literatura su aplicación para el establecimiento de los límites legales de ruido [Thomann, G. 2007]. Este autor ha analizado dos componentes: la incertidumbre en la estimación de la fuente de sonido de la aeronave durante las condiciones operativas reales, y las incertidumbres en las estimaciones de los diferentes efectos de la propagación del sonido con énfasis en mapas de ruido.

Sin embargo, en este contexto, la presente investigación enmarca el efecto del ruido de los aviones militares sobre operadores directos, integrando así, las orientaciones emanadas de los diversos entes de estandarización recopilados en la *Guide to the expression of Uncertainty in Measurement* (GUM); al

establecer que la expresión del resultado de una medición está completa sólo cuando contiene tanto el valor atribuido al mesurando, como la incertidumbre de medida asociado a dicho valor, donde la función modelo representada en la relación: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, permite establecer las magnitudes de entrada que pueden modificar la magnitud de salida [JCGM 100:2008].

Desde esta perspectiva, se hacen las siguientes consideraciones por estar sujeto a los procedimientos normados:

1. La incertidumbre asociada a la presión atmosférica y temperatura, salvo que estén en condiciones extremas, tiene un efecto despreciable en la incertidumbre de la magnitud de salida. Para esta investigación se calculó en 0.3 dB, a partir de los datos meteorológicos de referencia en el anexo A, por lo que no se considera.
2. Con respecto a la distancia entre la nave y los receptores, ésta oscila entre 5 y 15 m, para los sujetos de mantenimiento durante las operaciones en tierra y durante las operaciones de despegue, la distancia varía hasta 404 m. En el caso de los pilotos, éstos se encuentran en contacto con la fuente generadora de ruido.
3. Cada avión como fuente generadora posee sus particularidades específicas, por lo que la fiabilidad de los datos durante un solo vuelo depende de la fuente [Thomann G. 2007].
4. Al asociar el estudio de ruido a una variable fisiológica, se integran las operaciones de salida y aterrizaje; se valoran en conjunto como acción de la tarea de vuelo.
5. En correspondencia con la norma ISO 9612, se parte de los datos medidos por estudio de dosimetría para las siguientes estimaciones y cálculos:
 - Cálculo de jornada laboral completa para cada grupo de sujetos.
 - Se consideró el mínimo de tres medidas, en las posiciones de trabajadores, con respecto a las naves y el trabajo en hangar (Anexo B) [ISO 9612].
 - Medición de nivel de ruido continuo equivalente.

- Estimación del promedio del nivel de ruido continuo equivalente [ISO 9612].
 - Determinación del nivel de exposición sonora normalizado a 8 horas laborales (Lex8h) [ISO 9612].
 - Cálculo del estándar de incertidumbre de energía promediada (u_1) [ISO 9612].
 - Estimación de la contribución de los valores medidos (c_1u_1), por referencia de la tabla C.4 de la norma ISO 9612.
 - Cálculo de la incertidumbre combinada (u) [ISO 9612].
 - Cálculo de la incertidumbre expandida (U), para un factor de cobertura $K = 1.96$ y una probabilidad (p) de 95% [ISO 9612].
 - Cálculo de la desviación típica (δ) [JCGH 101:2008].
6. El procedimiento de medida experimental se realizó en tiempos operativos para cada nave, excluyendo la interferencia del tiempo operativo de otras naves.

2.4. DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE CARDIACA

A los sujetos se les registró la historia clínica personal y los antecedentes familiares en los aspectos cardiológicos. Esto se debió a la presunción de que las enfermedades cardiovasculares presentan un 50% de probabilidades de ser heredadas, estableciendo el mayor control posible de las situaciones, en donde se observen variaciones [Sud, S. et al 2008], [AHA 2002], para sustentar los análisis con interpretaciones asociadas a las variables de estudio.

La técnica para el estudio cardiológico combinó el análisis electrocardiográfico de doce pistas, respondiendo a los requerimientos de los requisitos conjuntos de aviación [JAR-FCL3], que comprenden pruebas médicas que representan aptitud para el vuelo, emanadas por las Autoridades Conjuntas de Aviación (JAA), con antecedente en anexo 1 de la OACI. Los requisitos son los mismos para pilotos y personal de tierra, tanto civil como militar, y la técnica ecocardiográfica, por protocolo establecido por la *American Society of Echocardiography* (ASE), en conjunción con la Sociedad Europea de Ecocardiología (EAE) [Lang R. et al 2005]. Esta fase estuvo supervisada por

un médico cardiólogo de reconocida idoneidad. Los datos obtenidos por estas dos técnicas son analizados mediante el programa electrónico estadístico SSPS versión 12.0, para la presentación de la estadística descriptiva, correlación de Pearson anova y gráficos de dispersión.

2.4.1. TÉCNICA ELECTROCARDIOGRÁFICA

Según las especificaciones de la norma JAR-FCL 3.130, se realizó un examen estándar de doce pistas, representadas en las siglas identificadas como: derivaciones axiales: DI; DII; DIII, derivaciones aumentadas: aVR; aVL; aVF; y derivaciones precordiales V1; V2; V3; V4; V5; V6 [Rautaharju P. et al 2009].

Esta técnica permitió observar el ritmo cardiaco y la regularidad de los latidos, así como también, el tamaño, posición y funcionamiento eléctrico de las cavidades cardiacas. De igual forma, se pueden evidenciar daños en el corazón tales como son: alteraciones rítmicas, hipertrofia ventricular, enfermedad en las arterias coronarias (como en el caso de una angina de pecho o infarto agudo de miocardio) [Roman M. et al 1987], [Levy D. et al 1990]. [Coleman, ME 2006].

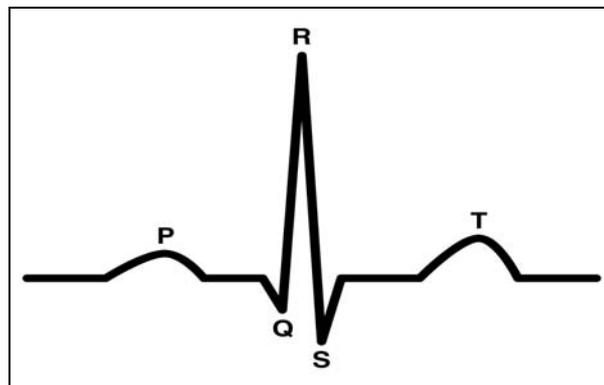


Figura 2.2. Representación del electrocardiograma

A continuación los elementos de búsqueda en el gráfico de los sujetos de estudio:

1. Frecuencia cardíaca [Rautaharju P. et al 2009].
2. Onda P antes de cada QRS. [Rautaharju P. et al 2009].
3. Complejo QRS después de cada P [Rautaharju P. et al 2009].
4. Ancho del intervalo P-R [Coleman ME. 2006].
- 5 Ancho del complejo QRS. [Rautaharju P. et al 2009].
6. Intervalo QT [Rautaharju P. et al 2009].
7. Vector eje QRS [Coleman ME. 2006].

2.4.2. TÉCNICA ECOCARDIOGRÁFICA

El estudio ecocardiográfico se realizó en tres modalidades: modo M, bidimensional y doppler [Lang R. et al 2005]. Las ventanas de observación utilizadas respondieron a los principios universales del protocolo ecocardiográfico de ASE [Wyman et al 2006], al igual que los planos y cortes [Wyman et al 2006].

La técnica de evaluación consistió en el uso de la ventana paraesternal derecha e izquierda, realizando cortes transversales y longitudinales, en posición decúbito lateral izquierdo; la ventana retroesternal, para obtener cortes apicales de dos, cuatro y cinco cámaras; desde la ventana supraesternal, para obtener cortes del cayado aórtico y de la aorta torácica descendente, y desde la ventana subcostal para observar las cuatro cavidades y el tabique interventricular.

Las siglas utilizadas responden a las indicadas en el protocolo ecocardiográfico de la Sociedad Americana de Ecocardiografía [Wyman et al 2006]. Los elementos estudiados se refieren a dos conceptos de análisis para esta investigación: los aspectos geométricos y de dimensiones de las estructuras y los aspectos hemodinámicos referidos a la función sistólica y diastólica del ventrículo izquierdo.

2.4.2.1. Aspectos geométricos

Los valores de los aspectos geométricos que se registraron son los siguientes:

- Ventrículo izquierdo (VI), en diámetro diastólico (DDVI) y sistólico (DSVI) [Sengupta et al 2007].
- Ventrículo derecho (VD), [Tim J. et al 2008].
- Septum interventricular (SIV,) [ACC/AHA 2008].
- Pared posterior (PP), es la pared libre del ventrículo, su valor referencia, geometría y funcionamiento ventricular [ACC/AHA 2008].
- Aorta descendente (AO): el diámetro permite observar el comportamiento del flujo sanguíneo y, por ende, el volumen - latido [ACC/AHA 2008].
- Aurícula Izquierda (AI); recibe la sangre del circuito pulmonar; establece una relación de presión y volumen con el ventrículo izquierdo que permite a su vez, evidenciar la función de bomba del corazón [Abhayanatha W, et al 2006].
- Pericardio (P): formado por membranas dobles que protegen al corazón, entre ellas se encuentra el líquido lubricante en proporción de 20 a 30 cm³ [ACC/AHA 2008].

2.4.2.2. Aspectos hemodinámicos

- Fracción de eyección (% FE): es la relación porcentual del cambio de volumen ventricular izquierdo normalizado para el volumen diastólico [Lang R. et al 2005].
- Acortamiento ventricular izquierdo (% AC): es la relación porcentual, entre el diámetro diastólico y sistólico normalizado para el diámetro diastólico, es el índice más fiable cuando no existe alteración segmentaria [Lang R. et al 2005].
- Velocidad en aorta (VAo): la velocidad del flujo sanguíneo es la tasa de desplazamiento de la sangre por unidad de tiempo. La velocidad es una relación lineal [Jun S. et al 2008].
- Onda E (E): fase de llenado rápido del ventrículo izquierdo [Kamp O. 2006].
- Onda A (A): aceleración tardía del flujo sanguíneo, contracción auricular. [Kamp, O. 2006].

- Velocidad de Arteria Pulmonar (AP): variable hemodinámica que permite evaluar indirectamente al ventrículo izquierdo, en ausencia de enfermedad vascular pulmonar intrínseca [Vázquez C. et al 2003], [Blanco J. et al 2007].
- Tiempo de alcanzar pico de velocidad de la arteria pulmonar (TAM): es el intervalo comprendido entre el inicio del flujo pulmonar y la velocidad máxima alcanzada, para 120 ms, con sensibilidad de 91 % [Tim J. et al 2008].

Los valores de referencia se estiman en rangos de normalidad para el humano sano, para el estudio electrocardiográfico y ecocardiográfico, según la *American Heart Association* y *American College of Cardiology* (anexo C).

2.5. DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE PSICOACÚSTICA

Si el entrenamiento para el vuelo es una condición de alta selectividad entre el recurso humano, este es aún mayor en los vuelos militares. La velocidad de respuesta requerida por estos sujetos desde la perspectiva cognitiva es compleja. En este estudio solo se estima dos factores interrelacionados: la atención y la memoria. Estos, a su vez, se enlazan con manifestaciones cognitivas-emocionales, como el estrés, la angustia y la pérdida de sueño [Bourne & Yaroush 2003]. [Cadwell J. 2004] [Caldwell et al 2004]. El pilotaje de aviones implica además, una interacción entre todos los procesos cognitivos y emocionales que de alguna forma inciden en el sistema cardiovascular [Marcora & Victoria 2009].

Los estudios de simulación realizados en cabina han reportado datos enfrentados desde una actividad cardiovascular elevada con baja resistencia vascular, hasta una moderada actividad cardíaca y una resistencia vascular elevada [Bourne & Yaroush 2003].

La psicología aeronáutica ha determinado los criterios para la selección y evaluación de pilotos con atención a los principios de la OACI, y de manera conjunta a la psicología militar, los cuales, en el marco de la OTAN, establecen y estudian los parámetros de comportamiento del personal militar, en especial en aviación [Dieter H. 1990]. Como muestra de ello, Carretta y colaboradores

(1996) trabajaron en la batería de medidas cognitivas como factor general (g), para la selección de pilotos militares [Carretta & Ree 1996]. Y Boyd. J, y colaboradores (2005), aplicaron diversos tests, para discriminar diferencias significativas para tener éxito en el vuelo en diferentes tipos de aeronaves de combate [Boyd J. et al 2005].

Sin embargo, los instrumentos estandarizados para el sector de la aviación, están sujetos a protocolos de uso interno; sin acceso para investigadores externos. Por ello, se centró el manejo de esta variable como criterio (dependiente), frente al ruido y como predictora, frente a las condiciones cardíacas [Kim M. et al 2008].

Se utilizó la técnica del cuestionario [Leong & Austin 2005], empleando la metodología de la operacionalización de la variable de acuerdo al constructo [Beyae & Nicoll 1997]. La construcción final del instrumento es de 21 preguntas de respuestas dicotómicas, distribuidos en 6 preguntas para relacionar calidad del sueño con ruido y fatiga, 7 preguntas para relacionar ruido y atención y 8 preguntas para relacionar ruido y memoria. La entrevista aportó información personalizada en cuanto al trabajo particular de cada sujeto, con respecto a las aptitudes - actitudes, en relación al ruido y en las mismas manifestaciones cognitivas de atención, memoria, fatiga y calidad de sueño.

Para aceptar la fidelidad del instrumento se requirió de la validez y la confiabilidad, [Leong & Austin 2005], empleando para la validez, el juicio del experto. En este sentido, el Dr. Mirabal José, Director del Departamento de Psicología del Instituto Nacional de Aviación Civil de Venezuela (INAC), actuó como tal. Para la confiabilidad se aplicó el análisis estadístico en instrumentos aplicados a una muestra piloto en los siguientes términos:

$$r_{tt} = n / n-1 * Vt - \sum pq / Vt \quad [1]$$

En donde:

r_{tt} , es el coeficiente de confiabilidad

n , es el número de preguntas

Vt , es la varianza total de la prueba

Σpq , es la sumatoria de la varianza individual de las preguntas

La fórmula aplicada varía la forma de presentar la varianza. Básicamente pretende establecer que mientras menor sea el error, mayor es la confiabilidad, vista como la proporción de la varianza verdadera con respecto a la proporción de la varianza de error. El programa estadístico SPSS 12.0, contiene la base informática para aplicar estos modelos e interpretar el coeficiente de confiabilidad sobre un valor en escala, [Hankins, M. 2007]. La consistencia interna del instrumento es de 0.8375 considerada muy alta. Así se complementan las tres vías de estudio de la presente investigación.

2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE DATOS

3.1. DETERMINACIÓN Y VALORACIÓN DEL RUIDO

Valorar el ruido en ambientes aéreos militares en una concepción laboral es compleja, debido a las siguientes condiciones: a) la existencia de fuentes móviles representadas por las mismas naves y b) las fuentes fijas, representadas por los equipos de mantenimiento.

En relación a los sujetos, estos se diferencian en: a) los pilotos, clasificados según el tipo de nave de la cual son responsables y b) entre el personal de tierra, el grupo de mantenimiento que se clasifican al igual que los pilotos, pero que también en tareas de comando forman parte de la tripulación de las aeronaves del cuerpo militar, como es el caso del avión M28 y los helicópteros.

Además, el hecho de realizar las labores administrativas y de vivir en la misma zona, implica que estos sujetos se encuentran de manera continua expuestos al ruido de naves militares. Desde esta perspectiva, es importante caracterizar cada ambiente de trabajo según las fuentes de ruido para cada uno de los grupos de estudio.

3.1.1. ANÁLISIS DEL RUIDO EN ZONAS INTERNAS

Las zonas internas para el análisis de ruido se diferenciaron en cada grupo de estudio por la utilidad práctica de las mismas, de manera que se estudiaron las siguientes zonas: las habitaciones y servicios, donde los sujetos pueden percibir molestias de ruido producidas en su propio ambiente de trabajo y la zona de hangar donde se ubican las fuentes de ruido que son fijas y donde se ejecutan las tareas de mantenimiento de los naves; es decir, en exposición a ruido laboral.

Las zonas correspondientes a las habitaciones fueron analizadas por representar éstas el lugar de descanso y se relacionó con la perturbación del sueño, pudiendo aumentar los estados de fatiga de los sujetos de estudio.

3.1.1.1. Ruido en las habitaciones y áreas administrativas

El análisis de frecuencia en bandas de octava se realizó para establecer comparaciones entre la curva de confort acústico y los ruidos que se producen desde la zona de hangar, y los originados por el tráfico aéreo de las naves militares.

Se observaron diferencias entre las zonas de los grupos Core 4 y el de Caza 12. Las medidas registradas en la zona del Core 4 indican que en las áreas de habitaciones los valores oscilan entre 50 y 80 dB. Estos valores quedan fuera del estándar adecuado del confort acústico, al compararlo con los valores estipulados en el criterio *Noise Rating* (NR) [ISO – R 1996]. Las medidas reportaron valores superiores a los del criterio de NR. En la figura 3.1., se identifica la serie 1, con el ruido que se produce desde el hangar y que se propaga hasta las habitaciones. La serie 2, con el ruido causado por el tráfico de aviones, los cuales inciden en las condiciones de confort acústico adecuado para la conciliación del sueño, originando en un incremento de la fatiga para los sujetos [OAIC 2008].

En las áreas administrativas del grupo Caza 12, se observó que el ruido del hangar no llega hasta sus instalaciones, pero sí el del tráfico y las operaciones previas al vuelo. Cuando realizan misiones los del grupo Caza 16, las medidas oscilan entre 80 y 85 dB, para lapsos de 1 hora por misión, sin que los sujetos se coloquen protector auditivo, durante la ejecución de sus actividades administrativas.

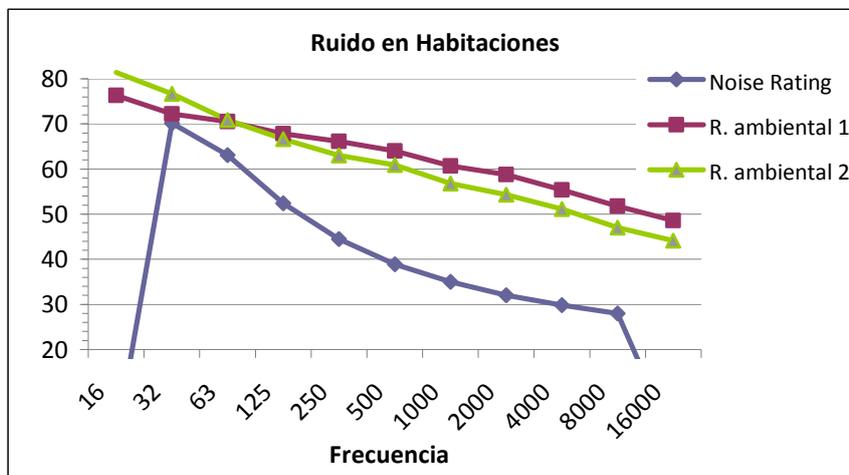


Figura 3.1. Ruido ambiental en áreas de habitaciones y servicios de la zona Core 4. Serie 1: con el ruido generado desde el hangar de Core 4. Serie 2: con el ruido generado por aviones externos. Serie azul valor criterio NR.

Las estadísticas mundiales señalan que el 80% de accidentes de aviación ocurren por el factor humano en condición de fatiga [Doss, A. & Kamery, R. 2006]. Por otra parte, [Cadwell, J. 2004] establece que el ruido de aviones causa perturbación del sueño y, por ende, fatiga. Además, Cadwell y otros (2004) estudiaron la condición de fatiga en pilotos militares con supresión de sueño, con resultados asociados a pérdida de atención y lentitud en la ejecución de tareas [Cadwell et al 2004]. Durante la Guerra del Golfo, se registraron datos de accidentes por perturbación del sueño; igualmente se reportó el 17 de abril de 2002, el incidente de colisión entre dos aviones F16 de los Estados Unidos, por las condiciones de fatiga entre sus pilotos [Meadws, A. 2005].

3.1.1.2. Ruido en el hangar de mantenimiento

En la caracterización sonora dentro de cada uno de los hangares se consideraron dos hechos: a) la característica en la construcción, que influye en el proceso de propagación de la onda y b) los equipos de mantenimiento con motores con diferente potencia, emitiendo diversos valores de ruidos, siendo diferentes para cada una de las naves.

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

El hangar del grupo Caza 12, se asemeja a una campana, con elementos constructivos en metálico; mientras que el hangar del grupo Core 4, consta de un techo a dos aguas, abierto en dos lados, siendo su altura máxima de 9 m y las paredes laterales de ladrillo en altura de 2.5 m.

El análisis en frecuencia se presenta como un estudio comparativo, identificando la emisión sonora de los equipos de trabajo con las series 1 - 2 y 3, medidas en el hangar del Core 4, y las series 4 - 5 y 6, con las medidas en el hangar del grupo Caza 12.

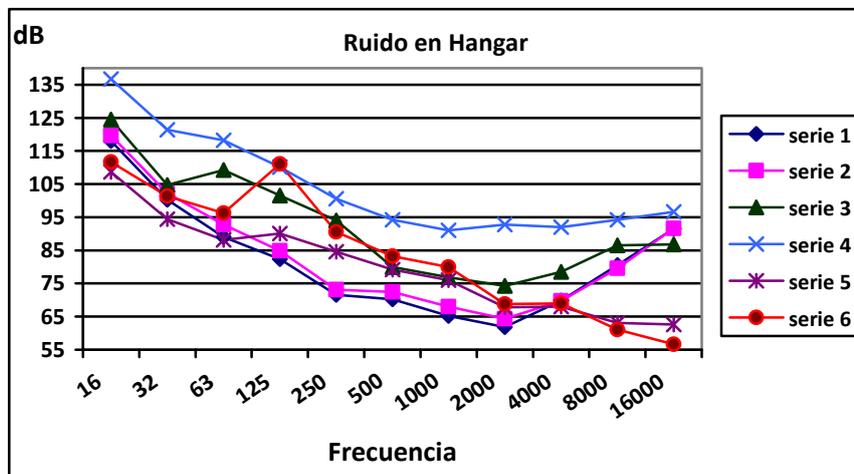


Figura 3.2. Hangar de Core 4: Serie 1 compresor. Serie 2: compresor y máquina 1. Serie 3: planta eléctrica, compresor y máquina 1. Hangar Caza 12: Serie 4: turbina VF-5. Serie 5: planta eléctrica. Serie 6: planta hidráulica.

La figura 3.2. representa la emisión sonora de los equipos para el trabajo de mantenimiento de los aviones, observando una similitud en el patrón de frecuencia analizado, siendo los valores más tóxicos entre las frecuencias de 16 a 250 Hz. La serie N° 6, que representa el trabajo con la turbina desmontada, registró valores que oscilan entre 135 y 105 dB, para las frecuencias de 16 y 125 Hz respectivamente, situación que ha llevado al grupo de sujetos a realizar las prácticas de motor fuera del hangar.

Asimismo, manifestaron los sujetos de mantenimiento del grupo Caza 12, la mayor molestia asociada a la vibración que perciben en sus cuerpos, aun sin contacto con las máquinas, infiriendo dos fenómenos en este aspecto:

- 1) En el ambiente cerrado del hangar del grupo Caza 12, los altos niveles de ruido registrados en las bajas frecuencias pueden asociarse a los efectos de resonancia, percibidos en los cuerpos de los sujetos estudiados.
- 2) Si esta presión es capaz de actuar como un estímulo, la respuesta fisiológica del cuerpo humano a esta presión acústica va a depender de la función del órgano que se vea afectado. Sobre esta premisa se argumentará al estudiar las variables dependientes.

3.1.2. ANÁLISIS DE RUIDO EN PISTA

Los estudios llevados a cabo en pista por otros investigadores hacen referencia a los valores que impactan sobre las comunidades, para establecer medidas de mitigación y reducción de emisiones. En el campo militar, desde 1994, se han estado realizado declaraciones en ese mismo contexto; sin embargo, el *Department of Air Force US* (1994) consideró a los sujetos expuestos, relacionando los efectos que tendría un trabajador en el campo industrial, tales como pérdida auditiva, incremento de tensión, perturbación del sueño y efectos en el sistema osteoarticular [US Air Force 1994]. No obstante, los datos más recientes vuelcan sus estudios al efecto de las bajas frecuencias que se producen en el campo de la aviación y que aumentan la irritabilidad de los sujetos afectados [Hodgdon, K. et al 2008].

3.1.2.1. Exposición durante la recarga de batería

La planta Hobart es el equipo utilizado para la recarga de batería en las aeronaves antes de iniciar el vuelo. Para el avión VF-5, el procedimiento de recarga necesita la introducción de aire a presión en la turbina de manera simultánea.

Los datos experimentales registraron variación en la emisión sonora de la planta. De acuerdo a los requerimientos de los motores de las aeronaves, los sujetos se ubican a una distancia comprendida entre 6 m. y 15 m. al recorrer y comprobar el estado de funcionamiento de la nave, con respecto a la planta. El tiempo de exposición es variable, puede durar desde 15 minutos para los helicópteros, hasta 60 minutos para el F-16. Esta expresión de tiempo corresponde a los límites más extremos, significando con ello que la exposición de los sujetos en cada grupo responde a las condiciones de operatividad en cada una de las naves.

El estudio comparativo del análisis de frecuencia en bandas de octava se observa en la figura 3.3., donde se identificaron las cinco naves analizadas, las series 1 y 2 de los helicópteros, la serie 3 el avión M28 y las series 4 y 5 los aviones caza, destacando los siguientes hechos:

- 1) El nivel de presión sonora durante la emisión de ruido representó un patrón muy similar entre las cinco naves estudiadas, caracterizando valores elevados para las bajas frecuencias, oscilando entre 140 y 105 dB, para las frecuencias de 16 a 63 Hz respectivamente.
- 2) Se observan diferencias en cuanto a los valores emitidos en las altas frecuencias para los aviones tipo Caza, los registros oscilan entre 85 y 105 dB, para las frecuencias de 4 y 16 KHz; sin embargo, las medidas registradas en naves con turbo hélice, disminuyen significativamente a valores que oscilan entre 65 y 45 dB para esas mismas frecuencias.

Estos dos hechos permiten establecer una importante conclusión, al considerar que los valores registrados de las bajas frecuencias puedan actuar como estímulo, capaz de producir algún tipo de respuesta fisiológica ante las condiciones cardiológicas y psicoacústicas de los sujetos.

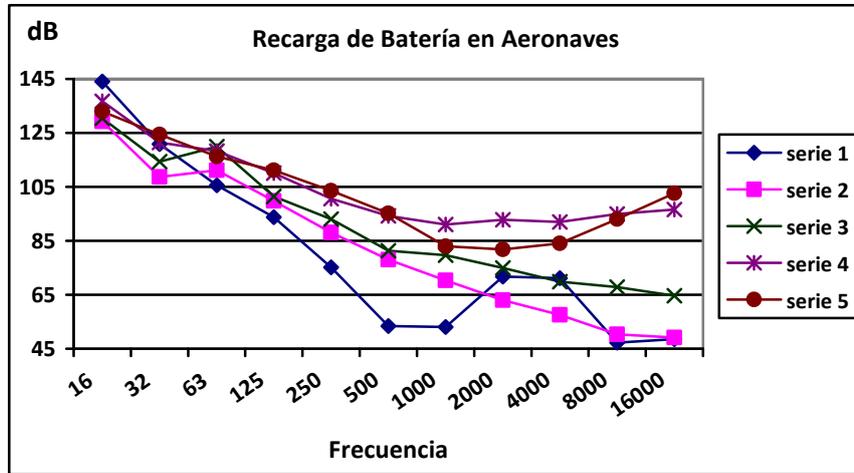


Figura 3.3. Recarga de batería en aeronaves militares: Serie 1: Bell 206. Serie 2: Bell 412. Serie 3: M28. Serie 4: VF-5. Serie 5: F-16

3.1.2.2. Análisis de frecuencias: una comparativa entre percepción auditiva y no auditiva

Los efectos en la salud cardiovascular, en analogía con ruido ocupacional, han sido ampliamente estudiados por Babisch (2003). De sus datos se toman dos notas importantes para esta tesis: la primera, la exposición a ruido ocupacional bajo una concepción de percepción auditiva, oscilando entre valores de 55 hasta 102 dB(A); la segunda, el uso de protectores auditivos con capacidad de atenuación desde -13 hasta -40 dB(A), obteniendo como resultados cambios hormonales, que afectan la condición cardiovascular [Babisch W 2003].

En este sentido, los análisis y las figuras que a continuación se presentan tienen dos propósitos en función de la hipótesis de trabajo: el primero, caracterizar el ambiente sonoro de trabajo, con los altos niveles de presión sonora en las frecuencias bajas; la segunda, que estas bajas frecuencias indistintamente del uso de los protectores auditivos, pueden impactar en el cuerpo humano en semejanza al efecto mecánico, ocasionando cambios observables en las estructuras cardíacas, que se expresará en el análisis cardíaco.

Las emisiones de ruido durante las operaciones de vuelo, en analogía al ruido ocupacional de referencia en el párrafo anterior, se integran en cuatro actividades conjuntas: la preparación de la nave, el despegue, el vuelo en sí y el aterrizaje.

Operaciones en helicópteros

Los helicópteros Bell 206 y 412, durante el vuelo, sólo operan con dos tipos de velocidades: una máxima y otra mínima. El análisis de frecuencias se realizó atendiendo a las emisiones con estas dos velocidades. En la figura 3.4., se visualizan las series 1 y 2, para la mínima y máxima velocidad en el helicóptero Bell 206, y las series 3 y 4 de manera similar para el helicóptero 412, derivando los siguientes hechos:

1. El análisis de las frecuencias bajas y medias, con las velocidades de mínima y máxima, registró valores superiores a los 85 dB(A), como valor criterio en la norma ISO 1999:1990, de valor límite de exposición laboral.
2. En la frecuencia de 16 Hz, se observó una diferencia marcada de 20 dB(A) entre una mínima y máxima velocidad en el helicóptero Bell 206; no así, en el registro del Bell 412, que mantiene valores en los 100 dB(A).
3. La emisión sonora a velocidad máxima del Bell 206 es muy similar a la emitida por el Bell 412 a mínima velocidad.
4. Las frecuencias comprendidas entre 16 y 63 Hz, registraron valores más perjudiciales tanto para efectos auditivos como no auditivos [Novak et al 2008].
5. Los valores medidos por debajo del valor criterio se registraron en las altas frecuencias [Novak et al 2008], observando entre las frecuencias de 4 a 16 KHz, valores que decrecen, oscilando entre 70 y 60 dB(A) para el Bell 206 y de 90 a 75 dB(A) para el Bell 412.
6. Estudios llevados a cabo con aeronaves han comparado el ruido de hélice fija de 95 dB(A), con hélice rotativa en 100.9 dB(A) [Certanec

& Rojas 2000], las medidas experimentales ciertamente corroboran estas diferencias entre los helicópteros Bell y el M28 (fig. 3.4 y 3.5).

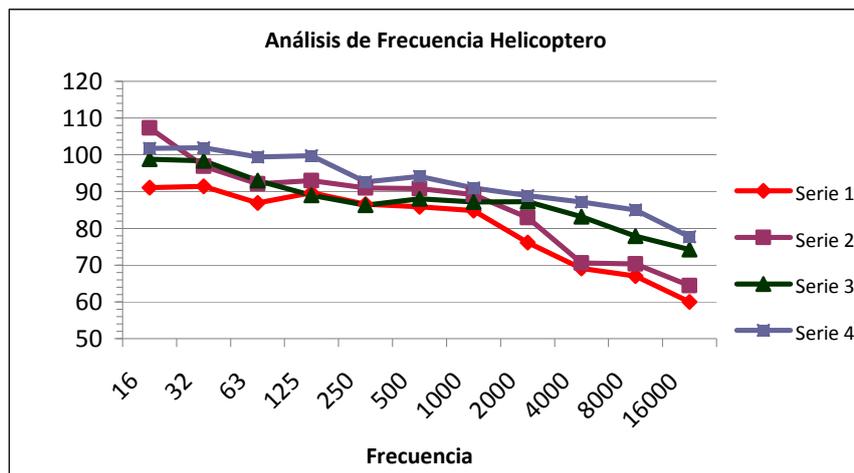


Figura. 3.4. Análisis de frecuencias en helicópteros. Serie 1 mínima velocidad en Bell 206. Serie 2 máxima velocidad. Serie 3 mínima velocidad en Bell 412. Serie 4 máxima velocidad

Operaciones en avión turbo hélice M28

La caracterización de las operaciones de vuelo para el avión turbo hélice M28, se observa en cada una de las series señaladas en la figura 3.5. La N° 1 corresponde al calentamiento del motor, la N° 2 al despegue, la N° 3, al vuelo y la N° 4 al recorrido durante el aterrizaje. De esta figura se destacan los siguientes hechos:

1. El patrón de ruido a un torque de 70 es similar durante las fases de despegue, vuelo y aterrizaje, manteniendo valores más elevados para las bajas frecuencias, que para las altas frecuencias.
2. Para las tres primeras series (1, 2 y 3) de la figura 3.5. que abarcan el calentamiento, el despegue y el vuelo estable; para la frecuencia de 125 Hz, registró el valor más extremo de la curva, alcanzando una medida que osciló entre 90 y 100 dB(A). Las altas frecuencias comprendidas entre 4 y 16 KHz, reportaron valores menores a 70 dB(A).

3. Los audífonos usados durante el vuelo contemplan una reducción de hasta 21 dB, garantizando la comprensión del audio a través de la radio, atenuando mayormente las medias frecuencias. Esta acotación hace suponer que si existe esta protección, no debería existir cambios cardiacos como contraposición a la hipótesis de trabajo.
4. La actualización de los nuevos requerimientos para este tipo de nave se estipula en 71.4 dB [FAA 2009], menor incluso al que presenta actualmente sus especificaciones técnicas, que es de 78 +/- 0.3 dB [CORE 4 1999]. Sin embargo, en medidas experimentales, registraron valores de Leq entre 99.4 y 104.4 para las operaciones señaladas como 1, 2 y 3.

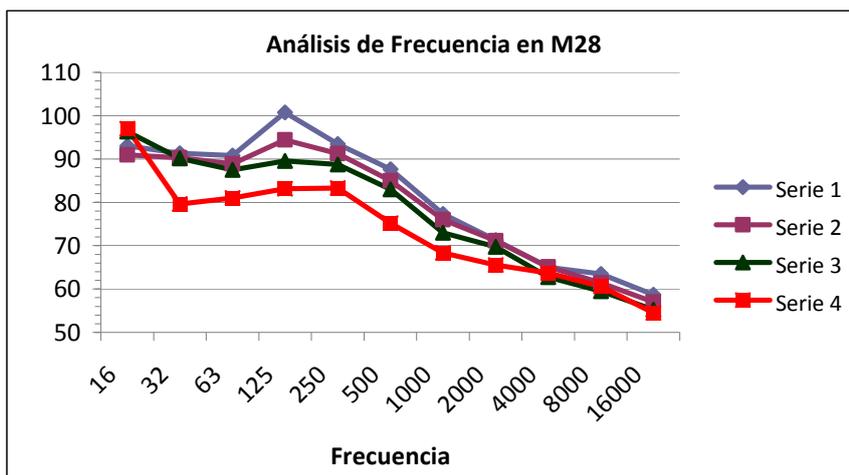


Figura. 3.5. Análisis de frecuencia para las operaciones de vuelo del avión M28. Serie 1, calentamiento de motor; en la serie 2, el despegue; en la serie 3, el vuelo y en la serie 4, el recorrido en aterrizaje

Operaciones en aviones de turbina F-16

El resultado del análisis de las frecuencias en bandas de octava, para caracterizar la emisión sonora entre los aviones de turbina VF-5 y F16, es similar; por ello, se optó por presentar los valores emitidos por el avión caza F-16. En la figura 3.6., se observa la ubicación de los sujetos de mantenimiento en dos grupos operativos.

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

Un sonómetro estuvo colocado en la posición de un grupo de mantenimiento que se quedaba en el lugar de la pista donde se preparan las naves (grupo 2). Las distancias son variables a medida que avanza el avión, pero singularmente coincide en una perpendicular de 90° , entre estos sujetos y el momento de despegue, siendo ésta una distancia aproximada de 208 m. La posición de un segundo sonómetro en la zona cercana a la cabecera de la pista, a una distancia de 102 m., corresponde a la posición del grupo de línea de vuelo (grupo 1).

La ubicación de ambos sonómetros en relación perpendicular al eje horizontal de la pista de salida, durante el despegue de las naves, permitió obtener valores experimentales que se correlacionan con la percepción subjetiva y corporal de los sujetos estudiados, en cuanto: a) se corroboró la sensación que experimentan los sujetos corporalmente, percibiendo la presión sonora al impactar en sus cuerpos; b) la medición del segundo sonómetro registró 136 dB, una vez pasado el avión frente al observador en ángulo de 30° . La sensación percibida es que las ondas atraviesan el cuerpo a manera de planos sagitales sin que se tenga voluntad para detener la vibración.

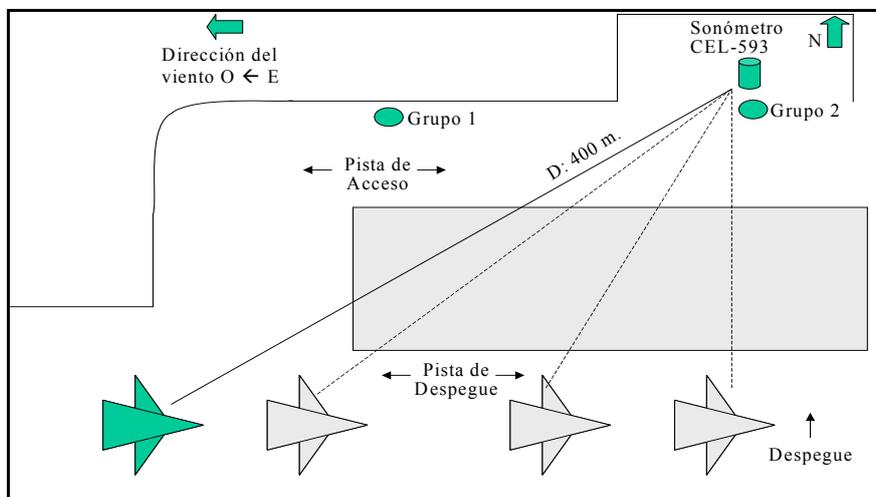


Figura 3.6. Ubicación de los sujetos de mantenimiento y línea de vuelo durante las operaciones de despegue

La ubicación de ambos sonómetros, conjuntamente con la versión de los sujetos expuestos, permite argumentar el siguiente análisis. Estudios llevados a

cabo por Certanec y Rojas (2000), reafirman otras investigaciones en donde se concluye lo siguiente: a) la vibración en aviones fluctúa entre 5 y 100 Hz: *“transmitiéndose estas vibraciones a todo el cuerpo a través de cualquiera de sus ejes que esté en contacto con la aeronave, siendo evidentemente el más frecuente a través del eje Z (longitudinal)”* [Certanec & Rojas 2000]; b) la protección de la cabeza como medio para impedir que entre en vibración y c) los huesos resuenan entre 20 y 30 Hz, transmitiéndose la vibración del material de vuelo a los huesos.

Estas ideas son válidas para la situación de los pilotos en vuelo; no obstante, para el personal de tierra que no está en contacto con la vibración de la nave, se intuye que el nivel de presión sonora es tan elevado que puede propagarse a través de sus cuerpos, causando fenómenos de resonancia en las vísceras. Se ha llegado a establecer que una presión sonora en frecuencias de 40 a 60 Hz a partir de 105 dB hace vibrar la pared torácica [Recuero M. 2004]. Los sujetos manifiestan como sus cuerpos entran en movimiento similar a la sensación de vibraciones, siendo esta idea desarrollada en los análisis cardiacos. Sobre este particular, se observa el valor de la presión sonora en el análisis de frecuencias de la figura 3.7., argumentando lo siguiente:

1. Las emisiones de ruido por naves militares han sido caracterizadas por Kuronen (2004), destacando que el ruido de bajas frecuencias por debajo de 500 Hz, es típico de los aviones militares, coincidiendo con los valores registrados en esta investigación. Este autor señala que, desde la perspectiva auditiva, estas frecuencias son las menos perjudiciales, y reconoce a su vez, la dificultad para su atenuación y absorción por parte de protectores auditivos [Kuronen P. 2004].

El mecanismo que subyace en la presente tesis difiere de este autor, en la perspectiva de que la elevada presión sonora en las bajas frecuencias actúa con un efecto mecánico que puede provocar roces en las membranas pericárdicas, además de las ideas que se exponen a continuación.

2. Adicionalmente, las operaciones con las aeronaves son en su mayoría en pista, con lo cual se tiene una propagación del sonido en campo próximo y sin obstáculos. En este sentido, se asume la propagación lineal, que significa que diferentes ondas pueden propagarse por el mismo espacio al mismo tiempo, sin afectarse mutuamente [Recuero, M. 2002], impactando perpendicularmente sobre el cuerpo humano.
3. El cuerpo humano en su conjunto actúa como una caja de resonancia, cuando la energía acústica impacta en diversos órganos y aparatos. En los tejidos de los órganos blandos, la energía acústica se propaga en forma de ondas transversales, de corte superficial y longitudinales. En referencia de los trabajos de Von Gierke (1997), señala que *la cantidad de energía propagada en forma de ondas longitudinales compresibles es considerable sólo para grandes intensidades sonoras, siendo la velocidad de propagación de 1.500 a 1.600 m/s. En los tejidos blandos, a diferencia de las ondas transversales cuya velocidad es de 10 m/s para 200 Hz.* El mismo autor menciona que la resonancia en los órganos es causada por sonidos de bajas frecuencias, los cuales tienen poco efecto desde el punto del diagnóstico auditivo.[von Gierke 1997] Tal es así, que la resonancia interna no depende de la percepción auditiva y una persona sorda es capaz de experimentar esta resonancia, Una presión sonora elevada en la frecuencia de 20 Hz, puede provocar vibración en el cuerpo [Levanthace G.2007]

En atención a estas referencias en la figura 3.7., se destacan los valores altamente tóxicos, superiores a 85 dB; sin embargo, son las bajas frecuencias las que registran los niveles de presión sonora más elevados comprendidas entre 140 y 110 dB, para las frecuencias entre 16 y 250 Hz, respectivamente.

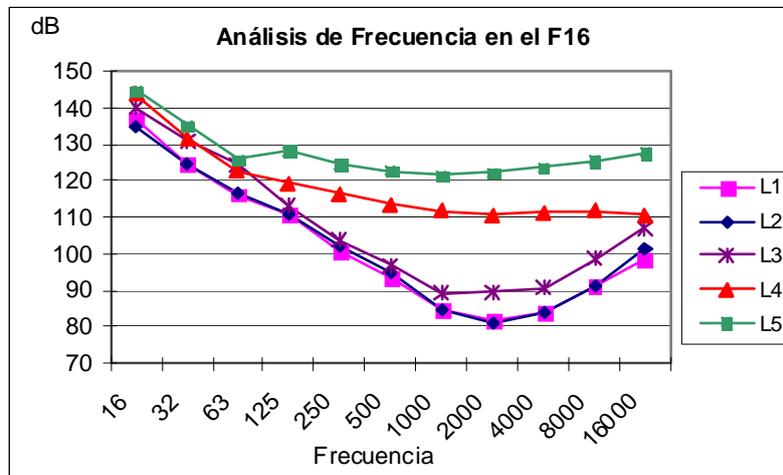


Figura. 3.7. Análisis de frecuencia durante las fases operativas del F-16: L1 Planta 60 A; L2 pre-vuelo (compresor); L3 calentamiento (del motor); L4 recorrido a pista; L5 cabecera de pista

3.1.2.3. Operaciones de despegue. Una comparativa entre naves militares

Como se ha mencionado, la operación de despegue implica la recarga de batería, el calentamiento de los motores, el chequeo completo de la aeronave y el traslado a la pista. El conjunto de la figura 3.8., permite observar los detalles del comportamiento sonoro de las naves estudiadas.

1. Para dos naves de tipo de turbina como el caza VF-5 y el F-16, se observó lo siguiente: a una velocidad militar de 300 nudos entre dos naves tipo caza. El nivel de presión sonora ponderado rápido tiene valores máximos mantenidos próximos a 110 dB, y un valor mínimo que oscila entre 103 y 105 dB.
2. El nivel de ruido continuo equivalente (L_{eq}) alcanza un valor de 105 dB, para el F16, sin que se observe disminución significativa en el VF5 y en registro lateral desde la posición del grupo de mantenimiento [FAA (a) 2005]. El valor pico se mantiene para ambas naves en 121 dB.
3. Durante la ejecución de tareas de prevuelo hasta la fase de autorización de despegue, las cabinas se mantienen abiertas en ambos aviones caza;

la exposición al ruido para el personal de mantenimiento, línea de vuelo y pilotos, es en este caso, igual para todos los sujetos.

4. Durante el despegue, el Leq para cada una de las naves estudiadas osciló en valores entre 103 y 108 dB, siendo registrado en el helicóptero Bell 206 este máximo valor.
5. El valor de pico fluctuó entre 120 y 123 dB. Se registró, igual al caso anterior, que el helicóptero Bell 206 emite el valor de pico más alto.
6. El registro del nivel de presión sonora emitido por el helicóptero Bell 206, alcanzó valores superiores a 115 dB, desde la posición del piloto, siendo la más elevada con respecto al resto de las aeronaves.

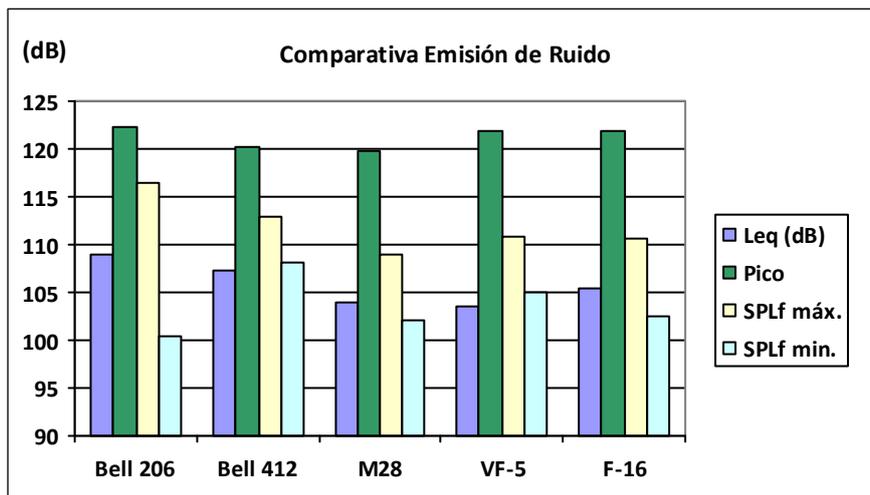


Figura 3.8. Comparativa de nivel de ruido equivalente, valores pico y nivel de presión sonora ponderado rápido, entre las naves militares estudiadas

3.1.2.4. Operaciones de despegue. Una comparativa entre torques para la nave M28

El Leq puede variar de acuerdo con la velocidad que se le imprima a la nave y, consecuentemente, la energía sonora puede duplicarse; sin embargo, durante las faenas cotidianas, el despegue se realiza en velocidad óptima para todas las

aeronaves, siendo para los helicópteros en máxima; para el turbo hélice M28 es en torque de 70 y para los aviones caza es a velocidad militar de 300 nudos.

Los pilotos y la tripulación del avión militar M28 se encuentran expuestos a niveles de ruido superiores al valor de 85 dB [ISO 1999], durante todas las operaciones aéreas que ejecutan indistintamente del torque, a pesar de que la información del manual de operaciones establece que el nivel de ruido de la nave debe ser de 78 +/- 0.3 dB [CORE 4 1999].

En la figura 3.9, el indicador Leq denota valores que oscilan entre 100 y 104 dB, indistintamente del torque del motor, que implica varios hechos significativos:

1. La duración de los vuelos es variable, desde 35 minutos hasta 2 horas de vuelo continuo. Además la cantidad de vuelos por día oscilan entre 1 y 3 vuelos. Significativamente, la cantidad de energía sonora durante un solo vuelo, es suficiente para estimar Leq promedio y en un periodo de 8 horas laborales, que tiene valores tóxicos para los sujetos.
2. Al efectuar el despegue a un torque de 40 se tiene un Leq de 102 dB, durante el despegue a torque de 90, se observa que la energía se duplica. Se justifica en que el aumento de velocidad incrementa el nivel de ruido [Corke & Nagib 1979].
3. Durante el vuelo, la velocidad se mantiene constante en torque de 70, a una altura de 7.000 pies, las oscilaciones en la emisión del ruido fueron siempre menores de 3 dB.
4. En las condiciones identificadas en la figura 3.9., entre los vuelos 1 y 2, no existen marcadas diferencias de valores entre el despegue y el aterrizaje cuando la nave realiza maniobras en tierra manteniendo el motor en marcha.
5. Durante el despegue en torque 90, se observan incrementos mayores a 3 dB aplicando el principio de la tasa de cambio de 3 dB, de NIOSH [Rosenstock L 1998]. Significa que los sujetos se exponen a una duplicación de energía en tiempos muy rápidos. La disminución durante

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

el aterrizaje N° 3, se debió a la disminución de la velocidad para detener la nave. Todas las situaciones de vuelo reportaron valores de nivel de ruido perjudiciales para el efecto no auditivo, tanto para los pilotos, como para el grupo comando que viaja en dicha nave.

6. Durante la ejecución de giros en ángulos de 30° de inclinación no hubo cambios significativos en el nivel Leq medido dentro de la cabina de la nave.

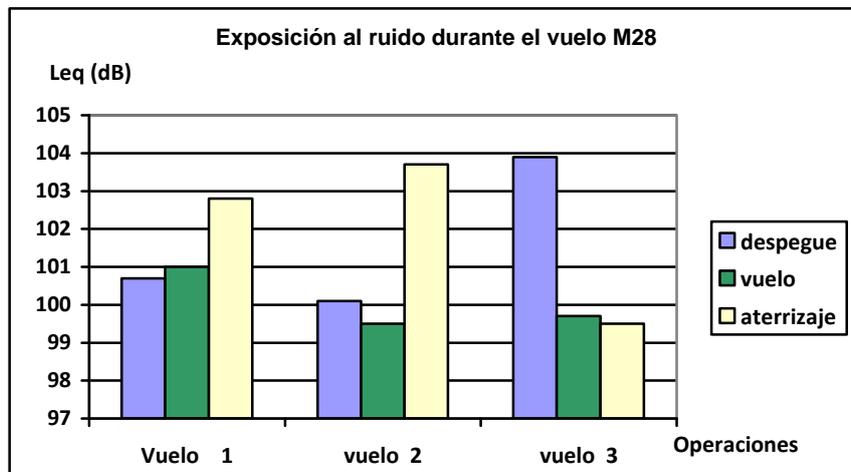


Figura 3.9. Comparación del nivel de ruido equivalente durante las operaciones aéreas del M28. Vuelo 1 despegue en torque 70. Vuelo 2 despegue en torque 40. Vuelo 3 despegue en torque 90

3.1.2.5. Análisis estadístico en operaciones de despegue y aterrizaje. Una comparativa entre naves de turbina y turbo hélice

El comportamiento de las aeronaves estudiadas durante el periodo de tiempo medido es diferente en cada una de las operaciones de despegue y aterrizaje. En este sentido, se evidencian los siguientes hechos en la representación de las figuras 3.10. y 3.11.:

Despegue

1. El nivel estadístico L_{10} , indicó que durante el 10% del tiempo de medida para ambas naves fue superior a 106 dB y comparativamente entre las naves, para el turbo hélice M28 alcanzó valores de 110 dB.
2. El nivel estadístico L_{50} como nivel medio, indicó que durante el 50% del tiempo de medida, los valores reportados para las dos aeronaves fueron muy similares, registrando 105.5 dB para el F-16 y 106 dB para el M28.
3. El nivel estadístico L_{90} como ruido ambiental, registró durante el 90% del tiempo de medida, los valores de 104.5 dB, para el avión F-16 y 102.5 dB para el avión M28. No existiendo diferencia significativa entre ambas.
4. El nivel estadístico L_{95} como ruido de fuente lejana, igual que el percentil anterior, registró valores de: 103.5 dB para el F-16 y 101.5 dB para el M28.
5. La diferencia entre el percentil L_{10} y L_{90} , ha sido útil para la evaluación del ruido ambiental para tráfico rodado relacionada a la percepción subjetiva de los sujetos [Puente, de la. & Rodriguez 2003]. En este sentido, el grupo de mantenimiento expresó que en tiempos similares de despegue, el ruido del M28 es más molesto. Al respecto, los estudios científicos de Oster (1973), señalaron que las ondas acústicas, al ser percibidas como señal cerebral, éste la transforma en señal eléctrica, siendo el ruido fluctuante el generador de más molestias [Oster 1973].

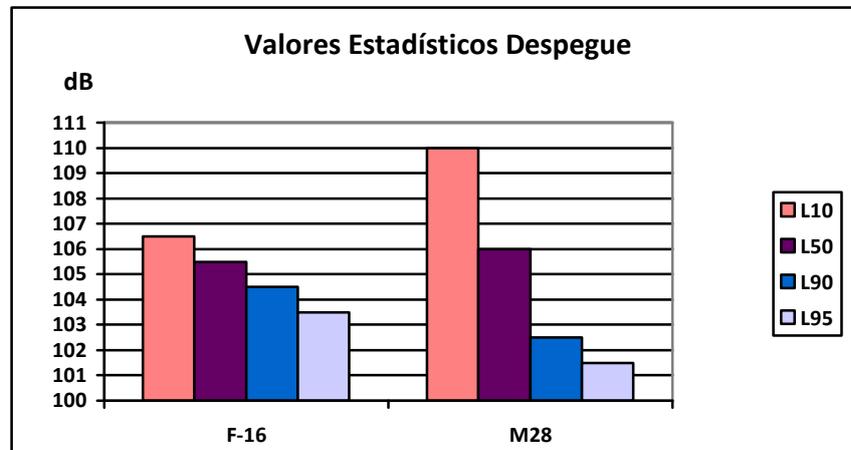


Figura. 3.10. Comparativa de valores estadísticos en operación de despegue

Aterrizaje

Es importante señalar que las naves cumplen funciones diferentes; por lo tanto, una vez culminada la misión en el F-16, si cumple con los requisitos de mantenimiento al aplicar el chequeo post-aterrizaje, éste se apaga. En relación al avión M28, éste puede hacer una parada en pista, pero si se requiere que vuelva a despegar, se mantiene con el motor en torque de 10; esta situación caracterizó la toma de datos.

1. El nivel estadístico L_{10} como nivel pico, indica que el 10% del tiempo de medida, los valores registrados son muy similares para ambas naves, siendo estos de: 112.5 dB para el F-16 y 110 dB para el M28. En esta operación la percepción más molesta corresponde al F.16, equiparada a la diferencia $L_{10}-L_{90}$.
2. El nivel estadístico L_{50} indicó que durante el 50% del tiempo de medida como nivel medio, se registraron valores para el F-16 de 110,5 dB y para el M28, de 106 dB, observándose una clara diferenciación.
3. El nivel estadístico L_{90} significó que para el 90% del tiempo de medida como ruido ambiental, el F-16 registró un valor de 89.5 dB, mientras que, mantener la nave encendida reporta para el avión M28 una medida de 102.5 dB.

4. El nivel estadístico L_{95} indicó que durante el 95% del tiempo medido, como fuente lejana para el avión F-16, se registró un valor de 75.5 dB, en contra posición del caso del avión M28, el cual mantiene valores altos de 101.5 dB.

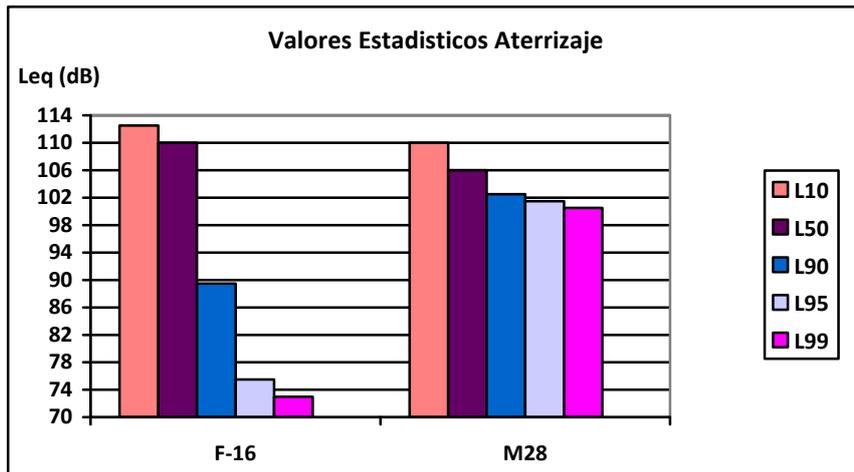


Figura 3.11. Comparativa de valores estadísticos en operación de aterrizaje

3.1.3. ANÁLISIS DE RUIDO CON DOSÍMETRO

El ambiente de trabajo de cada grupo de sujetos es independiente uno de otro y el tiempo de exposición a ruidos generados por aviones y/o equipos de mantenimiento es muy diverso. De manera que un análisis con dosímetro reporta una representatividad de la cantidad de energía sonora que realmente reciben los sujetos en una jornada propia de trabajo. Los análisis se realizaron atendiendo a la similitud de los trabajos entre los grupos de sujetos y entre los sujetos de un mismo grupo. En la figura 3.12. se observa un esquema de la combinación entre la colocación de los sonómetros y los espacios que recorren los sujetos en una misión de vuelo.

Los resultados del estudio producto de la utilización del dosímetro, se exponen a continuación en las figuras 3.13. a la 3.17.

- Los sujetos en posición de línea de vuelo, en funciones de dirigir la salida de la nave y todas las actividades previas al despegue, se ubican

en pista en radios de trabajo comprendidos entre 0.5 a 6 m, y en ángulos que oscilan entre 0° y 90°, con respecto a la nave que operan.

- Un segundo grupo lo conformó los pilotos de cada aeronave, en condiciones de realizar todas las operaciones necesarias para el vuelo.
- El tercer grupo, identificados como *Otros*, hace referencia a copiloto en VF-5 y M 28. En el caso del vuelo en un F16, este sujeto se corresponde a un piloto sin cumplir la fase de vuelo, sólo en fase del calentamiento de avión y luego pasa a resguardo dentro de áreas administrativas del grupo caza 12.

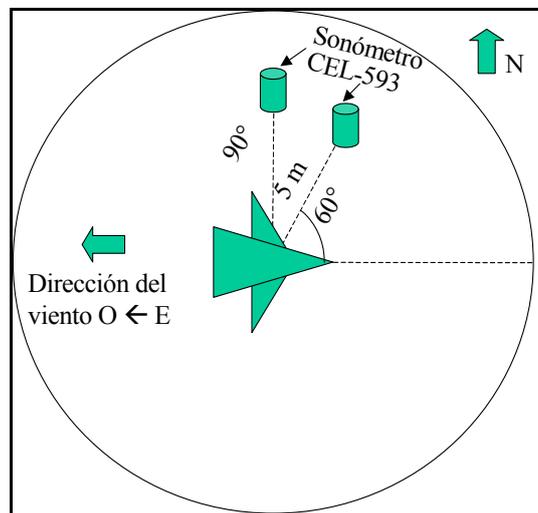


Figura 3.12. Posición de los sujetos línea de vuelo a 0°- 60° y 90° con respecto a las naves en operaciones para vuelo

3.1.3.1. Nivel de ruido continuo equivalente

La determinación del nivel Leq durante la tarea particular de un vuelo en cada una de las naves estudiadas, permite establecer las siguientes consideraciones:

1. Entre los sujetos de línea de vuelo, los que se exponen ante el ruido del avión F-16, reciben una presión sonora en el orden de 104.4 dB. En cambio ante las naves del VF-5 y el M28, se exponen a valores que se

registraron entre 99.2 y 94.1 dB respectivamente. Por lo que, estos sujetos se exponen a altos niveles de ruido en actividades fuera de cabina. Esa magnitud de presión supone un riesgo a distancias de 100 m. del punto de generación del ruido [Certanec & Rojas 2000].

2. La exposición que recibe el piloto del avión F-16 se registró en 100.5 dB, y para el resto de pilotos los valores son muy próximos entre sí, siendo éstos de 97.6 y 96.7 dB.
3. Indistintamente de la culminación o no de la fase de vuelo, para el grupo de otros sujetos, su exposición a niveles de ruido continuo se registraron entre 95.2 y 93.2 dB. La visualización de estos registros se observan en la figura 3.13.

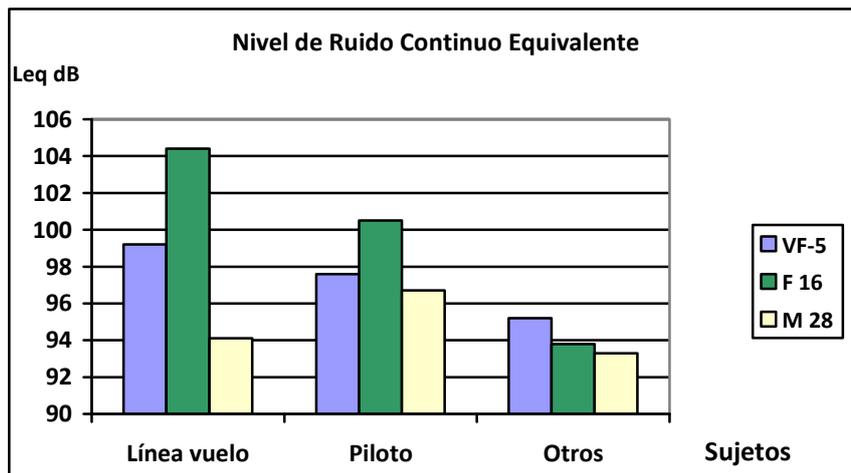


Figura 3.13. Nivel de ruido continuo equivalente en los sujetos expuestos a ruidos de aviones

3.1.3.2. Nivel pico

1. Entre los sujetos que les corresponde actuar en línea de vuelo, el valor registrado para el índice del nivel pico no representó diferencia significativa, siendo éste de 135.5 dB como máximo y de 134.7 dB como mínimo.

2. Para los pilotos no se observó una diferencia muy significativa. Los pilotos de VF-5 y M28 se exponen a valores de 135 dB, pero los pilotos del avión F-16, el valor se registró en 135.2 dB. Sin embargo, el tiempo de permanencia en vuelo es mayor para los pilotos del M28.
3. Para el grupo identificado como otros, los datos registrados señalan valores próximos a 135 dB. Las tres mediciones reportan valores elevados aun para el tiempo de exposición real, ya sea de dos horas y media o de seis horas.

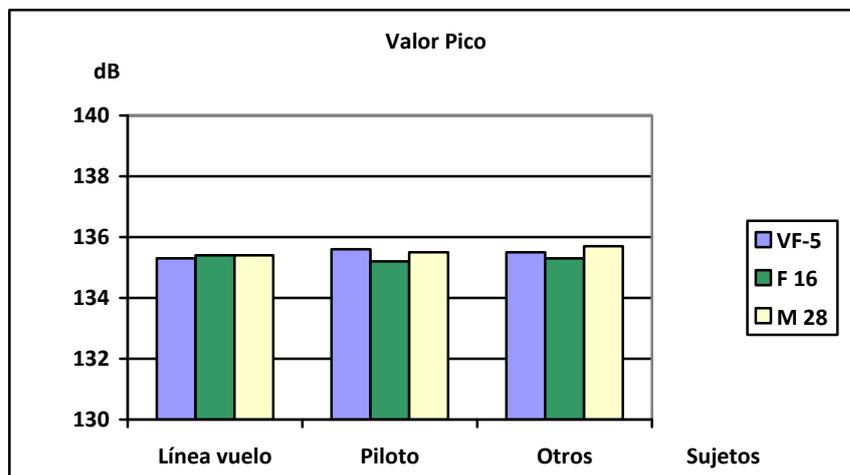


Figura 3.14. Valor pico registrado en los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares

3.1.3.3. Nivel máximo

1. El nivel máximo (L_{max}) registrado fue muy similar entre los sujetos que actúan como línea de vuelo, siendo éste de 129.8 dB en aviones VF-5; de 130.9 dB en aviones F-16 y de 125.2 dB en aviones M28.
2. Entre los pilotos, se observó una variación en el valor L_{max} , al registrar 120 dB para el VF-5, valores de 116.7 y 114.5 dB para los pilotos del avión F-16 y M28, respectivamente.

3. Para los sujetos identificados como otros, los valores oscilan entre 111 y 118.9 dB, destacando en este grupo que aun cuando el sujeto no culmine la acción de vuelo, el tiempo que permanece en preparación del avión en fases anteriores al despegue, es lo suficientemente tóxico al recibir 118 dB, como es el caso del piloto del F-16.

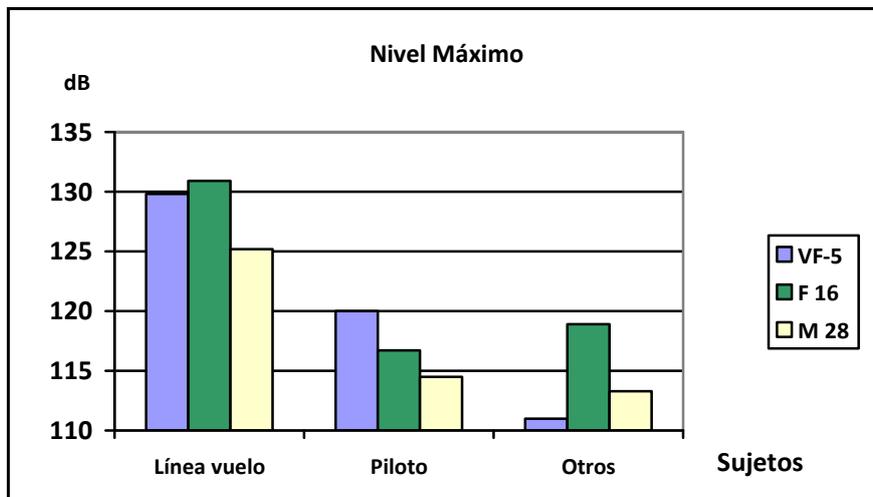


Figura 3.15. Nivel máximo registrado en los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares

3.1.3.4. Dosis

1. La dosis registrada presentó una gran variabilidad de datos, tanto entre los sujetos de una misma actividad, como los del mismo grupo. El porcentaje de energía que se representa con respecto a la máxima dosis de exposición permitida, colocó a los sujetos de línea de vuelo con la más alta, y entre éstos el trabajador del avión M28, con 271% de dosis, le sigue el sujeto del avión F-16 con 172.5% y para el del VF-5 una de 87.9%.

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

2. Caso contrario se observó para los pilotos, donde el valor mayor se registró para el del F-16 con 198.9% para el del VF-5 se registró un valor de 100.6% y para el del M28, el valor fue de 63.4%.
3. En los casos de los otros sujetos, los valores medidos son inferiores a los señalados anteriormente, oscilando entre 73%, 44.2% y 29% para el VF-5, F-16 y M28, respectivamente. Sin embargo, la referencia normada internacionalmente establece 85 dB(A) para 8 horas de exposición. La evaluación en porcentaje con respecto a la dosis máxima permitida es del 100 % [ISO 1999] [Rosenstock, L. 1998]. No obstante, la referencia auditiva implica que los sujetos de línea de vuelo y pilotos están expuestos a dosis realmente elevadas, por lo que se supone que pueden ser afectados como energía que impacta en el cuerpo y provoque cambios en las condiciones cardiacas. El porcentaje de energía puede verse en la figura 3.16.

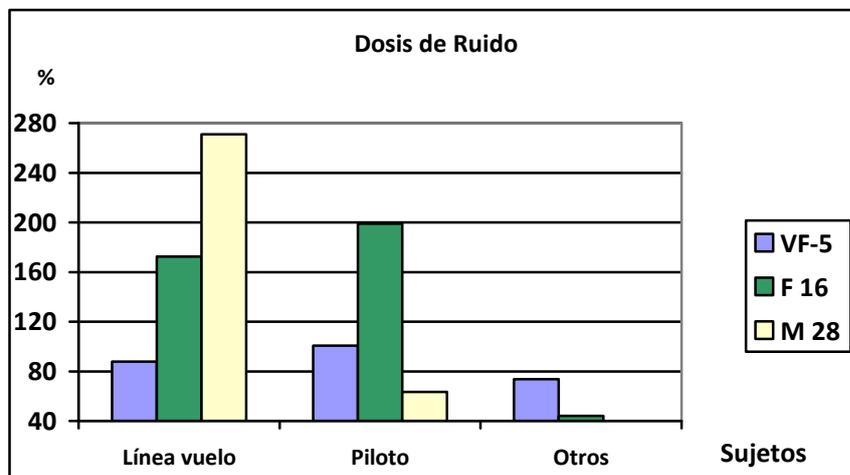


Figura 3.16. Dosis recibida por los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares

3.1.3.5. Proyección de dosis

1. La proyección de dosis normalizada, permite expresar que el valor medido durante toda la jornada se excede del 100% permisible. Se destaca que el piloto del M28 presentó la proyección de energía más elevada. En relación a esta situación se plantea lo siguiente: si las horas de vuelo fueron lo más homogéneas para todos los pilotos (dos horas promedio), se infiere que la cabina presurizada de los aviones caza actúa como un recinto protector, aunque los valores igualmente sobrepasan el 100% del referente permisible, en contraste con los valores para los sujetos del M28, cuya proyección alcanzó 450%. Sólo el sujeto que no realiza las operaciones de vuelo registró un valor de 72.8% al pasar dentro de comando donde existe resguardo ante el ruido.

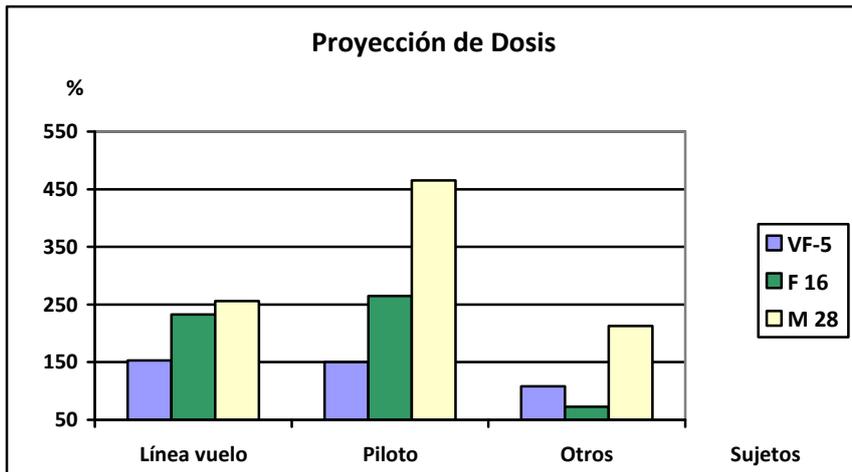


Figura 3.17. Proyección normalizada a un día de trabajo para los sujetos expuestos a ruidos de aviones militares

3.1.4. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN LA ZONA DE ESTUDIO

El ruido generado en zonas de aviación militar caracteriza un espacio sonoro en el que confluyen una diversidad de naves y equipos, donde la organización militar establece la asignación de espacios particulares y de sujetos que se responsabilizan sobre cada nave. El cálculo de la incertidumbre para

determinar la validez de cada medida, se estimó a partir de los datos obtenidos con dosímetros, monitorizado por tres individuos adscritos a cada uno de los grupos sobre cada fuente en particular.

Durante el trabajo, la contribución de ruido fue relevante garantizando que los datos medidos son representativos y los rangos entre los cuales se distribuye la misma, análogamente en una gráfica gaussiana se corresponderían a una desviación típica con una probabilidad p del 95 %, para un factor de cobertura $K = 1,65$ y un nivel de confianza ∞ de 0,05 [JCGH 101:2008]. La aplicación matemática correspondió a la establecida en la norma ISO 9612.

Los datos de la tabla 3.1., reflejan los resultados de las mediciones experimentales y los cálculos de incertidumbre. Al respecto se establece que: a) los resultados no pueden generalizarse para un mismo tipo de nave; b) existe variación entre las operaciones en tierra y durante el vuelo.

Los resultados de la incertidumbre del promedio del nivel de energía medido se representan en los valores (u_1).

Las contribuciones (c_1u_1), describen el grado de estimación de la medida de salida y se ve afectada por las variaciones en las medidas de entrada.

La incertidumbre asociada (u), es la incertidumbre típica de medida o el resultado de la medición.

El valor de la incertidumbre expandida (δ), permitió obtener el rango de valores (+/-) en valores límites, donde la distribución de los datos, en una representación gaussiana garantizando que los valores medidos están dentro de los límites establecidos en la curva [JCGH 100:2008].

La evaluación de la incertidumbre es de tipo A. Las medidas que caracterizan cada nave permitieron estimar estadísticamente la dispersión de los datos a partir de un número limitado de mediciones, por lo que la desviación típica (δ), es más representativa del valor de dispersión de los datos [JCGH 100:2008].

1. Para el trabajo que ejecutan los pilotos y personal de mantenimiento del grupo Caza 12, cuya nave operativa es un avión VF-5, durante la denominación de misión de vuelo, el nivel promedio de ruido

equivalente en el tiempo alcanzó valores de 97.5 dB, y un valor de presión sonora normalizado a 8 horas de trabajo en 95.7 dB. Esta diferencia estriba en que las misiones de vuelo se llevan a cabo en un promedio de tiempo de 6 horas en su conjunto total. La estimación de la incertidumbre de medida es de 1.64 dB y una contribución al valor de 1 dB. La incertidumbre estándar por efectos del equipo utilizado se estimó en 2,12 dB y la incertidumbre expandida para el establecimiento del rango de valor se estimó en +/- 3.5 dB. Por realizar un mínimo de mediciones (3), el cálculo de la desviación típica permitió obtener un valor más acertado de la dispersión de la medida, siendo en este caso de 3.7 dB.

2. Para el caso del grupo Caza 16, los responsables de las operaciones y vuelo del avión F16, están sometidos a un nivel promedio de ruido equivalente en el tiempo t , de 116.4 dB y el valor estimado del nivel de presión sonora normalizado a 8 horas, se calculó en 115.2 dB. Al igual que el grupo anterior, el tiempo de vuelo promedio en tiempo real es de 6 horas. Los valores calculados para las respectivas incertidumbres arrojaron los mismos valores que para el grupo Caza 12.
3. En la consideración de establecer diferenciación de acuerdo al análisis del trabajo, en el grupo Core 4, se hacen dos cálculos, uno para las operaciones exclusivas con el avión M28, y otro para las labores conjuntas en tierra en tareas con los helicópteros Bell 206 y 412.
4. En esta circunstancia, el cálculo para la misión de vuelo del M28 aportó las siguientes estimaciones: un nivel promedio de ruido equivalente de 95 dB y un nivel de presión sonora normalizado a 8 horas de 92.1 dB, contando como tiempo máximo de 2 horas reales en vuelo. La incertidumbre de las medidas de los niveles equivalentes se calculó en 2.94 dB, y una contribución a las medidas de 1.5 dB. La incertidumbre típica es de 2.2 dB y un rango de valor en la incertidumbre expandida de +/- 3.7 dB. De forma análoga se calculó la desviación para estimar la dispersión, siendo esta de 3.9 dB.
5. Para el segundo caso, cuando las operaciones del grupo Core 4 incluyen un trabajo combinado entre los helicópteros en tierras y las operaciones en el hangar, el nivel promedio calculado para el ruido equivalente es de 90.4 dB y el nivel de presión sonora normalizado a 8 horas de

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

trabajo es de 89.8 dB, con la incertidumbre calculada para los niveles equivalentes medidos en 4.12 dB. La contribución de los valores medidos fue de 2 dB. El cálculo de la incertidumbre típica es de 2.3 dB, la incertidumbre expandida de +/- 3.9 dB, y el cálculo de la desviación reportó 4.1 dB.

El método de medida se validó ya que en experiencias de vuelo Thoman, G. (2007), reportó valores de incertidumbre de hasta 5 dB si las frecuencias de operaciones de las naves era reducida.

Tabla 3.1. Determinación de la incertidumbre de medidas con dosímetros

Grupo	\bar{L}_{pAeqTc} (dB)	$\bar{L}_{ex(8h)}$ (dB)	u_1	C_1u_1	u	U	δ
Caza 12	97.5	95.7	1.64	1	2.12	3.5	3.7
Core 4 vuelo	95	92.1	2.96	1.5	2.2	3.7	3.9
Core 4 tierra	90.4	89.8	4.12	2	2.3	3.9	4.1
Caza 16	116.4	115.2	1.64	1	2.12	3.5	3.7

3.2 VALORACIÓN CARDIOLÓGICA

Paralelamente a las mediciones experimentales de ruido, se llevó a cabo un registro del historial médico de cada uno de los sujetos, resaltando tres hechos: a) los sujetos no tienen historia de eventos cardiacos sufridos; b) se consideraron los antecedentes familiares a fin de descartar una influencia hereditaria directa; y c) los exámenes de medicina aeronáutica se realizan anualmente siendo de carácter obligatorio. Los resultados de los mismos demostraban la aptitud de los sujetos de estudio para las actividades que realizan.

3.2.1. ANÁLISIS ELECTROCARDIOGRÁFICO

Los resultados experimentales de los aspectos cardiacos analizados se organizan por grupos de sujetos, en el anexo E. El análisis se plantea sobre los

mismos índices de manera comparada entre los tres grupos de sujetos de estudio.

1. El 100% de los sujetos en los tres grupos de estudio presentan un ritmo sinusal. Esto indicó que el origen de la señal eléctrica ocurre en el nodo sinoauricular, lugar inicial del impulso natural que no refleja desviación desde el punto fisiológico del mismo.
2. La frecuencia cardiaca (FC) presentó una variabilidad intergrupo. Los sujetos del Caza 16 se encuentran dentro de los rangos de normalidad, superior a 60 lpm, y por debajo de 76 lpm.

Los sujetos del grupo Caza 12, tienden a la bradicardia (ritmo lento del corazón). En sujetos con una actividad física dirigida por el entrenamiento, como los atletas, esta condición se asume como normal. En relación a esta premisa, se pueden inferir dos opciones: la primera que puede ser un efecto de los ejercicios de actividad física, los cuales se cumplen en régimen de dos veces por semana en tiempo de dos horas cada una. La segunda opción se relaciona a efectos externos que pueden interferir en la frecuencia cardiaca como el ruido.

Los sujetos del grupo Core 4 registraron la mayor variabilidad de valores extremos entre 48 y 100 lpm, catalogados de arritmias. El 22% de los sujetos presentaron bradicardia [Tomei et al 1996]. Si para los sujetos el inicio de la actividad eléctrica es normal y se observó en conjunto un distanciamiento del segmento PR [Díaz et al 2004], y la prolongación del segmento QT, similar al efecto inducido por drogas [Shah & Hondeghen 2005], considerando que los sujetos no están medicados y no se corresponde al corazón de un anciano, se crea la interrogante si esta variabilidad es causada por el impacto sonoro.

Para el caso de las frecuencias cardiacas en 100 lpm, se hace referencia en límites de condición normal, cuando los sujetos están ejecutando actividades físicas, no así, en sujetos que estando en descanso es significativo de taquicardia. Estos resultados permiten inferir que pueden existir alteraciones graves en la frecuencia cardiaca de los sujetos del grupo Core 4.

3. El valor del segmento PR se observa igualmente con una variabilidad intergrupo. Para los del grupo Caza 16 y Caza 12, el registro se mantiene dentro del rango de normalidad con tendencia al límite inferior. Para el grupo Core 4, se observa una desviación del valor de rango normal, con tendencia a la prolongación, lo cual significa que el impulso se retarda mientras pasa por el nodo auriculoventricular [Aron y Hertzzeanu 1988]. Para estos mismos sujetos se agrega un comentario del valor bajo en la fracción de eyección.
4. El complejo QRS representa el impulso eléctrico que se aleja del nodo AV y pasa a las fibras de Purkinje y a las células del miocardio, representando la actividad eléctrica de la estimulación ventricular. En el estudio se observó para el 100 % de sujetos, valores en el rango de normalidad, lo que hace suponer que luego de ocho horas de descanso, no existen datos clínicos para inferir la presencia de obstrucción en la transmisión eléctrica hacia los ventrículos [Coleman ME 2006].
5. Con respecto a los valores del vector eje de la posición del corazón, se registró dentro del cuadrante de normalidad con tendencia a mantenerse entre 30° y 60°, para todos los sujetos de los grupos Caza 12 y 16. La consideración clínica óptima está referida entre 40° y 45°. Pero atendiendo a las particularidades personales de cada uno de los sujetos, se señala la estimación de que poseen un corazón con la posición correcta. Este reporte informa además la ausencia de infarto y de hipertrofia en el corazón de los sujetos objeto de estudio.

Los valores graficados de los sujetos del grupo Core 4, presentaron la mayor variabilidad intragrupo en cuanto a la direccionalidad del eje. Los valores se discriminan de la siguiente manera: a) para el 50% de sujetos se registró en el percentil 25, que se corresponde a valores por debajo de 30°; b) para un 23% de sujetos, los valores están en el percentil 50, considerados valores óptimos entre 40° y 45 ° y c) para el 27% de sujetos los valores se ubican en el percentil 75, es decir por encima de 60°.

Estas mediciones reportan además sujetos con condiciones particulares como 5% con tendencia a la verticalización del eje, con valores de 90°, otro 5% con proyección a la desviación izquierda u horizontalidad

(+10°), y un 12% con desviación derecha del eje (+100°). Ninguno presentó un eje QRS indeterminado para la cardiomiopatía hipertrófica [Kilicaslan et al 2007]. A pesar de la variabilidad en todos los sujetos, se observó el vector eje en el sentido horario.

6. El intervalo QT representa el sístole eléctrico ventricular; es decir, la suma de la despolarización y repolarización de los ventrículos [Rautaharju et al 2009] se ajusta a la frecuencia. La prolongación del intervalo se puede deber a causas genéticas, cardiomiopatías hipertróficas, bloqueo cardíaco y arritmias; su valor se correlaciona con la frecuencia cardíaca.

Para el 100% de los sujetos del grupo Caza 16, se observó desviación de los valores correspondientes al intervalo QT, con tendencia a un valor por debajo de 38 ms. Para el 36% de los sujetos del grupo Core 4 igualmente se registraron valores inferiores a 39 ms, coincidiendo con los casos de bradicardia, tal como se detectó en 4% de sujeto con la frecuencia más baja. Para el grupo de sujetos del grupo Caza 12, el intervalo QT se observó dentro del rango de normalidad.

Sin establecer un carácter diagnóstico, la condición eléctrica de los sujetos en cuanto al origen de la señal en el nodo auricular es normal, por lo que se infiere que el ruido no afecta a éste. A partir de este punto, para cada uno de los grupos las observaciones son diferentes; sin embargo, en los índices del recorrido eléctrico se observó la mayor variabilidad con datos fuera del rango de normalidad, lo que indica alteraciones que pueden ser catalogadas desde leves hasta graves.

Para los sujetos del grupo Caza 12, la tendencia es un 70% de sujetos con valores en términos de bradicardia. Los del grupo Caza 16 presentaron los valores más homogéneos dentro de los rangos de normalidad.

Para el grupo Core 4 se sospecha de posibles efectos generados por el ruido, al detectarse una tendencia a la arritmia más que a la bradicardia, esto con posible riesgo de inducir cardiopatías. Además se encontraron sujetos con prolongación del segmento PR, conveniente de continuar en estudio si se refleja posible bloqueo cardíaco. También se observó variabilidad en el valor

del vector eje del corazón, indicando el seguimiento en estudio de posible verticalización, para descartar otra alteración. De igual manera es significativo para este grupo, la variabilidad detectada en los valores del intervalo QT referido a la sístole ventricular. No existe sintomatología clínica por parte de los sujetos, salvo la arritmia.

3.2.2. ANÁLISIS ECOCARDIOGRAFICO

A través del análisis ecocardiográfico en sus tres modalidades se reporta, en primer lugar, las variables geométricas del corazón, para luego hacer las inferencias con respecto a variables hemodinámicas. En consecuencia se desprenden los siguientes hechos:

3.2.2.1. Dimensiones cardiacas

Las variables que definen la geometría cardiovascular se corresponden con: el diámetro diastólico y sistólico del ventrículo izquierdo, la pared posterior, el septum, la aurícula izquierda, la aorta, el ventrículo derecho y el grosor de las membranas pericárdicas.

Los valores registrados evidencian dos situaciones: una con gran variabilidad de datos entre los grupos de sujetos, con respecto a los valores dentro de los rangos de normalidad y otra con la tendencia al límite en rangos superiores de normalidad.

1. En cuanto al diámetro tanto diastólico como sistólico del ventrículo izquierdo (DD y DS) en los grupos del Caza 16 y Core 4, se encontraron dentro de los rangos de normalidad. Para el grupo Caza 12, la tendencia es al límite superior, sobrepasando éste con una desviación de 3.5 y 5.0 para el diámetro diastólico y sistólico respectivamente. Caso contrario se observó en relación a los valores de la aurícula izquierda (AI), cuya tendencia en los tres grupos es a valores por debajo del límite inferior. Esta observación puede ser catalogada como pérdida de fibra, situándose como leve. El valor porcentual de sujetos en esta

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

condición se corresponde con 12% de sujetos del grupo Caza 16; un 20% del grupo Caza 12 y un 35% del grupo Core 4.

2. Las medidas de la pared posterior y el septum, para los sujetos de estudio registraron valores dentro de los rangos de normalidad, sólo una excepción del grupo Core 4 con un leve engrosamiento en el septum de 13 mm. Los datos se distribuyen dentro de los rangos como se observa en la figura 3.18.
3. La ventana de observación se enfocó en el pericardio esternal. Se acota esta observación en relación al efecto mecánico que puede atribuirse a los niveles elevados de presión sonora medidos y que pueden impactar en el corazón. Como se mencionó en el párrafo alusivo al análisis de las frecuencias de ruido, es imprescindible ir más allá de la simple visualización de los hechos encontrados, para relacionar las variables cardiacas. Aun cuando en estudios científicos se ha determinado que la resonancia del corazón se ubica entre 4 y 5 Hz, la manifestación de los sujetos es que el ruido de su área laboral lo perciben como una vibración en el cuerpo, lo que hace suponer que sea la presión sonora en las bajas frecuencias de 16 a 500 Hz la que induce esta vibración.

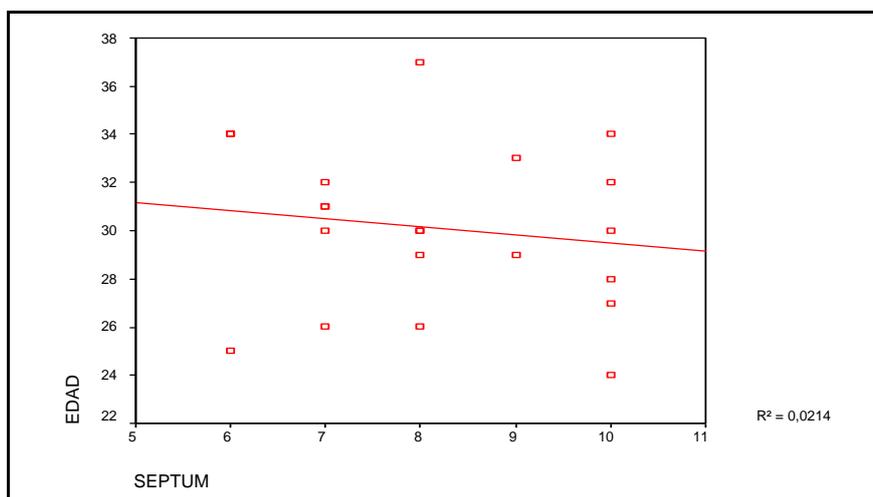


Figura. 3.18. Medidas en la pared del septum en relación a la edad en sujetos del grupo VF-5

El estudio de la dimensión de las membranas pericárdicas revela datos significativos, en cuanto a su grosor y el valor estimado en rango de normalidad entre 2.5 y 3 mm. Cotejar estos valores con los obtenidos de la muestra de sujetos, denotó varias circunstancias que llaman poderosamente la atención en los siguientes aspectos:

Entre los tres grupos de estudio, la mayor variabilidad se observó en los sujetos de mantenimiento. Los valores entre membranas van desde un mínimo de 2 mm, hasta máximo de 4.4 mm, para el grupo Core 4; desde 2.8 hasta 5 mm en los sujetos del grupo Caza 12, y desde 1.8 hasta 4.5 mm para los sujetos del grupo Caza 16.

Indistintamente de las aeronaves, las membranas pericárdicas de los pilotos presentan un grosor que oscila entre 4 y 4.3 mm, en términos porcentuales estos representan un 25% dentro el grupo Core 4; un 28 % para los del grupo Caza 12, y un 19 % del grupo Caza F16. La distribución de cada uno de los grupos estudiados puede verse en las figuras 3.19.; 3.20.; 3.21.

Se observó en la imagen eco un brillo a nivel pericárdico, que no es el observado en otros sujetos en similares estudios. La proporción de sujetos con esta característica es del 66% del grupo Caza 12, 36% del grupo Caza 16 y 3.5 % del grupo Core 4. Además, se detectó derrame, que no alcanzaban valores alarmantes, catalogado en clínica entre leve y moderado (desde 100 y 150 ml), y que en condiciones naturales el organismo debería reabsorber. Los sujetos con derrame representaron un 19% del grupo Caza 12, un 19% del grupo Caza 16, y un 3.5 % en los del grupo Core 4.

La experiencia médica ha observado brillo en imágenes ecocardiográficas, en casos que fueron relacionados con fenómenos de cavitación, como son los casos iniciales de implantación de marcapasos y prótesis en válvulas. La cavitación también ha sido instrumentada en la cirugía cardiovascular por laser y ultrasonidos [Brujan A. 2009]. La formación de burbujas inducidas ha presentado tres efectos colaterales importantes: 1) la erosión de las paredes en

el lugar de acción de la cavitación, dando origen a imágenes eco con brillante intensidad, debido a la acción de señales móviles [Levy D. et al 1999], [Girod G. et al 2002]; 2) las micro embolias y el aumento de la función ventricular [Milo S. et al 2003] y 3) la liberación del contenido celular en la sangre por ruptura de monocitos y plaquetas. Posiblemente los glóbulos rojos actúan como núcleos de cavitación [Johansen P. 2004].

Este marco de referencias clínicas nos colocan ante varias interrogantes tales como:

1. *¿Las bajas frecuencias del espectro audible emitidas por aeronaves militares, pueden actuar como un efecto mecánico, similares a golpes que impactan en la membrana pericárdica?*
2. *¿La respuesta de las membranas pericárdicas ante el impacto del ruido de bajas frecuencias, puede ser un incremento de roce induciendo a su vez secreción de líquido e inflamación de las mismas?*
3. *¿La energía a la que se exponen los sujetos puede producir fenómenos de cavitación para que aparezca la imagen de brillo observado?*

Las dos primeras interrogantes pueden correlacionarse con los datos analizados en este trabajo, pero la tercera interrogante coloca el fenómeno de cavitación como una nueva hipótesis de trabajo, que no es abordada en esta investigación.

En relación a los datos estudiados, se plantea además si entre las moléculas que conforman el líquido pericárdico actúen como núcleos de cavitación. Se puede intuir que la exposición a ruidos de presión sonora superior a 100 dB en las frecuencias comprendidas entre 16 y 250 Hz, pueda provocar una acción para que ocurra algún fenómeno de cavitación que explicaría el brillo y el derrame observado. No obstante, como se mencionó es una nueva hipótesis de trabajo.

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

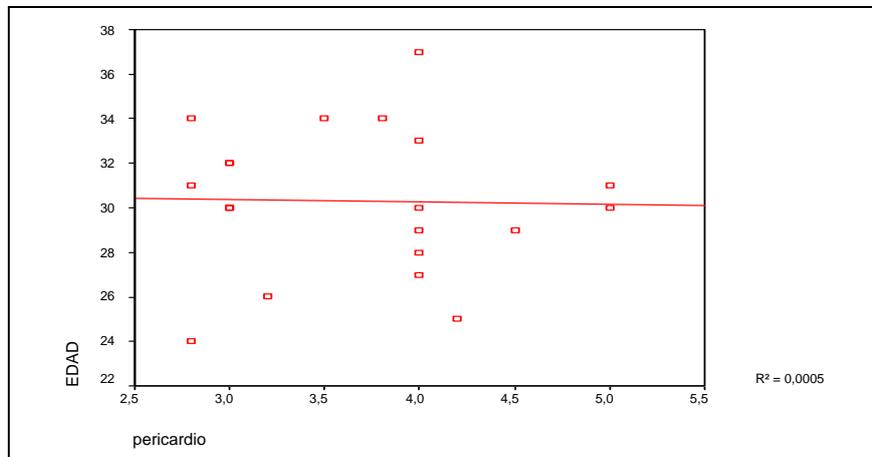


Figura. 3.19. Distribución del grosor del pericardio en los sujetos del grupo Caza 12

Tanto para el septum como para el pericardio, el valor de regresión tan alejado del esperado, indica realmente la baja relación con la edad si se estima que para la misma debería observarse estas variables dentro del rango de la normalidad. Cabe inferir que el ruido puede estar jugando un papel de inductor de roce entre membranas con respuesta de secreción o aumento de líquido pericárdico, a semejanza de una leve pericarditis constrictiva. En estudios de ruido y membrana pericárdica se encontró una matriz celular en valores de anormalidad [Alves, M. et al 2007].

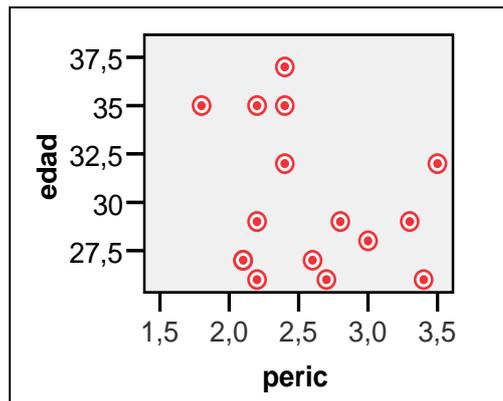


Figura 3. 20. Dispersión valor de grosor del pericardio con respecto a la edad en sujetos del grupo Caza16

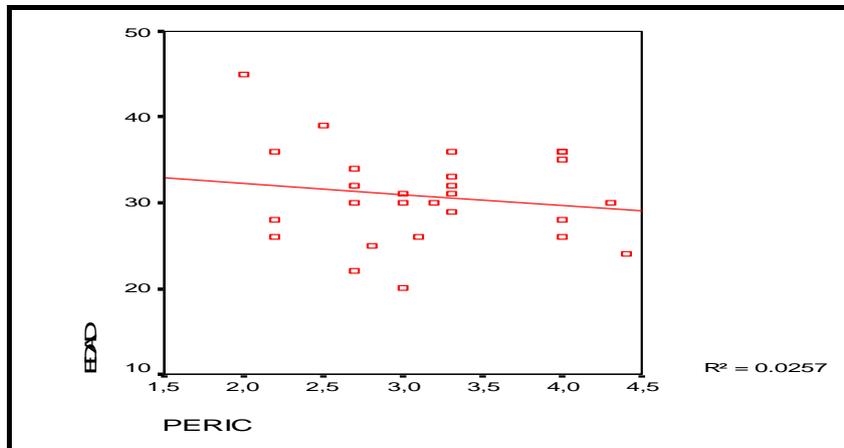


Figura 3.21. Dispersión de valor de grosor del pericardio con respecto a la edad en sujetos del grupo Core 4

3.2.2.2. Valoración hemodinámica

La función global del corazón ha sido tradicionalmente valorada desde el funcionamiento del ventrículo izquierdo. El estudio por ecocardiografía permite la obtención de datos que actúan como indicadores del complejo funcionamiento cardiaco y sus interacciones. Para la función sistólica se consideró la fracción de eyección y la fracción de acortamiento en relación a las dimensiones del ventrículo izquierdo y la velocidad en la arteria aorta. La valoración de la función diastólica se estudió a través del espectro doppler de flujo transmitral en tiempo de aceleración y desaceleración en onda E, tiempo en onda A, relación del cociente E/A, la velocidad en la arteria pulmonar y tiempo pico en alcanzar la velocidad pico en arteria pulmonar. Estos índices permiten relacionar la circulación pulmonar y el patrón de llenado en el ventrículo izquierdo.

Función Sistólica

La función ventricular implica la generación de suficiente presión interventricular para eyectar la sangre a la circulación sistémica, y para ello, debe vencer una serie de fuerzas e impedancia aórtica. En este sentido, la fracción de eyección es el índice porcentual del volumen normalizado al

volumen final sistólico. La Sociedad Americana de Ecocardiografía (ASE) ha establecido como condiciones de normalidad para esta fracción un rango óptimo entre 55 a 70%, la cual depende de la precarga, la poscarga, la contractilidad y el espesor de las paredes. La fracción de acortamiento es un índice de contractilidad referida a la velocidad de acortamiento de la fibra cardiaca y depende de la poscarga.

La precarga puede definirse como el grado de estiramiento de la fibra al final de la diástole o el diámetro de fin de diástole. Una medida estimativa de precarga es el diámetro de fin de diástole [Opie LH. 2004].

La poscarga es la fuerza que el músculo enfrenta en sístole. También se define como la suficiente presión intraventricular para abrir la válvula aórtica y permitir la eyección del contenido [Opie LH. 2004].

Los resultados experimentales aportan datos que discrepan de los valores estimados en los rangos de normalidad como se observa a continuación:

1. Los diámetros del ventrículo de fin de sístole están ligeramente a un valor superior con respecto al límite superior en los sujetos de los grupos Caza 12 y Core 4, con una desviación de 5.0, siendo la media un valor en un punto menor al rango normal, a diferencia del grupo Caza 16, que presentó todos los valores dentro del rango de normalidad. Igual es el registro para los diámetros diastólicos, y su tendencia es a sobrepasar el límite superior.
2. En la fracción de eyección, el 90% de los sujetos del grupo Caza 12 reportó valores máximos $FE \geq 70\%$ con desviación de 7.88. Esta misma variación se observó para el 25% en el grupo Caza 16: ambos grupos permanecen dentro del límite con tendencia a la sobrevaloración. A diferencia del grupo Core 4, cuyos valores tienden a extremos significativos, el 50% de éstos presentó valores por debajo de mínimo ($FE \leq 50\%$) y para el resto, sus datos están registrados dentro del rango de normalidad, calculando la desviación en 14.04. puntos con respecto al valor de normalidad. Observe el análisis de anova cuando la

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

normalidad de los datos es rechazada para los sujetos del grupo Caza 12, en las tablas 3.2; 3.3 y 3.4.

En clínica los datos ecocardiográficos se relacionan con la edad, por considerarse el envejecimiento natural del corazón [Munagala VK. et al 2003]. Para este estudio no se considera el envejecimiento cardiaco, ya que el promedio de edad es de 30 años, la misma representa plenitud de condiciones fisiológicas. En este sentido, el análisis de anova con los datos del grupo Caza 12, relacionan la edad con respecto al tiempo de exposición al ruido. Cuanto mayor edad tienen, mayor será el tiempo de permanencia en el área de labor aeronáutica.

Los resultados de la geometría cardiaca con las variaciones en los diámetros diastólico, sistólico y la fracción de eyección del grupo Caza 12, relacionó el funcionamiento diastólico del ventrículo izquierdo expresado en la Razón F, con significación de 0.05, indicando que los valores calculados experimentalmente siempre fueron mayores, no dependiendo de la edad. La explicación estadística expresa entonces que indistintamente de la edad, la exposición ante el ruido de aviones militares puede ser un factor que afecte el registro de estas variaciones y la susceptibilidad que puede tener cada sujeto en particular (Ver tablas 3.2- 3.3 - 3.4).

Tabla 3.2: ANOVA – EDAD - DDVI en sujetos de VF-5

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
EDAD *	Inter-grupos	(Combinadas)	143.643	12	11.970	1.195	,412
	DDVI	Intra-grupos	80.167	8	10,021		
Total			223.810	20			

Tabla: 3.3 ANOVA – EDAD - DSVI

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
EDAD *	Inter-grupos	(Combinadas)	118.810	12	9.901	,754	,682
	DSVI	Intra-grupos	105.000	8	13.125		
Total			223.810	20			

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

Tabla: 3.4 ANOVA – EDAD - FE%

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
EDAD *	Inter-grupos	(Combinadas)	193.976	14	13.855	2.787	,107
FE%	Intra-grupos		29.833	6	4.972		
	Total		223.810	20			

A continuación el análisis de correlación de Pearson, para los grupos Caza 16 y Core 4, en la relación de condiciones hemodinámicas, entre la fracción de eyección y el diámetro diastólico, que valora función sistólica de manera indirecta. Ver tabla 3.5 y 3.6.

Estos resultados indican que el 32% de los casos en el grupo Caza 16, en una representación gaussiana, se encontraran en significación de 0.11 en cada lado de la curva para una probabilidad de 88%. Para los sujetos del Core 4, el 27% de los casos responden a las misma condición para una probabilidad de 84%.

Cabe destacar que se cumple la ley de Frank-Starling (uno de los principios de la contractilidad), que establece que cuanto mayor es el volumen del corazón, mayor es la energía de su contracción. En la fracción de eyección una precarga mayor por mayor volumen, influye directamente en este índice.

Para esta situación se considera que una fibra cardiaca muy distendida será equivalente a una longitud mayor durante la diástole ventricular, que el concepto clásico de relajación isovolumétrica se realiza durante la fase rápida de caída de la presión ventricular sin oposición de acortamiento [Buckberg et al 2006] y por lo tanto, requerirá de mayor fuerza de eyección. Los resultados de esta primera impresión demuestran una correlación positiva entre débil y moderada. En la perspectiva de incrementar un futuro debate, no se puede dejar de mencionar, que si bien los valores del DDVI, para el grupo Caza 16 están dentro del intervalo de normalidad, la mayor puntuación con respecto a una desviación de su valor es precisamente la FE%, y ésta depende de la pre y poscarga.

Para los sujetos del grupo Core 4, (Tabla 3.6), en el entorno de los helicópteros y del avión M28, las correlaciones establecidas con

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

respecto a la fracción de eyección y el diámetro diastólico del ventrículo izquierdo es baja, significando con ello que, no solo se debe a cambios en la geometría [Buckberg G. et al 2006], pese a la desviación con respecto al valor de referencia, en la fuerza para eyectar el bolo de flujo. La poscarga y la precarga pueden estar interfiriendo en las variaciones registradas e igualmente pueden generar patologías cardiacas. En el 50% de los sujetos, la fracción de eyección es menor al límite menor y de éstos el 21% presentó un rango de desviación moderado que corresponde a valores de FE \leq entre 30 y 44%, del valor de referencia normal superior a 55%, [Teuteberg J. et al 2006].

El 50% de éstos últimos presenta una fracción de acortamiento por debajo del rango normal, calificado como leve (FA = 20 - 24%) [Schussheim A. et al 1998]. Este parámetro puede predecir anomalías diastólicas en sujetos hipertensos, con medidas de normalidad en función sistólica [Schussheim A. et al 1998], pero estos sujetos no son hipertensos. La fuerza de eyección como medida de la función ventricular izquierda durante la sístole, se asume como la fracción de sangre desplazada del ventrículo, siendo proporcional a la fuerza generada, asociada a las dimensiones ventriculares [Lang R. et al 2005].

Tabla 3.5. Correlación entre FE % y DDVI en sujetos de F16

		FE%	DDVI
FE%	Correlación de Pearson	1	0.32
	Sig. (bilateral)		0.22
	N	16	16
DDVI	Correlación de Pearson	0.32	1
	Sig. (bilateral)	0.22	
	N	16	16

Tabla 3.6. Correlación entre FE % y DDVI en sujetos de Core 4

		DDVI	FE %
DDVI	Correlación de Pearson	1	,270
	Sig. (bilateral)		,165
	N	28	28
FE %	Correlación de Pearson	,270	1
	Sig. (bilateral)	,165	
	N	28	28

3. En la fracción de acortamiento, la extensión de los movimientos de la pared ventricular dependen en gran medida de la actuación entre la fracción de eyección y la velocidad de acortamiento. El aumento de la poscarga disminuye la velocidad de acortamiento y a la inversa, la disminución de la poscarga aumenta el volumen sistólico ante cualquier precarga dada [de la Serna 2009]. Los datos experimentales señalan las siguientes variaciones: para ambos grupos caza, el valor se situó por encima del rango superior normal en una desviación de 7.01 puntos; sin embargo, para el grupo de sujetos del Core 4, la desviación alcanzó solo 5.78; es decir, la fibra cardiaca genera la fuerza suficiente para acortar la fibra.

El análisis comparativo entre los índices sistólicos y el nivel de ruido equivalente, nos coloca en la relación tiempo. En la figura 3.22, se observa a los sujetos del grupo Core 4 con valores de fracción de eyección por debajo del rango de normalidad, que clínicamente es catalogado como leve. Teuteberg y colaboradores (2006) exponen que esta fracción debe ser considerada a largo plazo como un preámbulo de insuficiencia cardiaca [Teuteberg et al 2006]. Por otra parte, los estudios de la Serna (2009) explican que los valores elevados de FE sobreestiman la función ventricular cuando la poscarga está disminuida y subestiman la función ventricular cuando la poscarga está aumentada o ha disminuido la precarga, en este caso, asociada a pericarditis constrictiva [Hoit B 2002].

Para el caso del grupo Core 4, el sustentar dentro del campo de las inferencias estos hechos, nos coloca ante la siguiente premisa: si tanto la FE como FA, dependen de la poscarga y los valores de FA se encuentran en rangos normales, se puede suponer que los cambios de FE sean por alteraciones de precarga. En relación a ello, se hace la siguiente extrapolación: ante la exposición de un nivel de ruido equivalente a 100 dB, los sujetos parecen mayormente afectados cuando el tiempo de permanencia en la jornada de trabajo es más extenso, que cuando se exponen a un tiempo más corto con un nivel de ruido más alto, ya que los sujetos de aviones VF5 y F16 permanecen menos tiempo en exposición con nivel de ruido de continuo equivalente más alto. Además, la cabina para

los pilotos de los aviones caza ofrece una protección que la cabina del avión M28 no tiene.

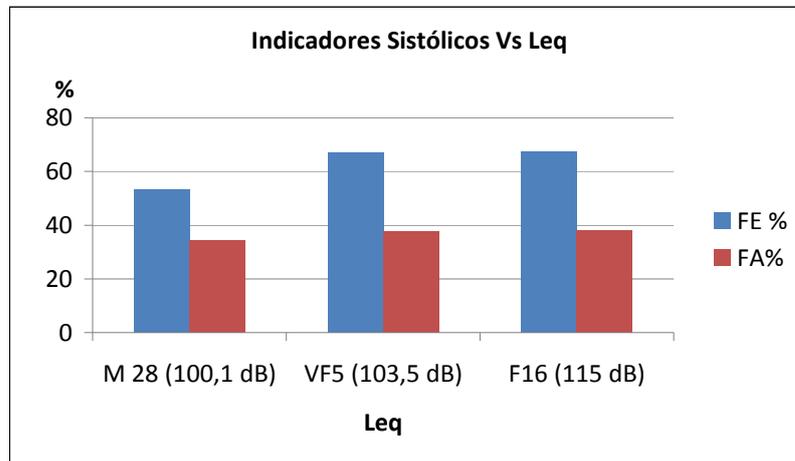


Figura. 3.22. Valores de media aritmética de Fracción de Eyección (FE) y de Acortamiento (FA), frente a nivel de ruido continuo equivalente generado en las aeronaves de estudio en condición de operaciones

4. En parámetros internacionales [ASE 2007], se ha establecido para el flujo en la aorta la velocidad de 1.8 m/s como rango de normalidad. En relación a los sujetos estudiados, se exponen dos premisas previas de control: a) se estipula como norma que los pilotos deben registrar medidas de tensión arterial antes y después de cada vuelo, manteniéndose dentro del rango normal de 12/8 mmHg, antes del inicio. Para los sujetos de mantenimiento, los controles de medida de tensión se establecieron antes y después de cada jornada laboral diaria. b) el valor del diámetro de la aorta para el 100% de los sujetos estudiados se registró en los valores normales.

Estos resultados arrojan los siguientes datos: entre el grupo de pilotos la tendencia es a la tensión arterial baja 10/6 mmHg, mientras que en el grupo de mantenimiento la misma osciló entre valores normales de 12/8 mmHg y valores similares al de los pilotos. Por otra parte, en el grupo representado por el Core 4, el 100% de los sujetos presentaron

velocidades por debajo del establecido en los rangos de normalidad (Ver anexo AE-4), [Jun, S. et al 2008], [Robson, D. et al 1985].

Atendiendo a las premisas iniciales se deduce lo siguiente: si el diámetro de la aorta es normal y la tensión arterial no ofrece resistencia como fuerza que impida adicionalmente el traslado de sangre a su interior, entonces ¿por qué la velocidad de flujo en la aorta es menor en todos los sujetos del grupo Core 4? ¿Es el corazón en su función de bomba el que disminuye esta velocidad para corresponder con los valores disminuidos de la fracción de eyección?

Si el corazón integra la sístole y la diástole en su función de bomba y se observaron variaciones importantes en la sístole del grupo Core 4, responder a las interrogantes planteadas conllevaría al análisis de la función diastólica, permitiendo realizar varias suposiciones desde la lógica de los hechos y datos recolectados.

Función Diastólica

La función diastólica como complemento de la función sistólica, es un proceso activo que consume gran cantidad de energía (ATP), para liberar el calcio (Ca^{++}) y lograr el desplazamiento de la fibra contraída hasta alcanzar el nivel de relajación [Oh, J. et al 1994]. Al producirse esta distensión del músculo cardíaco, condiciona una rápida caída de la presión intraventricular, que al traspasar la presión auricular promueve la rápida dilatación en diástole, provocado por el volumen sanguíneo que entra. Esto deja como resultado que la función diastólica es influenciada por la relajación y la distensibilidad [Oh, J. et al 1994].

La relajación depende de la velocidad de descenso de la presión intraventricular y la velocidad de aceleración del flujo (onda E). Mientras que la distensibilidad depende de la velocidad de ascenso de la presión intraventricular, la desaceleración (DT), y del ingreso del flujo a la cavidad ventricular. En relación a los valores experimentales se registró lo siguiente:

1. Las dimensiones de la estructura que conforman el corazón tienden al límite superior de normalidad, exceptuando las dimensiones de la aurícula izquierda, cuyas medidas oscilaron por debajo del valor límite

inferior, en un porcentaje significativo de sujetos: 36 % de los grupos caza y 32% del grupo Core 4, con una desviación de 3.5. Las imágenes observadas se presentan como pérdida de fibra a nivel auricular.

2. Los valores registrados para el tiempo de aceleración en onda E, no alcanzaron el límite de 8.5 cm/s, como mínimo de normalidad. La onda E representa el tiempo de aceleración del período de llenado rápido que corresponde al 75 % del llenado diastólico, si éste depende de la relajación y distensibilidad ventricular. Existe una alta tendencia a suponer que la capacidad de succión por parte del ventrículo está afectada, observándose este registro en el 92 % de sujetos.
3. El tiempo de desaceleración (TD) es el período de diástasis o llenado lento. Para el ventrículo izquierdo ocurre un llenado pasivo y este depende de la distensibilidad o rigidez de la cámara. En la figura 3.23. se puede observar la dispersión de los valores con respecto a su valor de normalidad. Este indicador que depende de la edad, determinado por la interacción con las propiedades intrínsecas a la diástole y las alteraciones hemodinámicas, se relaciona con pericarditis y puede actuar como un predictor independiente [Cerisano G. et al 2001].

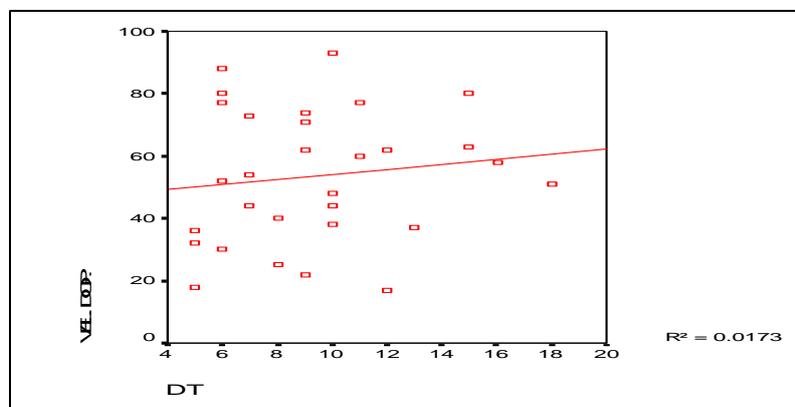


Figura. 3.23. Tiempo de desaceleración en imagen doppler para evaluar función diastólica

El argumento expresado a partir de estas medidas se basa en que la distensibilidad del ventrículo es el determinante principal del tiempo de desaceleración. En un ventrículo restrictivo, el DT se reduce, ya que el volumen de llenado causa un aumento súbito en la presión intraventricular,

equilibrándola con la auricular y provocando el cese del llenado rápido [Roeland & Pozzoli 2001].

En la figura 3.23. se observa el tiempo de desaceleración de la velocidad de llenado temprano (DT), en relación a la velocidad de flujo. Sin establecer un papel diagnóstico, pero sí explicativo de los datos, es relevante que estos sujetos presenten en conjunto las siguientes condiciones: engrosamiento de paredes cardiacas, prolongación de onda T en electro, y un pericardio engrosado. Todas estas condiciones son analizadas como índices que informan que la complianza del corazón es afectada y se evidencia en la relación cociente E/A y en el tiempo de desaceleración, cuando su valor normal se establece en 200 +/- 32 ms. y ante una carga restrictiva se evidencia en valores experimentales que son menores a 150 ms.

En sujetos sanos, la variación de este parámetro puede ser predictor de anomalías cardiacas relacionadas a infarto [Cerisano G. et al 2001]. La varianza ($R_2 = 0.173$) indica que en 17% de los casos se tiende a menor velocidad. Ver la figura 3.23.

4. Los valores medidos para la onda A se corresponden con el tiempo de aceleración de la misma en la contribución del llenado ventricular durante la sístole auricular. Para el rango de normalidad se consideran valores comprendidos entre 4.2 y 7 cm/s. Los valores experimentales señalan que en un 43% de los sujetos, éste valor está por debajo del límite inferior del rango de normalidad.
5. El flujo transmitral se analiza en la relación del cociente E/A, cuyo valor en rango de normalidad debe ser igual a 1. Un valor menor a ello es indicativo de una relajación ventricular lenta. Por encima de 1.2 y hasta 1.5 se denomina seudo normal dependiendo de las capacidades particulares de cada individuo. Cuando éste es mayor de 1.5., se establece clínicamente como patrón restrictivo [Roelandt & Pozzoli 2001]. En la figura. 3.24. se observa las puntuaciones estimadas a partir de los datos de cada onda. La relación cociente E/A, en términos porcentuales para los sujetos, se distribuyeron de la siguiente manera: 25% con una relación de restrictivo; un 43% con una relación seudo

normal y un 32% con la relación normal, contabilizándose entre estos los valores de hasta 1.5 como normales.

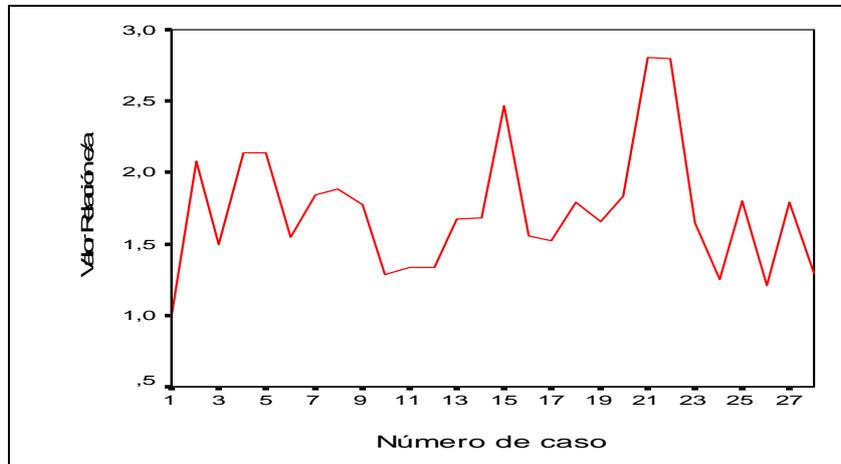


Figura: 3.24. Comportamiento de la relación E/A en flujo trasmitral

El valor calculado de la relación E/A superior a 1.5, se deriva del incremento de la velocidad en onda E y la disminución de la onda A, además de la disminución en la velocidad de desaceleración, lo cual indica presión de llenado elevada [Roelandt & Pozzoli 2001], [Yamada S. et al 2007].

Es interesante destacar que en los estudios cardiacos realizados en pacientes clínicos, este parámetro siempre ha sido asociado con la frecuencia cardiaca elevada y la edad [Yamada et al 2007]. En los sujetos de estudio se observó que cuando la onda E, aún no llegando a valores del límite inferior pero sí muy cercanos, el valor de onda A está por debajo de 0.4 cm/s, y cuando la onda E está muy deprimida, por ejemplo en 5.9 cm/s, la onda A alcanza 2.1 cm/s; es decir, valores muy por debajo de los estimados normales.

De lo anterior se evidencia un patrón de llenado ventricular inapropiado. La correlación media entre las ondas E y A se observa en la tabla 3.7., y la distribución de los valores se observan dispersos, indicando un patrón de flujo mitral alterado. Ver figura 3.24.

Tabla 3.7. Correlación entre E/A

		E	A
E	Correlación de Pearson	1	0.388(*)
	Sig. (bilateral)		0.41
	N	28	28
A	Correlación de Pearson	0.388(*)	1
	Sig. (bilateral)	0.41	
	N	28	28

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

6. Los parámetros de velocidad en la arteria pulmonar (AP o v_a) y el tiempo en alcanzar pico para velocidad en arteria pulmonar o tiempo de aceleración (TAM o T_{ac}), se corresponden con valores hemodinámicos que permiten evaluar la circulación pulmonar y el patrón de llenado del VI [De Maria & Blanchard 1999]. Los datos registrados experimentalmente en comparación con los valores de normalidad, señalan que para el 50% de sujetos los valores de AP están por debajo de lo establecido; de éstos, el 35 % registró una velocidad de 0.6 m/s, correspondiendo al límite inferior. Sin embargo, los datos TAM indican que hay presunción de hipotensión pulmonar al ser mayor el tiempo de 140 ms. Se observa una relación entre estos sujetos y los que presentaron disminución de la frecuencia y leves alteraciones del ventrículo derecho. A partir de ello, se infiere que esta relación sea un mecanismo compensatorio de la función global del corazón.

La complementación del estudio con el flujo sanguíneo de venas pulmonares no se realizó, ya que se carecen de datos de la velocidad sistólica (S) y la velocidad diastólica (D), las cuales son indicativas del llenado en aurícula izquierda; por lo que no se profundizó en los aspectos relativos a esta relación.

7. La correspondencia entre el tiempo de valor pico en arteria pulmonar ($t_{am} = 120$ ms) y la velocidad en arteria pulmonar ($v_a = 0.9$ m/s), se observa dispersa entre valores de normalidad y valores que sugieren la existencia de anomalías cardíacas. En la fig 3.25. se observa la dispersión de estos datos. El parámetro de edad es significativo en el sentido que siendo tan jóvenes se manifiestan las desviaciones entre los valores t_{am} y v_a .

Para el mismo grupo, se le adicionan los siguientes hechos: una fracción de eyección por debajo del rango de normalidad y un grosor del pericardio por encima del rango normal. En la fig. 3.26. (a) y (b) se observa comparativamente el comportamiento de las dimensiones del VI. Frente a las desviaciones del pericardio, la disminución del VI durante la diástole establece la siguiente relación: cuanto mayor es el engrosamiento del pericardio, presumiblemente afecta el volumen, y de esta manera a la FE. Con base a estos datos puede inferirse que la tendencia de estos valores pueden ser pronóstico de anomalías en las funciones hemodinámicas del corazón, influenciadas por los efectos del ruido de aeronaves militares en sujetos catalogados como sanos, para que sea esta la causa de infartos en este tipo de población, ocurriendo sin que medie la protección auditiva.

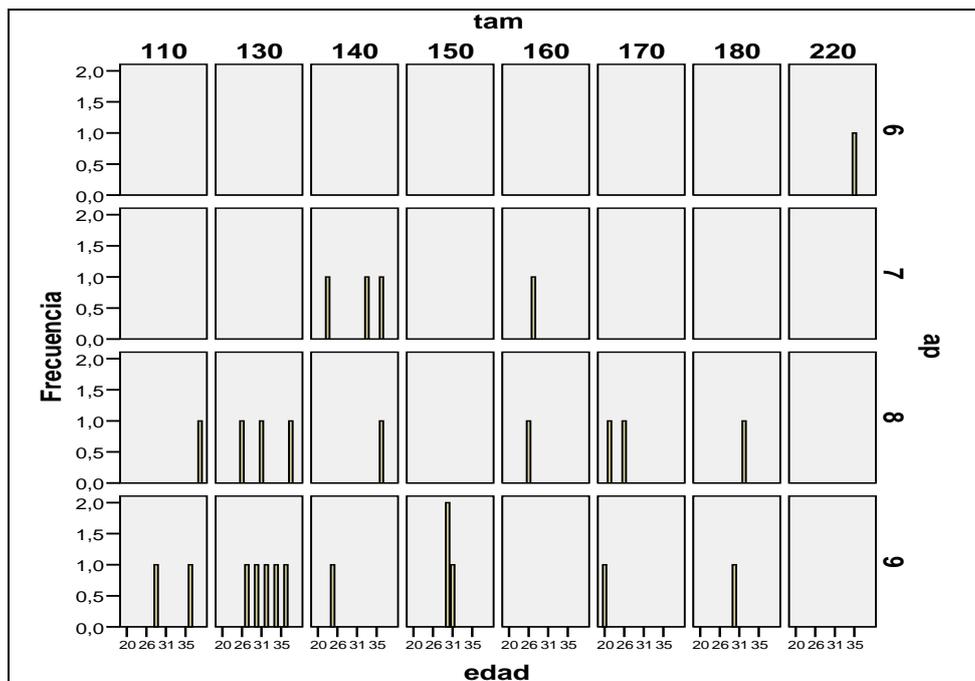


Figura 3.25. Composición de velocidad en arteria pulmonar y tiempo pico para alcanzar velocidad máxima en los sujetos del grupo Core 4

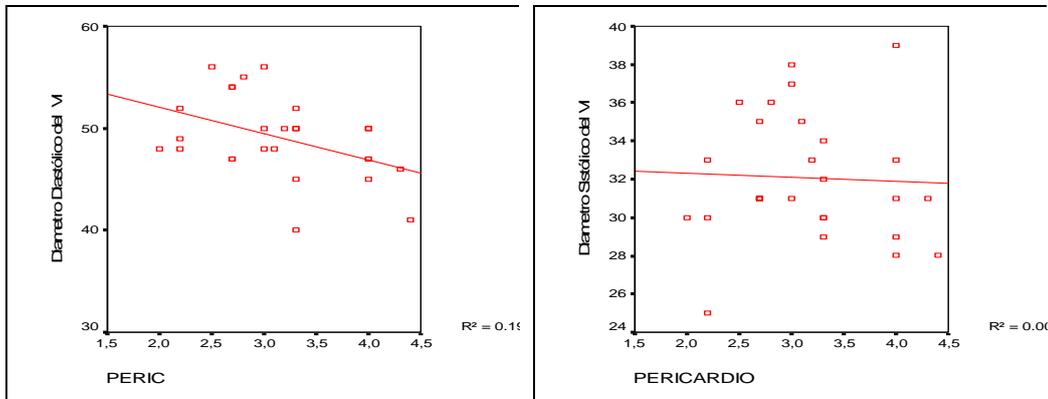


Figura 3.26. (a) Diámetro diastólico en VI en engrosamiento pericárdico

Figura 3.26. (b) Diámetro sistólico en VI inalterado con pericardio engrosado

Interacción ventricular

El acoplado funcionamiento cardiaco actúa en conjunto, compartiendo el septum ventricular como pared divisoria, de manera que, los cambios de presión, volumen o complianza en un ventrículo afectan al otro. Este acoplamiento recibe el nombre de interdependencia ventricular [OH J. et al 1994]. Su funcionamiento está relacionado con las condiciones y características del pericardio, que aumenta marcadamente la interacción ventricular cuando existe restricción pericárdica [Williams L. et al 2006]. La interacción ventricular se manifiesta como un aumento de la presión diastólica de un ventrículo a medida que el volumen del otro ventrículo sea aumentado. Estas diferencias de presión transeptal afectan la función sistólica y diastólica.

De lo anterior se infiere que si durante el llenado auricular y ventricular derecho, el septum se desplaza hacia la izquierda en la cavidad del ventrículo izquierdo, se reducen sus dimensiones de llenado al encontrarse imposibilitado de distenderse por la constricción que puede causar un pericardio engrosado. Pero el aumento de presión en la aurícula izquierda induce al desplazamiento del septum hacia la derecha, creando una cavidad convexa que favorece al llenado rápido. Este proceso se observa en la sobrevaloración de la onda E y en la relación E/A en valores iguales a 2.

Otra interacción interesante de destacar es la del ventrículo izquierdo-aorta, la cual depende de la distensibilidad de la segunda. Dado que los sujetos cuentan con una tensión arterial dentro del estándar, la disminución de la velocidad en

la arteria aorta puede ser la disminución de la complianza, indicando, en este caso, que es necesaria una mayor presión de fin de diástole, para alcanzar una fuerza contráctil adecuada [de la Serna 2009].

En términos generales, se concluye que en los sujetos estudiados de los tres grupos se observó la variación en espesor de paredes o diámetros de cavidades, con tendencia a influir directamente en los aspectos de precarga y poscarga. El estado del arte señala que la influencia puede ser por diversos factores [Weisman & Healy. 1987], estando mayormente relacionada a la masa magra y dimensiones corporales [Gardin et al 1997]. No obstante, se notó que las dimensiones geométricas del corazón están afectadas, indistintamente de la edad, ya sea por pérdida de fibra o engrosamiento de sus paredes y membranas. La función eléctrica es más variable en el grupo del Core 4.

Las funciones hemodinámicas sistólicas presentan valores fuera del rango de normalidad en sujetos de los tres grupos, con mayor variabilidad y tendencia al incremento de los mismos, en términos de leve y moderado, para una sobreestimación de FE, en los sujetos de los grupos Caza. Contrariamente, en los sujetos del grupo Core 4, se registró una subestimación de FE. La función diastólica estudiada en los sujetos del grupo Core 4, presentó desviaciones en términos de moderado y severo, vista en la relación cociente E/A, que presupone alteración en la distensibilidad (Anexo AE-10). La disminución en los valores de velocidad en arteria pulmonar conlleva a la variabilidad en la frecuencia cardíaca, a pesar del curso del ritmo sinusal. Presumiblemente, esta situación se deba a un mecanismo de compensación a la caída de volumen observada en la disminución del valor de fracción de eyección, que se presenta como condición asintomática para los sujetos.

Es importante señalar que los hallazgos mencionados anteriormente podrían ser una señal de que existen cambios hemodinámicos; sin embargo, es bien sabido que las alteraciones en grados patológicos se relacionan con alteraciones de los factores metabólicos propios del corazón. En este sentido, surgen interrogantes relacionados a esta química cardíaca pero que no fueron considerados en este estudio.

Finalmente, en el marco de los efectos del ruido sobre las condiciones cardíacas y su relación con los aspectos psicoacústicos, se ha sugerido que bajo una intensa influencia de ruido y estando bloqueados los barorreceptores

cardiacos, estos se activan en la arteria carótida [Yamamoto et al 2002]. De esta presunción se desprende una nueva interrogante: si los individuos tienden a ser hipotensos ¿podría la tensión arterial mantenerse dentro de los términos normales por esta activación carotidea, si ya se evidencian desviaciones en las funciones hemodinámicas? Esta interrogante abre la posibilidad de continuar líneas de estudios.

3.3. ANÁLISIS PSICOACÚSTICO

Las condiciones cognitivas de memoria y atención guardan estrecha relación entre sí con la fatiga. Desde el campo de la medicina, una falta de sueño puede inducir cambios cognitivos y cardiovasculares de manera que se pretende analizar si el ruido produce efectos cognitivos que aumenten la tendencia de las desviaciones cardiovasculares.

3.3.1. RELACIÓN RUIDO - SUEÑO

Los encuestados presentan variabilidad de respuesta en los aspectos relacionados con el sueño para el grupo Caza 12. Los sujetos de mantenimiento presentaron las mayores molestias y alteraciones al sueño. Las respuestas de los dos grupos restantes son similares.

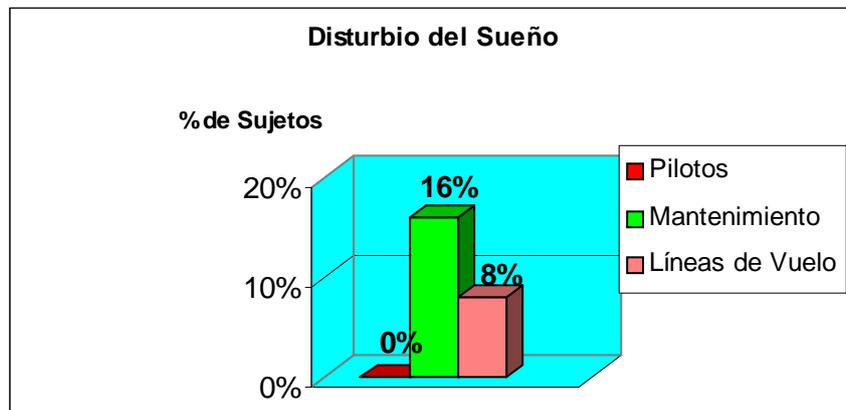


Figura. 3.27. Horas de desvelo intra grupo de los miembros de Caza 12

La perturbación del sueño causada por el ruido de aviones militares durante las operaciones nocturnas, afectan inicialmente a los individuos que no hacen

turnos de trabajo, reflejándose al día siguiente en estados de fatiga y mayor cansancio durante sus labores.

En contextos militares, especialmente en aviadores, la fatiga puede resultar en la incapacidad para adquirir, ejercer y destruir los objetivos del enemigo o, peor aún, a consecuencia de la orientación incorrecta destruir objetivos erróneos [Wilson G. et al 2006].

En la figura 3.27. se observa que los pilotos son el grupo de individuos con menos molestias, a diferencia de lo manifestado por los grupos de mantenimiento, siendo sus tareas fundamentales para las operaciones con aviones.

Comparando la emisión de ruido de cada nave y la variación de trabajo en día-noche, las respuestas señalan que para el 50% de sujetos el ruido nocturno lo perciben como molesto, a diferencia de ser el mismo ruido durante la actividad diurna. Y entre las tres naves perciben como más molesto el producido por el VF.5. Ver la figura 3.28.

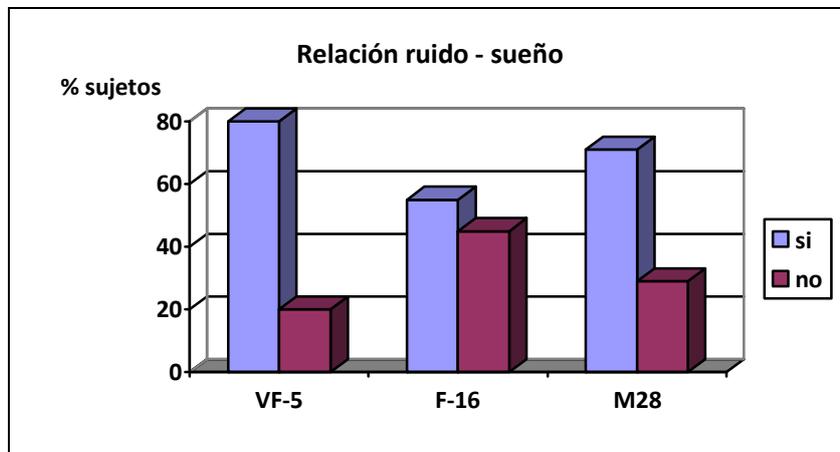


Figura 3.28. Molestia de ruido durante la noche cuando no ejecutan actividades

La interpretación al conjunto de respuestas de los ítems relativos a la relación ruido-sueño, se observa en la figura 3.29., manifestándose la tendencia del

grupo de mantenimiento a ser más sensible a los ruidos percibidos. En la figura 3.29., los siguientes datos son notorios:

El 55% de los sujetos consideró, a pesar del ruido percibido, que tienen una calidad de sueño en términos de ser reparador una vez conciliado. En relación a las respuestas dadas en el ítem 2, sobre la escucha de un tintineo aun en ausencia de ruido, los pilotos contestaron negativamente y el 25% del grupo de mantenimiento expresó que sí escucha durante el sueño un tintineo. Al respecto, se ha señalado que los pilotos y sujetos expuestos a ruidos de avión, aumentan la sensibilidad y el umbral auditivo baja, sin que medie en ello la frecuencia específica de un ruido [Job A, et al 2007].

El 45% de los sujetos encuestados mencionó que pierde el sueño con facilidad. Se ha advertido que la perturbación de sueño genera estrés, además de influir en la pérdida de atención, en la rapidez para acometer acciones imprevistas y operaciones con máquinas y, en relación a los valores de la frecuencia cardíaca, ésta se modifica [Wilson G. et al 2006].

Sin embargo, los sujetos encuestados manifestaron que aún con pocas horas de sueño, pueden controlar las situaciones de estrés; destacándose, en cambio, que les genera irritabilidad, sin que lo asocien a un estado de exposición al ruido.

Igualmente un 45% expresó que les cuesta conciliar el sueño. Cotejando las medidas de ruido realizadas dentro de las habitaciones (fig 3.1.), donde se demostró la carencia de confort acústico, cabe suponer que este ambiente promueve una mayor afectación cardíaca. Minimizar esta situación conlleva a asumir el antecedente de [WHO 1992], donde se establece que un nivel máximo de ruido de 45 dB dentro de habitaciones es el recomendable para que no exista perturbación del sueño.

La necesidad de requerir un descanso entre las horas de faena, formulado en el ítem 5, fue respondida afirmativamente por un 25% de sujetos. Es importante hacer dos acotaciones: la primera, que todos los grupos guardan estrictamente entre las 12 y las 14 horas un periodo de descanso, el cual el 75% de los sujetos supone es suficiente para un descanso auditivo. La segunda, se relaciona a las actividades propias de cada grupo. Para los pilotos de los aviones caza, la

misión es el entrenamiento y para ellos puede ser un vuelo diario por piloto, con duración de vuelo de dos horas aproximadamente; mientras que para los pilotos de los helicópteros y del avión M28, las actividades de vuelo pueden ser entre tres a cinco vuelos por día, dependiendo de la trayectoria y de las guardias a cumplir. Con respecto a los grupos de mantenimiento, estos deben laborar según horario y necesidades requeridas, siendo estos los que expresan que en presencia de ruido requieren de un descanso breve.

La NASA/FAA en el año 1993, llevó a cabo el proyecto de integrar el descanso durante la faena de vuelo para los pilotos, mejorando así el rendimiento de las operaciones de vuelo [Mann M. 1999]. En este sentido, la política militar venezolana establece la obligatoriedad de dormir 8 horas, incluso después de vuelos y misiones nocturnas, para todos los sujetos de los grupos Caza. En el caso del grupo Core 4, cuando la tarea supera los límites de tiempo, los sujetos son compensados con días en descanso.

El 68% de los sujetos encuestados respondió que sienten fatiga cuando realizan trabajos en presencia de ruido. Estudios sobre el particular, asocian la fatiga a ruidos de baja frecuencia (no máximo de 500Hz), con Leq de 90 dB, en situación de trabajos de oficinas, señalando que si los sujetos son motivados, el cansancio se reduce [Bengtsson J 2003], [Bengtsson B. et al 2004].

En relación a los vuelos en helicóptero, se ha estimado que las bajas frecuencias en estas naves son responsables del incremento de fatiga, de disminuir la memoria y de ser un factor de riesgo para incrementar la hipertensión [Pierre & Maguire. 2004]. Otros estudios bajo la supervisión de FAA, establecen que el control activo de ruido dentro de cabina debe contemplarse hasta alcanzar el límite de 55 dB(A) [Ludlow & Sixsmith 1999], de manera que se reduzcan los posibles efectos nocivos del ruido en los pilotos. No obstante, otros autores argumentan que la mayor fatiga de los pilotos es por la falta de sueño sin asociarla al ruido [Cadwell J. 2004]. De estas investigaciones se han derivado cambios de requerimientos en el Anexo 6 de la OACI, para la prevención de la fatiga [OACI 2008]. Este documento señala que la fatiga inaceptable se relaciona directamente con el deterioro del nivel de vigilancia en el tripulante, por un periodo de vigilia continuada.

Las nuevas investigaciones orientan sus hipótesis a que las bajas frecuencias, además de generar problemas de fatiga y alteración mental, también son un factor de incremento para las cardiopatologías [Krabé D.2008].

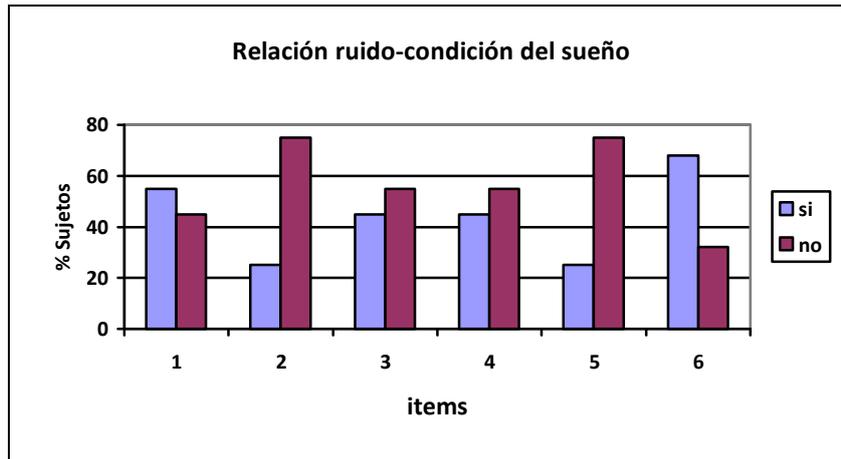


Figura 3.29. Relación de ruido – condición del sueño (1) calidad de sueño; (2) si escucha tintineo; (3) pérdida de sueño; (4) le cuesta conciliar el sueño; (5) necesidad de descanso entre sesión de trabajo y (6) sensación de fatiga durante el trabajo con ruido

3.3.2. RELACIÓN RUIDO - ATENCIÓN

Las diversas localizaciones de trabajo entre los pilotos y el personal de mantenimiento, establecen que la prioridad en la atención sea diferente. Las condiciones de mayor ruido para los pilotos se corresponden con las actividades previas al vuelo, su atención está concentrada en las actividades del vuelo en sí, y sus respuestas señalan que obvian las molestias, sin que interfiera el ruido en las actividades que estos realizan.

Los cascos provistos de control activo atenúan los niveles de ruido en una percepción auditiva, permitiendo enfocar su atención a los procesos comunicacionales. Entre los pilotos de las diversas naves existen marcadas diferencias. En los aviones tipo caza con presurización de cabina, los pilotos perciben mayor atenuación del ruido; no obstante los pilotos del avión M28 y de los helicópteros, sin cabina presurizada, manifiestan que la protección

acústica por los cascos de vuelo no es del todo total, pero la percepción del ruido no impide enfocar su atención a los requerimientos del vuelo.

En los ambientes de trabajo propios del personal de mantenimiento, se diferencian dos grandes fuentes generadoras de ruido: las máquinas ubicadas en el hangar y los aviones. En investigaciones relativas a este punto se distingue que la atención mejora por señales internas y *es efectiva cuando el ruido interior domina sobre el ruido externo, cuando el externo es más alto no mejora la atención y no causa daño* [Zhong & Doshier 1998]. La supresión del ruido no modifica el mantenimiento de la atención en el tiempo. También establecieron los autores que la atención conlleva intrínseco el movimiento de los ojos y la afinación auditiva en la tarea sobre la que se presta atención.

Comparando parte de ese estudio con los datos experimentales aportados por los sujetos de mantenimiento cuando realizan labores dentro del hangar, permite expresar que el ruido externo de los aviones no les impide mantener su atención sobre la ejecución de la tarea.

Otros autores en este mismo paradigma de la atención conjuntamente con ruido, han planteado tres mecanismos: a) la mejora de la señal; b) la exclusión de distractores y c) la reducción del ruido interno. También se ha señalado que en límites superiores los cuales reflejan actividades neuronales, la modulación de ruido puede contribuir al control de la atención [Baldwin & Mozer 2006].

Los resultados experimentales de la presente investigación revelan que los sujetos de estudio prestan su mayor atención a las labores indistintamente del ruido en que se desenvuelven y que, en condiciones de tiempo extremo, soportan tal actividad a consta de la fatiga que pueda producir la misma. En la figura 3.30., se observa la relación ruido - atención, donde los sujetos expresan que obvian los ruidos externos, al ser dominante el ruido interno en el ambiente donde trabajan. La demanda de la tarea conjuntamente con la responsabilidad que implica, induce a mantener la atención a pesar de los ruidos [Bengtsson et al 2004].

Asimismo, el 70% de los sujetos encuestados expresó que pueden mantener la atención en dos tareas simultáneamente, interpretando que su atención

compartida es funcionalmente útil en las ejecuciones laborales. Mientras que para un 80%, suponen que el ruido no mejora ni su afinación visual ni auditiva, pese a que logran mantener el estado consciente de atención.

Wilson G. y colaboradores (2006), en estudios de correlación entre estas variables y las variaciones en la frecuencia cardiaca, aplicaron una batería multitributo para interface de operaciones, vigilancia psicomotora, estados de ánimo y escalas visuales. No registrando variabilidad significativa con la frecuencia cardiaca, pero sí un incremento en la fatiga, producto del efecto del ruido de la aviación.

De manera conjunta, las respuestas de todos los sujetos se observan en la figura 3.30.

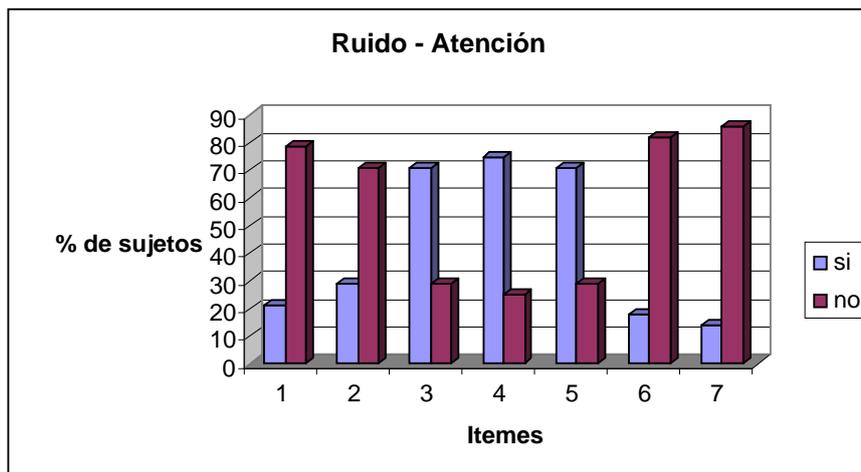


Figura. 3.30. Relación Ruido–Atención: (1) disminuye atención consciente (2) en el tiempo de trabajo pierde la atención, (3) sin importar el ruido puede mantener la atención, (4) ejecuta el trabajo con rapidez y precisión, (5) atiende a doble tareas durante el procedimiento, (6) mejora la atención visual con el ruido, (7) mejora su atención auditiva con el ruido

3.3.3. RELACIÓN RUIDO – MEMORIA

Ante las responsabilidades del cuerpo militar en acciones de vuelo y todo su conjunto operativo, los sujetos de estudio llevan como protocolo la revisión constante de los manuales de trabajo. Sus respuestas demuestran que es

importante tal procedimiento antes de confiar en lo que puede ser una fuente de error por olvidos. En la figura 3.31., se observa que la capacidad de memoria de los sujetos está sujeta al continuo chequeo de las actividades según los manuales establecidos.

El proceso cognitivo de la memoria es importante en la aviación en dos vertientes: a) la temporal en memoria corta y larga, y b) la del complejo conjunto espacial-visual. En el primer caso, los pilotos de todos los grupos estudiados coinciden en asumir que los errores por olvido se encadenan en siete eventos antes de producirse un accidente, de allí la disciplina en el estudio permanente.

En el segundo caso, dos aspectos se argumentan: el primero se relaciona con los estudios de Joseph y colaboradores (2000), cuando señalan que el ruido de 100 dB induce a cometer más errores. La permanencia en ambientes con ruido de 85 dB, altera la memoria verbal. Y ante la presencia continua en 90 dB, se altera la memoria gráfica, [Josep C. et al 2000]. Lo que supone que la disciplina del estudio y entrenamiento permanente deben evitar.

El segundo aspecto, con base neuronal del complejo proceso espacial visual y numérico, desarrolla en los pilotos, sobre todo, la relación abstracta entre la información que reciben del tablero de comando del avión y la ausencia de puntos de referencia en el horizonte visual durante el vuelo. Los sujetos de estudio señalan que es muy fuerte lo que suponen es su ubicación espacial, cuando no coincide con la información electrónica y deben creer ciegamente a esta última; por ello, la memoria sobre lo aprendido es fundamental.

Este tipo de relación psicológica aún está en investigación. Los resultados obtenidos han establecido una correlación altamente positiva entre la atención y la memoria, con respecto al efecto del ruido, siempre que este alcance valores de umbral de ruido. Esto significa que la memoria y los procesos visuales y otros procesos sensoriales mejoran con la adición de ruido [Yamamoto et al 2002] [Longtin A. et al 2003].

Los datos experimentales destacan las siguientes respuestas analizadas en el conjunto de los sujetos: los ítemes 1 y 2, referidos a si recuerdan todos los procedimientos, es valorado afirmativamente por más del 80%. Correlacionar

estas respuestas con el ítem 3 significa que la memoria de corto plazo es muy activa, y la de largo plazo es estimulada por el constante estudio y revisión de los manuales de procedimientos.

La visión espacial tanto para los pilotos que es fundamental durante el vuelo, como en el arreglo de piezas por parte de los sujetos de mantenimiento, no se ve afectada por el ruido. La respuesta fue contundente para el 100%. Las respuestas del ítem 8, discrepan, siendo más importante para los sujetos de mantenimiento, donde el ruido característico de los motores forma parte de la información que reciben del estado del motor. La respuesta del 60 % representa a estos sujetos. Una condición particular es el ítem 4, donde el 80 % de los sujetos expresaron que, a pesar de los niveles elevados de ruidos, su mente no queda en blanco, aunque sientan en casos de fatiga un aturdimiento. Esto último puede atribuirse a la permanencia en el tiempo frente a las bajas frecuencias de ruido [Oster G. 1973].

Aunque el comportamiento neuronal de la memoria no es estudiado en esta investigación, es importante destacar que desde 1973, los trabajos de Oster reportaron datos impresionantes en cuanto al comportamiento cerebral por estimulación de ruido, donde el cerebro transforma una percepción binaural de dos frecuencias distintas para responder como si la misma fuese el equivalente a la diferencia entre esas frecuencias [Oster G. 1973]. Esto supone que los sujetos puedan incluso, ante la exposición de ruido en las frecuencias descritas, asumir cerebralmente una relación entre 10 y 30 Hz, lo que podría alterar las ondas Beta, traducida ésta en su irritabilidad, o una relación de 4 a 7 Hz, que modifica las ondas Theta, lo que explicaría la perturbación del sueño y el aumento de memoria manifestado por los sujetos.

Sin embargo, en aras del conocimiento, es prudente profundizar esta área de estudio, que en la presente investigación sólo se circunscribió al desarrollo de la encuesta y las entrevistas.

Como cierre se plantea que los sujetos de estudio en sus tres grupos se sienten a gusto en las tareas que ejecutan, expresando que se acostumbran al ruido a pesar que les pueda causar fatiga, por requerir concentrarse y atender más conscientemente a las labores de trabajo y para quienes el entrenamiento y el estudio constante es parte activa de sus actividades.

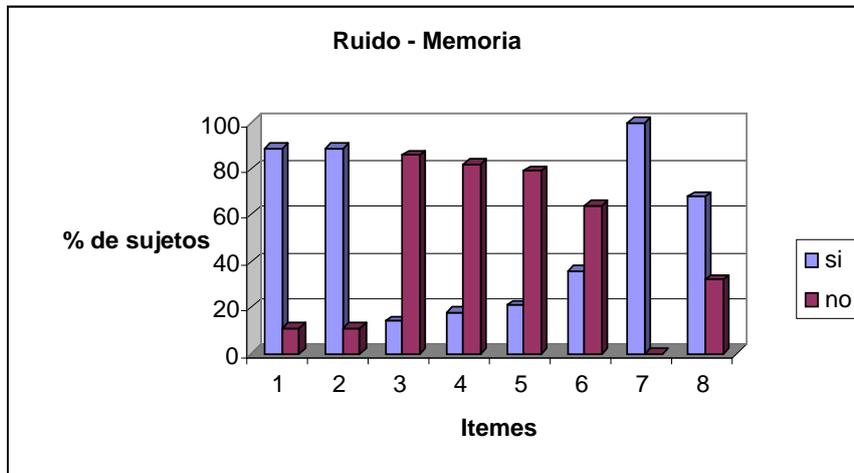


Figura. 3.31. Relación Ruido Memoria: (1) recuerda procedimientos antes de chequear el manual, (2) revisa constantemente el manual, (3) se esfuerza por recordar los procedimientos, (4) presenta la mente en blanco durante sus actividades, (5) revisa el manual sólo al final, (6) se ven afectadas sus actividades repetitivas, (7) visualiza las piezas y/o las acciones de vuelo antes de ejecutarlas, (8) el ruido le permite distinguir el funcionamiento de su fuente

3.3. ANÁLISIS INTEGRADO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

La caracterización del ruido en áreas de la aviación militar se presenta como un ambiente de trabajo complejo, existiendo múltiples fuentes y tipos de ruidos muy particulares con los cuales los sujetos interactúan, siendo sometidos éstos, a diversas formas de exposición en variabilidad de tiempo y de niveles de presión. La forma de exposición es diferente entre los de mantenimiento y los pilotos.

El valor criterio como límite de exposición laboral ha sido acordado en organismos internacionales en 85 dB, considerando para el mismo la pauta de afectación auditiva. Sin embargo, este valor parece entrar en el campo de una resistencia para el cuerpo. En este sentido, la experimentación aportó que la interacción de las ondas acústicas en el cuerpo es de manera mecánica y compleja, pareciendo producirse por emisiones en valores a partir de 100 dB en tiempos de 6 horas de exposición.

El análisis de frecuencias en banda de octava, realizado para cada una de las naves, confirmó que las emisiones de ruido se caracterizaron por niveles de energía más elevada en las bajas frecuencias, comprendidas entre 16 y 250 Hz, con valores que oscilaron entre 100 y 135 dB.

El análisis comparativo de un evento de vuelo en todas sus fases, entre los helicópteros, el avión M28 y los caza VF-5 y F-16, no registró diferencia significativa en las emisiones de ruido, siendo los valores muy próximos en los índices siguientes: un nivel continuo equivalente en 100 dB, un nivel pico en 125 dB y niveles de presión sonora en 110 dB.

La vibración inducida por el ruido puede causar en el cuerpo humano resonancia, así como una excitación que genera respuestas que van a depender del propio proceso de funcionamiento de esa parte excitada, por lo que estas respuestas son diferentes, tal y como se evidencia en el desarrollo de este trabajo en la actividad cerebral y cardíaca. En otras palabras, el cerebro procesa la información del ruido y responde como si fueran éstas señales eléctricas y el corazón, por su parte, responde con variaciones en sus aspectos eléctricos y anatómicos que inducen a desviaciones en su funcionamiento normal.

En el marco de esta resonancia, en la cavidad torácica puede originarse por fricción mayor roce entre las membranas pericárdicas (parietal y visceral), produciendo un engrosamiento en ellas similar a una pericarditis, sabiendo que los agentes etiológicos de esta patología pueden ser causados por un trauma, una infección viral o por sensibilidad inmunitaria, y si el ruido actúa en el cuerpo de manera mecánica, esto se correlaciona con que el ruido es un agente etiológico en forma de trauma.

La pericarditis restringe la capacidad de distender los ventrículos, disminuyendo la precarga y por ende alterando la función diastólica. La función de bomba del corazón que tradicionalmente es evaluada por la función sistólica del ventrículo izquierdo, puede mantenerse inalterada en presencia de una disfunción diastólica, porque en casos leves el corazón genera mecanismos compensatorios que el individuo ni siente ni padece.

La función diastólica puede ser valorada a través de indicadores ecocardiográficos. Si en sujetos sanos la variación de los parámetros cociente E/A y tiempo de desaceleración pueden ser predictores de anomalías cardiacas relacionadas a infarto, entonces en sujetos expuestos a ruido en ambientes aeronáuticos, estos parámetros pueden informar de presuntas desviaciones cardiacas antes de que ocurra un infarto que representa una de las mayores causas de discapacidad laboral en estos sujetos.

Para el caso de la actividad cerebral, puede inferirse a partir de la manifestación de los sujetos y de la perturbación de su sueño, la existencia de alteraciones en las ondas cerebrales, dando respuestas de fatiga e irritabilidad. Estas dos situaciones pueden contribuir con los estados excitados del corazón, puesto que la falta de sueño ha sido correlacionado en estados clínicos con la expansión de cardiopatías.

Finalmente, en la integración de las tres variables de estudio, se recalcan dos aspectos: el primero, relacionado al corazón; y el segundo, al cerebro. En relación al primero, se tiene que el corazón ha sido estudiado como órgano que entra en vibración por resonancia en frecuencias de 4 y 5 Hz. Considerando que la membrana pericárdica es eléctricamente neutra, el incremento de roce, evidenciado en el aumento de su grosor, puede presentar una vibración por resonancia distinta a la del músculo cardíaco. Por su parte, el cerebro observa un comportamiento de las ondas cerebrales que oscila entre 30 y 1 Hz. Este órgano puede transformar el impacto de presión sonora en una señal eléctrica. Aun cuando no se evidenciaron alteraciones cognitivas que se encontrarían en los límites de excitación de las ondas Betha (18-30 Hz), sí se manifestaron estados emocionales de irritabilidad que comparten estos mismos límites y las ondas theta y deltha (7 y 1 Hz) reflejadas en los estados de fatiga y aumento de memoria.

3. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

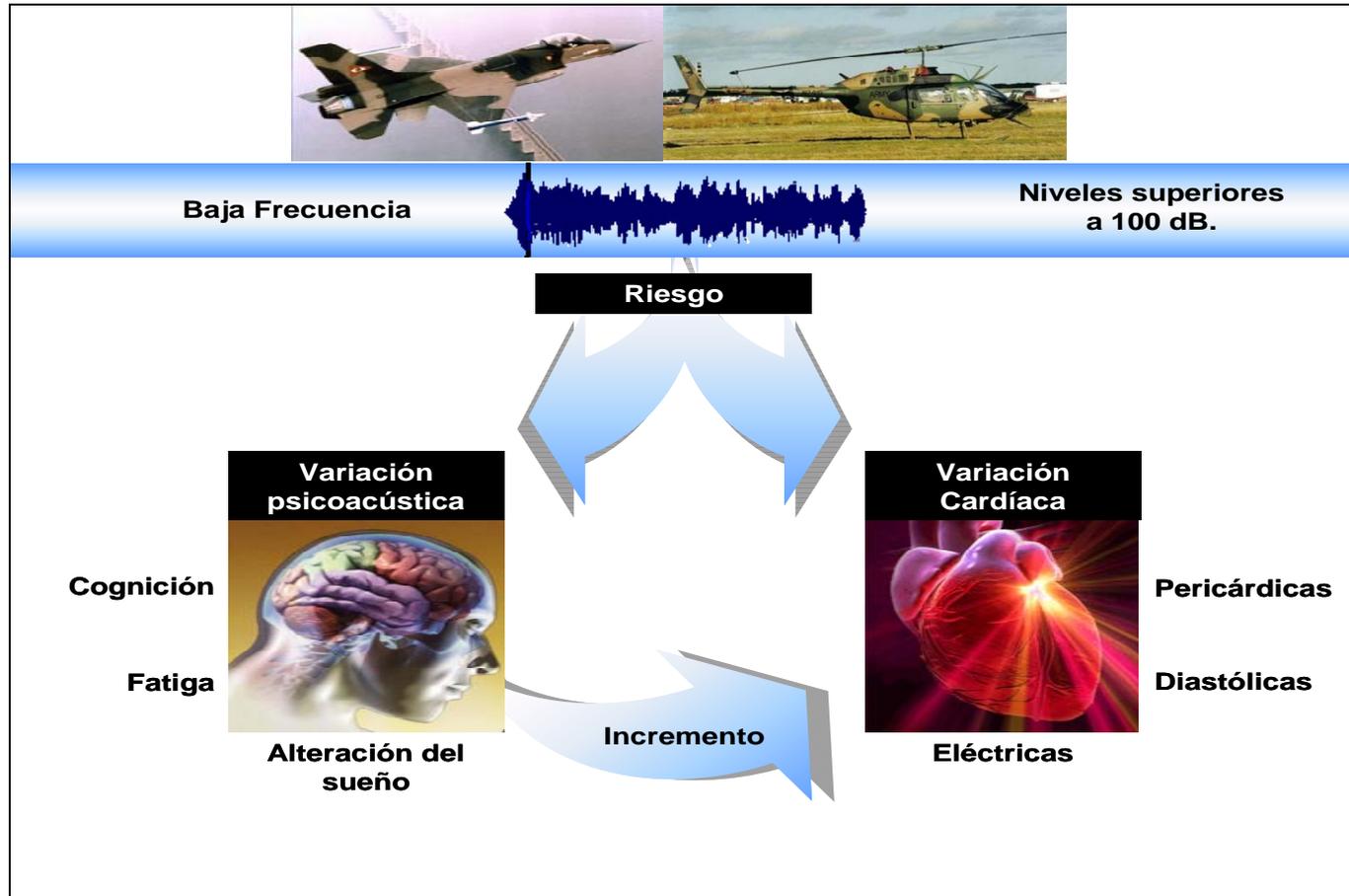


Figura. 3.32. Relación Integrada de las variables Ruido, Psicoacústica y Cardíaca

3. ANÁLISIS DE BIBLIOGRAFÍA EXPERIMENTALES

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTURO

4.1. CONCLUSIONES

En conocimiento de que las patologías cardiovasculares tienen origen multifactorial, la presente tesis se orientó al estudio del ruido generado por aviones militares y los equipos de mantenimiento y su efecto en las variaciones cardiovasculares y psicoacústicas, en una concepción no auditiva, considerando la propagación de la presión sonora y su impacto directo en el cuerpo humano, como vía para inducir los cambios que dan origen a patologías cardíacas.

Desde el punto de vista del manejo de la teoría, la presente tesis constituye un aporte al campo científico desde dos perspectivas: la primera, la conforma un cuadro referencial del estado del arte; la segunda, ofrece la posibilidad de seguir indagando en nuevos temas con base en interrogantes generadas a partir de la argumentación.

Los resultados experimentales para cada variable estudiada se concluyen separadamente en los siguientes aspectos:

4.1.1. VARIABLE RUIDO

- Los procedimientos de medida convenidos por la FAA y las normas ISO permitieron evaluar el ruido en cada una de las fuentes generadoras. El método de muestreo con el uso de sonómetros permitió caracterizar cada ambiente de trabajo, con las particularidades de cada grupo, diferenciando a través del análisis de frecuencia, las emisiones de ruido de los equipos de mantenimiento y de las respectivas naves, así como los índices del nivel de ruido continuo equivalente, nivel pico, niveles estadísticos y niveles de presión sonora.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- El método de todo el día, utilizando dosímetros permitió medir la percepción de los sujetos, siendo este el indicado frente a las diversas fuentes de ruido, la variación del tiempo de las actividades de trabajo y la movilidad de los sujetos.
- Se aplicó la metodología normada en ISO 9612, con el procedimiento de todo el día para el cálculo de incertidumbre, estimándose:
 - 1) Incertidumbre de energía promediada (u_1), para evaluar las variables que inciden durante el proceso de medida y cuantificar su contribución
 - 2) Incertidumbre asociada o combinada (u), para observar la desviación de los datos
 - 3) Incertidumbre expandida (U), para el establecimiento de los rangos entre los cuales se comporta la variable del fenómeno ruido

El enfoque es el estadístico; por lo tanto, se correspondió con una evaluación tipo A. Adicionalmente, por ser el número de observaciones limitadas (3 en cada fuente), se calculó la desviación típica para caracterizar mejor la dispersión, empleando, en este caso, la fórmula propuesta en el documento GUM. De este modo se dio validez a los datos recopilados y encontrando gran similitud a medidas realizadas en ambientes aeroportuarios por otros investigadores.

- De acuerdo a la estrategia de medida por muestreo se concluye:
 - 1) En áreas internas:
 - a) Dentro de las habitaciones: para los grupos Caza 12 y Core 4, se comprobó la carencia de confort acústico requerido para las horas de descanso. Aunado a esto, los sujetos no llevan protectores auditivos, por lo que es más factible la perturbación del sueño. Las áreas administrativas presentan un aislamiento acústico que permite realizar trabajos sin interrupciones. En casos extremos, el tiempo de perturbación acústica depende de la condición y ubicación de la nave.

b) Dentro del hangar: tanto para el grupo Caza 12, como para el grupo Core 4, indistintamente de los equipos y las operaciones de mantenimiento, el patrón representado en el análisis de frecuencias presentó similitud. Los valores comprendidos entre 16 y 125 Hz, oscilaron entre 115 y 95 dB, respectivamente. La diferencia reside cuando realizan ensayos con turbina desmontada del avión VF-5, cuyos valores oscilan entre 135 y 115 dB, para esas mismas frecuencias.

2) En pista próxima:

a) El análisis de frecuencia reveló que las emisiones de las plantas Hobart para cada nave, presentan el mismo patrón, con valores que decrecen desde la frecuencia de 16 Hz hasta 1000 Hz. La diferencia en la cuantificación del valor depende del requerimiento de la nave, siendo mayor para los aviones tipo caza. En las frecuencias comprendidas entre 16 y 125 Hz, el registro osciló entre 145 a 95 dB.

b) Los valores registrados dentro de la cabina de cada una de las aeronaves fue diferente. Para los aviones caza, cuya cabina es presurizada, se midió un Leq de 82.6 dB. Sin embargo, para el avión turbo hélice M2, el valor osciló en 104.7 dB, cuando el torque es de 70. Es de hacer notar que las diferencias de torque para el motor pueden variar el valor del Leq. Caso similar ocurre en los helicópteros; en el Bell 206, el Leq es de 109.2 dB, para disminuir a 100 dB, cuando la velocidad del rotor es mínima. Para el Bell 412, el Leq es de 107.6 y 100.5 dB en máxima y mínima velocidad respectivamente. Se observó que los valores son elevados en todas las naves, incluidos los aviones caza cuando la cabina permanece abierta.

c) El análisis de frecuencia durante las operaciones de calentamiento de los motores denotó una caracterización sonora,

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

donde las bajas frecuencias comprendidas entre 16 y 250 Hz, registraron valores elevados de ruido.

- El análisis comparativo durante las operaciones previas al vuelo y la recarga de batería para cada nave, mostró dos aspectos: 1) un comportamiento sonoro similar para las bajas y medias frecuencias, en valores que oscilan entre 85 y 95 dB(A); y 2) para las altas frecuencias un descenso significativo entre 50 y 55 dB(A), para las emisiones requeridas por naves turbo hélice, que en el resto de las naves no se observó.
- El análisis de frecuencia durante las fases de operaciones de vuelo de cada nave reportó lo siguiente:
 - 1) Las frecuencias de 16 a 250 Hz, los valores pueden ser catalogados de perjudiciales al oscilar estos entre 135 y 100 dB.
 - 2) Durante la operación de despegue, los aviones M28 pueden variar el torque del motor, desde un mínimo 40 hasta 90, modificando el Leq desde 100 dB hasta 104 dB, significando una duplicación de energía.
 - 3) Durante las operaciones de despegue entre las naves tipo caza VF5 y F16, no se registraron diferencias significativas, alcanzando valores de un Leq entre 104 y 105 dB y valores pico de 121 dB.
 - 4) En velocidades óptimas de despegue para cada nave, las medidas son similares para un Leq entre 103 y 105 dB y valores pico entre 120 y 123 dB.
 - 5) La percepción subjetiva de los sujetos coincidió con el estimado en la diferencia entre los percentiles L_{10} y L_{90} , cuando se ha catalogado a los ruidos fluctuantes como más molestos en comparación con uno constante, estando asociado el primero al M28 y el segundo al F-16, dependiendo en gran medida de las funciones conjuntas de los sujetos y los aviones.
- La valoración de todo el día de medida resaltó lo siguiente:

- 1) Durante un evento de vuelo, los sujetos de línea de vuelos de los grupos Caza 12; 16 y Core 4, perciben un Leq de 99.2; 104.5 y 94 dB, respectivamente. Con respecto al Leq promedio normalizado para una jornada de 8 horas, se estimó en 97.5; 116.6 y 95 dB respectivamente. Esto permitió observar . incrementos que duplican la energía para el grupo Caza 16.
- 2) Frente a las diferencias de cabina presurizada en F16, y no presurizada en avión M28, existió una notable diferencia entre los pilotos y la dosis que acumulan, siendo de un 200% para los primeros y un 450% de dosis proyectada para los segundos.
- 3) La opinión de tripulantes y personal de mantenimiento indicó que las operaciones de despegue y aterrizaje son las más molestas, coincidiendo con los elevados valores experimentales medidos, sintiendo en todos los casos la sensación de resonancia en su corazón.

La generación de ruido en diversos ambientes aeromilitares ha sido caracterizada por la predominancia de bajas frecuencias en valores que superan los 100 dB, al igual que todos los indicadores de análisis de ruido. Por lo que se determina que la presión sonora de las frecuencias comprendidas entre 16 y 250 Hz puede ser perjudicial al impactar en el cuerpo.

4.1.2. VARIABLE CARDIACA

Las mediciones cardiacas se efectuaron a través de dos técnicas no invasivas: a) el electrocardiograma, convenido a la norma internacional para aviación JAR-FCL 3.130, respondiendo a un examen estándar de doce pistas, representadas en las siglas identificadas como derivaciones axiales: DI; DII; DIII, derivaciones aumentadas: aVR; aVL; aVF; y derivaciones precordiales V1; V2; V3; V4; V5; V6 y b) el eco cardiograma que combinó los modos: M, Bidimensional y doppler, en procedimiento según protocolo ecocardiografico de la *American Society of Echocardiography*, (ASE), con indicadores que señalaron los aspectos de anatomía y fisiología cardiaca. Estas mediciones mostraron los siguientes hallazgos:

- Electrocardiograma
 - 1) El 100% de los sujetos presentó ritmo sinusal normal, significando que el origen del impulso nervioso es en el nodo senoauricular.
 - 2) Los índices de frecuencia cardíaca, segmento PR, complejo QRS, e intervalo QT, presentaron variaciones dentro de los rangos normales, para los grupos Caza 12 y 16, con tendencia a un 60% de sujetos al límite inferior. Sin embargo, las variaciones del grupo Core 4 se encuentran fuera de los rangos de normalidad, evidenciadas por un lado en la frecuencia cardíaca para un 30% de sujetos, en límites de 48 y 100 lpm, y, por el otro, un 55% con el vector eje del corazón, fuera del óptimo, con sujetos que tienden a la horizontalidad o verticalización. Se cuantificó un 36% con prolongación del segmento PR y del segmento QT, coincidiendo con los que presentan la frecuencia cardíaca más baja, lo que indica una tendencia a la presentación de arritmias letales.

- Ecocardiograma
 - 1) Las variables que definen la geometría cardíaca, en las medidas correspondientes a diámetro diastólico y sistólico del ventrículo izquierdo, la pared posterior, el septum, la aurícula izquierda, la aorta y el ventrículo derecho, presentaron las siguientes variaciones según el grupo:
 - a) El 32% de sujetos del grupo Core 4 y 18% del grupo Caza 12 presentaron dimensiones geométricas, con tendencia a los límites superiores y con engrosamiento en tipo leve.
 - b) Del grupo Caza 16, el 12% de sujetos presentó para la aurícula izquierda un valor por debajo del límite inferior, similar a la imagen eco de pérdida de fibra y en el resto de los grupos la tendencia es al límite inferior.
 - c) Para un 72% del total de sujetos estudiados, las membranas pericárdicas se observaron con engrosamientos superiores a 2.5 mm. Adicionalmente, se observó derrame de líquido

pericárdico, dentro de los parámetros de leve y una imagen eco cardiográfica de brillo.

- 2) Las variables que definen la hemodinamica cardiaca se estudiaron por el funcionamiento del ventrículo izquierdo, desde el conjunto de índices que evalúan la función sistólica y la función diastólica. A partir de allí, se concluyó lo siguiente:
 - a) Los índices de la función sistólica del ventrículo izquierdo reportaron medidas opuestas según los grupos: a) para los grupos Caza con tendencia a la sobrevaloración de la fracción de eyección y b) el grupo Core 4, con tendencia a la subestimación de la misma.
 - b) Los valores de diámetro aórtico para los tres grupos están dentro del rango de normalidad con preferencia a la media aritmética, se relaciona con una valoración de tensión arterial normal con tendencia al valor 12/8 mmHg y 11/7, lo que clínicamente es óptimo.
 - c) Los índices de la función diastólica de ventrículo izquierdo indican la existencia del deterioro, señalada por la tendencia inapropiada de la relajación ventricular (onda E), del flujo transmitral (relaciónE/A), por la disminución del tiempo de desaceleración (TD), y el aumento del tiempo pico para alcanzar la velocidad en arteria pulmonar.
 - d) Existe la posibilidad de que la interdependencia interventricular esté altamente influenciada a partir de las variaciones en el grosor del pericardio, afectando visiblemente la función diastólica, a partir de un efecto sonoro como el estudiado.

4.1.3. VARIABLE PSICOACÚSTICA

La relación psicoacústica se valoró a través de encuestas y entrevistas que determinaron el comportamiento cognitivo circunscrito a la atención y la memoria y al aspecto psicofisiológico del sueño.

- Ruido - Perturbación del sueño:
 - 1) El ruido generado por las aeronaves militares perturba el sueño de los sujetos, notándose que el grupo de mantenimiento es el que manifestó mayor grado de molestia.
 - 2) En el estimado de volver a dormir con las interrupciones producidas por el ruido de aviones, la sensación del día siguiente es de mayor fatiga. En el caso de efectuar misiones nocturnas en grupos de sujetos de los aviones caza, la política del comando es el descanso obligatorio continuo al término de la misión, incluyendo las horas diurnas para el descanso.

- Ruido – Atención
 - 1) El ruido generado en ambientes aeromilitares no actúa como distractor para otras actividades que pueden realizar tanto pilotos como personal de mantenimiento. A pesar de la fuerte emisión sonora por las diversas fuentes en el área de trabajo, los sujetos no pierden la atención sobre el trabajo que realizan.
 - 2) En presencia de ruido, mantienen la capacidad de atender a dos o más tareas, esta faceta es fundamental en los pilotos de helicópteros y del avión M 28, que respondieron que durante la actividad de vuelo, el ruido generado les indica condición operativa de la nave.
 - 3) El mantener la atención a expensas de los ruidos a su alrededor significa un esfuerzo mayor que lo notan en aumento de fatiga.

- Ruido – Memoria
 - 1) Los pilotos y personal de mantenimiento, expuestos a ruidos de aviones ya sean de tipo turbo, turbo hélice y sus equipos de mantenimiento, no les afectó en sus procesos de memoria espacial, visual, y largo plazo. Sin embargo, se adhieren al protocolo de revisar los manuales respectivos para cada una de las tareas que les corresponde realizar.

Del resultado de las conclusiones parciales y en concordancia con la hipótesis de trabajo formulada en esta investigación, se concluye:

El ruido generado por aeronaves militares, caracterizados por valores que oscilan entre 100 y 130 dB, en bajas frecuencias comprendidas entre 16 y 250 Hz, del espectro audible, pueden actuar como una presión sonora cuya propagación incide sobre el cuerpo de sujetos expuestos, en analogía de un trauma cerrado, siendo un riesgo para la salud cardiaca. Epidemiológicamente puede ser capaz de actuar como agente etiológico, al generar, por efectos de resonancia, el roce de membranas, induciendo el engrosamiento de las mismas y el derrame de líquido pericárdico. Esta situación provoca efectos constrictivos que afectan el funcionamiento cardiaco, correlacionados con la función diastólica. Dichos efectos resultan asintomáticos para los sujetos en una primera fase, sin que la fracción de eyección se vea comprometida y siendo este parámetro el indicador considerado por la medicina aeronáutica. Además, la fatiga que se produce por el esfuerzo para mantener la atención y el desgaste generado por la alteración del sueño, pueden contribuir al desgaste cardiaco. Las variaciones en la frecuencia cardiaca no están correlacionadas con las variaciones observadas en las membranas pericárdicas, manteniendo intacto el nodo auricular como origen del impulso eléctrico en el corazón.

4.2. APORTACIONES

El presente trabajo aporta a la comunidad científica el efecto y riesgo que significa la exposición a ruidos generados por aeronaves militares, contribuyendo así con la solicitud de la Organización Mundial para la Salud (WHO/OMS), de estimar las causas de riesgo para las patologías cardiacas.

El manejo experimental de las tres variables de investigación para cada uno de los grupos de sujetos estudiados, permite presentar los siguientes aportes:

1. La recopilación de fuentes bibliográficas relacionadas a la presente investigación

2. La caracterización sonora de un ambiente aeromilitar, con la recopilación de los datos experimentales generados por diversos aeronaves militares y sus equipos de mantenimiento, durante jornadas de trabajo en términos de tiempo de exposición real
3. La aplicación conjunta de las técnicas no invasivas para el estudio de la variable cardíaca. Este procedimiento permitió un reconocimiento inmediato, presentando un estudio clínico cardiovascular de los sujetos catalogados como sanos, que se correlaciona con la exposición al ruido de los aviones militares.
4. Exposición de datos inéditos que valoran la hemodinámica cardiovascular de sujetos sanos, expuestos a ruidos de aeronaves militares y que se contrastan con parámetros establecidos en medicina aeronáutica
5. Determinación de los ruidos generados por aeronaves militares, como agente etiológico para inducir pericarditis
6. Promoción del índice del tiempo de desaceleración y el tiempo pico en arteria pulmonar como predictores, en sujetos sanos en riesgo de afectación por exposición a altos valores de ruido, siendo éste un valor que puede ser incluido como parámetro de diagnóstico en la medicina aeronáutica
7. En el campo de la psicoacústica, la relación existente entre el incremento de fatiga y las alteraciones cardíacas, inducidas por los ruidos de aeronaves militares

4.3. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Las líneas de trabajo a futuro se abren en un amplio campo dentro del área de la aeronáutica militar. Asimismo, se puede proyectar para el campo de la aviación civil y en analogía a áreas de trabajo industrial, verificando las condiciones cardiovasculares en sujetos expuestos a ruidos en términos

industriales. Por lo tanto, las aéreas temáticas futuras que se proponen son las siguientes:

4.3.1. ÁREA: FISIOLÓGÍA CARDIOVASCULAR

En la relación de los efectos del ruido, se podrían estudiar las condiciones cardiovasculares con otras variables como las medidas antropométricas, que contribuyan a crear modelos matemáticos, del cual se deriven estudios de masa corporal y capacidad de atenuación en el cuerpo, con posibilidad de aplicación médica.

Continuar estudios longitudinales con la misma muestra de sujetos, a fin de establecer la secuencia de hechos y desviaciones cardiológicas.

Trasladar esta metodología para caracterizar otros tipos de aeronaves militares y comparar sus emisiones con la variable cardiaca de sus tripulaciones.

En el campo de la valoración de la técnica ecocardiográfica, podría indagarse con respecto a indicadores que permitan predecir eventos cardiacos antes de la instalación de la sintomatología patológica.

En el campo de la farmacología, los estudios podrían generar estimaciones con respecto a medicamentos cuyos efectos mediados en corazón, puedan contrarrestar los efectos iniciales del impacto sonoro.

En el campo de la biología celular, los estudios pueden estar orientados a cotejar los impactos que las bajas frecuencias de sonido generados por aeronaves militares, puedan ocasionar en los cambios metabólicos de las células cardiacas sanas.

4.3.2. ÁREA: RUIDO OCUPACIONAL

Trasladar las aéreas temáticas anteriores, al impacto de ruido ocupacional pero a nivel industrial, generando otro grupo de líneas de investigación, que dependerán de las características ocupacionales.

4.3.3. ÁREA: DE LA JURISPRUDENCIA

Recopilar datos que contribuyan a sustentar el cambio en las bases de la medicina aeronáutica, en donde no se considera al ruido de los aviones como causal de patologías cardiacas. Igualmente, para contribuir de manera científica a la concepción del ruido como factor de riesgo en impactos corporales, que en la actualidad rige exclusivamente en normas internacionales de trabajo, en valores criterio para impacto auditivo.

4.3.4. ÁREA: TECNOLÓGICA

En la creación e innovación de protectores contra un impacto del ruido en el cuerpo, requiriendo para ello, la utilización de datos antropométricos, tipos de materiales, aplicación práctica, coeficientes de absorción, estandarización de impactos sonoros y demás variables que contribuyan a la generación de modelos.

BIBLIOGRAFÍA

- [Abhayanatha, W. et al 2006] Abhayanatha, W. Seward, J. Appleton, C. Douglas, P. Oh, J. Tajik, J. Tsang, T. (2006) *Left atrial size physiologic determinants and clinical applications*. J. Am. Coll Cardiol. 2006. 47:2357-2363.
- [ACC/AHA 2008] American College of Cardiology/American Heart Association *Guidelines for the Management of Adults With Congenital Heart Disease*. Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines on the Management of Adults With Congenital Heart Disease) Developed in Collaboration With the American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, International Society for Adult Congenital Heart Disease, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons
- [Adswar, J. 2006] Adswar, J. (2006) *Conocimiento teórico para la licenciatura de piloto privado. Factores humanos*. Desarrollo de Silabus Oficial de los Requisitos Conjuntos de Aviación (JAR). Editorial Paraninfo Thomson Learning 2º edición actualizada. p 131
- [AHA 2002] American Heart Association (2002) *Overview of inheritance*. Disponible on line. <http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=304779>
- [AHA 2009] American Heart Association (2009) *Myocardial ischemia injury and infarction* Disponible on line. <http://www.americanheart.org/presenter.html>
- [Alves et al 2005] Alves, M. Joanaz de Melo, Nuno, A. Castelo B. (2005) *Pericardial biomechanical adaptation to low frequency noise stress. Recent advances in multidisciplinary*. Applied physics. Pp. 363—367
- [Alves et al 2007] Alves, M. Nuno, A. Castelo B, (2007) *Vibroacoustic disease biological effects of infrasound and low frequency noise explained by mechanotransduction cellular signaling*. Progress in biophysics and molecular biology. January-April 93 (1-3): 256-279
- [Andrén 1982] Andrén, L. (1982) *Cardiovascular effects of noise*. Acta Med Scand Suppl. 1982; 657:1-45.

BIBLIOGRAFÍA

- [Andrén; et al 1979] Andrén L, Hansson L, Björkman M, Jonsson A, Borg KO. (1979) *Hemodynamic and hormonal changes induced by noise*. Acta Med Scand Suppl. 1979; 625:13-8.
- [Andrén; et al 1982] Andrén L, Lindstedt G, Björkman M, Borg KO, Hansson L. (1982) *Effect of noise on blood pressure and 'stress' hormones*. Clin Sci (Lond) 1982 Feb; 62(2):137-41.
- [Andrén; et al 1983] Andrén L, Hansson L, Eggertsen R, Hedner T, Karlberg BE. (1983) *Circulatory effects of noise*. Acta Med Scand 1983; 213(1): 31-5.
- [Aron y Hertzeanu 1988] Aron, L. Hertzeanu, H. (1988). *Prolonged PR interval associated with an abnormal frontal plane QRS axis as an electrocardiographic criterion of left ventricular function*. International Journal of Cardiology. June 1988. 19 (3); 327-334.
- [ASE 2007] ASE (2007) American Society Echocardiography (2007). ACC/AHA *Guidelines for the clinical application of echocardiography*. Circulation 1997;95; 1686 – 1744.
- [Babisch W 2003] Babisch W. (2003) *Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise*. Journal Noise & Health. 2003, 5 (18);1-11.
- [Baldwin & Mozer 2006] Baldwin, D. Mozer, M. (2006) *Controlling attention with noise: the cue combination model of visual research* http://books.nips.cc/papers/files/nips20/NIPS2007_0351.pdf
- [Bandres & Llavona 1996] Bandres J. Llavona R. (1996) *La psicología aeronáutica en España. Los pioneros (1911-1925)*. Universidad de Vigo. Universidad Complutense. Psicothema 1996 Vol. 8 (3) pp 719-731.
- [Bengtsson B. et al 2004] Bengtsson, B. Persson, K. Kjellberg, A. (2004) *Evaluations of effects due to low frequency noise in low demanding work situation*. Journal of sound and vibration. November 2004. Vol 278 (1-2);83-99
- [Bengtsson, J. 2003] Bengtsson, J. (2003) *Low frequency noise during work on performance and annoyance*. http://www.ryberg.org/Thesis_Bengtsson2003.pdf
- [Beyea, & Nicoll. 1997] Beyea, S. Nicoll, L. (1997) *Qualitative and quantitative approaches to nursing research*. Journal Find Articles.com July 2009.
-

BIBLIOGRAFÍA

- [Blanco I. et al 2007] Blanco, I. Bekda, J. Casari, P. (2007) *Noninvasive, indirect measurment of pulmonary artery*. Arch Bronconeumology. 2007;43:267-71.
- [Bodrov VA. et al 1985]. Bodrov VA, Kupriianov AA, Fedoruk AG, Kharin VV (1985) *Use of flying tests for evaluating functional capabilities of pilots*. Kosm Biol Aviakosm Med. 1985 Jul-Aug;19(4):26-9.
- [Bourne & Yaroush. 2003] Bourne, L. Yaroush, R. (2003) *Stress and cognition: a cognitive psychological perspective*. National Aeronautics and Space Administration. Grand Number NAG2-1561- February 1 2003.
- [Boyd et al 2005] Boyd; Patterson; Thompson. (2005) *Psychological test profiles of USAF pilots before training vs. type aircraft flown* Aviat Space Environ Med. 2005 May;76(5):463-8. USAF School of Aerospace Medicine, Brooks City-Base, TX, USA.
- [Braga da Costa 2006] Braga da Costa, L. (2006) *On borne recent advances in aeroacoustic*. International Journal of Acoustics and Vibration . March vol 11 (1)
- [Brujan, A. 2009] Brujan, A. (2009) *Cardiovascular cavitation*. Medical Engineering & Physics. September 2009. Vol 31 (7); 742-751.
- [Buckberg G. et al 2006] Buckberg, G. Castella, M. Gharid, M. Saleh, S.(2006) *Active myocyte shortening during isovolumetric relaxation phase of diastole is responsible for ventricular suction systolic ventricular filling*. European Journal Cardio Thoracic Surgery. Aprilr 2006 Vol 29 supplement (1); S56-S106
- [Cadwell, J. 2004] Cadwell, J. (2004) *Fatigue in aviation* Travel Medicine and infectious disease. May 2005 Vol 3(2);85-96
- [Caldwell et al 2004] Caldwell JL. Cldwell DL. Brown and Smith (2004) *The effects of 37 h. continuos wakefulness on the physiological arousal, cognitive performance, self-reported mood and simulator flight performance of F117A pilots*. Published in Military Psychology January 2004, 16 (3): 163-181.
- [Carretta and Ree 1996] Carretta TR, Ree MJ (1996) *Air Force pilot selection tests: what is measured and what is predictive?*. Aviat Space Environ Med. 1996 Mar; 67(3):279-83.S.
- [Castanedo, F. 1984] Castanedo, F. (1984). *Manual de electro cardiografía clínica*. Ediciones CECSA. Compañía editorial Continental SA. México.

BIBLIOGRAFÍA

- [Castelo et al 1998] Castelo B; Rodriguez Lopez; Alves Pereira; Jones Davic (1998) *The vibroacoustic disease some forensic aspects* I Simposio Iberoamericano de acústica. Lisboa. Sociedad Española de Acústica SEA
- [Cerisano G. et al 2001] Cerisano G, Bolognese L, Buonamici P, Valenti R, Carraba N, Dovellini E, Pucci P, Santoro G, Antonucci D. (2001). *Prognostic implications of restrictive left ventricular filling in reperfused anterior acute myocardial infarction*. J Am Coll. Cardiol 37 (3); 793-799
- [Certanec & Rojas 2000] Certanec B & reyes J (2000) *Exposición a ruidos y vibraciones de aviones. Conceptos básicos de la fisiología de la aviación*. Disponible online <http://cmae.fach.cl/docum/ruidos.pdf>
- [Clark C. et al 2006] Clark, C. Martin, R. Van Kempen, E. Alfred, T. Head, J. Davies, HW. Haines, MN. López, B. Matheson, M. Stansfeld, S. (2006). *Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project*. Am. J Epidemiol. 2006 Jan 1:163 (1) : 27-37 epub 2005. nov 23.
- [Col & Castelo 2001] Col, N. Castelo B. (2001) *Low frequency noise: a major risk factor in military operations*. Symposium on Ageing Mechanisms and Control. Part A: Developments in Computational Aero-and-hydro Acoustics. Held in Manchester, UK 8-11 October 2001. Published in RTO_MP-079 (1)
- [Coleman, M. E. 2006] Coleman, M. E. (2006) *What the journal of electrocardiology can do for electrocardiogram technologist: an electrocardiogram technologist's perspective*. Journal Electrocardiol 39 (2006): 3-6.
- [CORE 4 1999] CORE 4 - Grupo de Apoyo Aéreo (1999) M28 airplane flight manual. Section 2 Maintenance Manual and P&WC Bulletin SB N° 1304. Limitations . 2.37.3. Noise level. 04.07.1999: 2-19.
- [Corke & Nagib 1979] Corke TC.& Nagib HM. (1979) *Large signal to noise technique for unsteady pressure measurement*. Journal AIAA. Jan. 17; 114
- [De Maria & Blanchard 1999] De Maria & Blanchard (1999) **The Hemodynamic basic of diastology**. J. Am. Coll. Cardiol 34:6;1659-62
- [Diaz O. et al 2004] Díaz, O. Puchol, A. Almendral, J. Torrecilla, E. Arenal, A. Martinez, M. (2004) *Predictors of in hospital ventricular fibrillation on torsadas*
-

BIBLIOGRAFÍA

- de points in patients with acute symptomatic bradycardia.* Journal Electrocardiology. January 2004. 37 (1):55.60
- [Dieter, H. 1990] Dieter Hansen (1990) *La psicología en los ejércitos europeos.* Bloque OTAN. Papeles del Psicólogo. Noviembre N° 46 y 47. 1990.
- [Doss, A. & Kamery, R. 2006] Doss, A. y Kamery, R. (2006). *Investigation aviation personnel perceptions of airline fatigue examining pearson correlations coeficient outcomes.* Proceedings. Academy of Legal, Ethical and Regulatory Issues. Allied Ademies. International Conference. Reno Nevada October 19-21: 2006
- [FAA 1985] Federal Aviation Administration (1985) *Aviation Noise Effects.* U.S. Department of Commerce. National Technical Information Service. Washington, DC.
- [FAA 2002]] Federal Aviation Administration . *Noise Certification Standards for Subsonic Jet Airplanes and Subsonic Transport Category Large Airplanes* Department of Transportation 14 CFR Parts 21 and 36. Docket No. FAA-2000-7587; Amendment Nos. 21-81 and 36-24. RIN 2120-AH03.
- [FAA 2005] Federal Aviation Administration, *Airports noise compatibility planning.* Department of transportation. Aeronautics and space. Chapter I –. Subchapter I – Airports. Part 150. 14 CFR. Appendix A to part 150.3 and 150.5.
- [FAA 2005(a)] Federal Aviation Administration *Regulation.* Title 14 aeronautics and space, Sec. 36.101. Part 36 Noise Standards: Aircraft type and airworthiness certification. Subpart B--[Noise Measurement and Evaluation].
- [FAA 2005(b)] Federal Aviation Administration Regulation. Sec. 36.11. Part 36 Noise Standards: Aircraft type and airworthiness certification Subparte a [Acoustical change helicopters].
- [FAA 2009] Federal Aviation Administration. (2009) *Aircraft noise level, for certificated. Estimated maximum A-weighted sound levels measured* in accordance with part 36 appendix AC36-3H. August 31-2009
- [Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 12, 2006] Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 12. (2006). Datos geoespaciales de la Base Aérea Vicente Landaeta Gil de Barquisimeto.
- [Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 16, 2004] Fuerza Aérea Venezolana. Grupo Caza 16. (2004). TO VE1 F-16^a-1. *Flight Manual FAV series F-16 A/B,* Block 15
-

BIBLIOGRAFÍA

- Aircraft. Lockheed Martín Corporation. F33657-82-C-2120. F42620-97-D.0010. 15 September 2004.
- [Girod G. et al 2002] Girod, G. Juassi, A. Rosset, C. Werra, P. Hirt, F. Kappenberger, L. (2002) *Cavitation versus degassing: in vitro study of the microbubble phenomenon observed during echocardiography in patients with mechanical prosthetic cardiac valves*, *Echocardiography* 19 (2002), pp. 531–536
- [Goldhaber S.1983] Goldhaber, S. (1983) *Cardiovascular effects of potential occupational hazards* J. Am Coll Cardiol Dec;2 (6): 1210-5
- [González J. et al 2005] González, J. Garcia, I. Gallardo, O. Tarrero, A. Martin, M. Quiroz, S. Machimbarrera (2005) *Aplicación del método MEC-Acoplamiento para determinar la influencia de obstáculos en la propagación del sonido en exteriores*. Tecniacústica Terrassa 2005.
- [Guzmán F. 2000] Guzmán, Fernando (2000). *Falla cardiaca congestiva. fisiopatología y opciones terapéuticas – revisión*. Disponible online www.medspain.com/ant/n14_jul00/FallaCardiaca.htm
- [Hancock W. et al 2009] Hancock W, Deal B, Mirvis D, Okin P, Kligfield P, Gettes L (2009) *AHA/ACCF/HRS Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram: Part V: Electrocardiogram Changes Associated With Cardiac Chamber Hypertrophy A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology*. *Journal of the American College of Cardiology*, Volume 53, Issue 11, 17 March 2009, Pages 992-1002
- [Hankins M 2007] Hankins, M. (2007) *Questionnaire discrimination: (re) – introducing coefficient δ* . Disponible on line <http://www.biomedcentral.com/1471-2288/7/19.pdf>
- [Heiman, D. 2003] Heiman, D. (2003) *Influence of meteorological parameters on outdoor noise propagation*. Euronosie 2003 Naples paper ID 113 IP/1-6.
- [Hein L. 2005] Hein, L. (2005) *Fatiga y estrés. Conceptos básicos de fisiología de aviación*. Centro de Medicina aeroespacial. Fuerza Aérea de Chile. Disponible online: <http://cmae.fach.cl/docum/fatiga.pdf>
-

BIBLIOGRAFÍA

- [Hodgdon, K. et al 2008] Hodgdon, K. Nickerson, M. Atchley, A. Gabrielson, T. (2008). *Metric assessment of subjective annoyance due to low frequency aircraft noise*. J. Acoustics. Soc. Am. May Vol 123 (5): 3244.
- [Hoit B 2002] Hoit Brian (2002) *Management of effusive and constrictive pericardial heart disease*. American Heart Association. Journals Circulation 105; 2939-2942.
- [ISO 1996-1] International Organization for Standardization. Acoustics-description and measurement of environmental noise. Part:1 Basic quantities and acoustics procedure description and measurement to environmental noise ISO 1996-1 Ginebra
- [ISO 1996-3] International Organization for Standardization. Acoustics-description and measurement of environmental noise. Part:3 Application to noise limits. ISO 1996-3(E) Ginebra
- [ISO 1999] International Organization for Standardization. Acoustics-Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. ISO 1999:1990 (E) Ginebra ISO 1990.
- [ISO/FDIS 9612] International Organization for Standardization. Acoustics-Determination of occupational noise exposure-Engineering method. ISO 9612:2008 Ginebra
- [JAR-FCL3] Ministerio de Fomento. *Requisitos conjuntos de aviación para las licencias de la tripulación de vuelo*. Doc. Secretaria General de transporte. Dirección General de Aviación Civil. (2000). Antecedente OACI Anexo 1 (JAR-FCL) Apéndice 1 subpartes B y C sistema cardiovascular. JAR-FCL serie 3.130-3150. Madrid, España.
- [Jarup L. et al 2005] Jarup L, Dudley ML, Babisch W, Houthuijs D, Swart W, Pershagen G, Bluhm G, Katsouyanni K, Velonakis M, Cadum E, Vigna-Taglianti F; HYENA Consortium. *Hypertension and Exposure to Noise near Airports (HYENA): study design and noise exposure assessment*. Environ Health Perspect. 2005 Nov; 113(11):1473-8.
- [JCGH 100:2008] GUM 1995 whit minor corrections. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Disponible on line. www.bipm.org/utis/common/documents/bimp.org/en/publications/guides/gum.

BIBLIOGRAFÍA

- [JCGH 101:2008] JCGH 101 (2008) Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement. Propagation of distribution using a Monte Carlo method. Disponible on line. www.bipm.org/utis/common/documents/bipm.org/en/publications/guides/gum.html
- [Job, A. et al 2007] Job, A. Raynal, M. Kossowski, M. (2007) *Susteptibility to tinnitus revealed at 2Khz. Range by lateral lower DPOAES in normal hearing subjects whith noise exposure*. Audiology. Neurotology Vol 12 (3) 2007; 137-144 paper.
- [Johansen, P. 2004] Johansen, P. (2004) *Mechanical heart valve cavitation*, Exp Rev Med Dev 1 (1); 95–104
- [Joseph C. et al 2000] Joseph, C. Aravindakshan, Vyawahare (2000) *Non-auditory of effects of noise: psychological task performance*. Aerospace Med. 44 (1); 49-56
- [Jun S, et al 2008] Jun Sugawara, Koichiro Hayashi, Takashi Yokoi, and Hirofumi Tanaka (2008) *Age-Associated Elongation of the Ascending Aorta in Adults*. Coll. Cardiol. Img., November 2008; 1: 739 - 748.
- [Kamp O. 2006] Kamp O. (2006) *Advanced systole and diastole function: Beyond the E and A wave*. Seminars in cardiothoracic and vascular anesthesia. 2006;10:63 . DOI 10.1177/ 108925320601000111
- [Kilicaslan F. et al 2007] Kilicaslan, F. Kirilmaz, A. Bayturan, O. Ulsoy, E. Uz, O. (2009) *Dincturk Indeterminate QRS axis in a patiente whith hypertophic cardiomyopathy*. Cardiology. January 2007. 114 (1) E5-E6. Letter to the editor.
- [Kim M. et al 2008] Kim, M. Roh, S. Know, H. Paik, KC. Rhee, MY. Jeong, JY. Lim, MH: Koo, MJ: Kim, CH. Kim, HY. (2008) *Study on the health status of the residents near military airbasese in Pyeongtack city*. Journal Prev. Med. Public. Health 2008 Sep 41 (5): 307-314.
- [Knutti, K. 1991] Knutti, K. (1991). *The concept of activity as a basic unit of CSCW research*. Proceedings of themsecond European conference on computer. Supported cooperative work. Bannon L, Robinson M, & Schmidt K (editors) Septiembre 25-27-1991 Amsterdam-249-264- <http://www.ecscw.org/1991/19.pdf>.
- [Krabé D. 2008] Krabé, D. (2008) *Why is sharps-limited low frecuency noise extremely annoying*. Acoustics 08. Paris. <http://www.acoustics08.paris.org>.
-

BIBLIOGRAFÍA

- [Kuronen P. 2004] Kuronen P: (2004) *Military aviation noise. Noise induced hearing impairment and noise protection*. Acta Médica. Department of otorhinolaryngology. University of Oulu. Headquarters of the Finnish Defence Force. <http://herkules.oulu.fi/isbn9514274261/isbn9514274261.pdf>
- [Lang, R. et al 2005] Lang, R. Bierig, M. Devereux, R. Flachskampf, F. Foster, E. Pellikka, P. Picard, M. Roman, M. Seward, J. Shanewise, J. Solomon, S. Spencer, K. Sutton, J. Stewart, W. (2005) *Guidelines. Recommendations for chamber quantification*. Euro J Echocardiography (2006) 7; 79-108.
- [Leino TK. et al 1999] Leino, TK. Leppäluoto, J. Ruukonen, A. Kuronen, P. (1999). *Neuroendocrine responses and psychomotor test results in subjects participating in military pilot selection*. Department of Physiology, University of Oulu, Finland. Aviat Space Environ Med. 1999 Jun; 70(6): 571-6.
- [Leong & Austin 2005] Leong, F. Austin, J. (2005) *The psychology research handbook*. Editors. Goddard R III, Villanova P. Designing surveys and questionnaires for research cap. 8: 114. Lounsbury J, Gibson L, Saudargas R. Scale Development. cap 9. 125. Second edition Sage.
- [Levanthace G. 2007] Levanthace G. (2007) What is infrasound. *Progress in biophysics and molecular biology*. January-April 23 (1-3);130-137.
- [Levy D. et al 1990] Levy D, Labib S, Anderson K, Christiansen J, Kannel W, Castelli W.(1990) *Determinants of sensitivity and specificity of electrocardiographic criteria for left ventricular hypertrophy*. Circulation. 81 (3): 815-820.
- [Levy D. et al 1999] Levy, D. Child, J. Rambod, E. Gharid, M. Milo, S. Reisner, Sh. (1999) *Microbubbles and mitral valve prostheses – transesophageal echocardiographic evaluation*. European Journal of Ultrasound. September 1999. Vol 10 (1); 31-40.
- [Liu YM. et al 2007], Liu, YM. Lai, JM. Xiao, QH. XiaoLW. Yang ZY. Luo XL (2007) *Effects of occupational noise exposure on norepinephrine in peripheral blood and cardiovascular system*. Res. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 2007 Apr; 25 (4): 227-9.
- [Longtin A. et al 2003] Longtin, A. Laing, C. Chacron, M. (2003) *Correlations and memory y neurodynamical systems*. Cap del libro: lecture Notes in Physics. Pp. 286-308.

BIBLIOGRAFÍA

- [Ludlow & Sixsmith 1999] Ludlow, B. Sixsmith, K. (1999) *Long term effects of military jet aircraft noise exposure during childhood on hearing threshold level*. Noise and Health. Vol 5; 33-39
- [Lunkenheimer P. et al 2004] Lunkenheimer, P. Redman, K. Flrek, J. Fassnachi, U. Cryver, C. Wübbeling, F. Niedere, P. Anderson, R. (2004). *The forces generated within the musculature of the left ventricular wall*. Heart 90 (2); 200-207.
- [Macnee & McCabe. 2006] Macnee, C., McCabe, S. (2006) *Understanding nursing research. Reading and using research in evidence – based practice*. 2^{da} Edition. Ed. Wlumer. Lippincott. Williams & Wilkins. Pp 117
- [Magalhaes & Ferguson. 2001] Magalhaes, M. & Ferguson, N. (2001) *Low frequency airborne sound transmission in buildings. Modal Analysis*. Institute of Sound and Vibration. Technical memorandum N° 864.
- [Mann M. 1999] Mann, M. (1999) *Hearings on pilot fatigue*. Aerospace Technology. National Aeronautics and space administration (NASA). <http://www,hq.nasa.gov/>
- [Marcora & Victoria 2009] Marcora, S. Victoria, W. (2009) *Mental fatigue. Causes perceived physical exhaustion* Live Science Staff 24 feb. 2009.
- [Meadws, A. 2005] Meadws, A. (2005). *Fatigue in continuous and sustained air power operations: review of pharmacologic countermeasures and policy recommendations*. Air Command and Staff College Air University.
- [Milo S. et al 2003] Milo, S. Rambod, E. Gutfinger, Ch. Gharid, M. (2003) *Mitral mechanical heart valves: in vitro studies of their closure vortex and microbubble formation with possible medical implications*. Eur J Cardiothorac Surg 24 (3); 364–370.
- [Ministerio de Fomento 2004] Ministerio de Fomento (2004). *Manual de Medicina Aeronáutica 2004*. Dirección General de Aviación Civil. Serie normativa. Edita Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento. España p 8.
- [Mirabal J. 1998] Mirabal J. (1998) *La Psicología aeronáutica en Iberoamerica: Un Modelo Teorico y su Aplicación*. II Congreso Iberoamericano de Psicología. Madrid 1998.

BIBLIOGRAFÍA

- [Monroe, S. 2008] Monroe, S. (2008) *Modern approaches to conceptualizing and measuring human life stress*. Annual review of clinical psychology. April. 2008 (4): 33-52
- [Munagala VK.et al 2003] Munagala, VK. Jacobsen, S. Mahoney, D. Rodeheffer, R. Bailey, K. Redfield, M. (2003) *Association of newer diastolic function for meter whit age in healthy subjects: A population based study*. J. Am. Soc. Echo. 16: 1049-1056
- [Novak et al 2008] Novak, D. Bucak, T. Miljkovic, D. (2008). *Comparative helicopter noise analysis in static and in flight conditions*. Euronoise Acoustics'08 Paris.
<http://intellange.eu.com/acostics2008/acoustics2008/cdl/data/articles/000347.pdf>
- [OACI 2005] Organización de Aviación Civil Internacional. OACI (2005) *Consideraciones sobre factores humanos en el AIS*. Oficina Regional para Norteamérica, Centro América y el Caribe. Cuarta Reunión del grupo de trabajo de expertos centroamericanos en navegación aérea (CA/ANE/ WG/4).Ciudad de México. México 31 de agosto al 2 de septiembre de 2005.
- [OAIIC 2008] Organización de Aviación Civil Internacional. OACI (2008) Operaciones de Aeronaves. Anexos 1 a 18 en partes I, II y III.
http://www.icao.int/icao/net/anx/spanish/info/annexes_booklet_es.pdf
- [Oh JK et al 1994] Oh JK, Hatie LK, Seward JB, Danielson GK, Shaff HV, Reeder GS, Tajik AJ (1994) *Role of Doppler echocardiography in constrictive pericarditis* . J. Am Coll. Cardiol 23 (1); 154-162
- [OIT 1987] Organización Internacional del Trabajo OIT. (1987) *Seguridad en el medio ambiente de trabajo*: Capítulo II. Medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones) Descripción: (Estudio general) Convenio: C119 Convenio: C148 Recomendación: R118 Recomendación: R156. Documento: Informe III Parte 4B. Sesión de la Conferencia: 73.
- [OMS/WHO] Organización Mundial de la Salud. *Enfermedades Cardiovasculares*. Nota informativa WHO N° 317. Febrero 2007. disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/index.html>
- [Opie LH 2004] Opie LH (2004) *The heart physiology from cell to circulation*. 4ª edition Lippincortt-Williams & Wilkins. Philadelphia, USA. pp 365-366
-

BIBLIOGRAFÍA

- [Oster G. 1973] Oster, G. (1973) *Auditory beats in the brain*. Scientific American 229; 94-102.
- [Pascual F. 1997] Pascual F. (1997) *Aptitudes y la inteligencia Técnica*. Universidad Complutense de Madrid. Psicothema 1997. Vol. 9 (2) pp 441- 455.
- [Pérez S. 2006] Pérez S., J. (2006) *Incapacitación medica a bordo*. Journal Mach 82 (126). Diciembre 2006
- [Pierre & Maguire 2004] Pierre, R. Maguire, D. (2004) *The impact of A-weighting sound pressure level measurement during the evaluation of noise exposure*. Paper. NOISE-CON 2004 Baltimore Maryland.
<http://www.nvtechnologies.com/papers/lfn/The%20Impact%20of%20A-Weighting%20Sound%20Pressure%20Level%20Measurements.pdf>
- [Pita & Pértegas 2002] Pita, F. y Pértegas, D. (2002) *Investigación cuantitativa y cualitativa. Metodología de la investigación*. Res. Cad. Aten. PRIMARIA. (9): 76-78.
- [Prieto G. et al 1991] Prieto G. Carro J. González M. Palenzuela I. Fernandez R. y Borgaz (1991) *Procedimientos psicométricos para la predicción del rendimiento a el aprendizaje del vuelo aeronáutico*. Rev. Papeles del psicologo Junio N° 50 1991.
- [Prince M. 2003] Prince, M. (2003). *Evaluation of the risk of noise-induced hearing loss among unscreened male industrial workers*. J.Acoustc. Soc. Am. Febraury. Vol 113 (2): 871-880.
- [Puente, de la. & Rodriguez 2003] Puente, de la. & Rodriguez (2003) *El ruido derivado del tráfico rodado urbano relación L10 y LAeq. A partir de mediciones reales para horarios diurnos y nocturnos* Tecni-acústica. Bilbao 2003
- [Raichel D. 2006] Raichel D. (2006) *Differences in deeling whith the acoustics of large outdoor and indoor listening spaces*. J, Acoust. Soc. Am. November. Vol 120 (5): 3052.
- [Rautaharju P. et al 2009] Rautaharju, P. Surawicz, B. Gettes, L. (2009) *AHA/ACCF/HRS Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram: Part IV: The ST Segment, T and U Waves, and the QT Interval*. A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical

BIBLIOGRAFÍA

- Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *Journal of the American College of Cardiology*. March 2009. 53 (11) 982-991
- [Recuero, M. 2002] Recuero, M. (2002). *Ruido en aeropuertos*. La actividad aeroportuaria y el medio ambiente. Fundación AENA. Compilador. Editor p. 185 – 221 – 259 – 275 – 304 – 305 – 314.
- [Recuero, M. 2004] Recuero, M (2004) Contaminación acústica. Módulo /7 Universidad Politécnica de Madrid.
- [Reyes G. et al 1993] Reyes del Paso, G. Vila J. y García A. (1993) *Physiological significance of the defense response to intense auditory stimulation: a pharmacological blockade study*. *International Journal of Psychophysiology* Volume 17, Issue 2, July 1994, Pages 181-187.
- [Rhee MY. et al 2008] Rhee, MY. Kim, HY. Roh, SC. Kim, HJ. Kwon, MJ. (2008) *The effects of chronic exposure to aircraft noise on the prevalence of hypertension*. *Hypertension Res*. 2008 April; 31 (4) 641-647.
- [Robson, D. et al 1985] Robson, D. Flaxman, J. Powell, S. Malik, R. Maylew, A. (1985) *Measurement of aortic blood velocity in acute myocardial infarction by doppler ultrasound*. *Intensive Care Med*. May 11 (2):
- [Roelandt & Pozzoli 2001] Roelandt J, & Pozzoli M (2001). *Non –Invasive assessment of left ventricular diastolic (dys) function and filling pressure*. World Heart Federation. Federación Argentina de Cardiología. 2º Virtual Congress of cardiology. September-November.
- [Roman M, et al. 1987] Roman M, Kligfield P, Devereux R. (1987). *Geometric and functional correlates of electrocardiographic repolarization and voltage abnormalities in aortic regurgitation*. *J Am Coll Cardiol*. (9):500.
- [Rosenstock, L. 1998] Rosenstock, L. (1998) *Criteria for a recommended standard: occupational noise exposure*. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH, publication June 1998. 98-126.
- [Ruiz E. et al 2004] Ruiz, E. Mata, J. Rodríguez, S. Fernández, M. Vila, J. (2004) *Non-conscious modulation of cardiac defense by masked phobic pictures*.
-

BIBLIOGRAFÍA

- International Journal of Psychophysiology. Volume 56, Issue 3, June 2005, Pages 271-281.
- [Schussheim A, et al 1998] Schussheim, A. Diamond, J. Jhang, J. Phillips, R. (1998) *Midwall fractional shortening is an independent predictor of left ventricular diastolic dysfunction in asymptomatic patients with systemic hypertension*. The American Journal of Cardiology. November Vol 82 (9); 1056-1059.
- [Sengupta P. et al 2007]. Sengupta, P. Khandheria, B. Korinek, J. Jahangir, A. Yoshifuku, S. Liosevic, Ll. Belohlavek. (2007) *Left ventricular isovolumic flow frequency during sinus and pacerd rhythms*. Journal American College Cardiol 2007: 49; 899-908
- [Shadish & Cook. 2009] Shadish, W. and Cook, T. (2009) *The renaissance of field experimentation in evaluating interventions*. Annual review psychology (50); 607-629. January 2009
- [Shah & Hondeghen 2005] Shah, R. Hondeghem, L. (2005) *Refining detection of drug induced proarrhythmia QT interval TRIaD*. Heart Rhythm July 2005 . 2 (2); 758-772
- [Shakula C. et al 2000] Shakula, C. Pulik, A. Kuzina, L. (2000) *The problema of the pilots profesional health restoration*. Paper The impact of NATO/Multinational Military Missions on health care management. September 2000. Disponible on line. <http://ftp.rta.nato.int/public//PubFullText/RTO/MP/RTO-MP-068///MP-068-10.pdf>
- [Sud, S. et al 2008]. Sud, S. Klein, G. Skanes, A. Gula, L. Yee, R. Krahn, A. (2008) *Predicting the cause of syncope from clinical history in patients undergoing prolonged monitoring*. Rev. Heart Rhythm. February 2008. 6 (2): 238-242
- [Teuteberg J. et al 2006] Teuteberg, J. Lewis, E. Nohria, A. Tsang, S. Fang, J. Givertz, M. Jarcho, J. G. Mudge Baughman, K. Stevenson, L. (2006) *Characteristics of Patients Who Die With Heart Failure and a Low Ejection Fraction in the New Millennium*. Journal Cardiac Failure. February (2006) Vol 12 (1); 47-53
- [Thomann, G. 2007] Thomann, G. (2007) *Uncertainties of measured and calculated aircraft noise and consequences in relation to noise limits*. PhD thesis ETH Zurich N° 17433 noviembre.
-

BIBLIOGRAFÍA

- [Tim J. et al 2008]. Tim, J. Tji-Joong, C. Allaart, C. Gotte, M. Noordegraaf, A. (2008) *Interventricular mechanical asynchrony in pulmonary arterial hypertension, Left-to-Right delay in peak shortening is related to right ventricular overload and left ventricular underfilling*. J.Am. Coll Cardiol 51; 750-757.
- [Tomei F. et al 1996] Tomei, F. Papaleo, B. Baccolo, T. Tomas, E. Alfi, P. Fantini, S. (1996) *Chronic noise exposure and the cardiovascular system in aircraft pilots*. University of Roma La Sapienza. Med. Lav. Sep-Oct. 87 (5) 394-410. Italia.
- [Tomei F. et al 2000] Tomei, F. Baccolo, T. Tomas, E. Fantini, S. Rosati, M. (2000) *Hypertension and chronic exposure to noise*. University of Roma La Sapienza Environ Health Res. 2000.Sep-Oct. 55 (5) 319-325. Italia.
- [Tomei F. et al 2005] Tomei, F. Papaleo, B. Baccolo, T. Tomas, E. De Sis, S. Anzelmo, V. Ciarrocca, H. Cherubini, E. Valentini, V. Capozzella, A. Rosati, M. (2005) *Occupational exposure to noise and hipertensión in pilots*. University of Roma La Sapienza Environ Health Res. Apr. 15 (2) 99-106. Italia.
- [Tvavyanas & Mac Pherson 2009] Tvavyones, AP. Mac Pherson, GD. (2009) *Fatigue in pilots of remotely piloted aircraft before and after shift work adjustment*. Publisher: Aerospace Medical Association, Aviation, Space and environmental medicine. May 80 (5):454-461.
- [US Air Force 1994]. US Air Force (1994) *Draft environmental impact statement July 1994. Disposal and reuse of portions of reickenbacker air national guard base Ohio*. Defense Technical Information Center.
- [Vázquez, C. et al 2003] Vázquez, C. Muñoz, L. Kuri, M. Vargas, J. (2003) *Left ventricular outflow tract obstruction in transposition of the great arteries. Correlation between anatomic and echocardiographic findings*. Rev Esp Cardiol. 2003;56:695-702.
- [Vila J. et al 2007] Vila, J. Guerra, P. Muñoz, M.A. Vico, C. Viedma-del Jesús, M.I. Delgado, L.C. Perakakis, P. Kley, E. Mata, J.L. y Rodríguez, S. (2007) *Cardiac defense: From attention to action*. International Journal of Psychophysiology. Volume 66, Issue 3, December 2007, Pages 169-182.
- [von Gierke 1997] von Gierke H. (1997) *Effects of vibration and shock on people*. Encyclopedia of Acoustics. Edited by Malcolm Croker, Chapter 145 Wiley and Sonn. NewYork.
-

BIBLIOGRAFÍA

- [Weis S. et al 2005] Weis, S. Zimmerman, S. Shad, M. Corelli, J. Omens, J. Ross, J. Dalton, N. Jones, Y. Reed, C. Lozzo, R. Mc Culloch, A. (2005) *A role for decorin in the remodeling of myocardial infarction*. Matrix Biology 24 (1); 313-324.
- [Weisman & Healy. 1987] Weisman, H. Healy, B. (1987) *Miocardial infarct expansion, infarct extension, and reinfarction: Pathophysiologic concepts*. Progress in cardiovascular Diseases. September October. 30 (2); 73-110
- [WHO 1992] World Health Organization (1992) *The environmental health criteria document on community noise*. Düsseldorf. Federal Republic of Germany. http://whqlibdoc.who.int/euro/-1993/EUR_ICP_RUD_163.pdf
- [WHO 1999] World Health Organization (1999). *Guidelines for Community noise*. 4.1 Editado por Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich.. Disponible en www.who.int/docestore/peh/noise/commnoise4.
- [WHO Europe 2005] World Health Organization (2005) *Report on the third meeting on night noise guidelines*. WHO European Centre for environmental and health. Bonn Office. Lisboa Portugal. 26-28 April 2005.
- [WHO, 2001] World Health Organization (2001). *Occupational and community noise*. Disponible en línea. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/en/>
- [Williams L. et al 2006] Williams L, Frenneaux M. (2006). *Diastolic ventricular interaction: from physiology to clinical practice*. Nature Clin Practice Cardiovasc. Med. 3 (7); 368 – 376.
- [Willch S. 2006] Willch, S. (2006) *Noise burden and the risk of myocardial infarction: false interpretation of results due to inadequate treatment of data: replay*. European Heart Journal 2006 27(5) 624 doi 10.1093/eurheart/ehi763.
- [Willch S. et al 2005] Willch S. Wedscheider K. Stallmann M. Keil T. (2005) *Noise burden and the risk of myocardial infarction*. European Heart Journal 2006 27(3) 276:282 doi 10.1093/eurheart/ehi658.
- [Wilson G. et al 2006] Wilson, G. Caldwell, J. Russell, C. (2006) *Performance and psychophysiological measures of fatigue effects on aviation related of varying difficulty*. Airforce research laboratory human. Wright- Peterson AFB, OH 45433-7022 N° 20061128068. Air force research laboratory AFRI-HE-WP-TP-2006-0095

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.dtic.mil/cgibin/GetTRDoc?AD=ADA457616&Location=U2&doc=GetTRDoc>.

- [Wyman et al 2006] Wyman, TalGeva, Girish, Shirali, Frommlt, Humes, Brook, Pignatelli, Rychik. (2006) *Guiderlines and standars for performance of a pediatric echocardiogram: A report from the task force of pediatric council of the Americam Society of Echocardiology*. Vol 10 (12); 1413-1430. Miembros del Comite.
- [Yamada S. et al 2007]. Yamada S, Komuro K, Souma T, Komatsu H, Okada M, Onozuka H, Yonazawa K, Anzai T, MIkami T, Tsutsui H. (2007). *Left ventricular hipertrophy independently affects the index of lu filling presure E/É meuserd by echocardiogrsphy*. Journal Cardiac. Vol 13 (6); S43.
- [Yamamoto et al 2002] Yamamoto, Hidakaichiro, Iso-O Noriko, Kwak. (2002) *Noise induced sensitization of human brain*. Physica A. 314 (1-4) 53-60
- [Zhong & Doshier 1998]. Zhong, L. & Doshier, B. (1998) *External noise distinguishes attention mechanisms*. Visio Research Vol 18 (9); 1183-1198.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO A. DATOS CLIMÁTICOS DE LOS DÍAS DE MEDICIÓN

A. DATOS CLIMÁTICOS DE LOS DÍAS DE MEDICIÓN

ANEXO A. DATOS CLIMÁTICOS DE LOS DÍAS DE MEDICIÓN

Tabla AA.1. Aeropuerto Barquisimeto

Fecha	Nave	T	TM	Tm	PA	W	V	Vm	HR
Enero	VF-5	24.5	29	20	1013	12.1	ESE -10	22.2	55%
Abril	F-16	25.	32	21	1011	11.4	ENE -19	18.3	94%
Abril	F-16	24	30	18	1011	10.9	E-14.3	22.2	73%
Noviemb	Bell 206	25.7	29	18	1007	11.3	E 13	27.8	67 %
	y 412								
Noviemb.	M-28	25.8	31	18	1015	11.4	E 14.3	27.8	63%

FUENTE: Estación Metereológica 804100 (SVBM) latitud : 10.06 . Longitud: 69.31. Altitud: 613 n/m

Leyenda

T	Temperatura media (°C)
TM	Temperatura máxima (°C)
Tm	Temperatura mínima (°C)
PA.	Presión atmosférica (milibares)
W	Visibilidad media (Km)
V	Velocidad del viento (Km/h)
VM	Velocidad máxima sostenida (Km/h)
HR	Humedad relativa promedio

ANEXO B. DATOS EXPERIMENTALES DE DOSIMETRIA PARA CÁLCULO DE
INCERTIDUMBRE

**B. DATOS EXPERIMENTALES DE DOSIMETRIA PARA CÁLCULO
DE INCERTIDUMBRE**

ANEXO B. DATOS EXPERIMENTALES DE DOSIMETRIA PARA CÁLCULO DE
INCERTIDUMBRE

Tabla AB.1. Datos para cálculo de incertidumbre

Valores	Avión VF-5			Avión F16		
	Sujeto	Sujeto	Sujeto	Sujeto	Sujeto	Sujeto
	1	2	3	1	2	3
Horas	4:35	5:21	5:25	5:53	5:45	6:00
Leq (dB)	99.2	97.6	95.2	121	104.4	100.5

LEYENDA

Avión VF-5	Sujeto 1 Línea de vuelo
Avión VF-5	Sujeto 2 Piloto
Avión VF-5	Sujeto 3 Copiloto
Avión F-16	Sujeto 4 Línea de vuelo
Avión F-16	Sujeto 5 Piloto
Avión F-16	Sujeto 6 Piloto

Tabla AB.2. Datos para cálculo de incertidumbre

Valores	Avión M28 operación vuelo			Avión M28 operación en tierra		
	Sujeto	Sujeto	Sujeto	Sujeto	Sujeto	Sujeto
	1	2	3	1	2	3
Horas	2:24	2:24	2:24	7:00	7:00	7:00
Leq (dB)	94.1	96.7	93.3	94.1	85.9	85.3

LEYENDA

Avión M28	Sujeto 1 Piloto
Avión M28	Sujeto 2 Copiloto
Avión M28	Sujeto 3 Tripulante
Avión M28	Sujeto 1 Jefe de taller
Avión M28	Sujeto 2 Jefe de mantenimiento
Avión M28	Sujeto 3 Línea de vuelo

C. DATOS DE REFERENCIA DE NORMALIDAD CARDIACA

ANEXO C. DATOS DE REFERENCIA DE NORMALIDAD CARDIACA

Tabla AC.1. Valores electrocardiográficos

Ritmo	FC	PR	QRS	AQRS	QT
Expresión	lpm	ms	ms	0°	Ms
Sinusal	60 - 75	120 - 210	6 - 12	0° -90°	< 42

LEYENDA

FC	Frecuencia Cardiaca
PR	Intervalo PR
QRS	Complejo QRS
AQRS	Vector QRS
QT	Intervalo QT

Tabla AC.2. Valores ecocardiográficos de referencia

Valores	Intervalo
DDVI: diámetro diastólico ventricular izquierdo. (mm)	42 - 53
DSVI: diámetro sistólico ventricular izquierdo. (mm)	25 - 35
VD: ventrículo derecho. (mm)	17 - 23
Septum.: grosor (SIV), septo interventricular. (mm)	6 - 10
pposterior: pared posterior vi. (mm)	6 - 10
AO: aorta torácica descendente. (mm)	21 - 34
AI: aurícula izquierda. (mm)	30 - 40
FE: fracción de eyección (%)	55 - 70
AC: acortamiento ventricular sistólico (%)	28 - 41
VAo: velocidad en la aorta (m/s)	1.8
E: onda E llenado mitral temprano (m/s)	0.8 - 1.5
A: onda A llenado mitral tardío (m/s)	0.6
AP: velocidad de arteria pulmonar (m/s)	0.9
TAM: tiempo en alcanzar pico de la AP (mili seg.)	120
Pericardio: (grosor entre las membranas). (mm)	2.5 - 3

Fuente: AHA/ASE

ANEXO D. DATOS CON DOSÍMETRO

D. DATOS CON DOSÍMETRO

ANEXO D. DATOS CON DOSIMETRO

Tabla AD .1 Análisis con dosímetro para los sujetos de línea de vuelo

Valores	Sujetos de línea de vuelo		
	Sujeto VF-5	Sujeto F-16	Sujeto M28
Horas	4:35	5:21	6:00
Pico (dB)	145.3	145.4	145.4
Leq (dB)	99.2	104.4	94.1
Lmax (dB)	129.8	130.9	125.2
Dosis %	87.9	172.5	271
Proy %	153	232.6	255.9
L ₁₀	99.5	97.5	93
L ₅₀	80	79	73.5

LEYENDA

- Pico: Nivel de ruido pico
- Leq: Nivel de ruido continuo equivalente
- Lmax: Nivel máximo
- Dosis: Dosis
- Proy: Proyección de dosis
- L₁₀: Nivel estadístico L₁₀
- L₅₀: Nivel estadístico L₅₀

Tabla AD .2. Análisis con dosímetro para los sujetos pilotos en vuelo

Valores	Sujetos Pilotos en vuelo		
	Sujeto VF-5	Sujeto F-16	Sujeto M28
Horas	2:00	2:11	2:24
Pico (dB)	135.6	145.2	135.5
Leq (dB)	97.6	100.5	96.7
Lmax (dB)	120	116.7	114.5
Dosis %	100.6	198.9	63.4
Proy %	150.1	264.8	465.2
L ₁₀	104.5	106	99.5
L ₅₀	101.5	81	92

Tabla AD .3. Análisis con dosímetro para los sujetos en diversas actividades dentro del área de estudio

Valores	Sujetos en actividades dentro del área de observación		
	Sujeto VF-5	Sujeto F-16	Sujeto M28
Horas	5:45	5:35	6:00
Pico (dB)	145.5	145.3	144.3
Leq (dB)	95.2	93.8	85.9
Lmax (dB)	111	118.9	114
Dosis %	73.6	44.2	27
Proy %	108.4	72.8	385
L ₁₀	101.5	94	86.5
L ₅₀	70	78.5	71

Leyenda

El dosímetro registró durante toda la jornada de trabajo planificada para los sujetos en condiciones de operaciones reales.

Sujeto VF-5 = Copiloto

Sujeto F-16 = Piloto sin ejecución de vuelo

Sujeto M28 = Jefe de mantenimiento

ANEXO D. DATOS CON DOSIMETRO

E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE.1. Estudio electrocardiológico en sujetos del avión M28

Sujetos	EDAD	RITMO	FC	PR	QRS	AQRS	QT
1	36	S	75	012	009	+ 10	040
2	32	S	64	012	008	30	040
3	34	S	98	012	008	40	040
4	30	S	75	012	009	60	040
5	26	S	72	016	008	45	036
6	30	S	74	016	008	45	036
7	32	S	84	020	010	+ 100	040
8	25	S	60	012	006	+ 60	038
9	33	S	60	016	008	30	036
10	24	S	54	016	009	90	036
11	30	S	64	012	008	30	040
12	22	S	75	016	009	100	040
13	36	S	75	018	008	30	036
14	36	S	60	020	006	30	040
15	31	S	100	020	009	30	040
16	21	S	75	012	009	60	038
17	20	S	54	014	006	30	042
18	29	S	72	016	006	30	040
19	45	S	64	016	009	10	040
20	28	S	60	020	008	45	032
21	39	S	60	020	008	30	040
22	35	S	48	024	008	45	048
23	28	S	64	016	008	45	040
24	36	S	58	012	010	30	040
25	31	S	76	018	008	100	036
26	26	S	56	014	008	30	036
27	30	S	70	014	008	45	040
28	26	S	64	020	008	40	040

LEYENDA

RITMO: S (sinusal)
FC: Frecuencia cardiaca
PR: Segmento PR
QRS: Complejo QRS
AQRS: Vector de posición
QT: Intervalo QT

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE.2. Valores estadísticos de electrocardiografía en sujetos del avión M28

Estadísticos		FC	PR	QRS	QT	AQRS
N	Válidos	28	28	28	28	28
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		68.25	15.93	8.11	38.93	44.07
Mediana		64	16	8	40	35
Desv. típ.		12.16	3.38	1.07	2.85	26.09
Mínimo		48	12	6	32	4
Máximo		100	24	10	48	100
Percentiles	25	60	12	8	36	30
	50	64	16	8	40	35
	75	75	19.5	9	40	56.25

Tabla AE.3. Estudio electrocardiológico en sujetos del avión caza F-16

Ritmo	FC lpm	PR ms	QRS ms	QT ms	∠ QRS 0°	Derrame
Sinusal	72	12	8	32	45	
Sinusal	60	14	6	35	60	Leve
Sinusal	64	16	8	36	70	
Sinusal	76	12	6	32	60	
Sinusal	66	16	8	38	65	
Sinusal	70	14	8	39	30	Leve
Sinusal	64	14	8	36	45	
Sinusal	60	16	9	39	40	
Sinusal	66	14	6	35	60	
Sinusal	68	14	8	35	60	
Sinusal	72	12	8	32	75	
Sinusal	62	16	6	38	60	
Sinusal	75	12	8	32	30	Leve
Sinusal	64	14	8	38	45	
Sinusal	68	16	8	34	60	
Sinusal	60	14	8	36	45	

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE.4. Valores ecocardiográficos en sujetos del avión M28

<i>N</i>	<i>DD</i>	<i>DS</i>	<i>VD</i>	<i>SEP</i>	<i>PP</i>	<i>Ao</i>	<i>AI</i>	<i>FE%</i>	<i>FA%</i>	<i>VAo</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>AP</i>	<i>TAM</i>	<i>PER</i>
1	47	29	16	8	8	28	31	62	38.2	0.9	60	60	09	130	4
2	54	31	24	7	8	26	29	74.1	42.5	0.8	62	29	09	130	2.7
3	54	31	24	7	7	26	29	74.1	42.5	0.9	62	29	09	130	2.7
4	50	33	26	7	7	30	32	51.5	34	1.2	76	50	09	130	3.2
5	50	39	26	8	8	30	34	28.2	22	1.1	61	34	08	160	4
6	46	31	21	6	6	25	28	48.3	32.6	1.1	61	47	09	150	4.3
7	40	29	25	8	7	24	28	37	27.5	1.3	81	39	08	180	3.3
8	55	36	21	13	10	30	36	52.7	34.5	1	51	34	09	140	2.8
9	52	34	24	8	8	25	34	52.9	34.6	1.1	68	44	07	140	3.3
10	41	28	21	9	9	22	27	46.4	31.7	1.2	81	44	07	140	4.4
11	50	38	27	10	10	28	29	31.5	24	1.03	83	44	09	150	3
12	47	31	21	9	9	27	27	51.6	34	1.1	87	49	08	170	2.7
13	48	30	25	10	10	24	34	60	37.5	1.1	81	63	09	110	2.2
14	50	30	20	10	10	30	33	66.6	40	1.1	64	48	08	140	3.3
15	56	37	21	8	8	30	30	51.3	33.9	0.9	56	42	09	150	3
16	50	35	20	6	6	29	27	42.8	30	1.1	62	37	09	120	3
17	48	31	29	7	7	28	37	54.8	35.4	1.1	59	35	09	170	3
18	50	32	20	8	8	24	35	56.2	36	1.1	79	32	09	110	3.3
19	48	30	21	10	10	25	34	60	37.5	1.2	70	45	08	110	2
20	49	25	21	8	8	28	33	96	48.9	1.1	73	44	09	130	2.2
21	56	36	21	7	7	29	44	55.5	35.7	1.2	79	43	08	130	2.5
22	50	33	19	10	10	33	35	51.5	34	0.8	59	21	06	220	4
23	45	28	27	8	8	24	38	60.7	37.7	0.8	84	30	07	160	4
24	47	31	21	8	8	30	35	51.6	34	0.8	76	46	07	140	4
25	45	30	20	10	6	30	25	50	33.3	0.9	64	51	08	130	3.3
26	48	35	23	8	9	26	38	37.1	27	1.1	83	20	08	170	3.1
27	47	35	22	7	7	25	32	34.2	25.5	1.1	87	72	09	180	2.7
28	52	33	28	7	7	29	31	57.2	36.5	1.2	68	38	08	130	2.2

LEYENDA

(**DD**) diámetro diastólico ventricular izquierdo. (**DS**) diámetro sistólico ventricular izquierdo. (**VD**) ventrículo derecho. (**SEP**) septum. (**PP**) pared posterior. (**Ao**) aorta. (**AI**) aurícula derecha. (**FE%**) fracción de eyección (**FA%**) fracción de acortamiento. (**VAo**) velocidad en aorta. (**E**) onda E. (**A**) onda A (**AP**) velocidad en arteria pulmonar. (**TAM**) tiempo pico en alcanzar velocidad máxima. (**PER**) pericardio

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE.5. Valores estadísticos de dimensiones ecocardiográficas en sujetos del avión M28

Estadísticos		DD	DS	VD	SEP	PP	AO	AI	PER
N	Válidos	28	28	28	28	28	28	28	27
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	1
Media		49.11	32.18	22.64	8.29	8.07	27.32	32.32	3.16
Mediana		49.5	31	21	8	8	28	32.5	3.1
Desv. típ.		3.92	3.31	3.08	1.54	1.30	2.67	4.25	0.68
Mínimo		40	25	16	6	6	22	25	2
Máximo		56	39	29	13	10	33	44	4.4
Percentiles	25	47	30	21	7	7	25	29	2.7
	50	49.5	31	21	8	8	28	32.5	3.1
	75	51.5	35	25	9.75	9	30	35	4

Tabla AE.6. Valores estadísticos hemodinámica por ecocardiografía en sujetos del avión M28

Estadísticos		V Ao	E	A	AP	TAM	FE	AC
N	Válidos	28	28	28	27	27	28	28
	Perdidos	0	0	0	1	1	0	0
Media		1.05	70.61	42.71	8.26	145.56	53.42	34.32
Mediana		1.1	69	44	8	140		
Desv. típ.		0.14	10.61	10.91	0.86	24.86	14.04	5.78
Mínimo		0.8	51	21	6	110	28.20	22
Máximo		1.3	87	72	9	220	96	48.90
Percentiles	25	0.9	61.25	34.25	8	130		
	50	1.1	69	44	8	140		
	75	1.1	81	47.75	9	160		

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE.7. Valores ecocardiográficos de los sujetos del avión F-16

Edad	DD (mm)	DS (mm)	% AC	FE %	PP (mm)	SEP (mm)	AI mm	Ao mm	PER mm	Derrame
35	45	30	32	61	7	8	32	27	2.2	
35	49	31	35	66	9	9	30	24	1.8	leve
35	45	26	39	70	9	9	25	21	2.4	
37	49	26	47	78	8	8	30	23	2.4	
29	53	30	43	73	10	10	38	27	2.2	
32	45	29	37	70	8	8	32	26	2.4	leve
32	45	29	48	72	10	10	30	25	3.5	
26	46	25	39	75	7	7	27	24	2.7	
27	47	29	40	70	9	9	28	21	2.1	
26	47	29	37	67	9	9	29	25	2.2	
27	47	29	47	67	9	9	29	25	2.1	
29	46	33	28	55	10	10	31	30	2.8	
26	48	32	33	62	7	7	35	25	3.4	leve
28	49	32	35	68	6	6	23	21	3	
27	46	36	31	62	7	7	35	22	2.6	
29	45	31	36	61	6	6	32	25	3.3	

Tabla AE. 8. Valores estadísticos del ecocardiograma de los sujetos del avión F-16

Estadísticos	Edad	Ddvi (mm)	Dsvi (mm)	AC (%)	Fe (%)	P.Post. (mm)	Septum (mm)	AI (mm)	AO (mm)	Peric (mm)
N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Media	30	47	29.81	37.94	67.31	8.19	8.25	30.38	24.44	2.57
Mediana	29	46.5	29.5	37	67.5	8.5	8.5	30	25	2.4
Desv. típ.	3.78	2.19	2.79	5.93	6.00	1.38	1.34	3.77	2.48	0.51
Mínimo	26	45	25	28	55	6	6	23	21	1.8
Máximo	37	53	36	48	78	10	10	38	30	3.5
Rango	11	10	10	13	20	2.8	3.2	14	11	0.5

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE. 9. Valores estadísticos del ecocardiograma en sujetos del avión VF 5

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
EDAD	21	24.00	37.00	30.0952	3.3452
DDVI	21	42.00	56.00	48.7143	3.5517
DSVI	21	23.00	38.00	29.6667	5.0332
% AC	21	28.00	52.00	37.5238	7.0187
FE%	21	55.00	83.00	67.0000	7.8804
pposterior	21	6.00	10.00	8.1429	1.4590
SEPTUM	21	6.00	10.00	8.1429	1.4590
AO	21	20.00	31.00	24.6667	3.5119
AI	21	23.00	35.00	29.4762	3.5443

ANEXO E. VALORES CARDIOLÓGICOS EXPERIMENTALES

Tabla AE. 10. Relación de flujo trasmitral en sujetos del avión M28

N	E	A	E/A	EXPRESIÓN CUALITATIVA
1	60	60	1	Normal
2	62	29	2.1	Restrictivo
3	62	29	2.1	Restrictivo
4	76	50	1.5	Normal
5	61	34	1.8	Seudo N
6	61	47	1.3	N
7	81	39	2	Restrictivo
8	51	34	1.5	Normal
9	68	44	1.5	Normal
10	81	44	1.8	Seudo N
11	83	44	1.9	Seudo N
12	87	49	1.8	Seudo N
13	81	63	1.3	Normal
14	64	48	1.3	Normal
15	56	42	1.3	Normal
16	62	37	1.7	Seudo N.
17	59	35	1.7	Seudo N.
18	79	32	2.5	Restrictivo
19	70	45	1.5	Normal
20	73	44	1.6	Seudo N.
21	79	43	1.8	Seudo N.
22	59	21	2.8	Restrictivo
23	84	30	2.8	Restrictivo
24	76	46	1.6	Seudo N.
25	64	51	1.2	Normal
26	83	20	4.1	Restrictivo
27	87	72	1.2	Normal
28	68	38	1.8	Seudo N.

LEYENDA

E: Onda E llenado rápido

A: Onda A llenado tardío

E/A: Flujo trasmitral