

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS AVANZADOS  
COORDINACIÓN DE LA ESPECIALIDAD EN MEDICINA  
DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE  
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN PROFESIONAL**



**“COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD CARDIACA MEDIANTE EL RMSSD DURANTE EL REPOSO ABSOLUTO Y RELATIVO EN FUTBOLISTAS DE LA TERCERA DIVISIÓN DE LA UAEMex 2018.”**

**CENTRO DE MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE POSGRADO DE LA ESPECIALIDAD EN MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

**PRESENTA**

**M.G. JORGE GONZÁLEZ MONDRAGÓN**

**DIRECTOR**

**M. EN S.P. SALVADOR LÓPEZ RODRÍGUEZ**

**TUTOR**

**E. EN M.A.F.D. AMIR TONATIUH FLORES CASILLAS**

**REVISORES**

**E. EN M.A.F.D. GERARDO ARMENGOL VARGAS  
M. EN C.D.E. MARÍA LIZZETH MÁRQUEZ LÓPEZ  
M. EN C.M.D. HÉCTOR MANUEL TLATOA RAMÍREZ  
M. EN I.C. GUSTAVO SALAZAR CARMONA**

**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO; 2021**

COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD CARDIACA MEDIANTE EL RMSSD DURANTE EL  
REPOSO ABSOLUTO Y RELATIVO EN FUTBOLISTAS DE LA TERCERA DIVISION DE LA  
UAEMex 2018

# ÍNDICE.

MARCO TEÓRICO .....	1
CONCEPTOS CLAVE.....	1
Ciclo cardiaco: .....	1
Frecuencia cardiaca: .....	1
Variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC):.....	1
Root mean square successive difference (RMSSD):.....	1
ORIGEN DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA .....	2
Variaciones de AF: .....	3
Variaciones de BF: .....	4
Variaciones de MBF y UBF: .....	5
FORMAS DE MEDIR LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA. ....	5
Principales índices para estimar la variabilidad de la frecuencia cardiaca: .....	6

CONDICIONES QUE AFECTAN A LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA.....	8
Modificaciones circadianas:.....	8
Respiración:.....	8
Edad y género: .....	9
Modificaciones en condiciones patológicas: .....	9
MÉTODO DEL RMSSD.....	10
Características para su medición:.....	10
Medición del RMSSD con equipo Polar:.....	12
LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN EL DEPORTE. .....	13
Efectos del entrenamiento sobre la VFC: .....	13
Fatiga y sobre-entrenamiento:.....	14
Prescripción del entrenamiento guiado por la VFC: .....	17
FUTBOL, SUS DEMANDAS FISIOLÓGICAS. ....	18
Demandas físicas: .....	19

Intensidad del juego:.....	21
Periodos anaeróbicos en el futbol:.....	21
Capacidad aeróbica máxima: .....	22
REPOSO.....	23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
JUSTIFICACIONES.....	28
HIPOTESIS.....	30
HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN: .....	30
HIPÓTESIS NULA:.....	30
OBJETIVOS.....	31
OBJETIVO GENERAL .....	31
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
MÉTODO.....	32
DISEÑO DE ESTUDIO.....	32
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	32

UNIVERSO DE TRABAJO Y MUESTRA .....	33
Criterios de inclusión. ....	33
Criterios de exclusión. ....	34
Criterios de eliminación. ....	34
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN .....	34
Materiales. ....	34
Hoja de vaciado de datos reposo absoluto y relativo (Ver anexo 2 y 3) .....	35
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	35
LIMITES DE TIEMPO Y ESPACIO .....	36
DISEÑO DE ANALISIS .....	36
IMPLICACIONES ÉTICAS.....	37
ORGANIZACIÓN .....	38
PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	40

CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	57
ANEXO 1. CONSENTIMIENTO INFORMADO .....	57
ANEXO 2. HOJA DE VACIADO DE REPOSO ABSOLUTO .....	58
ANEXO 3. HOJA DE VACIADO DE REPOSO RELATIVO .....	60

# COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD CARDIACA MEDIANTE EL RMSSD DURANTE EL REPOSO ABSOLUTO Y RELATIVO EN FUTBOLISTAS DE LA TERCERA DIVISION DE LA UAEMex 2018

El RMSSD es un índice de la variabilidad cardiaca que se ha venido usando dentro de la medicina del deporte, sus alcances aún son incomprendidos para algunos y cuestionables para otros. En este sentido, su metodología para poder medirse puede ser confusa o imprecisa, fruto de esta interrogante surge la duda de cuáles son las condiciones ideales para su lectura.

Se ha decidido realizar mediciones en deportistas profesionales de futbol asociación durante la temporada regular, dichas mediciones del RMSSD fueron realizadas en el mismo momento del día, pero en situaciones distintas, una en reposo absoluto y otra en reposo relativo, con el objetivo de conocer si este índice de la variabilidad cardiaca presenta una diferencia significativa entre dichos estados. El estudio se planteó de tipo longitudinal, con intervención deliberada y secuencial; con estas características el análisis estadístico será de tipo univariado.

Los resultados han sido un total de 117 mediciones para cada uno de los estados, donde la media de las frecuencias cardiacas medias en el reposo absoluto fue de 32.53 y de 39.75 para el reposo relativo. Para el RMSSD se obtuvo una media de 79.95 en el reposo absoluto y de 45.73 durante el reposo relativo.

Dado que el valor de P mediante la comparación de muestras mediante la T de student de muestras relacionadas otorga una significancia menor al 1%, se puede concluir que el valor del RMSSD discrepa al compararse durante el reposo



relativo y en el reposo absoluto en futbolistas de la tercera división de la UAEMex temporada 2018.

RMSSD is an indicator of cardiac variability that has been used within the realms of sports medicine. Its reaches are still misunderstood for some and questioned by others. In this sense, the methodology by which this indicator is measured can be confusing or imprecise. As a result of this, a question arises: What are the ideal conditions for its reading?

It has been decided to take measurements from professional football athletes during their regular season. Said measurements were executed at the same time of day, but in various situations: one in absolute rest, and the other in relative rest, with the goal of knowing whether this indicator of cardiac variability would present a significant difference between both states. The study was planted as a longitudinal type, with deliberate and sequential intervention; with these characteristics, the statistical analysis will be univariable.

The results have been a total of 117 measurements for both states of rest, where the medium cardiac frequency in absolute rest was of 32.53 and 39.75 for relative rest. In order to determine the RMSSD, a medium of 79.95 was obtained during absolute rest, while 45.73 was the value for relative rest.

Because the P value by means of samples comparison by the T of student of related samples gives a significance lesser than 1%, it can be concluded that the RMSSD value differs when compared during relative rest and absolute rest in third tie football players of the UAEMex season 2018.

# MARCO TEÓRICO

## CONCEPTOS CLAVE

Para poder entender un tema tan específico como lo es la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) se debe tener presente los conceptos que se describirán a continuación.

### **Ciclo cardíaco:**

Son los fenómenos cardíacos que se producen desde el comienzo de un latido cardíaco hasta el comienzo del siguiente, cada ciclo es iniciado por la generación espontánea de un potencial de acción en el nódulo sinusal (1).

### **Frecuencia cardíaca:**

La frecuencia cardíaca se estima tradicionalmente como el número de eventos de onda R (latidos cardíacos) por unidad de tiempo (2).

### **Variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC):**

Es descrita como las fluctuaciones latido a latido en la frecuencia cardíaca o las variaciones en los intervalos entre R-R consecutivos convencionalmente (3).

### **Root mean square successive difference (RMSSD):**

Se define como la diferencia sucesiva de las raíces cuadradas medias entre los intervalos R-R normales adyacentes (4).

## ORIGEN DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA

El modelo clásico de control autonómico describe un equilibrio entre la activación simpática y parasimpática, este fue propuesto por Walter Bradford Cannon (1871-1945), fisiólogo americano, posteriormente ampliado por Langley, quien dividió las salidas autonómicas entre elementos simpáticos y parasimpáticos, una división utilizada hasta hoy. En cardiología, la relación entre el estado del sistema nervioso y la VFC fue descrita por Wolf, 2 años después de que Valbona et al. describieron los cambios de la misma en pacientes con daño cerebral grave (5).

El avance de la VFC en cardiología ocurrió cuando se descubrió la asociación entre la desviación estándar de todos los intervalos RR (SDNN por sus siglas en inglés, el cual es un algoritmo lineal) y la mortalidad después de un infarto agudo de miocardio. Probablemente, la primera observación fue hecha pública por un grupo australiano en 1978, describiendo una asociación entre la arritmia sinusal y la supervivencia después de un infarto agudo de miocardio (5).

Hoy en día, la VFC se ha utilizado en más de 2,000 ensayos clínicos y se ha mencionado en más de 14,000 artículos. Se utiliza como un algoritmo en los relojes deportivos y aparece con frecuencia en nuevas aplicaciones en dispositivos electrónicos, principalmente con fines de salud o entrenamiento. El uso clínico, sin embargo, sigue siendo invariable (5).

Ahora, para entender el origen mismo de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) tenemos que adentrarnos a las bases fisiológicas del control de la frecuencia cardiaca, los cambios en esta se modifican con ciclos de duración variable, estos ciclos o variaciones se pueden dividir en ciclos de alta frecuencia (AF), baja frecuencia (BF), muy baja frecuencia (MBF) y ultra baja frecuencia (UBF) (6).

Cada una de estas variaciones tienen características que las hacen identificables en los análisis realizados, las de AF tienen una duración de 2.5 a 6.66 segundos (0.15 a 0.4 Hz), las de BF van de 6.66 a 25 segundos (0.04 a 0.15 Hz), las de MBF pueden abarcar ciclos de más de 5 minutos (0.003 a 0.04 Hz) y las de UBF involucran ciclos de decenas de minutos (menos de 0.003 Hz) (3,6).

Se ha demostrado que la amplitud y, en menor medida, la frecuencia de las fluctuaciones cambian continuamente como respuestas de los sistemas de control cardiovascular a través de los nervios autónomos. Las fluctuaciones por encima de 0,15 Hz se deben solo a la actividad vagal, mientras que las fluctuaciones por debajo de 0,15 Hz están mediadas por los nervios vagal y simpático cardíacos (3).

Más allá de la importancia que esto tiene desde el punto de vista técnico en la recolección de datos, la duración de los ciclos tiene importancia por su proyección sobre los fenómenos fisiológicos involucrados. Un latido prematuro o un cambio súbito en la frecuencia cardíaca modifican el ritmo, pero raramente tienen carácter cíclico repetitivo (6).

### **Variaciones de AF:**

El fenómeno fisiológico más cercano a las variaciones de AF es el ciclo respiratorio. Durante la etapa inspiratoria los intervalos RR se acortan y se alargan en la espiración, de modo que podemos decir que estas fluctuaciones rápidas no son otra cosa que la arritmia sinusal respiratoria (ASR). El mecanismo por el cual podemos explicar esta ASR establece que es un fenómeno reflejo que responde a los cambios de presión arterial que induce la respiración, el incremento de la presión arterial provoca (por el mecanismo barorreflejo) una estimulación parasimpática con inhibición simpática. Como resultado, el nódulo sinusal disminuye su frecuencia frente al incremento de la presión, y la incrementa cuando la presión desciende. El papel protagónico del parasimpático queda destacado al bloquear esa rama del

sistema nervioso autónomo (SNA) con atropina, ya que se verifica una importante disminución de las fluctuaciones de AF (6).

Katona y Jih introdujeron un enfoque no invasivo para medir el control parasimpático cardíaco en perros anestesiados en los que pudieron controlar la frecuencia respiratoria. Introdujeron la noción de que la magnitud de la arritmia sinusal se asocia con cambios en el tono vagal; asumiendo una asociación lineal entre la actividad eferente vagal y el cambio del período del corazón, y que durante la inspiración se inhibe la entrada vagal cardíaca (5).

La atenuación de esta arritmia sinusal respiratoria en reposo es un marcador fiable de envejecimiento fisiológico y también aparece en la diabetes, la insuficiencia cardíaca congestiva y en otras muchas enfermedades que alteren el tono autónomo (7).

Se puede decir que las variaciones de AF de la VFC responden a la regulación del SNA, en particular el parasimpático, aunque puede postularse que en su origen intervengan otros factores, especialmente la distensión mecánica de la aurícula derecha que lleva al estiramiento de nódulo sinusal (6).

### **Variaciones de BF:**

Las variaciones lentas mejor estudiadas son las de BF. Parece haber aceptación generalizada de que se deben a la regulación autonómica; lo que es más difícil es establecer las causas exactas de los cambios en el SNA capaces de generar estas variaciones. Se las ha relacionado con la actividad del simpático, aunque hay evidencia de que en realidad responden a la interacción simpático/parasimpático (6).

Si bien parecen tener una estrecha relación con la regulación por parte del SNA, con estas variaciones no se puede establecer ni siquiera una relación causal muy estrecha, como sucede con el parasimpático y las de AF (6).

### **Variaciones de MBF y UBF:**

Los detalles técnicos para la captura de datos dificultan el análisis de las variaciones de UBF y, por lo tanto, complican la determinación de las bases fisiológicas y el significado de esas variaciones. Aunque en el origen de la UBF se han señalado fenómenos de termorregulación y variaciones del sistema renina-angiotensina, las bases fisiológicas siguen siendo difíciles de establecer. Se ha asignado a estas variaciones cierta capacidad pronóstica en patologías cardiovasculares. Sin embargo, su uso no está tan extendido como el de las demás (6).

Las variaciones de MBF se han relacionado con las ondas de Mayer, descritas por dicho autor en 1876. Su exacta significación ha sido puesta en tela de juicio (6).

## **FORMAS DE MEDIR LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA.**

Solo se toman como válidos los intervalos RR sinusales, eliminando los latidos prematuros o artefactos que generan falsos positivos, así como las pausas prolongadas y las fallas de detección (falsos negativos) (6).

## Principales índices para estimar la variabilidad de la frecuencia cardiaca:

### Índices estadísticos:

Estos índices se basan en el manejo estadístico de los intervalos. Además del simple valor de la media aritmética (a partir de la cual se puede obtener frecuencia promedio), los índices más usados son el desvío o desviación estándar (SDNN por sus siglas en inglés) y la valoración de las diferencias entre intervalos sucesivos a través del RMSSD (en inglés root mean squared of successive differences). Este último es más adecuado para estimar la variabilidad de corto plazo, por lo que se relaciona con la actividad parasimpática; en cambio, el SDNN es más útil para modificaciones globales de la VFC (5,6,8).

### Índices en el ámbito de la frecuencia:

El uso y análisis del tacograma como una serie temporal permite que se le aplique metodología de análisis espectral. De ese modo se obtiene un espectro de potencia donde se dispone la varianza de los intervalos en función de su frecuencia de repetición. Este tipo de espectros se dividen en bandas de frecuencia y sobre esta base se estima la densidad espectral de potencia de cada banda (PSD, por sus siglas en inglés) expresada en  $\text{ms}^2/\text{Hz}$ , teniendo para cada variación las siguientes características (Tabla 1) (5,6):

Tabla 1. Índices en el ámbito de la frecuencia.

Nombre	Definición
ULF ( $\text{ms}^2/\text{Hz}$ )	PSD en el rango de frecuencias ultrabajas ( $\leq 0,003$ Hz)
VLF ( $\text{ms}^2/\text{Hz}$ )	PSD en el rango de frecuencias muy bajas (0,003-0,04 Hz)
LF ( $\text{ms}^2/\text{Hz}$ )	PSD en el rango de frecuencias bajas (0,04-0,15 Hz)
HF ( $\text{ms}^2/\text{Hz}$ )	PSD en el rango de frecuencias altas (0,15-0,4 Hz)

PSD, densidad espectral de potencia; ULF, de ultra baja frecuencia; VLF, de muy baja frecuencia; LF, de baja frecuencia y HF, de alta frecuencia (6).

### Métodos no lineales:

La diferencia entre los métodos lineales y no lineales en la VFC no es tan sencilla. Principalmente, el análisis del dominio de la frecuencia se basa en patrones ya establecidos. Por el contrario, los métodos no lineales no se basan en estructuras preespecificadas, sino que analizan similitudes temporales en las señales. Se han diseñado en los últimos años varios métodos, algunos de los cuáles son el gráfico de Poincaré, el análisis de la promediación de señales rectificadas en fase (PRSA; phase rectified signal average), entropía aproximada, etc (5,6).

El análisis de la gráfica de Poincaré es una técnica simple, utilizada por primera vez como herramienta cualitativa y, posteriormente, como un análisis geométrico al ajustar una elipse a la forma de la gráfica de Poincaré para: calcular los índices de la VFC. Este método se considera no lineal, porque describe la dinámica no lineal de un fenómeno que puede reconocer los patrones de correlación ocultos de una señal de serie temporal. Consiste en una representación visual de los valores de cada par de elementos sucesivos en una serie de tiempo (tacograma) en un espacio de fase o plano cartesiano. Una serie de estos puntos en momentos sucesivos esboza una curva, o trayectoria, que describe la evolución del sistema y, por lo tanto, se aplica comúnmente para evaluar la dinámica de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (9).

Usando esta técnica, se obtienen tres índices: la desviación estándar de la variabilidad instantánea del intervalo RR latido a latido (eje menor de la elipse o SD1), la desviación estándar de la variabilidad continua del intervalo RR a largo plazo (eje mayor del elipse o SD2) así como el eje de la relación (SD1 / SD2). Este método de análisis cuantitativo se basa en la noción de diferentes efectos temporales de los cambios en la modulación vagal y simpática de la frecuencia cardíaca en los intervalos R-R posteriores sin el requisito de una calidad estacionaria de los datos (9).



## CONDICIONES QUE AFECTAN A LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA.

### **Modificaciones circadianas:**

Las mediciones hechas durante la vigilia y el sueño muestran que las variaciones de AF se mantienen predominantes durante éste último, mientras que durante el día se mantienen predominantes las de BF, esto nos haría pensar que la medición de la VFC para buscar el componente de control parasimpático se debería de hacer durante el sueño, sin embargo no se sabe aún como las distintas etapas del sueño pueden alterar la VFC (6).

Según lo reportado en un estudio donde se midió el comportamiento de la frecuencia cardiaca y la VFC durante 24 horas mediante Holter se observó que el cambio en la frecuencia cardiaca promedio demuestra una correlación considerablemente débil con el cambio en las medidas generales de la VFC, como pueden ser los índices tipo SDNN, pero parece tener una correlación comparativamente moderada con las medidas de índices de la VFC específicos para la modulación parasimpática, siendo el RMSSD de los más utilizados (10).

### **Respiración:**

La respiración al ser un evento fisiológico que tiene influencia sobre la frecuencia cardiaca como se ha argumentado anteriormente, ha sido blanco de estudio para saber si se tiene que controlar en función de obtener mediciones de la VFC más confiables. Las investigaciones han arrojado valores de la VFC (mediante RMSSD y Poincaré) discordantes cuando a atletas se les pide regular la respiración con ayuda de un metrónomo y cuando se les deja una respiración con patrón libre, sin embargo estas diferencias se mantienen a lo largo del tiempo según la evaluación longitudinal de los individuos estudiados (11,12).

## **Edad y género:**

Las variaciones de AF se correlacionan negativamente con la edad, estos hallazgos se han encontrado con técnicas tanto lineales como no lineales, lo que sugiere una disminución relacionada con la edad en el funcionamiento del sistema nervioso parasimpático y una predominancia del simpático. La mayoría de los trabajos que han estudiado la influencia de la edad y el género en la regulación autonómica del corazón utilizaron el registro de HRV de 24 horas. Sin embargo, las medidas del dominio de la frecuencia son más precisas en el análisis de la VFC a corto plazo como se comprobó en un estudio donde se reclutaron sujetos de 16 a 60 años (13).

## **Modificaciones en condiciones patológicas:**

### Diabetes:

En pacientes con esta patología los datos arrojados por distintas investigaciones han mostrado una fuerte disminución de la VFC; tanto la actividad simpática como la parasimpática se encuentran disminuidas en comparación con los pacientes sin diabetes mellitus tipo 2, lo que puede explicarse por los efectos metabólicos perjudiciales de los niveles de glucosa en sangre (14).

### Cardiopatía isquémica:

Es una de las patologías en las que la VFC ha demostrado mayor utilidad diagnóstica y pronóstica. Se ha demostrado el impacto beneficioso sobre la VFC del ejercicio físico en pacientes con cardiopatía isquémica, también se ha observado mejoría de los índices de VFC en pacientes revascularizados, se ha postulado que dicha mejora se debe a una modulación autonómica con disminución de las influencias simpáticas y aumento del tono vagal (6).

### Depresión:

Los registros de la VFC han mostrado cambios significativos en los pacientes que sufren depresión. Estos cambios han tenido una significancia estadística en torno a las variaciones de tipo AF, BF y la relación AF:BF; en donde el valor de las variaciones AF se encontró bajo, mientras que en las BF y su relación AF:BF se encuentran con valores elevados en comparación con grupos control (15).

### Cáncer gástrico:

Se ha encontrado que los pacientes con cáncer gástrico han mostrado una VFC más baja que se correlaciona con el estadio tumoral. La VFC disminuye con la progresión del tumor, lo que puede ser causado por un mecanismo que involucra la excitación del nervio vago (16).

## MÉTODO DEL RMSSD.

Como ya hemos enunciado en apartados anteriores, la VFC cuenta con varios índices, los cuales tendrán distintos alcances y funciones. El método del RMSSD (root mean square successive differences, por sus siglas en inglés) lo podemos definir como la diferencia sucesiva de las raíces cuadradas medias entre los intervalos R-R normales adyacentes, los datos obtenidos mediante esta vía son obtenidas en un plazo corto y son sensibles a las variaciones de AF (4,6).

### **Características para su medición:**

Los lineamientos o metodología precisa no se encuentran disponibles para poder realizar mediciones de la VFC de manera exacta, por lo que a continuación se argumentarán las directrices con mayor evidencia.

La correlación que guarda el RMSSD y las variaciones de AF es alta, la correlación promedio es de 85 %, esta misma es más baja en la condición de pie, donde los valores fueron pequeños debido al control vagal mínimo en esta condición (4). En general, en reposo, la mayoría de los autores sugieren una disminución de la VFC (es decir, índices dominados por el control vagal), comenzando desde la posición supina a la posición sentada, y una disminución adicional mientras se está de pie; posiblemente, estos ajustes se producen debido a la sensibilidad barorrefleja, y las regulaciones provistas por los receptores arteriales y cardiopulmonares (17). En un estudio realizado a patinadores de alto rendimiento, unos con diagnóstico de fatiga y otros sanos, se obtuvieron valores distintos cuando se comparó la VFC en posición supina y en bipedestación (18).

Actualmente, las mejores prácticas para los atletas tienden a ser las mediciones de la VFC por pocos minutos (5-10 min) y al despertarse por la mañana, estas mediciones se recomienda realizarlas con el atleta sentado debido a la comodidad, aunado a que hay menos posibilidades de que los atletas se duerman, como puede pasar en la posición supina (19).

Las mediciones de la VFC durante el ejercicio han sido usadas para medir el nivel del estado físico de una persona, sin embargo, existen pocos datos en humanos que nos hable acerca de su alcance para observar los cambios inducidos por el ejercicio, así como para detectar fatiga (19).

Para mediciones de RMSSD se ha propuesto también que se realice durante 1 minuto, sin embargo, no se ha reportado si en este tiempo tan corto de medición se pueden llegar a percibir en mayor medida cierto tipo de variaciones (AF, BF, MBF y UBF). Un trabajo que gira en torno a esta interrogante da como conclusión que el tiempo mínimo para obtener resultados confiables vía RMSSD es de 2-4 minutos, siendo datos totalmente incongruentes las mediciones menores a 1 minuto (20).

Condiciones especiales en torno a las mediciones del RMSSD como el consumo de alcohol (leve a moderado) incrementan los valores, factores psicosociales no presentan una asociación significativa, y el tabaquismo positivo presenta valores más bajos (21).

El seguimiento en el caso particular de futbolistas se encuentra aún en discusión, sin embargo, un estudio prospectivo acerca del comportamiento de la VFC durante una temporada completa de fútbol en jugadores de elite ha demostrado que la valoración de una única medición confiable a la semana arroja información valiosa para cuantificar la adaptación a las cargas de entrenamiento (22).

En torno a este índice en específico y a este tipo de población se ha observado que la posición supina no es útil durante el seguimiento longitudinal del entrenamiento en este tipo de disciplinas deportivas (23).

### **Medición del RMSSD con equipo Polar:**

El equipo Polar está compuesto por una banda elástica y un sensor, el primero se coloca alrededor del tórax y el segundo se ajusta en la parte media y anterior del mismo, es un método no invasivo que proporciona variables fisiológicas y de desempeño, muchos datos son valorables en tiempo real y algunos otros tienen que ser interpretados posteriormente en el software pertinente.

El equipo Polar determina la VFC mediante el índice RMSSD, dichos dispositivos han sido evaluados en varios estudios para determinar la precisión de los datos, los cuales se comparan con los valores obtenidos mediante electrocardiograma; se han descrito correlaciones de 0.97 a 0.99, y diferencias estadísticas no significativas, tanto en posición supina como con el individuo sentado; por esto se ha avalado como un método adecuado y no invasivo para la monitorización de la VFC (24,25).

## LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN EL DEPORTE.

Durante años se han descrito los alcances que la VFC puede tener en el contexto deportivo, algunos de estos se han puesto en duda debido a problemas en la metodología de su medición e implementación. A continuación, veremos casos donde se ha fundamentado de manera precisa el papel que la VFC puede llegar a tener.

### **Efectos del entrenamiento sobre la VFC:**

Se ha reconocido por largo tiempo que el entrenamiento en los atletas produce una bradicardia fisiológica, el mecanismo de cómo se produce esta bradicardia ha sido extensamente investigado y se han propuesto numerosas causas. Parte de la disminución de la frecuencia cardiaca esta presumiblemente en relación con la estabilización del sistema de conducción a nivel celular. El aumento del tono vagal ha sido también propuesto como una causa de la bradicardia, sin embargo, el rol del sistema simpático en dicha bradicardia continúa siendo controversial. Estos últimos componentes, el sistema parasimpático y simpático son los responsables de los cambios en las mediciones de la VFC (26).

El entrenamiento deportivo es conocido por promover cambios en la VFC en atletas cuando se comparan con individuos sedentarios. Sin embargo, aún no se ha establecido si los valores de la VFC pueden discriminar entre atletas de distintos niveles de competencia (27).

El índice del RMSSD en atletas se incrementa cuando se mide posterior a un entrenamiento encaminado a mejorar el rendimiento deportivo, estos incrementos no demostraron ser afectados por heterogeneidad estadística, y su medición en

corto plazo y día a día se mostró con valores similares, por lo cual se recomienda al RMSSD como un marcador confiable del estatus de entrenamiento (28).

### **Fatiga y sobre-entrenamiento:**

El RMSSD presenta datos distintos cuando se habla de un estado de fatiga o de una ausencia del mismo en atletas, se han obtenido dichos resultados tanto en posición supina como en bipedestación, igualmente se ha comprobado que las variaciones de AF son significativamente mayores en estado de fatiga. Sin embargo aún no se llega a un consenso para enunciar un criterio que se pueda usar para dividir el estado de fatiga o sin fatiga, así mismo, los estudios donde se han realizado estas observaciones han sido con sujetos sub-élite o bien entrenados únicamente, lo cual impide ser trasladado dichos hallazgos a atletas de élite (18).

El sobre-entrenamiento es un cuadro clínico que se presenta con rasgos muy diversos, en cierta forma opuestos, de modo que hay predominio del sistema nervioso simpático (forma tipo Basedow) o del parasimpático (forma tipo Addison). La forma con predominio del simpático se presenta con mayor frecuencia en deportes de equipo de fuerza explosiva (velocistas), mientras que la forma con predominio del parasimpático se observa preferentemente en ejercicio físico aeróbico o dinámico (carrera, ciclismo, etc.). Se ha especulado en torno a la posibilidad de que, si las formas fuesen secuenciales, la simpática se manifestaría primero, lo que constituiría un signo de alarma, y la parasimpática correspondería a una fase más avanzada del problema (29).

El fenómeno del sobre-entrenamiento se relaciona con la fatiga y afecta a deportistas de todas las edades y categorías. La causa fundamental por la que se origina es el desequilibrio entre los efectos de un programa de entrenamiento y la capacidad de recuperación del propio organismo, que puede ser normal o estar deprimida. Los marcadores del sobre-entrenamiento más comunes son las alteraciones en el equilibrio del sistema nervioso autónomo y del sistema

neuroendocrino, depresión del sistema inmunitario, daño muscular con la depleción de las reservas de glucógeno muscular, y disminución de la capacidad aeróbica y de la eficiencia ventilatoria y cardíaca. Los cambios psicológicos pueden ser acusados y con frecuencia aparecen insomnio, modificación del carácter e irritabilidad. La frecuencia cardíaca y la presión arterial en reposo y durante el esfuerzo suelen estar elevadas, y la producción de lactato durante el ejercicio es desproporcionada para el nivel de esfuerzo realizado, lo que origina el agotamiento prematuro (29).

La mayoría de los cambios que se producen en el sobre-entrenamiento sugieren modificaciones del equilibrio del sistema nervioso autónomo. Se ha sugerido que la alteración en el eje cortico-adrenérgico y el sistema simpático explicarían la afectación permanente y prolongada que presenta este grupo de deportistas. El exceso de trabajo físico del programa de entrenamiento es un factor importante que se asocia a las modificaciones ambientales psicológicas y laborales que contribuyen a la presentación del sobre-entrenamiento (29).

**Causas que pueden facilitar el sobre-entrenamiento:**

- Cambios acusados en el volumen y la intensidad del entrenamiento
- Periodos de descanso insuficientes
- Seguimiento irregular del entrenamiento
- Cambios en el horario laboral
- Mayores exigencias en el trabajo
- Circunstancias familiares
- Alteraciones del ritmo de sueño y horas de descanso
- Modificación de los hábitos dietéticos
- Falta de motivación
- Objetivos deportivos poco realistas

La VFC muestra un descenso al aparecer el síndrome de sobre-entrenamiento, es de vital importancia según las investigaciones llevar un seguimiento para poder llegar al diagnóstico de esta entidad. Para el diagnóstico de este estado varios autores han reportado los pros y contras de diferentes métodos,



por ejemplo, el uso de perfiles hormonales, el rendimiento deportivo, estado psicológico y de humor, función inmune y la VFC (18,30).

Es reconocido que los cambios en los marcadores biológicos son raramente encontrados, en un estado previo de fatiga, cuando esto ocurre, muchos otros síntomas y otros signos se presentan con mayor frecuencia para resaltar un estado de fatiga severa. Tal reconocimiento ocurre a menudo al final del seguimiento del atleta. La obtención de valores biológicos requiere muestras de sangre y/o muestras de orina, es invasiva y costosa y, por lo tanto, no puede repetirse con frecuencia, es decir, con la frecuencia que se solicite en el monitoreo de atletas de élite en los que se debe evitar el deterioro de la función (18,30).

La monitorización de la VFC es justo lo contrario en varios puntos, y por lo tanto, podría ser utilizada fácilmente en la rutina diaria. La idea de fatiga abarca más que el estado de sobre-entrenamiento. La fatiga comprende diferentes tipos de impedimentos no solo provocados por el desequilibrio de la carga de entrenamiento y la recuperación, sino también por episodio infecciosos, falta de sueño (que puede ser un síntoma de fatiga) o problemas emocionales y afectivos, entre otros. Todas estas condiciones pueden conducir a un desequilibrio fisiológico que probablemente implique algún cambio en los entornos autónomos y, finalmente, algún cambio cardíaco en el contexto de la VFC. (18,30).

Un estudio compara la VFC en sujetos sedentarios (ocho, grupo control), entrenados (ocho) y los que cuentan con diagnóstico de sobre-entrenamiento (siete), de diferentes sexos y edades, en dicho trabajo se realizaron mediciones en posición supina y mediante un test en cual se coloca al paciente en una plataforma especial que de posición supina lo lleva una inclinación de 60° (cada posición debe de realizarse durante 10 minutos). Se observó que el comportamiento de los valores durante posición supina y la inclinación a 60° la VFC de los que sufren de sobre-entrenamiento fue similar al grupo control con un predominio de actividad simpática, mientras que los entrenados tuvieron una VFC más alta con un marcado predominio

de actividad parasimpática. Además, los cambios ortostáticos en los índices de la VFC para la prueba de inclinación parecían atenuados en los sobreentrenados, en comparación con los entrenados. En segundo lugar, estos resultados se observaron no solo con el análisis de dominio de tiempo y frecuencia, sino también con el análisis no lineal de Poincaré. (31).

### **Prescripción del entrenamiento guiado por la VFC:**

El ciclismo de ruta es considerado uno de los deportes de resistencia más duros del mundo, con altas exigencias fisiológicas durante el entrenamiento y la competición. Los ciclistas profesionales a menudo acumulan hasta 90 días de carreras competitivas dentro de una temporada, lo que hace que mantener un equilibrio saludable entre entrenamiento, competencias y tomar el tiempo de recuperación suficiente sea un desafío. Las grandes ganancias en el estado de entrenamiento se logran generalmente al prescribir altas cargas de entrenamiento seguidas de un período de recuperación mínimo, pero suficiente. Mantener este equilibrio es un desafío ya que múltiples factores, como la intensidad del entrenamiento, la calidad del sueño, la nutrición y el bienestar psicológico, pueden variar sustancialmente de forma individual (32).

La medición de la VFC ha ganado popularidad para el monitoreo y estado de entrenamiento en los atletas. Esta herramienta permite la detección del estado de fatiga y evalúa la adaptación al entrenamiento. Después del entrenamiento de alta intensidad o de un período corto de cargas desproporcionadas se observa una disminución en los valores de la VFC en reposo, lo que refleja el efecto de la fatiga. Además, el aumento del rendimiento después de un período de entrenamiento se relaciona con el aumento de la VFC en reposo (32).

Para poder concluir si hay diferencia en un entrenamiento guiado por la VFC en un estudio se seleccionaron 27 hombres ciclistas, los cuales se dividieron en dos grupos, uno que sería entrenado mediante periodización tradicional y otro que sería

guiado por VFC, la monitorización de la misma fue realizada en las mañanas. Posterior a una intervención de 12 semanas se encontró que el grupo guiado por la VFC mejoró en la tasa de potencia máxima y en un test de 40 minutos, mientras que el  $VO_{2max}$  y los umbrales ventilatorios no mostraron cambios (32).

Pese a lo anterior, otros estudios si han reportado mejorías en el  $VO_{2max}$  cuando se instaura un plan de entrenamiento guiado por la VFC, tal es el caso de un estudio donde se evaluó y se entrenó a 40 corredores, de los cuales igualmente se les entreno a un grupo de manera tradicional y a otros guiados por la VFC, éste último mostró una mejora del 7% en el  $VO_{2max}$  y una mejora del 6% en el rendimiento máximo de la carrera, mientras que el grupo entrenado de manera tradicional mejoró en un 4% en el rendimiento de la carrera y mantuvo el  $VO_{2max}$  previo después de cuatro semanas de entrenamiento. Sin embargo, es importante señalar que los sujetos de este estudio eran corredores recreacionales (33).

En el contexto de deportes de equipo en un seguimiento semanal, puede considerarse la VFC (una técnica fácil, económica y no invasiva) para planificar la carga de trabajo de las sesiones de entrenamiento y puede ser un buen indicador de cómo cada jugador está asimilando las cargas de trabajo acumuladas. Los valores medios del grupo podrían ser una ayuda para la planificación del volumen total de trabajo para la semana y de manera individual, las relaciones simpáticas-parasimpáticas pueden ser una alerta temprana de fatiga (22).

## FUTBOL, SUS DEMANDAS FISIOLÓGICAS.

El fútbol es el deporte más popular del mundo y lo realizan hombres, mujeres, niños y adultos con diferentes niveles de experiencia. El rendimiento del fútbol depende de una gran variedad de factores, tales como áreas técnicas, biomecánicas, tácticas, mentales y fisiológicas. Una de las razones por las que el fútbol es tan popular en todo el mundo es que es posible que los jugadores no

necesiten tener una capacidad extraordinaria en ninguna de estas áreas de rendimiento, sino que tengan un nivel razonable en las mismas (34).

Sin embargo, hay tendencias hacia un entrenamiento y selección más sistematizada que influyen en los perfiles antropométricos de los jugadores que compiten en el más alto nivel. Al igual que con otras actividades, el fútbol no es una ciencia, pero la ciencia puede ayudar a mejorar el rendimiento. Los esfuerzos para mejorar el rendimiento del fútbol a menudo se centran en la técnica y las tácticas a expensas de la condición física (34).

### **Demandas físicas:**

Las distancias cubiertas por profesionales son del orden de 10 a 12 km para los jugadores de campo y aproximadamente 4 km para el portero. Varios estudios informan que los jugadores de mediocampo recorren las distancias más largas durante un juego y que los jugadores profesionales recorren distancias más largas que los no profesionales. La intensidad del ejercicio se reduce y la distancia cubierta es de 5 a 10% menos en la segunda mitad comparada con la primera (34,35).

Durante un juego de fútbol, un sprint ocurre aproximadamente cada 90 segundos, cada uno con un promedio de 2 a 4 segundos, presentándose  $11.2 \pm 5.3$  sprints por jugador en cada partido y quienes tienen una mayor cantidad de sprints son los delanteros y volantes. La carrera de velocidad constituye 1 a 11% de la distancia total cubierta durante un partido, lo que corresponde a 0.5 a 3.0% del tiempo de juego efectivo (es decir, el tiempo cuando la pelota está en juego) (34,36).

En el contexto de resistencia del juego, cada jugador realiza de 1000 a 1400 actividades cortas principalmente, las cuales cambian cada 4 a 6 segundos. Las actividades realizadas son: 10 a 20 sprints; carrera de alta intensidad aproximadamente cada 70 segundos; unos 15 enfrentamientos; 10 remates con la cabeza; 50 contactos con el balón; unos 30 pases, así como cambios de ritmo y el

mantenimiento de contracciones enérgicas para mantener el equilibrio y el control del balón contra la presión defensiva (34).

Los centrocampistas y los atacantes corren significativamente más que los defensores centrales (1,6 a 1,7 veces más), y los atacantes corren significativamente más que los mediocampistas (34).

La fuerza y la potencia son tan importantes como la resistencia en el fútbol. La fuerza máxima se refiere a la fuerza máxima que puede realizar el sistema neuromuscular durante una contracción voluntaria máxima (una repetición máxima, 1RM), mientras que la potencia es el producto de la fuerza y la velocidad y se refiere a la capacidad del sistema neuromuscular para producir el mayor impulso posible en un período de tiempo dado. La fuerza máxima es una cualidad básica que influye en el rendimiento de potencia; un aumento en la fuerza máxima generalmente está relacionado con una mejora en la fuerza relativa y, por lo tanto, con la mejora de las habilidades de potencia (34).

Se ha observado una relación significativa entre la 1RM y la velocidad de aceleración y movimiento. Esta relación de rendimiento de fuerza y potencia máxima es compatible con los resultados de las pruebas de salto, así como en los resultados de velocidad de 30 m. Al aumentar la fuerza disponible de la contracción muscular en los músculos o grupos musculares apropiados, la aceleración y la velocidad pueden mejorar en habilidades críticas para el fútbol, como girar, correr y cambiar el ritmo (34,37).

Los altos niveles de fuerza máxima en los miembros superiores e inferiores también pueden prevenir lesiones en el fútbol. Donde se ha demostrado que la introducción de un régimen de entrenamiento de la fuerza reduce el número de lesiones en aproximadamente un 50%. De esto debería ser obvio que la habilidad táctica, técnica, tanto individual como de equipo en el fútbol solo puede ser

demostrado consistentemente en el transcurso de una competencia de 90 minutos por jugadores de fútbol con una gran capacidad de resistencia y fuerza (34).

### **Intensidad del juego:**

Debido a la duración del juego, el fútbol depende principalmente del metabolismo aeróbico. La intensidad de trabajo promedio, medida como el porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (FCmax), durante un partido de fútbol de 90 minutos está cerca del umbral anaeróbico (la mayor intensidad de ejercicio donde la producción y la eliminación de lactato son iguales; normalmente entre 80 y 90% de FCmax en futbolistas). Sería fisiológicamente imposible mantener una intensidad media más alta durante un período de tiempo más largo debido a la acumulación resultante de lactato en sangre. Sin embargo, expresar la intensidad del juego como un promedio de más de 90 minutos, o para cada mitad, podría resultar en una pérdida sustancial de información específica. De hecho, los partidos de fútbol muestran períodos y situaciones de actividad de alta intensidad donde se produce la acumulación de lactato. Por lo tanto, los jugadores necesitan períodos de actividad de baja intensidad para eliminar el lactato de los músculos (34).

En términos relativos, hay poca o ninguna diferencia entre la intensidad del ejercicio en el fútbol profesional y no profesional, pero la intensidad absoluta es mayor en los profesionales. Nadie ha logrado proporcionar datos precisos y válidos al medir el consumo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) durante un partido de fútbol. Los valores medidos están probablemente subestimados, ya que el equipo probablemente inhibe el rendimiento del futbolista (34).

### **Periodos anaeróbicos en el futbol:**

A pesar de que el metabolismo aeróbico domina el rendimiento durante un juego de fútbol, las acciones más decisivas se cubren mediante el metabolismo anaeróbico. Para realizar sprints cortos, saltos, entradas y duelos, la liberación de

energía anaeróbica es determinante con respecto a quién corre más rápido o salta más alto, esto es a menudo crucial para el partido (34,35).

Parece que los jugadores de élite exigen al sistema anaeróbico en mayor grado que los jugadores que no son de élite. Es importante tener en cuenta que la concentración de lactato en el fútbol depende en gran medida del patrón de actividad del jugador en los 5 minutos anteriores a la toma de muestras de sangre. De hecho, se ha demostrado que el valor del lactato se correlacionó positivamente con la cantidad de trabajo realizado justo antes del muestreo. Todos los datos con los que se cuenta muestran concentraciones más bajas de lactato en la segunda mitad en comparación con la primera. Estas observaciones están de acuerdo con la distancia reducida cubierta y la menor intensidad informada en la mayoría de los estudios (34,35).

Cuanto mayor sea la concentración de lactato, mayor tiene que ser la tasa de eliminación. Es importante tener en cuenta que los jugadores con mayor  $VO_{2max}$  pueden tener concentraciones más bajas de lactato en la sangre debido a una mayor recuperación del ejercicio intermitente de alta intensidad a través de: mayor respuesta aeróbica, mejor remoción de lactato y mejora en la regeneración de fosfocreatina (34).

### **Capacidad aeróbica máxima:**

#### *Jugadores adultos de fútbol:*

El  $VO_{2max}$  en jugadores de fútbol de campo varía entre 50 a 75 ml/kg/min, mientras que los porteros tienen 50 a 55 ml/kg/min (no se especifican altitudes). Parece que la capacidad aeróbica entre los equipos de alto rendimiento ha aumentado en la última década, en comparación con los datos informados en las décadas anteriores. El umbral anaeróbico está entre 76.6% y 90.3% de la  $FC_{max}$  (34,35).

### Jugadores jóvenes de fútbol:

Tradicionalmente, los jugadores de fútbol junior tienen una  $VO_{2max}$  (<60 ml/kg/min) menor que los adultos mayores, sin embargo, hay excepciones. Se encontró un  $VO_{2max}$  de 64.3 ml/kg/min en juniors, mientras que el equipo nacional sub-18 de Hungría tenía un valor promedio de 73.9 ml/kg/min. Se han observado valores más altos de  $VO_{2max}$  para los centrocampistas y atacantes que para los defensores (65 vs 58 ml/kg/min, respectivamente, para jugadores jóvenes de fútbol de élite al final de la pubertad, es decir, 14 años de edad). Algunos estudios informan que los jugadores de fútbol jóvenes tienen una  $VO_{2max}$  similar, pero una economía de carrera más baja que los adultos (34).

## REPOSO

El reposo es una necesidad humana física, mental y espiritual, común a toda la humanidad, y con frecuencia se prescribe en todo el mundo como un tratamiento para muchos males. Sin embargo, el concepto de reposo sigue siendo subjetivo, está vagamente definido y a menudo se confunde con el sueño, lo que limita su utilidad para la investigación y la práctica. Sin una definición y comprensión claras del reposo y sus parámetros, es posible que no se realicen sus beneficios restaurativos y que el mismo, basado en poca evidencia, tenga una utilidad limitada y riesgos desconocidos (38).

En los idiomas más comunes de hoy se incluyen descripciones de reposo que tienen que ver con recuperarse, tomarse un descanso o relajarse. El concepto de reposo aún no se ha definido completamente en las disciplinas científicas para un uso práctico y comúnmente comprensible; esta ambigüedad, combinada con los significados personales de la palabra reposo, hace que prescribirlo como un tratamiento sea un intento fallido (38).



Cuando el reposo no está bien explicado o comprendido, la persona puede preguntarse si lo está haciendo correctamente o lo suficiente. La indicación de reposo puede ser confusa para algunas personas; si bien pueden sentir de manera innata que el reposo es algo bueno, es posible que no estén seguros de qué hacer (38).

El proceso para proporcionar a los médicos los niveles más altos de solidez y calidad de la evidencia para prescribir el reposo comienza con la determinación de una definición útil del concepto de reposo en todos los contextos. Para que el reposo sea recomendado de manera significativa y tenga los efectos previstos, es necesario establecer un consenso interdisciplinario de la definición, el alcance, la medición y el uso constante del término (38).

El reposo no estaba bien definido en el 59% de la literatura revisada, por lo que los límites establecidos del concepto no están claros en la mayoría de los artículos (38).

Al combinar los resultados de la investigación, incluidos los antecedentes, atributos, límites y resultados del reposo, surgió una definición más completa, interdisciplinaria y teórica en la atención médica: "El reposo es una necesidad humana, un estado beneficioso que es intencional, temporal y restaurativo, que implican el cese, la minimización o el cambio en el trabajo físico, mental o espiritual, fatiga, trauma, enfermedad o estrés". Esta definición teórica de descanso es muy extensa y necesitará un mayor refinamiento para proporcionar un marco útil sobre cómo se puede manipular y estudiar el descanso en todos los contextos y tener una aplicación terapéutica significativa (38).

La frecuencia cardíaca en reposo (FCR) en clínica es un parámetro fácilmente medible con un valor típico entre 50 y 90 latidos por minuto (lpm) que varía durante el día con una disminución nocturna. La FCR puede bajar a 30 lpm en aquellos con buena condición física, así mismo puede estar determinada

genéticamente y con valores ligeramente más altos en mujeres que en hombres. La interpretación de la FCR por parte de los médicos se realiza tradicionalmente en el contexto agudo. Ahora es posible realizar auto mediciones de forma continua y precisa con un teléfono móvil o un brazalete, de modo que la vigilancia de la FCR se ha vuelto muy popular en la población general. Por lo tanto, es importante que los médicos conozcan la importancia clínica de la misma y su utilidad para las enfermedades crónicas (39).

Cuando se indica el reposo en un paciente con el fin de medir la presión arterial hay ya una técnica indicada, la cual consiste en 5 minutos de descanso, esto es, con el paciente sentado en una silla con la espalda apoyada en el respaldo, el brazo sin ropa y elevado a la altura del corazón, apoyándose sobre una superficie de base. Al observarse dicha técnica podemos utilizar los minutos de descanso, la posición de sentado, así como el apoyo de la espalda para estandarizar la posición y reposo de los individuos en los que se busque medir la variabilidad de la frecuencia cardiaca (40).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La información actual, tanto en medios nacionales como internacionales, muestra que el entrenamiento y las adaptaciones de los deportistas tienen injerencia sobre la variabilidad cardiaca, la cual en últimos años ha servido para evaluar y modificar cargas de entrenamiento, así como para el diagnóstico de sobreentrenamiento, sin embargo, muchas de estas investigaciones no describen de manera concreta la forma en cómo se debe de realizar la medición; todas concuerdan en que debe de ser en reposo, sin embargo no se especifica qué tipo de reposo o en qué posición debe de permanecer el deportista, es tal vez por estos sesgos de información que algunos trabajos no obtienen valores de variabilidad cardiaca reproducibles y se ha puesto en tela de juicio sus alcances en el ámbito deportivo.

Abordar el termino de reposo, siendo éste comúnmente usado como un estado para describir el momento ideal de la medición de la variabilidad de la frecuencia cardiaca es complicado, ya que es un término ambiguo donde podemos caer en cuestiones de semántica misma y no en definiciones estrictamente médicas, para efectos de la medición de la variabilidad cardiaca deberíamos considerar, en mi criterio, el parámetro de frecuencia cardiaca que se encuentre más cercano a la basal del individuo; con ello se busca evitar términos subjetivos y resultados no confiables.

El equipo Polar ha sido validado como un instrumento confiable para la determinación del RMSSD, y dada su facilidad para transportarse como de uso por parte del atleta lo convierte en una herramienta idónea, el individuo que se decida evaluar en ningún momento corre peligro dado que es un procedimiento no invasivo y que su uso no conlleva efectos adversos que atenten contra la integridad de la persona.

Los estudios actuales se han centrado a la valoración de la variabilidad cardiaca de manera individual, planteando un problema más para quien decida realizar esta medición en disciplinas de asociación, con todas las variantes que esto implica.

El presente trabajo no busca medir los alcances o la injerencia de la variabilidad cardiaca dentro de la medicina del deporte, lo que si pretende es estandarizar un procedimiento de medición que no se ha normado para equipos de asociación; esto mediante la demostración estadística del comportamiento de la variabilidad cardiaca en relación con los porcentajes de frecuencia cardiaca.

Ante todo lo anterior surge la pregunta ¿Cuál es el comportamiento de la variabilidad cardiaca (RMSSD) durante el reposo absoluto y relativo en futbolistas de la tercera división de la UAEMex temporada 2018?

# JUSTIFICACIONES

El presente trabajo representa una posibilidad para que a la población deportista se le pueda evaluar la variabilidad de la frecuencia cardiaca de una manera correcta y que los resultados que se obtengan estén avalados por el método científico.

La monitorización de la variabilidad cardiaca se ha convertido en los últimos años en una herramienta no sólo en el contexto de la salud cardiovascular, si no que sus alcances han llegado hasta el rendimiento deportivo, detectando problemáticas como sobre-entrenamiento, así como auxiliar en las decisiones de entrenadores y atletas para programar o decidir cargas de entrenamiento. Las innovaciones tecnológicas son actualmente necesarias para aumentar el rendimiento deportivo, sin embargo, primero debemos conocer de manera precisa sus fundamentos para saber los alcances de la misma y poder tomar decisiones correctas en beneficio de los atletas.

Si se pretende hacer de la variabilidad cardiaca una herramienta en la medicina del deporte resulta imprescindible contar con una normatividad para su medición, dejando así de lado sesgos que pudieran alterarla por desconocer el comportamiento de la misma.

Es posible dilucidar el comportamiento de la variabilidad cardiaca en torno a los estados de reposo absoluto y relativo ya que para poder realizar las mediciones no se necesita de grandes instalaciones o equipos.

Es factible la realización de este estudio ya que se cuenta con el equipo Polar Pro, y así mismo, se cuenta con el material humano, tanto en lo concerniente al área médica como el acceso a la población blanco.

El abordaje de la monitorización de la variabilidad de la frecuencia cardiaca al ser un estudio no invasivo no presenta mayores riesgos para el atleta, todos los datos obtenidos de ella deben de ser tratados como información personal y así no vulnerar los principios éticos que norman al actuar médico, respetando la libre participación dentro del mismo.

# HIPOTESIS

## HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN:

El valor de RMSSD va a discrepar al compararse durante la variabilidad cardiaca en el reposo relativo y en el reposo absoluto en futbolistas de la tercera división de la UAEMex temporada 2018.

## HIPÓTESIS NULA:

El valor de RMSSD no se modificará al compararse durante la variabilidad cardiaca en el reposo relativo y en el reposo absoluto en futbolistas de la tercera división de la UAEMex temporada 2018.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Comparar el comportamiento del RMSSD en función de las frecuencias cardíacas durante el reposo absoluto y relativo en jugadores de fútbol de la tercera división de la UAEMex temporada 2018.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar las evaluaciones del RMSSD tanto en reposo relativo como absoluto.

Analizar el comportamiento del RMSSD a distintas frecuencias cardíacas mediante métodos estadísticos tanto en reposo relativo como absoluto.

Proponer una metodología para obtener valores de RMSSD confiables en disciplinas de equipo.



# MÉTODO

## DISEÑO DE ESTUDIO

Según las características del presente estudio se planteó como longitudinal, con intervención deliberada y secuencial.

## OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Clasificación de la variable
Variabilidad de la frecuencia cardiaca (RMSSD)	La diferencia sucesiva de las raíces cuadradas medias entre los intervalos R-R normales adyacentes	Variabilidad de la frecuencia cardiaca	RMSSD, el cual es un valor numérico arrojado por el software	Cuantitativa discreta
Frecuencia cardiaca	La frecuencia cardíaca se estima tradicionalmente como el número de eventos de onda R (latidos cardíacos) por unidad de tiempo	Frecuencia cardiaca	Porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima	Cuantitativa discreta

Variable	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Clasificación de la variable
Reposo	Estado de quietud o descanso de una persona	Absoluto	En éste estudio fue en sedestación de 5 minutos, con espalda apoyada en un respaldo y sin ninguna actividad extra como el estar platicando, uso de dispositivos, cambiando ropa o calzado	Cualitativa
		Relativo	En sedestación mientras se realizaron actividades como hablar, uso de dispositivos, cambio de ropa o calzado, bipedestación con actividades exclusivamente como uso de celular, hablar o realizar cambio de ropa o calzado.	

## UNIVERSO DE TRABAJO Y MUESTRA

La población elegida fueron jugadores de futbol de tercera división, los cuales se encontraron en edades de los 17 a los 21 años, los 20 jugadores fueron elegidos de manera arbitraria en conjunto con el cuerpo técnico.

### **Criterios de inclusión.**

- Futbolista de tercera división de la UAEMex
- Que haya aceptado participar en el proyecto
- Consentimiento informado firmado

### **Criterios de exclusión.**

- Consumo de drogas
- Insomnio persistente
- Ansiedad o depresión
- Ingesta de alcohol un día antes o día del estudio
- Ingesta de café o bebidas energéticas previo a la monitorización
- Taquicardia
- Enfermedades infecciosas activas
- Condiciones ambientales
- Porteros

### **Criterios de eliminación.**

- Patología con repercusión a sistema cardiovascular o nervioso
- Dada de baja del equipo
- Nula disposición a las indicaciones
- Motivos personales
- Desconexión constante del sensor
- Los registros que por aspectos técnicos no se considere que cumplieron con los criterios de calidad establecidos

## **INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

### **Materiales.**

- 20 Sensores Polar Team Pro
- Ipad 4
- Libreta para realizar apuntes

- Aplicación para Ipad de Polar Team Pro
- Licencia de Polar Team Pro

### **Hoja de vaciado de datos reposo absoluto y relativo (Ver anexo 2 y 3)**

## **DESARROLLO DEL PROYECTO**

Estado inicial: El proyecto se desarrolló de la siguiente manera, se inició acordando con el cuerpo técnico los beneficios y objetivos que se obtuvieron con el proyecto firmando el consentimiento físico (Ver anexo 1), posteriormente se habló con los jugadores seleccionados para obtener su asentimiento/consentimiento así como para informar todo lo concerniente a su monitorización y resolver las dudas surgidas, a cada jugador que decidió participar y fue seleccionado se le asignó un sensor único y en la base de datos de Polar Team Pro se ingresaron sus datos de identificación: nombre, edad, masa corporal, estatura, género y frecuencia cardiaca máxima, que para este estudio se utilizó la fórmula de Lester,  $205-(0.41 \cdot \text{edad})$ .

Intervención: Posteriormente, se hicieron monitorizaciones de la variabilidad de la frecuencia cardiaca de 1 a 2 veces por semana, en las cuales se les indicó el reposo ya descrito, así como un reposo relativo de 5 minutos cada uno, y posteriormente donde libremente los jugadores pudieron realizar tareas como ver celular, cambiarse de ropa y colocar calzado o platicar entre ellos. Al término de ambas monitorizaciones se realizó la sincronización de dichos datos para poder hacer la lectura de dicha variabilidad de la frecuencia cardiaca en la página oficial de Polar Team Pro. Se realizó el levantamiento en 12 días, dos registros por atleta cada sesión. Se registró en la hoja de vaciado de datos la información correspondiente a cada tipo de reposo considerando en reposo absoluto como mínimo dos minutos de registro de una frecuencia cardiaca estable para ser válido este (ver anexo 2 y 3).

Estado final: Verificada la información se procedió al análisis de datos para comparar el comportamiento del RMSSD en función de las frecuencias cardiacas durante el reposo absoluto y relativo.

## LIMITES DE TIEMPO Y ESPACIO

La monitorización de la frecuencia cardiaca fue durante el torneo comprendido en el segundo semestre del año 2018, comenzando el 12 de septiembre y terminando el 06 de diciembre, tuvo lugar en los espacios de entrenamiento de la UAEMex de las canchas de Unidad Deportiva de San Antonio Buenavista y Unidad Deportiva Adolfo López Mateos. La integración de resultados para este estudio se realizó de octubre-diciembre 2019.

## DISEÑO DE ANALISIS

Con base en el tipo de estudio que se realizó los datos fueron interpretados para describir índices de correlación, medidas de dispersión y errores de desviación; así mismo se realizará análisis univariado de la frecuencia cardiaca y el RMSSD, para todo lo anterior se hizo uso de gráficas y tablas, con paquetería SPSS23 y office excel.

# IMPLICACIONES ÉTICAS

La presente es una investigación con fines médicos y científicos por lo que la información obtenida y recolectada durante la misma es manejada con discreción, obedeciendo al bienestar físico, psicológico, social y moral de aquellos que participaron bajo un asentimiento/consentimiento informado dentro de ella de acuerdo a los principios de Helsinki y se encuentra regida por las siguientes leyes y normas mexicanas.

Se siguen los lineamientos de la Ley General de Salud en materia de investigación de los artículos 1, 2, 3, 6, 8, 11 y 12 para los aspectos generales, 13 para el respeto a la dignidad y protección de los participantes, 17 en la cual se determina un riesgo mínimo con la monitorización mediante el Polar Team Pro, 20, 22 y 23 para el consentimiento informado y 21 para explicar la investigación a los sujetos de estudio.

# ORGANIZACIÓN

Investigador principal: M.G. Jorge González Mondragón encargado del desarrollo, levantamiento de datos, procesamiento de información, presentación de resultados, así como la conclusión del trabajo y defensa del estudio.

Director de tesis: M.S.P. Salvador López Rodríguez y E.M.A.F.y D. Amir Tonatiuh Flores Casillas encargados de dirigir la idea inicial y marcar pautas para la realización de este trabajo.

## PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO

El presupuesto y financiamiento constó de lo siguiente:

<b>Material</b>	<b>Costo aproximado</b>
Polar Team Pro	\$200,000
Bandas Polar Pro	\$799
Licencia de Polar Team Pro	\$62,200
Papelería y libreta	\$250
Laptop	\$8,400
Software de análisis estadístico	\$2,300
Total	\$273,949

El equipo de Polar Team Pro, bandas polar pro y licencia del mismo fue solventado por el CEMAFyD con un costo aproximado \$262,999.00 moneda nacional. La papelería, libreta, laptop y software de análisis estadístico corrió a cargo del investigador \$10,950.00 moneda nacional.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La población estudiada fue un total de 19 jugadores, con una media de edad de 17.37 años. Un sensor de los 20 que estaban proyectados a usarse presentaba fallas constantes de conexión por lo que se tomó la decisión de excluirse del análisis estadístico. Esta situación es una muestra de que la medición de variables fisiológicas siempre conlleva dificultades a las cuales tendremos que enfrentarnos y plantearnos posibles soluciones.

En total se concretaron 12 sesiones, un total de 227 datos individuales, de estas sesiones sólo 11 contaban con los parámetros adecuados para su análisis, de cada una de las sesiones se obtuvieron los datos tanto en estado de reposo absoluto como relativo, así mismo de cada sesión se excluyeron las mediciones que concordaban con los criterios de exclusión, quedando un total de 117 mediciones para cada uno de los estados, un 51% de las totales. La baja calidad de dichas mediciones, el incumplimiento en tiempo de reposo absoluto o relativo, afectaciones climatológicas y hasta interrupciones por parte del cuerpo técnico obligó a que se dejaran de lado para evitar caer en falsas conclusiones, quedando un total de 117 registros de frecuencia cardíaca y RMSSD para cada estado de reposo absoluto y relativo. Ver *Tabla 4* para el análisis de las frecuencias cardíacas registradas durante el reposo absoluto como relativo.

La *Gráfica 1* y *Gráfica 2* muestra el comportamiento de las medias de la frecuencia cardíaca durante el reposo absoluto y el relativo.

**Tabla 4** Frecuencias cardíacas registradas por cada sensor.

No. de sensor	FC mínima		FC máxima		FC media	
	RA	RR	RA	RR	RA (DE)	RR (DE)
1	31	38	34	44	32.5±1.05	40±2.53
2	30	35	37	43	32.6±2.5	40±2.56
3	25	35	33	40	28.7±3.09	37.9±2.67
4	31	38	39	42	34.1±2.59	40.3±1.49
5	29	36	34	43	32.1±1.54	39.2±1.99
6	30	33	36	41	31.8±2.39	37.6±2.97
7	31	39	36	40	33.5±3.54	39.5±0.71
8	33	39	38	46	34.4±1.81	41.4±2.3
9	29	37	35	41	31±2.28	38.8±1.83
10	26	36	37	45	31.8±4.15	39.6±3.78
11	26	37	32	41	29±2.24	39±1.58
12	29	37	36	44	32.9±2.17	40.1±2.36
13	29	36	30	38	29.7±0.58	37±1
14	30	40	40	47	34±3.63	42.2±2.86
15	34	38	36	44	34.8±0.96	41.5±2.52
16	29	36	34	42	31.8±2.59	39.6±2.51
17	29	33	37	44	33.9±2.7	40.3±3.45
18	34	39	39	45	36.7±1.97	42.2±2.56
19	30	36	35	42	32.8±1.64	39.1±2.26

*FC: Frecuencia cardíaca expresada en % de la FC máxima teórica*

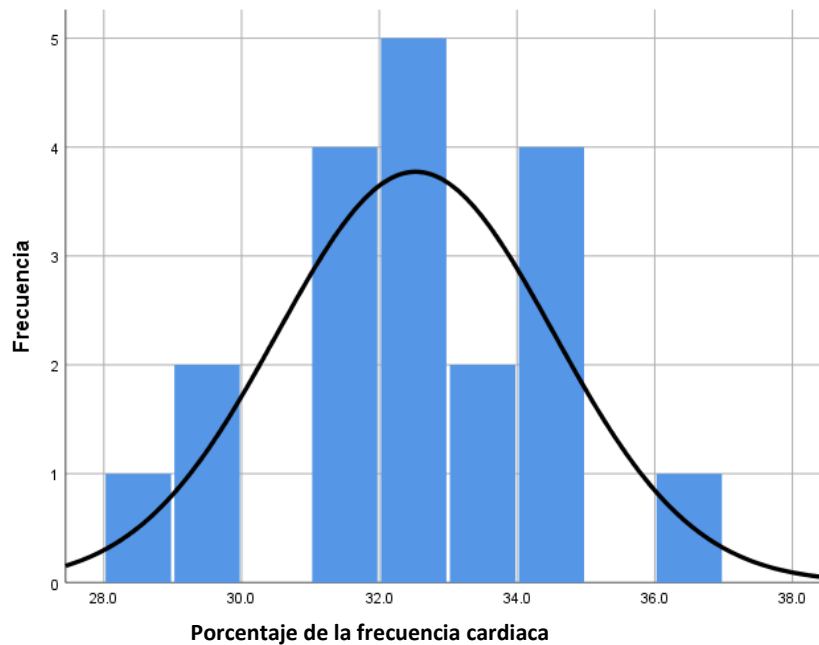
*RA: Reposo absoluto*

*RR: Reposo Relativo*

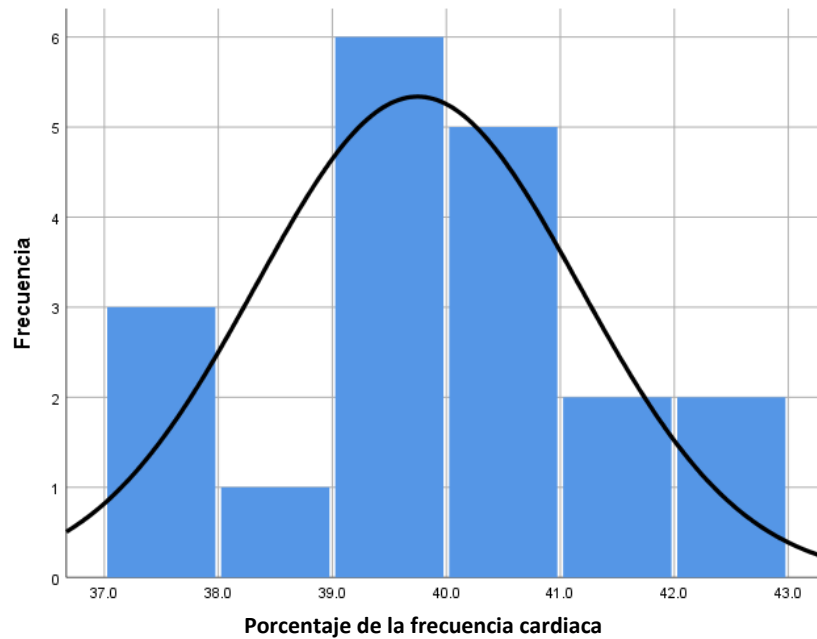
*DE: Desviación estándar*

*Fuente: Directa*

La media de las frecuencias cardíacas medias en el reposo absoluto fue de 32.53, siendo de 39.75 para el reposo relativo. Mientras tanto, la desviación estándar presentó una diferencia mínima al compararse las frecuencias cardíacas en reposo absoluto con el reposo relativo, obteniéndose 2.01 y 1.42 respectivamente. Esto nos muestra que la dispersión de la frecuencia cardíaca es mayor durante el reposo absoluto y que durante el reposo relativo tiende a concentrarse.



*Gráfica 1 Medias de frecuencia cardiaca en el reposo absoluto. Frecuencia cardiaca expresada en % de la FC máxima teórica.*  
 Fuente: Directa.



*Gráfica 2 Medias de frecuencia cardiaca en el reposo relativo. Frecuencia cardiaca expresada en % de la FC máxima teórica.*  
 Fuente: Directa.

Para la variabilidad cardiaca, RMSSD, se obtuvieron los datos observados en la *Tabla 5*.

**Tabla 5** Valores del *RMSSD* por cada sensor.

No. de sensor	RMSSD mínimo		RMSSD máximo		Media del RMSSD	
	RA	RR	RA	RR	RA	RR
1	55	23	90	55	71.8±13.35	40.5±13.25
2	97	46	133	101	112.1±11.69	64.6±17
3	53	27	96	55	69.7±16.15	40±9.18
4	38	29	114	54	76.9±23.49	41.5±8.77
5	58	41	167	88	93.8±34.27	57±16.43
6	39	18	142	72	94.8±37.21	46.8±21.71
7	42	22	50	32	46±5.66	27±7.07
8	40	27	72	50	53.7±9.98	34.1±9.35
9	65	48	118	67	89.7±21.24	56.7±6.65
10	46	26	111	69	73.4±27.95	39.8±17.43
11	75	28	135	92	101.2±24.98	57±24.39
12	60	36	128	60	76.9±21.54	47.5±9.74
13	76	37	97	71	83.3±11.85	58.3±18.58
14	34	7	139	51	95.2±39.85	36.5±16.97
15	51	23	63	45	55.3±5.44	29.5±10.38
16	44	28	91	78	67.6±17.44	48.2±20.91
17	71	28	119	103	90.8±17.69	59.9±23.61
18	39	17	102	67	62.2±22.64	34.8±18.25
19	84	36	130	62	104.8±14.89	49±8.85

*RMSSD: Índice de la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca.*

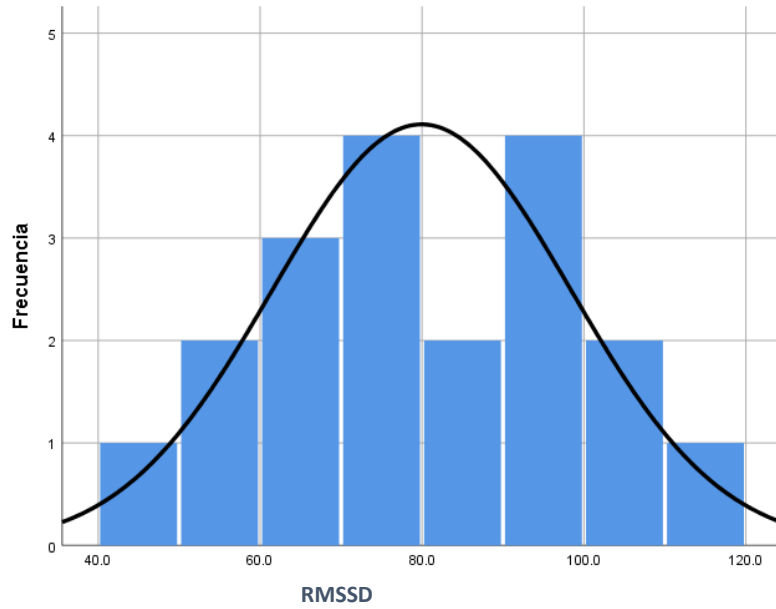
*RA: Reposo absoluto*

*RR: Reposo Relativo*

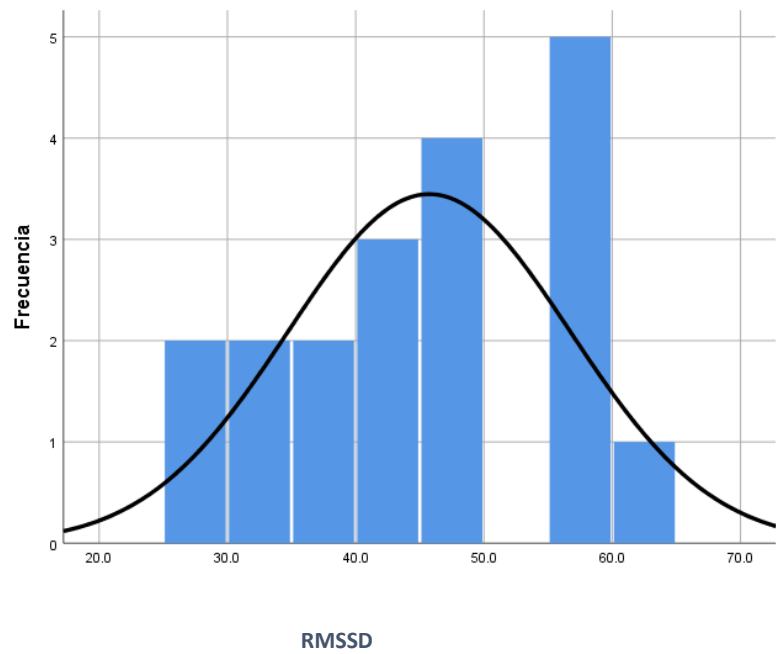
*DE: Desviación estándar*

*Fuente: Directa.*

El comportamiento de las medias del RMSSD se puede observar en la *Gráfica 3 y 4*.



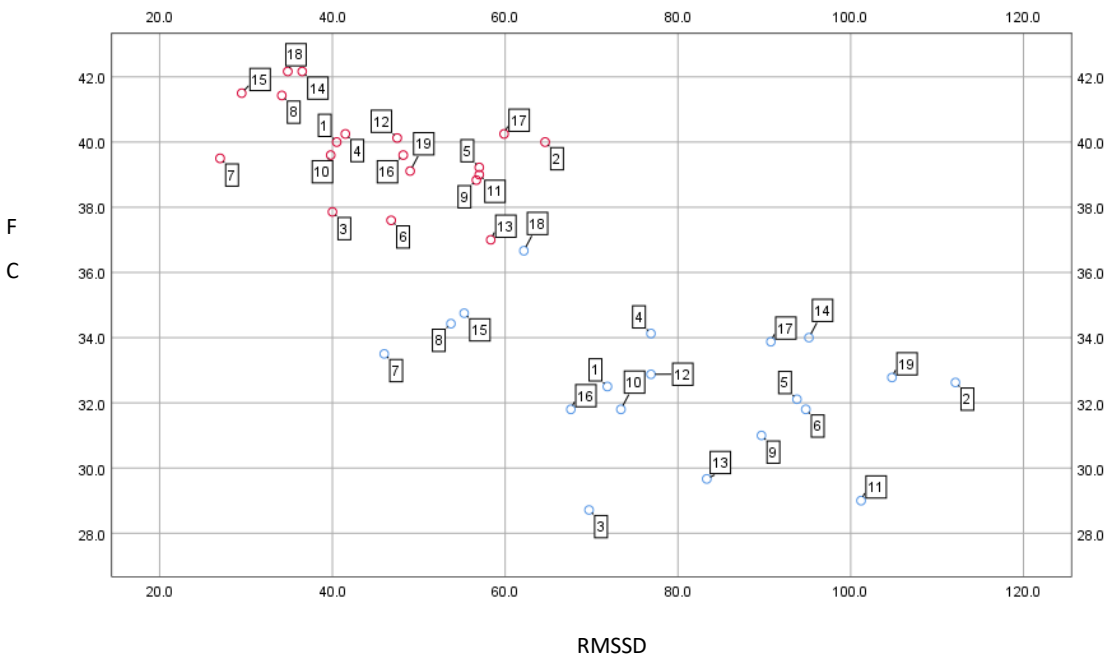
*Gráfica 3 Medias del RMSSD durante el reposo absoluto.  
Fuente: Directa.*



*Gráfica 4 Medias del RMSSD en el reposo relativo.  
Fuente: Directa.*

La media de estos valores de RMSSD fue de 79.95 para el reposo absoluto y de 45.73 para el reposo relativo. Para la desviación estándar del RMSSD en reposo absoluto y relativo, se obtuvieron valores de 18.44 y 10.99 respectivamente, lo cual muestra una mayor dispersión de la variabilidad cardiaca durante el reposo absoluto.

En la *Gráfica 5* podemos observar cómo fue la presentación del valor del RMSSD en función de la frecuencia cardiaca, así mismo nos permite comparar el número de sensor de cada uno para poder visualizar el comportamiento entre un estado y otro en el mismo individuo:



*Gráfica 5 Comparación del RMSSD en función de la FC por número de sensor. En azul durante el reposo absoluto y en rojo en reposo relativo. FC: Frecuencia cardiaca. RMSSD: Índice de la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca. Fuente: Directa.*

Dentro de la información que nos otorga la comparación de muestras mediante la T de student de muestras relacionadas se obtiene una significancia menor al 1%, con este valor de P se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, la cual es “El valor de RMSSD va a discrepar al

compararse durante la variabilidad cardiaca en el reposo relativo y en el reposo absoluto en futbolistas de la tercera división de la UAEMex temporada 2018”.

Tal como se observó, la media de FC que presentaron los jugadores durante el reposo absoluto y en todo el estudio fue de 32.53, un porcentaje de FC que es reflejo del estado de entrenamiento al que se ven sometidos los deportistas, personas sedentarias o con patologías de base no llegan a presentar frecuencias cardiacas como las expuestas por este grupo. Ahora bien, los cambios en el comportamiento de dicha FC durante el reposo relativo son expuestos al obtener una media de 39.75 en dicho estado, por lo que podemos decir que aun cuando las actividades realizadas durante este momento en particular no son demandantes si interfieren con el comportamiento de la FC encontrada en el reposo absoluto.

En cuanto al RMSSD vemos que este presentó durante el reposo absoluto una media de 79.95, lo cual concuerda dentro de los parámetros internacionales reportados en términos de normalidad en la población deportista (30), mientras tanto al compararse contra el reposo relativo, encontramos que éste último presentó una media de 45.73; se puede observar que ciertamente existe una diferencia entre valorar dicha variabilidad cardiaca en un estado u otro, por más mínimo que sea el cambio entre cada uno.

Hay un fenómeno estadístico digno de observar, el cual es la desviación estándar presentada tanto en la FC y el RMSSD durante el reposos absoluto y relativo (41,42). El análisis de los datos nos ha arrojado que la dispersión de la FC y el RMSSD es mayor durante el reposo absoluto que en el relativo, y la interpretación que debemos de dar es que durante el reposo absoluto los valores obtenidos presentan un comportamiento más libre, lo que nos otorga lecturas que podemos considerar reales, y al contrario, en el reposo relativo, el aumento de la FC y la disminución del RMSSD se encuentran con límites o umbrales que les impiden progresar haciendo que los datos obtenidos tengan una dispersión menor, y por consiguiente una aglomeración de dichas variables que representaría un

sesgo (43). Entender este punto es de suma importancia, ya que como médicos del deporte al momento que pretendamos hacer mediciones de la variabilidad cardiaca con el objetivo que fuese, si realizáramos estas mediciones durante un reposo relativo o en condiciones donde no se garantizara el reposo absoluto lo que estaríamos provocando de manera directa es una mala lectura del RMSSD, así como una baja dispersión de dichos datos, lo cual es de suma importancia en deportes de conjunto.

Para el objetivo de dicha tesis resulta primordial comparar de manera objetiva el comportamiento del RMSSD en función de las frecuencias cardiacas de los jugadores, es por ello por lo que la *Gráfica 5* resulta de vital importancia, en ella podemos observar que a una mayor FC el RMSSD siempre estará por abajo del valor obtenido durante el reposo absoluto. Este comportamiento fue constante y congruente en cada uno de los deportistas analizados. Así mismo podemos observar en dicha gráfica la concentración o menor dispersión del RMSSD durante el reposo relativo. Asimilar dicha gráfica nos brinda la oportunidad de ver que no se necesitan de grandes cambios en la FC para disminuir significativamente el valor del RMSSD.

Habiendo observado la *Gráfica 5* se decide generar un análisis de correlación de Pearson donde obtenemos una significancia al 1% con una  $r=0.798$ , lo cual nos indica una relación fuerte y significativa entre los valores obtenidos de RMSSD de cada grupo, el de reposo absoluto y el de reposo relativo; esta relación no es obra de la casualidad o de eventos aleatorios, si no que muestra un patrón constante y medible (44). En función de lo anterior, querer desestimar valores de variabilidad cardiaca medidos durante el reposo absoluto resulta ser estadísticamente inviable.

Además, según el modelo de regresión lineal simple se obtiene una  $R^2$  de 0.637. Una vez efectuado el análisis de regresión lineal simple podemos decir que el RMSSD en el reposo relativo estará dado en torno al 63% del valor del RMSSD en el reposo absoluto, sin embargo, este presentará una variación alrededor del



37%, esta aseveración se fundamenta en la interpretación de la  $R^2$  (45). Dicho esto, se entiende que existe una cierta limitación al intentar aplicar alguna fórmula de corrección o de ajuste del RMSSD en función de la FC en un estado de reposo relativo, ya que el valor obtenido distará mucho de ser el real.

No sólo es importante saber el P valor, sino también conocer el tamaño del efecto, determinado por el valor D de Cohen's (46), después del análisis dicho valor es de 2.92, lo cual se traduce en que el reposo relativo tiene grandes efectos sobre el RMSSD.

Con todo lo anterior la evidencia nos demuestra que el momento y la forma en que preparamos al deportista para realizar la medición de la variabilidad cardiaca es de suma importancia, y que realizar estas mediciones en campo no debe de ser una limitante para obtener datos confiables. Si es que queremos hacer del RMSSD una herramienta en el ámbito de la medicina deportiva su evaluación deberá respetar los lineamientos durante el reposo absoluto plasmados en esta tesis. Es de vital importancia antes de realizar estas mediciones hablar tanto con los atletas como con el cuerpo técnico para que se comprometan en respetarlas, la información que nos brinda el presente trabajo es tener un gran argumento del por qué tiene que ser un procedimiento tan cuadrado y que debe de ser tomado con la seriedad que merece.

## CONCLUSIONES.

Con todo el análisis realizado, la evidencia estadística nos otorga la suficiente evidencia para concluir diciendo que el valor del RMSSD discrepa al compararse durante el reposo relativo y en el reposo absoluto en futbolistas de la tercera división de la UAEMex temporada 2018, y con ello sabemos que el estado en el que se realizan las mediciones de la variabilidad de la frecuencia cardiaca es de suma importancia para obtener valores confiables que nos garantice que la lectura del RMSSD es en un medio controlado e ideado para mantener al deportista en un reposo absoluto durante el registro de la variabilidad cardiaca. Así mismo nos advierte que la lectura del RMSSD que sea llevada a cabo en cualquier otra condición no será una lectura confiable y que estará alejada del valor real de dicha variable fisiológica.

La monitorización del RMSSD tanto en reposo relativo como absoluto es plausible, sin embargo, se debe de tomar en consideración que aun tomando la mayoría de las consideraciones habrá mediciones inviables. Para reducir al mínimo ésta perdida desde el punto de vista técnico, se propone adoptar la definición de reposo absoluto utilizada en este trabajo, la cual ayuda para precisar el estado en el que deben de estar los deportistas, siendo delimitado dicho estado con el sujeto en sedestación de 5 minutos, con espalda apoyada en un respaldo y sin ninguna actividad extra como el estar platicando, uso de dispositivos, cambiando ropa o calzado.

El análisis del comportamiento del RMSSD durante el reposo absoluto concuerda con los valores obtenidos en otras investigaciones.

## RECOMENDACIONES.

Existen varias recomendaciones en torno a la presente tesis, la mayoría de ellas tienen que ver con cuestiones prácticas o recomendaciones para que sea posible evaluar el RMSSD de manera más fácil y que dado lo reciente del tema, en un inicio nos hizo falta conocer como investigadores. La primera y una de las más importantes desde mi punto de vista sería comprometer de manera verbal y si es posible mediante algún documento al cuerpo técnico y jugadores para respetar las indicaciones médicas necesarias con el objetivo de cumplir las características del reposo absoluto y obtener valores confiables, ya que se presentan muchas lecturas de mala calidad o insuficientes por que el reposo absoluto se ve interrumpido o es tomado en condiciones deficientes. Así mismo considero necesario que en seguimientos a largo plazo se haga reforzamientos periódicos para no relajarse en las medidas acordadas, una ocasión al mes sería un tiempo recomendado.

Conocer al equipo donde se llevará acabo la valoración para saber las particularidades de personalidad y con ello saber a quienes estar más atento o incluso citar antes que a otros. Acondicionar de manera adecuada las instalaciones para que sea mucho más fácil y comfortable la toma de la medición. Es difícil controlar a un gran número de jugadores, algo que es frecuente en las disciplinas de equipo, por lo que recomiendo que sean de 2 a 4 personas las encargadas de mantener en orden dicha población. También resulta necesario familiarizarse con el equipo Polar, ya que la interpretación del RMSSD tiene ciertas particularidades dentro de su portal.

Por último, las líneas de investigación pueden ser el guiar entrenamientos con base en el comportamiento del RMSSD, así como medir el comportamiento a lo largo de toda una temporada cuantificando las cargas de entrenamiento de los deportistas como una opción más para el seguimiento médico-técnico.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Guyton A, Hall J. Tratado de fisiología médica. 11th ed. Barcelona: Elsevier; 2008, p. 106.
2. Barbieri R, Matten E, Alabi A, Brown E. A point-process model of human heartbeat intervals: new definitions of heart rate and heart rate variability. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2004; 288: p. 424-435.
3. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol*. 2003; 90: p. 317-325.
4. Berntson G, Lozano D, Chen YJ. Filter properties of root mean square successive difference (RMSSD) for heart rate. *Psychophysiology*. 2005; 42: p. 246-252.
5. Erns G. Hidden signals-The history and methods of heart rate variability. *Frontiers in public health*. 2017; 5(265): p. 1-12.
6. Migliano E, Contreras P, Ricca R. Variabilidad de la frecuencia cardiaca, sus mecanismos y su relación con la inervación autónoma. In Gelpi R, Buchholz B. *Neurocardiología, aspectos fisiopatológicos e implicaciones clínicas*. Primera ed. Madrid: Elsevier; 2018. p. 237-269.
7. Mirvis D, Goldberg A. Electrocardiografía. In Mann D, Zipes D, Libby P, Bonow R, Braunwald E. *Tratado de cardiología*. 10th ed. Barcelona: Elsevier; 2016. p. 114-154.

8. García M, Fernández M, Capdevila L, Parrado E, Ramos J. An application of fractional differintegration to heart rate variability time series. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2013; 3: p. 33-40.
9. Hoshi R, Pastre C, Marques L, Fernández M. Poincaré plot indexes of heart rate variability: relationships with other nonlinear variables. *Autonomic neuroscience: basic and clinical*. 2013; 177(2): p. 271-274.
10. Burr R, Motzer S, Chen W, Cowan M, Shulman R, Heitkemper M. Heart rate variability and 24-hour minimum heart rate. *Biological research for nursing*. 2006; 7(4): p. 256-267.
11. Saboul D, Pialoux V, Hautier C. The impact of breathing on HRV measurements: Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *European journal of sport science*. 2013; 13(5): p. 534-542.
12. Pereira V, Alves N, Silveira H, Gomes R, Camaz A. Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review. *A.N.E.* 2014; 1(1): p. 1-11.
13. Abhishekh H, Nisarga P, Kisan R, Meghana A, Chandran S, Raju T, et al. Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *J Clin Monit Comput*. 2013; 27(3): p. 259-264.
14. Benichou T, Pereira B, Mermillod M, Tauveron I, Pfabigan D, Maqdasy S, et al. Heart rate variability in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and metaanalysis. *Plos one*. 2018; 13(4): p. 1-19.

15. Jangpangi D, Mondal S, Bandhu R, Kataria D, Gandhi A. Alteration of heart rate variability in patients of depression. *Journal of clinical and diagnostic research*. 2016; 10(12): p. CM04-CM06.
16. Hu S, Lou J, Zhang Y, Chen P. Low heart rate variability relates to the progression of gastric cancer. *World journal of surgical oncology*. 2018; 16(1): p. 1-5.
17. Abad C, Kobal R, Kitamura K, Gil S, Pereira L, Loturco I, et al. Heart rate variability in elite sprinters: effects of gender and body position. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2015; 37(4): p. 442-447.
18. Schmitt L, Regnard J, Desmarests M, Mauny F, Mourot F, Fouillot JP, et al. Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *Plos one*. 2013; 8(8): p. 1-9.
19. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in physiology*. 2014; 5(73): p. 1-20.
20. Bourdillon N, Schmitt L, Yazdani S, Vesin JM, Millet G. Minimal window duration for accurate HRV recording in athletes. *Frontiers in neuroscience*. 2017; 11(456): p. 1-9.
21. Taguegne B, Man T, Roon A, Riese H. Determinants of heart rate variability in the general population: the lifelines cohort study. *Heart rhythm*. 2018; 15(10): p. 1552-1558.
22. Naranjo J, De la Cruz B, Sarabia E, De Hoyo M, Domínguez S. Heart rate variability: a follow-up in elite soccer. *Int J Sports Med*. 2015; 36: p. 881-886.

23. Ravé G, Fortrat JO. Heart rate variability in the standing position reflects training adaptation in professional soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2016; 116(8): p. 1575-1582.
24. da Costa M, Da Silva N, Pastre C, De Azevedo F, Marques LC. Comparison of Polarfi RS800G3TM heart rate monitor with Polarfi S810iTM and electrocardiogram to obtain the series of RR intervals and analysis of heart rate variability at rest. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016; 36(2): p. 112-117.
25. Plews D, Scott B, Altini M, Wood M, Kilding A, Laursen P. Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, Polar H7 chest strap, and electrocardiography. *International journal of sports physiology and performance.* 2017; 12(10): p. 1324-1328.
26. Achten J, Jeukendrup A. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.* 2003; 33(7): p. 517-538.
27. Proietti R, Di Fronso S, Pereira L, Bortoli L, Robazza C, Nakamura F, et al. Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players. *Journal of strength and conditioning research.* 2017; 31(6): p. 1719-1725.
28. Bellenger C, Fuller J, Thomson R, Davison K, Robertson E, Buckley J. Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2016; 46: p. 1461-1486.
29. Serra R. Riesgo cardiovascular durante el ejercicio físico. In Serra R. *Cardiología en el deporte, revisión de casos clínicos basados en la evidencia.* 3rd ed. Barcelona: Elsevier; 2015. p. 89-104.

30. Kiss O, Sydó N, Vargha P, Vágo H, Czibalmos C, Édes E, et al. Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clin Auton Res.* 2016; 26(4): p. 245-252.
31. Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Capelle S, Henriot M, Wolf JP, et al. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2004; 24(1): p. 10-18.
32. Javaloyes A, Sarabia JM, Lamberts R, Moya M. Training prescription guided by heart-rate variability in cycling. *IJSP.* 2019; 14(1): p. 23-32.
33. Vesterinen V, Nummela A, Heikura I, Laine T, Hynynen E, Botella J, et al. Individual endurance training prescription with heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc.* 2016; 48(7): p. 1347-1354.
34. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer, an update. *Sports Med.* 2005; 35(6): p. 501-536.
35. Hoff J. Training and testing physical capacities for elite. *J Sports Sci.* 2005; 23(6): p. 573-582.
36. Andrzejewski M, Chmura J, Pluta B, Strzelczyk R, Kasprzak A. Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013; 27(8): p. 2134-2140.
37. Paul D, Nassis G. Testing strength and power in soccer players: the application of conventional and traditional methods of assessment. *J Strength Cond Res.* 2015; 29(6): p. 1748-1758.



38. Bernhofer E. Investigating the concept of rest for research and practice. *J Adv Nurs*. 2016; 72(5): p. 1012-1022.
39. Nanchen D. Resting heart rate: what is normal? *BMJ*. 2018; 104(13): p. 1048-1049.
40. Ronald V. Hipertensión sistémica: mecanismos y diagnóstico. In Mann D, Zipes D, Libby P, Bonow R, Braunwald E. *Tratado de cardiología*. 10th ed. Barcelona: Elsevier; 2016. p. 934-952.
41. Hess A, Hess J. Understanding standard deviations and standard errors. *Wiley*. 2016; 56(6): p. 1259-1261.
42. Elseviers M. The mysterious standard deviation. *Edtna Erca J*. 2003; 29(2): p. 1-3.
43. Hernández R, Fernández C, Baptista P. *Metodología de la investigación*. 5th ed. Ciudad de México: McGrawHill; 2010.
44. Ly A, Marsman M, Wagenmakers E. Analytic posteriors for Pearson's correlation coefficient. *Stat Neerl*. 2018; 72(1): p. 4-13.
45. Hazra A, Gogtay N. Biostatistics series module 6: correlation and linear regression. *Indian J Dermatol*. 2016; 61(6): p. 593-601.
46. Caycho T. Magnitud del tamaño del efecto y su importancia en la investigación pediátrica. *Acta Pediatr Mex*. 2017;38(2):134-136.

# ANEXOS

## ANEXO 1. CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Nombre del director técnico:** FELIPE MENDEZ MORALES  
**Número de jugadores:** 20      **Fecha:** 06-Sept-2018

Declaro en forma libre y totalmente voluntaria que los jugadores del equipo de tercera división de la Universidad Autónoma del Estado de México aceptan participar de forma voluntaria en el protocolo de investigación desarrollado en el Centro de Medicina de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el médico residente Jorge González Mondragón el cual presenta las siguientes características.

**Propósitos del estudio:**

Se realizará monitorización con ayuda del equipo Polar de las sesiones de entrenamiento, para poder valorar el comportamiento de la variabilidad cardiaca durante el reposo.

Se identificará como es que se comporta la variabilidad cardiaca en reposo absoluto y relativo.

**Riesgos del estudio:**

El presente estudio se apega a la Ley General de Salud para la Investigación Clínica en Humanos, debido a que se realiza bajo la supervisión de personal médico capacitado por lo que el estudio es de mínimo riesgo.

Al no ser un método invasivo no presenta riesgos de lesiones graves, invalidez o muerte.

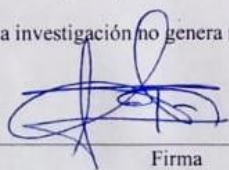
**Equipo que será utilizado para los fines del protocolo de investigación:**


El equipo Polar, es un instrumento que ha sido avalado para medición de variables fisiológicas como de desempeño de cualquier individuo, es un dispositivo que se fija al tórax gracias a una banda elástica.

Con base en lo anterior le debemos informar lo siguiente:

1. Su participación es totalmente voluntaria
2. Este estudio es totalmente confidencial y en ningún momento se divulgará su identidad
3. Los resultados personales podrán ser solicitados en el momento que se desee
4. El estudio será realizado en las instalaciones donde se lleve a cabo el entrenamiento del equipo
5. El participante será libre de retirarse en el momento en que así lo decida.

Dicha investigación no genera ningún costo para el deportista o el equipo.

  
Firma

  
Firma del investigador a cargo

Cédula Profesional: 8876121

## ANEXO 2. HOJA DE VACIADO DE REPOSO ABSOLUTO

Banda	TT1	TT2	TT3	TT4	TT5	TT6	TT7	TT8	TT9	TT10	TT11	FCm1	FCm2	FCm3	FCm4	FCm5	FCm6	FCm7	FCm8
52	05:21	00:00	02:14	05:25	04:13	00:00	00:00	05:24	00:00	00:00	03:21	31		34	33	32			32
53	02:16	05:11	00:00	05:04	03:29	03:12	04:31	00:00	00:00	03:35	04:33	32	30		30	31	35	32	
54	06:09	00:00	04:05	02:38	03:55	00:00	03:13	00:00	03:33	00:00	03:55	31		31	33	29		26	
55	04:32	05:32	00:00	03:02	00:00	04:27	02:23	03:17	04:57	04:00	00:00	39	34		32		35	32	31
56	06:30	04:48	00:00	03:59	02:33	03:52	03:54	03:08	00:00	03:21	03:56	34	33		31	32	32	32	29
57	05:48	05:23	00:00	03:52	00:00	04:25	00:00	03:00	00:00	00:00	00:00	36	31		30		31		31
58	00:00	04:56	00:00	00:00	00:00	00:00	04:05	00:00	00:00	00:00	00:00		36					31	
59	06:01	03:48	00:00	00:00	00:00	04:27	00:00	03:48	03:47	03:02	05:20	35	34				38		33
60	06:19	06:47	04:45	03:56	03:03	00:00	00:00	00:00	00:00	02:32	04:53	30	29	32		35			
61	07:30	05:16	00:00	00:00	04:26	00:00	00:00	00:00	04:12	00:00	04:25	26	32			30			
62	07:41	06:52	04:16	06:15	00:00	00:00	00:00	00:00	02:39	00:00	00:00	28	29	30	26				
63	06:09	05:35	03:49	04:05	02:05	04:21	00:00	00:00	03:41	00:00	02:36	29	36	34	34	33	34		
64	00:00	04:53	00:00	03:58	00:00	00:00	00:00	03:26	00:00	00:00	00:00		29		30				30
65	05:04	00:00	00:00	00:00	04:13	04:23	04:43	00:00	00:00	02:37	04:10	36				34	31	30	
66	06:31	04:16	00:00	03:30	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	03:17	34	36		35				
67	00:00	04:28	03:56	00:00	04:09	00:00	00:00	02:34	04:07	00:00	00:00		33	34		29			29
68	07:08	06:10	05:04	03:36	04:17	03:53	02:32	00:00	00:00	00:00	04:51	33	37	29	35	31	36	35	
69	00:00	06:17	00:00	02:42	00:00	00:00	05:04	00:00	03:10	03:41	03:35		35		38			36	
70	02:00	00:00	03:40	04:17	00:00	03:59	03:29	02:29	02:47	02:34	04:20	34		31	30		32	33	34

Banda	FCm9	FCm10	FCm11	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5	VC6	VC7	VC8	VC9	VC10	VC11
52			33	78		55	59	69			90			80
53		37	34	133	118		107	97	110	121			100	111
54	26		25	53		68	58	56		86		71		96
55	34	36		38	75		72		64	114	100	65	87	
56		32	34	58	60		124	97	83	97	167		87	71
57				39	108		90		95		142			
58					42					50				
59	33	33	35	54	53				48		72	59	50	40
60		29	31	89	65	89		68					118	109
61	34		37	111	46			92				69		49
62	32			135	81	98	117					75		
63	31		32	128	60	65	75	65	72			79		71
64					97		77				76			
65		40	33	70				89	139	105			34	134
66			34	51	52		55							63
67	34				60	68		75			91	44		
68			35	76	71	107	91	119	71	89				102
69	34	38	39		57		50			74		102	51	39
70	32	35	34	119		84	98		130	115	97	104	108	88

### ANEXO 3. HOJA DE VACIADO DE REPOSO RELATIVO

Banda	TT1	TT2	TT3	TT4	TT5	TT6	TT7	TT8	TT9	TT10	TT11	FCm1	FCm2	FCm3	FCm4	FCm5	FCm6	FCm7	FCm8
52	03:36	00:00	02:13	05:57	02:19	00:00	00:00	04:12	00:00	00:00	04:49	38		38	38	44			42
53	03:47	03:56	00:00	02:58	03:59	04:24	04:01	00:00	00:00	03:31	02:26	40	35		41	39	40	39	
54	02:24	00:00	02:20	04:27	02:01	00:00	03:01	00:00	03:19	00:00	02:45	35		35	40	40		40	
55	03:41	02:09	00:00	04:05	00:00	04:32	03:55	03:29	03:03	02:48	00:00	41	39		40		41	38	42
56	02:21	04:21	00:00	04:34	02:21	03:12	04:02	03:11	00:00	02:35	03:13	38	39		36	39	41	38	39
57	02:01	04:20	00:00	06:14	00:00	04:15	00:00	03:11	00:00	00:00	00:00	41	38		33		37		39
58	00:00	04:17	00:00	00:00	00:00	00:00	03:00	00:00	00:00	00:00	00:00		39					40	
59	03:35	03:19	00:00	00:00	00:00	03:16	00:00	03:06	03:31	03:54	04:59	40	39				46		42
60	02:59	02:04	03:01	00:00	03:19	00:00	00:00	00:00	00:00	03:44	02:43	37	39	37		41			
61	02:09	03:29	00:00	00:00	02:04	00:00	00:00	00:00	03:08	00:00	02:12	36	36			41			
62	02:24	03:32	02:15	04:13	00:00	00:00	00:00	00:00	03:07	00:00	00:00	40	41	37	38				
63	03:25	03:16	02:54	03:37	02:16	02:22	00:00	00:00	02:14	00:00	03:31	38	40	38	41	37	44		
64	00:00	03:20	00:00	02:38	00:00	00:00	00:00	02:16	00:00	00:00	00:00		38		37				36
65	02:10	00:00	00:00	00:00	02:10	03:57	03:04	00:00	00:00	02:07	03:06	44				42	40	40	
66	02:20	03:51	00:00	04:39	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	02:14	38	42		42				
67	00:00	03:55	02:10	00:00	03:23	00:00	00:00	03:28	02:36	00:00	00:00		41	38		41			36
68	02:20	03:02	03:02	02:20	03:31	04:01	03:01	00:00	00:00	00:00	02:23	41	41	33	38	43	40	42	
69	00:00	03:31	00:00	03:21	00:00	00:00	03:12	00:00	03:16	03:34	03:55		39		45			43	
70	02:36	00:00	02:22	05:21	00:00	03:59	04:04	03:06	02:59	02:01	02:25	40		36	36		39	37	41

Banda	FCm9	FCm10	FCm11	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5	VC6	VC7	VC8	VC9	VC10	VC11
52			40	26		44	43	23			55			52
53		43	43	74	101		62	64	60	60			50	46
54	40		35	42		27	33	45		43		35		55
55	39	42		33	53		29		41	54	40	44	38	
56		40	43	57	46		80	45	59	88	48		49	41
57				18	72		64		44		36			
58					32					22				
59	40	41	42	27	45				31		29	50	30	27
60		38	41	53	61	54		57					67	48
61	40		45	69	40			26				37		27
62	39			60	41	92	64					28		
63	41		42	60	50	54	40	60	39			36		41
64					71		37				67			
65		47	40	51				26	45	41			7	49
66			44	45	25		25							23
67	42				44	60		31			78	28		
68			44	59	52	103	86	28	48	52				51
69	40	41	45		67		17			41		35	30	19
70	41	42	40	46		50	55		62	61	46	41	36	44