

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA  
SECCION DE COMPUTACION

SISTEMA MODULAR PARA LA MEDICION DEL ESTRES

PRESENTA

ENRIQUE BONILLA ENRIQUEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTORES

DR. ADRIANO DE LUCA PENNACCHIA  
DRA. MARIA ELENA SANCHEZ AZUARA

MEXICO D.F., OCTUBRE 2005

# Prefacio

Esta tesis es presentada como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias en la especialidad en Computación por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados de Instituto Politécnico Nacional.

La tesis es la continuación del trabajo de investigación sobre la medición del estrés que el Dr. Adriano de Luca y la Dra. María Elena Sánchez realizan desde el año 2000 hasta la fecha. La información que aquí se presenta corresponde a los resultados obtenidos entre mayo de 2004 y mayo de 2005.

# Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).  
Por el apoyo al desarrollo de la ciencia en México.

Al Centro de Investigación y Estudios Avanzados  
del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV).  
Por su incansable esfuerzo en la creación de profesionistas especializados en diferentes áreas  
del conocimiento.

Al Dr. Adriano de Luca y la Dra. María Elena Sánchez.  
Quienes supieron dirigir mis esfuerzos para conseguir este objetivo.

A los Doctores Oscar Olmedo y Pedro Mejía.  
Por su tiempo y disposición para ser los revisores de este trabajo.

A los profesores de la Sección de Computación.  
Mi más sincero agradecimiento por su profesionalismo mostrado día a día dentro del  
aula y fuera de ella. En especial al Dr. Guillermo Morales.

Al personal administrativo de la Sección de Computación.  
Quienes con su trabajo permiten la continuidad de la labor diaria de todos nosotros.  
Un agradecimiento a Sofía Reza.

A mis compañeros de la generación 2002.  
Por la grata convivencia de grupo que siempre tuvimos. En especial a Lorena, Eduardo,  
Adriana, Miguel Angel y Artemio.

A Haydeé.

Quien me ha enseñado a no desistir y a esforzarme día con día.

Este esfuerzo te lo dedico a ti.

Por tu amor y paciencia, gracias.

A mis padres Enrique y Socorro.

A mis hermanos Gladys y Baruc.

A mis abuelos José, Leonides, Carmen y Esperanza.

Gracias a todos por su cariño y apoyo en mis proyectos de vida.

Después de recorrer un largo camino,  
se aprende a reconocer y respetar a todas  
aquellas personas que recorren caminos más  
largos y difíciles que el propio.  
Enrique Bonilla.

# Resumen

El estrés es considerado como un problema de salud psicosocial importante debido al efecto que tiene sobre las personas en el transcurso de su vida. Se describe como el propulsor del desgaste vital, el cual puede provocar desequilibrios físicos o psicológicos en una persona. Estos desequilibrios pueden provenir de situaciones reales o imaginarias, las cuales afectan de manera particular a cada individuo. Es común el tratar al estrés como una afección puramente psicológica, la cual es analizada mediante estudios e intervenciones de la misma índole. Es reconocido que el estrés puede ser la causa de enfermedades como cardiopatías, enfermedades circulatorias, enfermedades de la piel, diabetes e incluso tumores. Sin embargo, el estudio de rasgos psicológicos que indiquen afectación psicológica, aunado a un estudio fisiológico para determinar el nivel de estrés de un paciente, es una propuesta innovadora que pocos investigadores sobre el estrés han tratado. Una de estas propuestas fue la implementada en el Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés implementado por Gregorio Pérez Olán. Este sistema proponía la evaluación psicológica y fisiológica de un paciente. Pero su implementación requirió de mejoras las cuales no pudieron ser implementadas debido a la arquitectura monolítica con la que se diseñó.

Esta tesis presenta una nueva arquitectura modular en la implementación del sistema para la medición del estrés. El nuevo diseño propuesto presenta una mejor definición de cada uno de los módulos que constituyen al sistema, además de implementar en capas los módulos que constituyen la aplicación. Este sistema propone la implementación de una nueva prueba psicológica para la evaluación del estrés denominada TAPE. El TAPE se utiliza en sustitución de la prueba del sistema anterior denominada MSP. El MSP cubría parcialmente el análisis psicológico de las personas, evidenciando particularmente el aspecto “angustia”. En el aspecto fisiológico se propone un aumento en la velocidad de muestreo de la señales analógicas utilizadas, lo que permite una mejor identificación de los puntos R de la señal de ECG con un error de 2 ms como máximo. Aunado a estas características, el sistema propone también la reutilización de módulos

que faciliten el desarrollo de sistemas posteriores.

Este trabajo se evaluó desde el punto de vista técnico, encontrándose mejoras en su uso a nivel de usuario , y ante todo demostró que diferentes módulos podrán ser reutilizados para generar otras aplicaciones futuras para el estudio del estrés. Desde el punto de vista clínico se evaluó la parte psicológica en su modalidad “post-traumática” en cuarenta pacientes de primer infarto cardiovascular. Pacientes del Hospital de Cardiología de México encontrándose similitud muy alta (95 %) en los valores medidos.

# Abstract

Stress is known as an important psychosocial problem due to the effect it has on people along its life. Stress is defined as the vital generator of wear and tear which can produce physical or psychological imbalance in a person. The imbalances can be generated from real or imaginary situations. These situations have a particular effect over each person. It is common to deal with stress as an exclusive psychological problem, analyzed and managed with psychological treatments. It is recognized that stress is the cause of illness. Some of these illnesses can be cardiopathies, circulatory system affections, skin affections, diabetes, and even tumors. Thereby, the study of psychological traces that shows psychological affection, joined to physiological studies to ascertain the stress level of a patient is an innovative proposal, that few researchers have managed. One of the proposals was the Computational System for the Multidimensional Measure of Stress made by Gregorio Pérez Olán. The system proposed the psychological and physiological evaluation of a patient, but the implementation required improvements which could not be implemented due to the monolithic architecture it was designed.

This thesis presents a new modular architecture and implementation of the system for the stress measurement. The new design presents a better definition in several modules the system is composed. The system also implements in layers the modules that compound the application. About the psychological section, the design uses a new test to evaluate the stress called TAPE. TAPE is used instead of the previous test called MSP. The MSP tested partially the psychological aspect of people, mainly focused on distress aspect. About the physiological section it is proposed an increase of the sample rate of the analogical signals used, this let identify the R point in the ECG signal with an accuracy of 2 ms. As a whole objective, the system proposes the reuse of modules to ease the development of different systems.

This work was evaluated from a technical view, founding improvements on its general usage from a user point of view. But, as a main technical point the system demonstrates that different modules can be reused to generate future applications for stress research. From a clinical

point of view, the system evaluated the psychological part of the “post-traumatic” concept on forty patients. These patients had a first cardiovascular infarct diagnostic from The Cardiology Hospital of México founding a high similarity (95 %) on measured values.



# Índice general

<b>Prefacio</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract</b>	<b>VI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Estructura de la tesis . . . . .	2
<b>2. La Medición del Estrés</b>	<b>4</b>
2.1. El estrés, mecanismos y efectos . . . . .	4
2.2. El Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés (SCMME) . . . . .	9
2.3. La evaluación fisiológica del SCMME . . . . .	10
2.4. La evaluación psicológica del SCMME . . . . .	11
2.5. Modularidad en la capa de presentación . . . . .	12
2.6. Resumen . . . . .	18
<b>3. Diseño de la Arquitectura Modular</b>	<b>20</b>
3.1. Descripción general del sistema . . . . .	20
3.2. El módulo de evaluación fisiológica . . . . .	21
3.3. El módulo de evaluación psicológica . . . . .	24
3.4. Resumen . . . . .	26

<b>4. Implementación del Módulo de Evaluación Fisiológica</b>	<b>27</b>
4.1. Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos . . . . .	28
4.1.1. Sensores . . . . .	28
4.1.2. Acondicionamiento de señales . . . . .	29
4.1.3. Conversión A/D y muestreo . . . . .	31
4.1.4. Comunicación USB y sus restricciones . . . . .	32
4.2. Driver JUSB y Sistema Operativo . . . . .	35
4.3. Diagrama de clases . . . . .	38
4.4. Módulo de control del USB . . . . .	40
4.5. Datos de variables fisiológicas y algoritmos aplicados . . . . .	41
4.6. Módulo de graficación . . . . .	44
4.7. Resumen . . . . .	45
<b>5. Implementación del Módulo de Evaluación Psicológica</b>	<b>46</b>
5.1. La base de datos . . . . .	47
5.2. El cuestionario TAPE . . . . .	48
5.3. Clases implementadas . . . . .	50
5.3.1. Clases de acceso a datos . . . . .	51
5.3.2. Clase de acceso a cuestionario . . . . .	51
5.4. Resumen . . . . .	52
<b>6. Resultados</b>	<b>53</b>
6.1. Resultados de la implementación del módulo de evaluación psicológica . . . . .	54
6.2. Resultados de la implementación del módulo de evaluación fisiológica . . . . .	61
6.3. Reutilización de módulos . . . . .	65
6.4. Estudio de Caso . . . . .	69
6.5. Resumen . . . . .	73
<b>7. Conclusiones</b>	<b>74</b>
7.1. Aportaciones . . . . .	75
7.2. Trabajo futuro . . . . .	77

# Índice de figuras

2.1. Pantalla de entrada al sistema. . . . .	12
2.2. Menú principal del SCMME. . . . .	13
2.3. Prueba fisiológica del SCMME. . . . .	14
2.4. Evaluación del comportamiento corporal del SCMME. . . . .	15
2.5. Prueba psicológica del SCMME. . . . .	16
2.6. Resultados de la prueba psicológica. . . . .	17
3.1. Módulos principales del sistema y su relación con el paciente. . . . .	21
3.2. Información que el módulo de evaluación fisiológica recibe y genera. . . . .	22
3.3. Estructura del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF). . . . .	23
4.1. Módulo de Evaluación Fisiológica. . . . .	27
4.2. Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF). . . . .	28
4.3. Efecto del filtro de la tarjeta ECG de BioPac sobre una onda PQRST. . . . .	29
4.4. Descripción a bloques del funcionamiento de la tarjeta GSR. . . . .	30
4.5. Descripción a bloques del funcionamiento del acelerómetro. . . . .	31
4.6. Descripción del muestreo de las tres señales fisiológicas. . . . .	32
4.7. Efecto de la velocidad de transferencia en el muestreo de las tres señales fisiológicas. . . . .	35
4.8. Reconocimiento de un dispositivo USB . . . . .	38
4.9. Diagrama de clases general indicando las clases principales del módulo de evaluación fisiológica . . . . .	40
4.10. Etapas implementadas para la detección de tiempos RR. . . . .	42
5.1. Módulo de Evaluación Psicológica. . . . .	47
5.2. Diagrama entidad-relación de la base de datos. . . . .	48

5.3. Elementos y atributos de la implementación del TAPE. . . . .	49
5.4. Implementación del test TAPE en XML. . . . .	49
5.5. Diagrama de clases general del módulo de acceso a datos y presentación . . . .	50
6.1. Tipo de pregunta RMM (Respuesta Múltiple con Memoria). . . . .	55
6.2. Tipo de pregunta RU (Respuesta Unica). . . . .	56
6.3. Tipo de pregunta RU (Respuesta Unica). . . . .	56
6.4. Tipo de pregunta RUE (Respuesta Unica Escala) . . . . .	57
6.5. Validación a nivel presentación. . . . .	57
6.6. Selección de sesiones de resultados. . . . .	58
6.7. Resultados Generales. . . . .	59
6.8. Resultados por secciones. . . . .	60
6.9. Resultados cualitativos. . . . .	61
6.10. Capa de presentación de módulo de evaluación fisiológica. . . . .	62
6.11. Señal de GSR (Galvanic Skin Response). . . . .	63
6.12. Señal de la Respiración abdominal. . . . .	63
6.13. Presentación de la señal de ECG. . . . .	64
6.14. Resultados de la evaluación fisiológica. . . . .	65
6.15. Aplicación del TAPE Rápido. . . . .	66
6.16. Tipo de preguntas del TAPE Rápido. . . . .	66
6.17. Resultados generales del TAPE Rápido. . . . .	67
6.18. Respuestas por categoría del TAPE Rápido. . . . .	67
6.19. Aplicación PPG con reutilización de módulos fisiológicos. . . . .	68
6.20. Pacientes que sufrieron una experiencia dolorosa antes del infarto. . . . .	70
6.21. Pacientes que sufrieron la muerte de un ser querido antes del infarto. . . . .	71
6.22. Tiempo en el que tuvo la experiencia dolorosa. . . . .	72

# Índice de cuadros

2.1. Parámetros evaluados en la sección de comportamiento corporal . . . . .	15
2.2. Respuestas y valores correspondientes a cada pregunta del test psicológico. . .	16
4.1. Características generales de las versiones USB . . . . .	33
4.2. Bytes que cada tipo de transferencia puede manejar . . . . .	34

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

El sistema descrito en los siguientes capítulos de este documento tiene como finalidad el presentar el diseño e implementación del Sistema Modular para la Medición del Estrés. Trabajo basado en el Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés.

El Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés (SCMME) fue un proyecto desarrollado por el compañero Gregorio Pérez Olán. Este sistema permitía la evaluación fisiológica y psicológica del nivel de estrés crónico de las personas.

El estudio del efecto del estrés crónico en las personas llevó al Dr. Adriano de Luca y la Dra. María Elena Sánchez a solicitar la construcción de un sistema electrónico que permitiera su medición. Esta construcción condujo a la implementación del sistema SCMME con buenos resultados. Sin embargo, el diseño monolítico de la aplicación provocó que se realizaran varios intentos de realizar modificaciones y mejoras al sistema que éste no permitió de manera fácil y confiable. De ahí la necesidad de rediseñar el sistema para ofrecer un sistema modular que tuviera mejor definición estructural. Para esta reestructuración se determinó seccionar de todo el sistema en módulos.

Con la propuesta del nuevo Sistema Modular para la Medición del Estrés se pretende tener una plataforma que permita el desarrollo de cambios rápidos y precisos en su diseño, en base a la modularidad. Esto es necesario ya que el estudio sobre la medición del estrés es un campo amplio y con grandes posibilidades para la investigación, que requiere de un sistema modular que facilite esta investigación. La misma definición modular deberá permitir la generación de

cambios oportunos para el estudio de evaluaciones fisiológicas como psicológicas. Los nuevos sistemas se podrán implementar utilizando como base los módulos diseñados e implementados en este trabajo.

Se propone también el aumento en la velocidad de muestreo de datos en la parte de evaluación fisiológica y mejoras en el diseño del sensor de respiración, así como el uso de un nuevo test psicológico denominado TAPE (Test de AutoPercepción del Estrés) para la evaluación psicológica.

## **1.2. Estructura de la tesis**

El presente trabajo sobre el diseño modular del sistema para la medición del estrés consta de siete capítulos y está estructurado de la siguiente manera.

**Capítulo 1.** Introducción. Se muestra el contenido de este capítulo en el cual se describe la motivación del proyecto y la estructura de la tesis.

**Capítulo 2.** La Medición del Estrés. Se describen los efectos que el estrés puede causar en nuestro organismo, las fases que tiene y sus mecanismos de respuesta a nivel fisiológico. Se comenta también sobre las razones que provocaron la selección de las señales utilizadas para la evaluación fisiológica. Finalmente se realiza una descripción detallada del Sistema Computacional para la Medición del Estrés [2] con la finalidad de tener como referencia el sistema que motiva la realización del nuevo diseño.

**Capítulo 3.** Diseño de la Arquitectura Modular. Se describe el diseño de la arquitectura de todo el sistema. Se describen tanto la sección fisiológica como la psicológica de manera modular. Se comenta también la definición de cada sección y lo que se espera en su implementación.

**Capítulo 4.** Implementación del Módulo de Evaluación Fisiológica. En este capítulo se describen a detalle los componentes que definen exclusivamente el módulo de evaluación

fisiológica y su interacción entre ellos. Se presenta la funcionalidad de cada módulo y las características de su implementación. Los módulos que se describen son el Sistema de Muestreo de Parámetros Fisiológicos, el driver para USB y las clases implementadas, entre otros.

**Capítulo 5.** Implementación del Módulo de Evaluación Psicológica. Se describen en este capítulo los módulos que componen exclusivamente la sección psicológica. Estos módulos son la base de datos, el cuestionario, las clases de acceso a datos y a cuestionario.

**Capítulo 6.** Resultados. Se comentan los resultados obtenidos desde los puntos de vista técnico y clínico. Desde el punto de vista técnico se describen los resultados de la implementación mostrando el sistema final. Desde el punto de vista clínico se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del sistema a pacientes que sufrieron infarto al miocardio para determinar su nivel de estrés y si esta tuvo ingerencia en la enfermedad.

**Capítulo 7.** Conclusiones. Se comentan las conclusiones obtenidas de los resultados y se describen las aportaciones que el sistema genera en su campo de aplicación y los trabajos futuros en los cuales se puede continuar con el trabajo de investigación, desde el punto de vista técnico principalmente.

Como característica particular de esta tesis comentamos que los capítulos 2 al 6 cuentan con un resumen. La intención de cada resumen es la de describir de manera breve y concisa el contenido de cada uno de los capítulos. Mediante esta información se intenta que el lector pueda, de manera rápida, entender el contenido completo de la tesis en pocos minutos, sin necesidad de tener que revisar toda a detalle. A menos que el estudio así lo requiera.



# Capítulo 2

## La Medición del Estrés

Se describen a continuación los mecanismos mediante los cuales el estrés puede provocar alguna enfermedad desde el punto de vista fisiológico. Este ha sido un tema poco tratado en las tesis anteriores sobre la medición del estrés y que permiten conocer los mecanismos de funcionamiento del estrés o SGA (Síndrome General de Adaptación). Todos estos conceptos fueron presentados por el doctor Hans Selye [4] en 1924, quien fue el creador del concepto estrés.

Se presenta además una descripción de la relación entre las señales fisiológicas anteriormente utilizadas y las razones de su uso en los sistemas propuestos para la medición del estrés.

Finalmente se describen las características que el Sistema Computacional para la Medición del Estrés presentó en su diseño, mencionando los puntos que obligaron a rediseñar el sistema y mejorar su implementación en diferentes aspectos.

### 2.1. El estrés, mecanismos y efectos

El estrés es considerado como una de las causas de distintos problemas de salud en la sociedad. Su estudio se inició a partir del siglo XX. Siendo el doctor Hans Selye [4] quien presentara al mundo el concepto y la definición del estrés. Esto a partir de veinte años de investigación sobre lo que él denominó “el síndrome de estar enfermo”. Un síndrome es un conjunto de características que definen una enfermedad.

Siendo un estudiante de medicina el Dr. Selye notó en diversas ocasiones que sus profesores indicaban signos característicos de las enfermedades que cada paciente tenía, enfatizando el hecho que algunos de esos pacientes mostraban signos específicos para cada enfermedad

y que esos signos era los que servían para diagnosticar al paciente. Sin embargo, el identificó que varios enfermos mostraban signos poco específicos, pues muchos de ellos tenían fiebre, el bazo o el hígado agrandados, las amígdalas inflamadas, erupciones en la piel, etc. Todos estos síntomas eran interpretados de acuerdo al síntoma más relevante, con el fin de diagnosticar una enfermedad. El doctor Selye pensó que todos los síntomas comunes podrían ser parte de algún síndrome general, “El síndrome de estar enfermo”. Fue esta primera experiencia la que hizo surgir la idea de una enfermedad general.

En la segunda mitad del siglo XIX, el fisiólogo francés Claude Bernard dijo que una de las cualidades de los seres vivos es el poder mantener la constancia de su medio interno, aun cuando las condiciones del medio externo varíen. Esta cualidad fue denominada posteriormente por el fisiólogo norteamericano Walter B. Cannon como homeóstasis (del griego *homoios*, similar, semejante y *stasis*, posición, estabilidad). La homeóstasis es la cualidad por la cual un ser humano puede, por ejemplo, regular su temperatura corporal en climas fríos o calurosos. Una falla en el mecanismo de autoregulación de la temperatura corporal puede llevar a la enfermedad o la muerte.

Tomando como base el concepto de homeóstasis, Selye consideró que una enfermedad era el desequilibrio de algún sistema del cuerpo humano. Este desequilibrio provocaba, de alguna manera, que el cuerpo tratara de llevar nuevamente todo el sistema al equilibrio mediante mecanismo generales. Mecanismos los cuales habían podido llevar a los seres vivos a sobrevivir los cambios que se presentaban a su alrededor.

A este mecanismo de adaptación Selye le llamó Síndrome General de Adaptación (S.G.A). Lo llamó síndrome porque consideró que existen dentro del cuerpo manifestaciones corporales definidas, coordinadas y dependientes entre ellas. General porque es producido solamente por agentes que tienen un efecto general sobre extensas regiones del organismo. El término adaptación lo dio porque encontró que este agente provoca que se estimulen las defensas, lo que ayuda a la adquisición y continuidad de un estado de acostumbamiento.

Mediante pruebas de laboratorio definió las tres fases que componen al S.G.A. las cuales son.

- La reacción de alarma.
- El estado de resistencia.
- El estado de agotamiento.

Aunado al mecanismo de adaptación general Selye identificó también un mecanismo mediante el cual un individuo evita que todo su sistema se desestabilice debido a alarmógenos locales. Denominó a este mecanismo el Síndrome Local de Adaptación (S.L.A). Este mecanismo es el encargado de evitar que un sistema se alarme de manera general sin requerirlo, por ejemplo, en el caso de una astilla enterrada en un dedo. Durante una situación de este tipo, sería ilógico pensar que todo un sistema de defensa del organismo provocara alarma general tan solo por una pequeña alteración local. Debido a miles de millones de años de evolución de los seres vivos, el cuerpo ha aprendido cual es la mejor manera de adaptarse a una situación como ésta. En estos casos el cuerpo humano crea una barrera inflamatoria alrededor del elemento ajeno, como una protección inicial al mismo. Los problemas surgen cuando la relación entre el S.G.A. y el S.L.A. no está bien definida. Esto provoca una mala adaptación al alarmógeno provocando un llamado de emergencia general que involucran a otros órganos.

Mediante experimentos con diferentes animales en el laboratorio, Selye encontró el mecanismo a nivel glandular del funcionamiento del S.G.A. el cual funciona como se describe a continuación. Una señal de alarma siempre será enviada por tejidos lesionados por el S.L.A. a los centros de coordinación del sistema nervioso y a la glándulas endocrinas (glándulas que vierten hormonas a la sangre). Las glándulas endocrinas principales que reciben la señal son la hipófisis y las suprarrenales. La hipófisis se encuentra localizada en la base del cráneo y las suprarrenales al costado de cada uno de los riñones. Ambas glándulas producen las llamadas hormonas de adaptación. Estas hormonas posteriormente provocan cambios en el estómago, el timo (tórax), los ganglios linfáticos (ingles y axilas). Bajo pruebas de estrés en roedores se concluyó que en el estómago se provocaron úlceras gástricas, en el timo y los ganglios linfáticos hubo contracción marcada de las glándulas, y aumento en la generación de glóbulos blancos debido a la mayor actividad de los ganglios linfáticos. Con este descubrimiento Selye delimitó perfectamente a nivel glandular el mecanismo de reconocimiento de la reacción de alarma. Concluyendo que los estados de resistencia y agotamiento se entrelazaban de acuerdo a la cantidad de hormonas y tipo de hormonas de adaptación generadas por el organismo.

A las hormonas de adaptación las dividió en dos grupos las antiinflamatorias y las proinflamatorias. Dentro del grupo de hormonas antiinflamatorias están la corticotrofina (ACTH), la cortisona y el cortisol. La primera generada por la hipófisis, y las otras dos por las glándulas suprarrenales. Dentro del grupo de hormonas proinflamatorias definió a la somatotrofina, aldosterona, desoxicórticosterona. La primera generada también por la hipófisis, las siguientes

también por la suprarrenales. Este hecho le indicó a Selye que el mecanismo de adaptación a nivel glandular consistía en la dosificación necesaria de ambos tipos de hormonas las antiinflamatorias y las proinflamatorias. Un balance adecuado de ambas era lo que permitía afrontar al alarmógeno. Ya que ambas hormonas eran producidas por la misma glándula.

Desde el punto de vista hormonal Selye determinó que varias enfermedades tenían relación con la presencia o ausencia de cierta hormona. Descubrió que ciertas enfermedades hasta entonces conocidas podían ser generadas o eliminadas en roedores al realizar ciertos tratamientos con ellos. En estos tratamientos aplicaba hormonas proinflamatorias o antiinflamatorias. Con estas observaciones pudo relacionar el efecto que causaban ciertas hormonas en la generación de síntomas específicos de enfermedades como la hipertensión arterial, enfermedades de riñón, enfermedades del corazón, eclampsia, artritis reumática, enfermedades alérgicas y de hipersensibilidad entre otras. A todas estas enfermedades sobre las que trabajó las definió como “enfermedades de adaptación”. Selye consideraba que la respuesta general del S.G.A. no permitía una adaptación al agente estresor, lo que provocaba una inestabilidad hormonal y terminaba en la adopción de síntomas de enfermedades particulares. A esta enfermedades físicas agregó algunas denominadas enfermedades nerviosas y mentales. En estas enfermedades nerviosas o mentales el Dr. Selye indica que, al utilizar hormonas de adaptación el ser humano puede tener reacciones semejantes a los síntomas de enfermedades nerviosas o mentales. Debido a sus diferentes trabajos pudo concluir que.

- Varias especies, incluyendo al hombre, pueden ser anestesiadas con hormonas. Los anestésicos son compuestos químicos que inhiben la comunicación en el sistema nervioso central. Selye y sus colaboradores descubrieron que derivados hormonales podían actuar como anestésicos, provocando la pérdida de conciencia. Esto indica que bajo ciertos estresores y una mala adaptación una persona puede llegar a sentirse cansada, sumamente distraída en sus acciones, soñolienta y con síntomas de depresión. Todo esto causado por una mala adaptación hormonal.
- Las hormonas de adaptación pueden combatir las convulsiones. En experimentos con animales descubrió que el uso de ciertos proinflamatorios y desinflamatorios en ellos provocaba el aumento o disminución de convulsiones generadas eléctricamente. Esto indicaba que las hormonas nuevamente podían influir en la actividad cerebral.
- En ciertas condiciones, hormonas proinflamatorias pueden producir lesiones cerebrales

como las que se ven en personas ancianas. Al aplicar las hormonas en ciertos tipos de ratas les provocó un daño cerebral, con destrucción parcial de ciertas zonas. Estas ratas se volvieron irritables y agresivas. Comportamiento similar encontrado en personas seniles que sufrieron una destrucción parcial semejante. Esto le llevó a vincular el estrés con el envejecimiento prematuro.

- Las hormonas de adaptación pueden causar cambios mentales en el hombre. Pacientes a los que se les aplicó HCTA o cortisol (hormonas antiinflamatorias) presentaban una sensación de bienestar y euforia, con excitación e insomnio. Esto era seguido, algunas veces, de depresión tan fuerte que podía originar tendencias suicidas. En un estudio independiente, el Dr. Forsham concluyó que el ACTH de la cortisona provocaban “percepción reforzada”, es decir, que provocaba en la persona un tratamiento de la información más rápido, así como la mejoría de habilidades.

Las conclusiones a las que llegó el Dr. Selye en referencia a la relación hormonal y las enfermedades mentales han dado la base para el posterior estudio y comprensión de lo que realmente sucede a nivel fisiológico en diferentes tipos de enfermedades. Esto permite actualmente a los médicos diagnosticar de manera correcta algunas enfermedades. Selye consideraba que en muchas ocasiones el diagnóstico sin lugar a dudas debía apuntar a un estrés psicológico, debido a que “una mala adaptación desempeña un papel importante en las enfermedades mentales”. Expresiones como “este trabajo me da dolor de cabeza” consideraba que eran la causa de muchos tipos de cefaleas intensas. Causados por una mala adaptación al trabajo.

Como un punto de tratamiento psicológico simple él comenta que ante cualquier desequilibrio físico que se tenga, es siempre saludable, el conocer en que consisten las causas que determinan ese desequilibrio. Pues, a su juicio, el conocimiento de causa muchas veces permitirá una mejor adaptación a la situación, generando un estado de alarma menor, lo que significa disminuir los niveles de estrés de un paciente. De ahí una de sus motivaciones para escribir sobre el estrés, sus mecanismos y efectos utilizando métodos en los cuales analizaba tejidos y modificaciones en órganos de los animales de experimentación.

Los métodos utilizados por el Dr. Selye y otros fisiólogos para identificar los mecanismos del estrés normalmente han sido invasivos. Es decir, se analiza el problema a partir de las observaciones de cambios en tejidos y órganos asociados. Los métodos comunes en el estudio del estrés en el ser humano han sido no invasivos, pues se realizan cuestionarios o tests en los que se evalúan diferentes aspectos psicosociales del individuo. Hasta hace algunos años el trabajo

realizado por fisiólogos o psicólogos se encontraba separado. Ambos investigaban los efectos del estrés en sus respectivas áreas, haciéndose las áreas tan especializadas que olvidaban un concepto importante. El hecho de que el ser humano está conformado por mente y cuerpo. En cada uno puede haber alteraciones y provocar, sin duda alguna, cambios en diversas funciones de la parte no afectada. Es esta disociación la que ha provocado hoy en día que muchas enfermedades se vean desde un punto de vista fisiológico, descuidando el aspecto psicológico. Pudiéndose encontrar actualmente tanto problemas psicosomáticos (la mente afecta al cuerpo), como problemas somatopsíquicos (el cuerpo afecta a la mente).

La relación mente-cuerpo es el concepto base en el desarrollo de nuestra propuesta. El estudio del estrés y sus efectos desde un punto de vista global en una persona es la propuesta, buscando relacionar el nivel de estrés de una persona, desde el punto de vista psicológico con el punto de vista fisiológico. En la parte psicológica mediante un test de autopercepción y en la parte fisiológica mediante un análisis de algunas variables fisiológicas, pero de manera no invasiva. El planteamiento es novedoso desde el punto de vista de estudio del estrés, teniéndose variaciones en la elección de variables fisiológicas y tipos de test a aplicar. El precursor de este tipo de análisis de los niveles de estrés fue el Dr. Rispoli [7] quien aplicó pruebas psicológicas y pruebas fisiológicas en las mismas personas. Sin embargo, para el proyecto anterior [2] tanto los resultados psicológicos como los fisiológicos fueron modificados debido a que se utilizaron tests psicológicos adaptados nuestra población y al uso de otras variables fisiológicas. Este trabajo presenta un test psicológico original y el análisis de tres variables fisiológicas que nos ayudan a identificar los efectos del estrés crónico [2] tanto psicológico como fisiológico.

## **2.2. El Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés (SCMME)**

El Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés (SCMME) fue diseñado e implementado por el compañero Gregorio Pérez Olán [2] en el periodo 2002-2003. Trabajo dirigido también por el Dr. Adriano de Luca y la Dra. María Elena Sánchez Azuara.

El sistema planteaba la posibilidad de analizar tres señales fisiológicas para la identificación de estrés crónico y se planteaba el análisis psicológico mediante un test a un paciente. Sin embargo, se intentó con él obtener un solo valor de estrés global, valor que muchas veces no

permitía identificar las características que generaban el estrés en el paciente. Debido a la evaluación de tres señales fisiológicas y un test psicológico se consideró la medición del estrés como multidimensional.

A continuación describimos las particularidades del Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés.

### **2.3. La evaluación fisiológica del SCMME**

Desde el punto de vista fisiológico el sistema realiza un análisis de tres variables fisiológicas, que son la respiración, la variabilidad cardiaca y el nivel de sudoración de los dedos.

El SCMME definió el hardware para la adquisición de la información necesaria para las señales fisiológicas. En el caso de la respiración propuso la utilización de un circuito acelerómetro para la detección de cambios en la parte abdominal. Mediante un conjunto de levas y mecanismos en los cuales se adaptaba el acelerómetro se pudo obtener una señal definida de los cambios abdominales que el paciente realizaba al respirar.

La variabilidad cardiaca se obtenía mediante la detección de cambios eléctricos provocados por el corazón o electrocardiograma (ECG). A partir de la señal de ECG el sistema permitía detectar los puntos RR o puntos máximos de cada ciclo de la señal. Sin embargo, el algoritmo de detección de R aun cuando utilizaba el algoritmo de Pan y Tompkins [13] tenía un error mínimo de 10 ms en la detección de cada R. Esto generado por la velocidad de muestreo utilizada y permitida por el dispositivo de comunicación.

De la sudoración se toma el promedio del valor de las señal de inicio y final, proporcionando un indicativo del valor de estrés del paciente.

Utilizando estas tres variables fisiológicas el SCMME obtenía un solo valor del nivel de estrés del paciente, por lo que al aplicar el sistema, el paciente debía someterse a la evaluación de ambas partes, la psicológica y la fisiológica para poder obtener una calificación final.

Finalmente el SCMME contaba también con una sección en la cual el usuario del sistema evaluaba el comportamiento corporal del paciente. Esta evaluación era subjetiva y constaba de tres divisiones. La evaluación de la postura (móvil, poco móvil, rígida), el movimiento (suave, moderado, veloz), y la voz (diafragmático, de garganta, de cabeza). Con estas tres variables se intentaba indicar si el nivel de estrés que el paciente sentía llegaba a ser visible para el evaluador. Sin embargo, al ser altamente subjetiva su validez fue eliminada de la calificación final y

solo se mantuvo como un punto auxiliar, pero sin validez en la evaluación final.

En el sistema SCMME se desarrolló una plataforma en hardware que permitía la evaluación de tres señales fisiológicas simultáneas. Hardware que fue evaluado e interconectado para ser colocado en un mismo dispositivo y permitiera la toma y envío de las tres señales al mismo tiempo. También en este sistema se diseñó la primera versión del sensor de respiración abdominal utilizando el acelerómetro y sus tarjeta de adecuación de las señales.

Aun cuando hubo grandes avances en el hardware fisiológico del SCMME, hay puntos de mejora que se implementaron en esta nueva versión y que se explican en los capítulos centrales de esta tesis.

## **2.4. La evaluación psicológica del SCMME**

La sección psicológica implementada en el SCMME constaba de 49 preguntas. Cada pregunta era evaluada mediante una respuesta tipo escala con las opciones para nada, un poco, mucho, demasiado. Las respuestas proporcionadas por el paciente o usuario se iban guardando en memoria los valores y al final se realizaba la suma total de las respuestas.

Como características de implementación se tenía en esta versión que las preguntas y respuestas estaban programadas en el código fuente de la aplicación. Lo que traía como consecuencia que cualquier cambio a realizar obligara a recompilar la versión completa de la aplicación.

Los resultados de los pacientes se guardaban en un archivo en el cual se tenía solo la calificación final de la aplicación del cuestionario de la última sesión y el resultado era sobre escrito cada vez que se guardaba otro resultado del mismo paciente.

Esta versión del test, no permitía conocer resultados parciales de la condición psicológica del paciente, simplemente proporcionaba resultados generales, los cuales combinaba con los resultados fisiológicos.

La aplicación permitía el avance y regreso a cada pregunta, lo mismo que la validación antes del avance. Tenía también como característica el permitir un reinicio del cuestionario en el momento que el usuario lo deseara.

En general el test psicológico evaluaba de manera general el nivel de estrés del paciente, contenía preguntas con respuestas de un mismo tipo y constaba tan solo de 49 preguntas.

Al revisar la implementación del sistema se encontró que la modificación, actualización y adición de nuevas capacidades al mismo eran difíciles de realizar. Principalmente porque el



diseño del sistema era monolítico en toda la parte de software. La única parte que mantenía modularidad era la capa de presentación, sin embargo, esta estaba fuertemente atada a código de acceso a datos y a la implementación del cuestionario psicológico.

## 2.5. Modularidad en la capa de presentación

El sistema SCMME presentó como implementación modular la parte de presentación del sistema el cual mostramos a continuación para tener un punto de comparación desde el punto de vista de funcionalidad al usuario que este sistema tenía.

La pantalla de entrada del sistema permite ver la versión y el nombre de la aplicación (Fig. 2.1) y presenta la opción de realmente entrar al sistema o no.

Como se comentó en la sección 2.2 el concepto multidimensional se generó a partir de la capacidad del sistema de evaluar la parte psicológica como la parte fisiológica de un paciente. Esto con la finalidad de identificar el grado de estrés crónico que sufre.

Las siglas PPG hacen referencia a un proyecto posterior en el cual se intentó utilizar un sensor PhotoPletismóGrafo (PPG) como una cuarta variable fisiológica de análisis. Este sensor PPG permite detectar la variación en el flujo sanguíneo, estas variaciones son convertidas a impulsos eléctricos los cuales indican la velocidad de cambio del flujo sanguíneo y van asociadas directamente a cada pulsación del corazón.



Figura 2.1: Pantalla de entrada al sistema.

El menú principal muestra las opciones que se podían realizar desde una misma pantalla como son

- Realizar el registro, modificación y eliminación de pacientes.
- Buscar y recorrer el archivo en el cual se guardaban los datos de los pacientes.
- Aplicar la prueba psicológica MSP.
- Aplicar la prueba fisiológica.
- Aplicar la prueba de comportamiento corporal.
- Importar o exportar datos y resultados de los pacientes.

La figura 2.2 muestra las opciones anteriores y la distribución de las mismas que se presentaban a nivel de usuario.

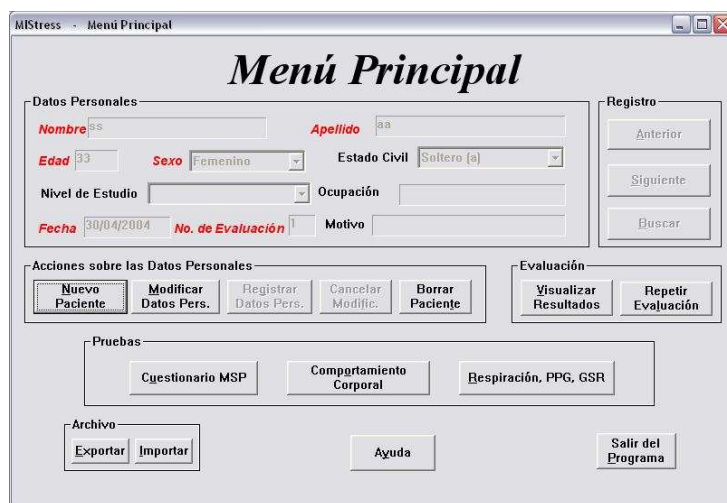


Figura 2.2: Menú principal del SCMME.

Como características del módulo de presentación de la prueba fisiológica tenemos (ver figura 2.3)

- La visualización de tres señales fisiológicas al mismo tiempo.
- Controles para la amplificación en amplitud de las tres señales al mismo tiempo.
- El inicio de la comunicación USB (lectura al puerto).
- Hacer pausa en la lectura del puerto USB.
- Iniciar la prueba de 5 minutos.
- Finalizar la prueba.
- Imprimir la gráfica.

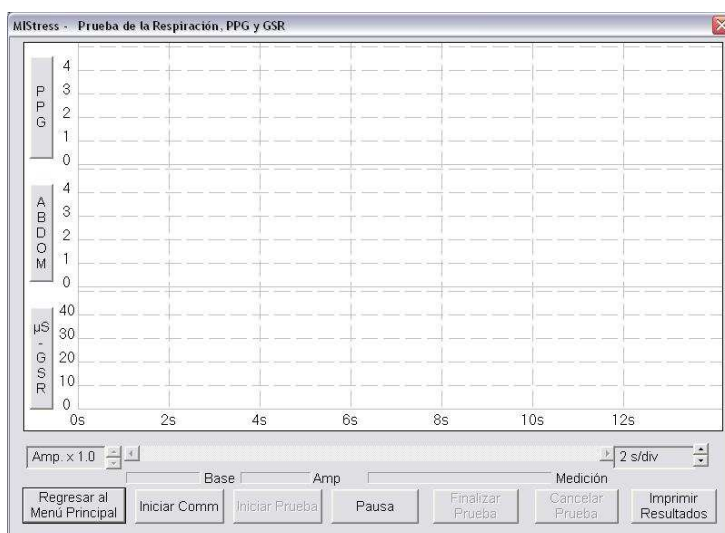


Figura 2.3: Prueba fisiológica del SCMME.

En la evaluación del comportamiento corporal el sistema permitía a la persona evaluadora el determinar la postura, el movimiento, el tono de la voz.

Esta evaluación era sumamente subjetiva y en el sistema se consideraba solo indicativa de algún estado de estrés. Sin embargo, no influía para la calificación final. Simplemente intentaba complementar la información recabada del paciente.

Los parámetros a evaluar eran

Postura	Movimiento	Voz
Móvil	Suave	Diafragmática
Poco Móvil	Moderado	De garganta
Rígida	Veloz	De cabeza

Cuadro 2.1: Parámetros evaluados en la sección de comportamiento corporal

Posteriormente a la evaluación el resultado aparecía de manera separada en la sección de resultados. La figura 2.4 muestra la evaluación del comportamiento corporal. En la figura se puede ver la puntuación que a cada tipo de respuesta le correspondía. La calificación final era la suma del resultado de los tres parámetros evaluados.



Figura 2.4: Evaluación del comportamiento corporal del SCMME.

La figura 2.5 muestra como se aplicaba el test psicológico en el sistema SCMME. El cuestionario psicológico contenía 49 preguntas. Las respuestas a cada pregunta eran del tipo escala como lo muestra la tabla 2.2.

Valor	Respuesta
1	Para nada
2	Un poco
3	Mucho
4	Demasiado

Cuadro 2.2: Respuestas y valores correspondientes a cada pregunta del test psicológico.

El sistema, como es de esperarse, permitía el avance y retroceso a la pregunta siguiente y anterior, así como la validación de haber contestado la respuesta antes de avanzar a la siguiente. Como una particularidad, este sistema permitía también la navegación a cualquier pregunta que se deseara. Esto mediante un recuadro de texto en el cual se indicaba la pregunta a la que se quería avanzar o retroceder.

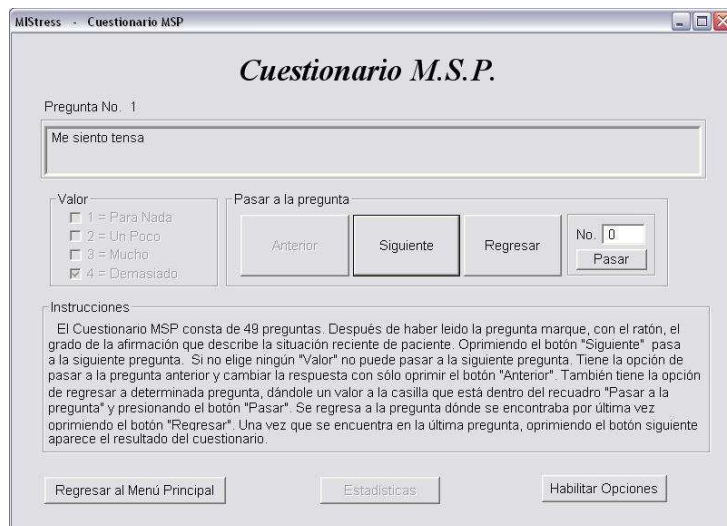


Figura 2.5: Prueba psicológica del SCMME.

La figura 2.6 muestra la manera en la que el SCMME presentaba los resultados, en ella se pueden apreciar datos como.

- Nombre del paciente.
- El número de evaluación.
- La fecha de aplicación.
- La puntuación total obtenida del test.
- El valor porcentual del resultado.
- Los valores de las respuestas proporcionadas por la persona.
- Un listado de problemas específicos relacionados a las respuestas.

Como lo indica la figura, entre más elevado fuera el nivel de estrés, este se acercaba al cien por ciento de la escala. Con forme hubiera menos valores en la escala de estrés, se consideraba que el paciente tendía más hacia el bienestar.

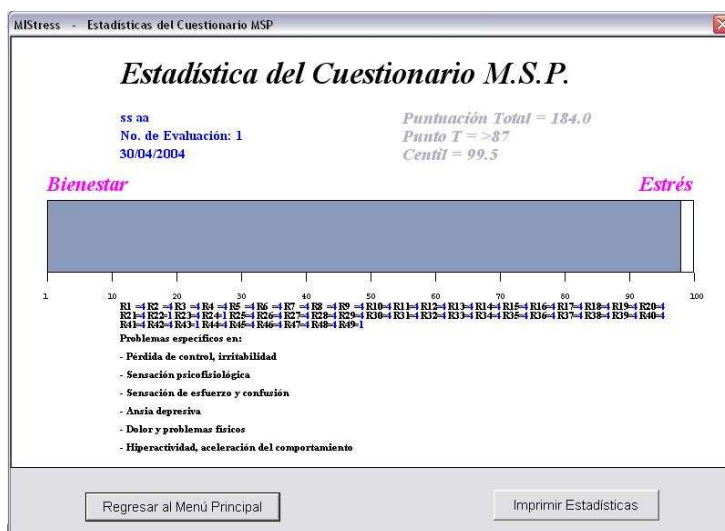


Figura 2.6: Resultados de la prueba psicológica.

## 2.6. Resumen

Se presentaron en esta sección los rasgos más representativos que el Dr. Hans Selye determinó necesarios para la presencia del estado de estrés en una persona, y principalmente, los mecanismos de la manera en la que los seres vivos tratan de adaptarse a estresores que se presentan a lo largo de su vida. Estos estresores provocan cambios hormonales a nivel fisiológico. La combinación de estos cambios hormonales es lo que ha permitido la adaptación de los animales en general y los humanos en particular.

Hans Selye determinó que existen hormonas proinflamatorias y antiinflamatorias producidas por diferentes glándulas del cuerpo. A la combinación de cantidades y tipos de hormonas es lo que él determinó era el mecanismo de adaptación general (Síndrome General de Adaptación ó S.G.A.) utilizado en casos de alarma general del organismo. Identificó también la existencia de un mecanismo de adaptación local (Síndrome Local de Adaptación ó S.L.A.) el cual evitaba que la existencia de alarma en alguna parte del cuerpo provocara un desajuste hormonal general sin necesidad de ello. Concluyó que la existencia de equilibrio viene dada por el equilibrio entre la respuesta de adaptación local y la respuesta de adaptación general. Descubriendo que esto se realizaba mediante una complicada reacción glandular, en la cual una misma glándula producía tanto hormonas inflamatorias como antiinflamatorias. Intentando el organismo el encontrar las cantidades necesarias para mantener el equilibrio general o particular el cual es afectado por algún estresor.

Además de explicar los mecanismos fisiológicos con los cuales los mamíferos intentan volver a su estabilidad fisiológica (homeóstasis) se describen algunos casos en los cuales el Dr. Selye identificó que el exceso o ausencia de cierta hormona provocaba en animales de laboratorio síntomas definidos de enfermedades conocidas, enfermedades aun psicológicas. Lo que indica una relación entre las enfermedades psicosomáticas (la mente afecta al cuerpo) y las somatopsíquicas (el cuerpo afecta a la mente); concretándose que el estudio de una enfermedad podría realizarse analizando a un paciente de manera integral, revisando tanto su cuerpo como su mente. Este concepto unificador es la base para nuestro estudio del estrés desde un punto de vista psicológico y fisiológico. Y aun cuando no es la primera vez en la que se realiza un estudio de este tipo [7], en esta versión del sistema se intenta aplicar un test psicológico original y una medición fisiológica de varias variables.

Se describen a detalle las características de la única parte modular que se implementó en la versión anterior del sistema (capa de presentación), comentando los puntos por los cuales se decidió el rediseño del mismo y las limitaciones que éste presentaba.



# Capítulo 3

## Diseño de la Arquitectura Modular

### 3.1. Descripción general del sistema

El sistema modular para la medición del estrés tiene como finalidad principal el mejorar el diseño e implementación del SCMME. Para ello la propuesta recae en desarrollo de un nuevo diseño completamente modular el cual permita facilidad en el mantenimiento y reuso.

A diferencia del proyecto SCMME en donde la estructura del sistema era completamente monolítica, en este proyecto se hizo énfasis en la división de dos diferentes tipos de información final al usuario. Valores que indiquen el estrés psicológico y valores que indiquen el nivel de recursos fisiológicos con los que una persona cuenta.

Estos dos esquemas complementarios nos indican que se requieren dos bloques básicos en el sistema. La parte psicológica y la fisiológica tal como se ilustra en la figura 3.1.

El objetivo del diseño es obtener información sobre el estrés y sus efectos. Esta información será obtenida mediante un análisis psicológico y un análisis fisiológico. Como se comentó en el capítulo 1 la tesis considera al ser humano como la unión de mente y cuerpo, en donde una puede afectar a la otra de manera recíproca.

Sin embargo, a diferencia del diseño del SCMME, en el actual se busca un solo valor de estrés como parámetro único, en esta versión se busca desglosar la información psicológica y fisiológica en los mayores aspectos posibles. Aspectos que se describen a continuación.

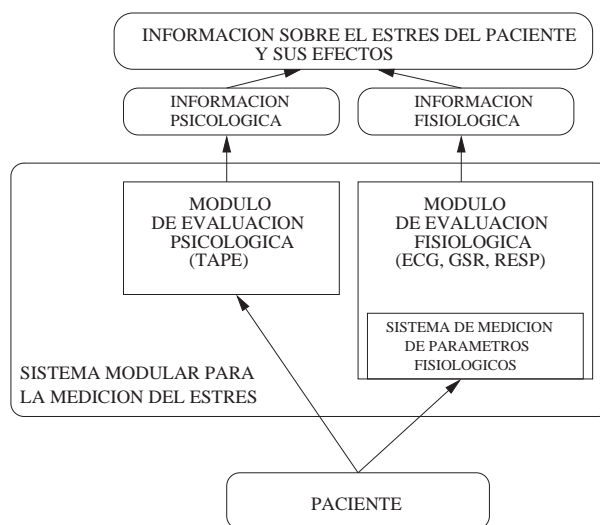


Figura 3.1: Módulos principales del sistema y su relación con el paciente.

## 3.2. El módulo de evaluación fisiológica

Desde el punto de vista fisiológico las variables que se analizarán del paciente son:

- La variabilidad de la frecuencia cardiaca y el espectro de potencia.  
Ambos mediante un ECG (Electrocardiograma).
- La sudoración y su valor promedio.  
Utilizando un medidor de GSR (GalvanicSkinResponse).
- La forma de la respiración y su frecuencia.  
Mediante un dispositivo diseñado en la versión anterior del sistema [2] con mejoras implementadas en ésta.

Las variables son las mismas utilizadas en el diseño anterior, sin embargo, se busca analizar la información de las variables con mayor precisión en la parte de adquisición.

En el caso del electrocardiograma la información que obtendremos será la variabilidad cardiaca y el espectro de potencia. Con la variabilidad cardiaca se busca un valor promedio que indique, de manera gráfica, la cantidad de pulsos por minuto del paciente y su tendencia durante el tiempo de muestreo (5 minutos). El espectro de potencia es el análisis de la señal de ECG a partir de la cual se determinan si en los pulsos del paciente contribuye más la parte simpática o la parasimpática. La figura 3.2 muestra la relación entre la información que recibe el sistema y la que genera.



Figura 3.2: Información que el módulo de evaluación fisiológica recibe y genera.

Para generar la información fisiológica antes mencionada es necesario el utilizar el Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF). El SMPF en el diseño [2] tomaba muestras de las señales fisiológicas cada 10 ms. Sin embargo, la información del ECG era tomada de manera espaciada lo que dificultaba la identificación con buena precisión, por lo que se decidió aumentar la velocidad de muestreo a 2 ms. Con esto se consigue tener mejor definición de la señal. Las señales de GSR y respiración debían de seguir siendo muestreadas cada 10 ms. La razón por la cual las señales GSR y respiración son muestreadas en un periodo más largo que la de ECG es debido a que estas señales cambian más lentamente en el tiempo y realizar muestreos muy rápidos de ellas no proporciona información relevante.

El SMPF consta de cuatro capas de información básica. Cada capa da un tratamiento especial a la información.

- **Sensores.** Los sensores se encargan de convertir en impulsos eléctricos las variaciones fisiológicas recibidas.
- **Acondicionamiento.** Las señales fisiológicas provenientes de los sensores deben ser amplificadas y filtradas contra el ruido electromagnético inherente.
- **Muestreo.** Las señales acondicionadas son digitalizadas a una determinada frecuencia de muestreo. En nuestro caso se busca que esta frecuencia sea de 2 ms para la señal de ECG y 10 ms para las señales GSR y respiración.
- **Comunicación USB.** La información digitalizada de las señales es enviada a la computadora mediante comunicación USB. Se eligió este protocolo debido a su amplia difusión

y a que hoy día sea común que las computadoras cuenten con este tipo de puerto.

SISTEMA DE MUESTREO DE PARAMETROS FISIOLÓGICOS (SMPF)

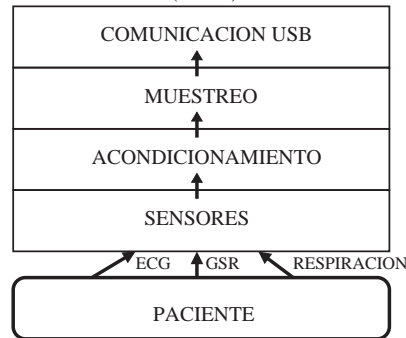


Figura 3.3: Estructura del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF).

La figura 3.3 muestra la relación de las cuatro capas mencionadas. El sistema SMPF es un diseño realizado completamente en hardware. El sistema digitaliza y envía información a partir de las señales ECG, GSR y respiración. Las señales manejadas provienen del paciente y su información es enviada a la computadora en la cual se reciben. En la computadora los datos se guardan y se les aplican los algoritmos de análisis. Como se puede ver en la figura 3.3 el flujo de la información es unidireccional y va de los sensores hacia la comunicación con la computadora. El módulo de comunicación con la computadora funciona de manera bidireccional como lo muestra la figura 3.2 con respecto al módulo de análisis.

Cabe señalar que todo el manejo de información desde la adquisición de datos por los sensores hasta el envío hacia la computadora es completamente transparente al usuario. Quien solo se debe preocupar por colocar adecuadamente los sensores, conectar el equipo SMPF a la computadora y encenderlo.

La parte de análisis de las señales fisiológicas inicia a partir del módulo que lleva el mismo nombre como lo muestra la figura 3.2. Este módulo recibe la información de manera digital proveniente del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos. Clasifica los datos para identificar los que pertenecen a cada señal y los guarda en memoria para su posterior análisis. El análisis consiste en la detección de puntos R de la señal de ECG que se explica a detalle en el capítulo siguiente. A partir de las señales fisiológicas se obtiene la variabilidad cardíaca y el espectro de potencia para el ECG, El valor promedio de la señal de GSR, el cual indica el estado de sudoración del paciente, y mediante los datos de la respiración se obtiene el promedio del número de respiraciones y gráficamente se aprecia la forma de onda de la respiración.

Todos los componentes antes descritos generan la información fisiológica que se muestra en la parte derecha de la figura 3.1.

### **3.3. El módulo de evaluación psicológica**

La sección psicológica estará compuesta principalmente de módulos que permitan aplicar, evaluar y guardar información sobre las respuestas al test psicológico TAPE (Test de AutoPercepción del Estrés).

La prueba TAPE (Test de AutoPercepción del Estrés) es un instrumento psicológico el cual permite medir la autopercepción del estrés y al mismo tiempo favorecer una introspección por parte del paciente que lo realiza. La finalidad de esta prueba es identificar el nivel de estrés, aun cuando colateralmente cumple una función de dar palabras y forma a lo que se percibe de manera difusa. La prueba es el resultado de la mejora de versiones anteriores cuyo versión inicial nació a partir del MSP.

El test de Medición del Estrés Psicológico (MSP por sus siglas en francés) fue creado en 1990 por Lemyre, Tessier y Fillion y consta de 49 reactivos. Reactivos divididos en tres categorías, cognitivo-afectivo, fisiológico y comportamental.

El test MSP fue traducido y adaptado a la idiosincrasia italiana por Di Nouvo y Rispoli [7] en el año 2000. En esta versión italiana se hicieron dos cambios importantes. Una reducción en las opciones de respuesta con valores que van de 1 (nada) a 4 (mucho) y la creación de dos versiones del instrumento. Las versiones fueron enfocadas al género de los pacientes, una versión para hombres y otra para mujeres variando el género de las preguntas. Las categorías propuestas por Rispoli fueron seis; la pérdida de control e irritabilidad, la sensación psicofisiológica, la sensación de esfuerzo y de confusión, ansia depresiva, los dolores y problemas físicos y finalmente la hiperactividad.

A partir de la versión italiana se creó la versión utilizada en el proyecto SCMME [2]. Esta versión fue una adaptación de la versión italiana a la idiosincrasia mexicana, constaba de 49 preguntas y mantenía las categorías utilizadas en la versión de Rispoli.

El cuestionario TAPE utilizado en este proyecto está formado por 71 reactivos, reactivos que se complementaron y se adaptaron a partir del cuestionario de la versión SCMME [2]. Estos 71 reactivos están divididos en siete categorías principales. Con estas categorías se busca limitar e identificar de la mejor manera el aspecto en el cual el paciente percibe los efectos del estrés

sobre él. Las categorías y sus descripciones se indican a continuación:

- Estrés postraumático. Se busca identificar algún trastorno consecuencia de una o varias situaciones traumáticas. Estas situaciones traumáticas son experimentadas en una determinada forma dependiendo de la propia historia y de los recursos de afrontamiento.
- Fisiológico-corporal. Se identifica en que forma el estrés crónico (alarma permanente) altera otros sistemas del organismo. Esta alteración es a nivel corporal y puede llegar a presentarse en forma de músculos contraídos, actitud corporal rígida o algunas otras alteraciones fisiológicas.
- Cognitivo-emotivo. Se identifican condiciones de alerta o malestar a nivel psíquico. Esta identificación se realiza mediante el estudio de fantasías conscientes e inconscientes que se repiten de forma estereotipada.
- Social. Se identifica en que forma la condición de estrés crónico (miedo, inseguridad, desconfianza) interfiere en las relaciones interpersonales (laboral, familiar, etc). Estas relaciones interpersonales crean redes sociales de apoyo. Las redes sociales de apoyo permiten a una persona el poder nutrirse emocionalmente, esto hace que se cuenten con recursos de afrontamiento al estrés.
- Hábitos reactivos al estrés. Identifica el conjunto de actividades, comportamientos, adicciones que permitan bajar la ansiedad y enfrentar las situaciones de la vida cotidiana con una aparente armonía o equilibrio.
- Bienestar. Identifica si el paciente es capaz de experimentar bienestar sin culpa y si percibe las sensaciones de bienestar como tal.
- Autopercepción. Se busca sensibilizar al paciente para que sea capaz de identificar las situaciones que le son desagradables y las placenteras. Además de identificar si por si mismo identifica los recursos de recuperación, tanto psicológicos como fisiológicos.

Mediante la nueva categorización descrita se busca que el usuario del sistema, normalmente un psicólogo, pueda discriminar de manera precisa el tipo de tratamiento a proporcionar al paciente y el ámbito en el cual el paciente se encuentra afectado por el estrés.

### **3.4. Resumen**

El sistema se diseñó con dos módulos principales, el módulo de evaluación fisiológica y el módulo de evaluación psicológica. Ambos módulos generarán información a partir del paciente. Con esta información no se busca un valor único de nivel de estrés como se propuso en el proyecto anterior. Lo que se busca es la diversificación de esa información para que sea el usuario del sistema quien determine el grado de estrés del paciente y el nivel de recursos fisiológicos con los que cuenta.

Desde el punto de vista fisiológico la información que se generó fue la variabilidad cardiaca, el espectro de potencia, el valor de sudoración promedio, el número de respiraciones promedio y la gráfica de la forma de onda de la respiración. Estos valores y gráficas se obtienen a partir del electrocardiograma, los valores de GSR (Galvanic Sking Response) y de la respiración del paciente.

Desde el punto de vista psicológico el nuevo sistema cuenta con un test de 71 reactivos los cuales se encuentran divididos en siete categorías. Categorías adecuadas a la idiosincrasia de nuestro país y con nuevas preguntas para reforzar la identificación de la afectación del estrés en el paciente.

El diseño de un nuevo sistema modular que cuente con una parte fisiológica mejor definida y una parte psicológica categorizada permitirá al usuario generar un mejor diagnóstico de las áreas en las cuales el paciente se encuentra afectado por el estrés y si éste está afectando los recursos fisiológicos con los cuales el paciente cuenta.

## Capítulo 4

# Implementación del Módulo de Evaluación Fisiológica

El módulo de evaluación fisiológica, tal como se explicó en el capítulo anterior, es el encargado de determinar un nivel de estrés del paciente desde el punto de vista fisiológico. Este nivel de estrés esta dado por la información proveniente del análisis de la respiración, la sudoración y el electrocardiograma.

Esta información proviene del Sistema para Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF) conectado mediante USB a la computadora. A partir de los resultados del análisis se presentan al usuario el valor promedio de la respiración, el valor promedio de la sudoración, la variabilidad de la frecuencia cardiaca y el espectro de potencia.

La figura 4.1 muestra los módulos que realizan esta evaluación.

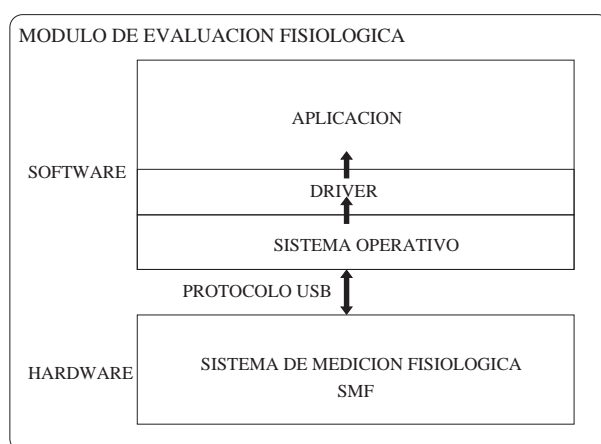


Figura 4.1: Módulo de Evaluación Fisiológica.



## 4.1. Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos

El dispositivo de muestreo utilizado en este trabajo se basó en el desarrollado en [2] con las siguientes variaciones.

- La frecuencia de muestreo de la señal de ECG se incrementó.
- El diseño de sensor abdominal se modificó para mejorar su sensibilidad.

En la figura 4.2 se muestran a bloques los módulos que componen el dispositivo.

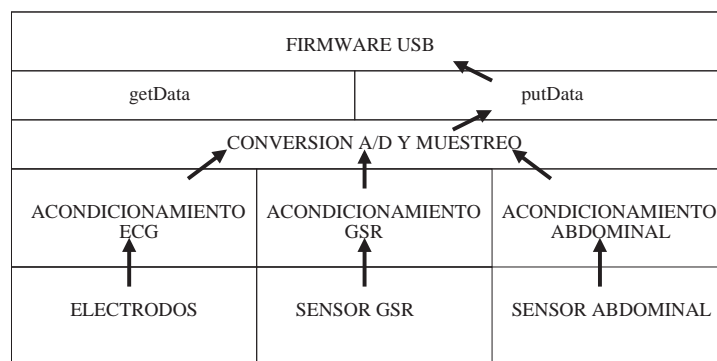


Figura 4.2: Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF).

Básicamente el equipo se compone de las siguientes capas: sensores, acondicionamiento de señales, conversión analógica-digital y de comunicación. La interacción para el manejo de información de las capas mencionadas son las que permiten a la parte de software recibir la información fisiológica.

### 4.1.1. Sensores

La función de todo sensor es recibir información del mundo analógico y convertirla a impulsos eléctricos. De igual manera los sensores utilizados reciben información fisiológica del paciente, la convierten a impulsos eléctricos y son estos cambios eléctricos los que se digitalizan y transfieren a la aplicación.

Se utilizaron tres diferentes tipos de sensores. Para obtener información sobre la variabilidad cardíaca se usaron electrodos de la marca BioPac [15]. Estos electrodos tienen como característica que están hechos con materiales que no se polarizan eléctricamente, lo que permite que sigan las variaciones electromagnéticas que detecten. Los de mejor calidad son fabricados en

materiales con recubrimiento de plata y cloruro de plata.

El sensor utilizado para obtener información sobre la sudoración fue fabricado también por la compañía BioPac [15] y está fabricado con recubrimiento de cloruro de plata. Este sensor para GSR (Galvanic Skin Response) consiste de un par de extensiones metálicas que se adhieren a los dedos del paciente mediante velcro y permiten el paso de corriente hacia el paciente por un extremo de los sensores y la recepción de la misma en el otro extremo.

El sensor de respiración se rediseñó debido a la poca sensibilidad del diseño anterior. Se agregó un mecanismo de menos tamaño que permite al paciente respirar sin sentir opresión en su parte abdominal. Esto permite que el paciente respire de manera normal y no más profundamente, como se había visto en el diseño anterior. El sensor consta de un conjunto de engranes y una leva. Un extremo de la leva se coloca sobre el abdomen del paciente, la cual permite movimientos verticales, los cuales se reflejan en giros sobre un engrane. En este engrane se encuentra el circuito de acondicionamiento para esta señal, el acelerómetro.

#### 4.1.2. Acondicionamiento de señales

Para el acondicionamiento de las tres señales fisiológicas se utilizaron tres tarjetas de adquisición de datos. Dos adquiridas a la compañía BioPac [15] y la tercera diseñada específicamente para el proyecto. Para la adquisición de la señal de ECG (ElectroCardioGramma), la tarjeta mediante filtros selectivos de frecuencia define de manera precisa los valores R-R. Los filtros permiten eliminar los valores PQST de la onda PQRST. Además de reforzar los valores R de cada pulsación del corazón.

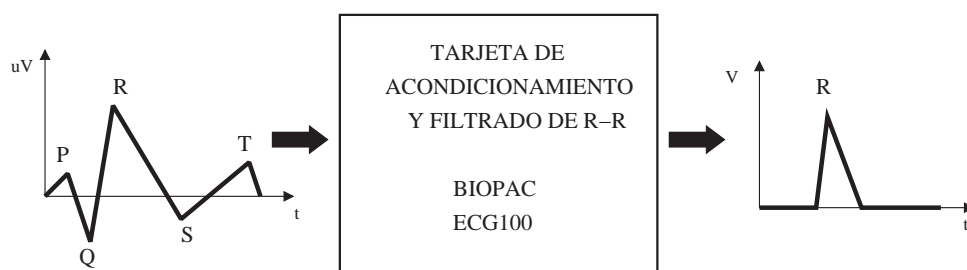


Figura 4.3: Efecto del filtro de la tarjeta ECG de BioPac sobre una onda PQRST.

Como lo muestra la figura 4.3 el filtro tiene un efecto atenuante sobre las secciones P, Q, S y T

de la señal ECG, mientras que con los puntos R la señal se refuerza. Para efecto de la medición de la variabilidad cardiaca el valor importante es el tiempo entre R y R. Desde el punto de vista eléctrico la señal que se recibe a través de los sensores (electrodos) son micro volts y las que se envían a la conversión A/D son volts, esta adecuación es realizada por la tarjeta.

El acondicionamiento de la señal GSR es realizado por la tarjeta GSR100 de la compañía BioPac [15], la cual realiza la conversión de la conductividad de la piel a impulsos eléctricos. La medición de GSR se puede realizar de dos formas. Aplicando corriente a terminales y midiendo la variación de corriente o midiendo directamente la variación de corriente entre dos puntos de la piel. El sistema Biopac utiliza la primera estrategia, como lo muestra la figura 4.4. La figura describe la aplicación de corriente a la piel del paciente ( $\mu A$ ) y su conversión a voltaje para su posterior envío como señal digital (V).

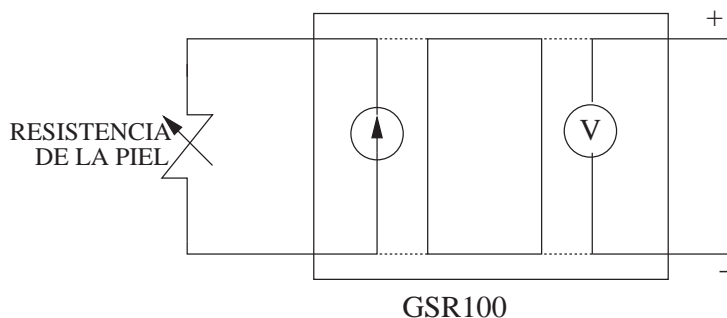


Figura 4.4: Descripción a bloques del funcionamiento de la tarjeta GSR.

La señal abdominal es acondicionada por una tarjeta diseñada específicamente para el proyecto, la cual convierte variaciones en la posición del dispositivo a cambios en frecuencia y posteriormente estos se convierten a cambios eléctricos de voltaje. Esta funcionalidad proviene del uso de un acelerómetro el cual permite la conversión posición-frecuencia. De manera general el dispositivo se comporta como lo muestra la figura 4.5. La tarjeta se encuentra colocada de manera tal que el acelerómetro recibe las variaciones de la respiración del paciente las cuales son convertidas en giros; al girar el acelerómetro cambia los valores de frecuencia a su salida, indicando posición mediante cambios en el ciclo de trabajo de la señal, posteriormente esta señal es convertida a un nivel de DC utilizando un filtro pasa bajas. La descripción a detalle del funcionamiento del dispositivo se encuentra en la sección 3.1 del proyecto anterior [2].

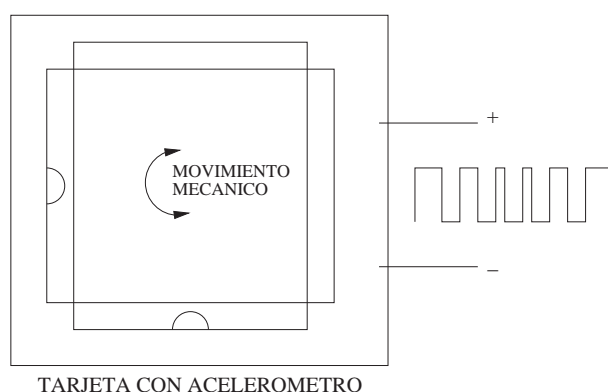


Figura 4.5: Descripción a bloques del funcionamiento del acelerómetro.

### 4.1.3. Conversión A/D y muestreo

De acuerdo a la figura 4.1, en la tercera capa del SMPF se encuentra la conversión analógica-digital (A/D). Esta conversión la realiza el PIC16C745 tomando como referencia de conversión el voltaje de 5 v que alimenta a la tarjeta e internamente se usa un convertidor con una resolución de 8 bits. Es decir, los 5 v que se toman como referencia son divididos en 255 valores, lo que indica que se tiene una resolución de 19 mV por valor. El microcontrolador recibe tres señales analógicas, obtiene seis muestras de la señal de ECG, posteriormente una muestra de la señal GSR y finalmente una muestra de la señal respiración.

El microcontrolador toma una muestra de ECG cada 2 ms, por lo que en general el microcontrolador tiene una frecuencia de muestreo de 500 Hz. El PIC se programó en un ciclo infinito que toma las muestras antes mencionadas cada 2 ms con la señal de ECG, cada 10 ms la señal GSR y respiración como lo muestra la figura 4.6. De la señal de ECG se toman 6 muestras, para las señales GSR y respiración se toman solo una muestra de cada una. Con respecto a las señales GSR y respiración el periodo será de 10 ms debido a que el ciclo de muestreo se vuelve a repetir indefinidamente a partir del último punto muestreado de ECG. Aun cuando en la figura pareciera que los periodos de muestreo serían 8.5 ms y 9 ms respectivamente, al repetir nuevamente el periodo de muestreo se puede ver que el periodo real es de 10 ms para ambas señales.

Para la parte de comunicación USB el dispositivo utiliza 8 registros para propósito de comunicación y es debido a esta cantidad de registros que se requiere definir la cantidad de bytes que se utilizarán para cada señal. En este caso se requirió utilizar más bytes para la señal de ECG ya que es la señal que más rápidamente cambia en el tiempo y se busca con ella identificar lo más exactamente posible los puntos R de cada “beat” del corazón.

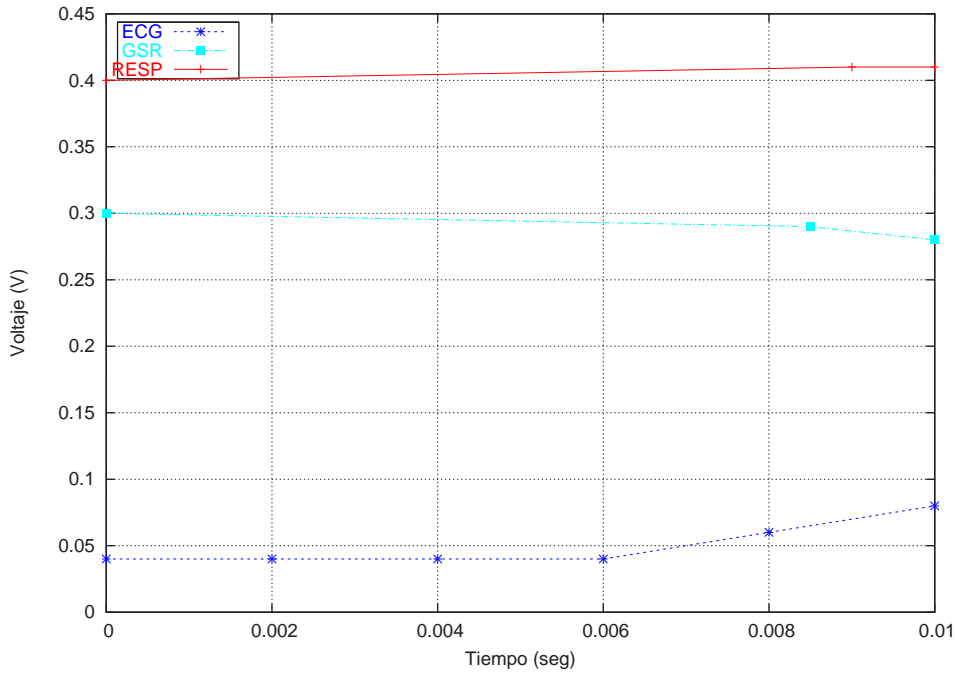


Figura 4.6: Descripción del muestreo de las tres señales fisiológicas.

#### 4.1.4. Comunicación USB y sus restricciones

La comunicación USB es realizada por los dos bloques superiores de la figura 4.2. Tanto el módulo de firmware USB como las funciones `getData` y `putData` permiten la comunicación. El PIC16C745 cuenta con la parte de firmware que se encarga de los pasos básicos para realizar la comunicación.

El firmware permite tener a nivel de usuario las funciones `getUSB` y `putUSB`. Estas funciones permiten el envío de datos del microcontrolador hacia la PC o el tomar los datos de la PC y ponerlos en los registros que tiene el dispositivo para la comunicación. Estas funciones son proporcionadas por el fabricante las que permiten desarrollar programas de manera modular a nivel ensamblador. Ambas funciones utilizan parte de hardware implementado en el dispositivo y parte de software (firmware) que se provee con el microcontrolador. Entre hardware y software implementan el protocolo USB que permite enviar y recibir información de manera transparente.

El protocolo USB (Universal Serial Bus) actualmente define tres versiones como lo muestra la tabla 4.1.

Protocolo USB	Velocidad del Dispositivo	Velocidad del Bus	Velocidad de Datos	Periodo de Muestreo
1.0	Low Speed	1.5 Mbps	800 bytes/sec	10 ms - 255 ms
1.1	Full Speed	12 Mbps	1.2 Mbytes/seg	1 ms - 255 ms
2.0	High Speed	480 Mbps	53 Mbytes/seg	125 $\mu$ s - 4 s

Cuadro 4.1: Características generales de las versiones USB

En la columna denominada Periodo de Muestreo mostramos los tiempos máximos en los que cada versión del protocolo permite la transferencia de datos. Se muestran los valores por rangos indicando el periodo de envío o recepción de datos más corto y el más largo. Este periodo de envío o recepción en nuestra aplicación es lo que nos permite el periodo de muestreo.

El periodo de muestreo está determinado por el tipo de transferencia utilizada. Para el protocolo USB existen cuatro tipos de transferencia.

- Control. Utilizado en el envío o recepción de información estructurada de control.
- Bulk. Utilizado en el envío y recepción de bloques de datos no estructurados.
- Interrupt. Similar al tipo Bulk pero busca enviar o recibir a la máxima velocidad.
- Isochronous. Utilizado en el envío o recepción de bloques no estructurados de información pero con una periodicidad garantizada.

A partir de la información anterior podemos comentar que de acuerdo a la velocidad del dispositivo y el tipo de transferencia por definición del protocolo se permiten algunos tipos de transferencia con una determinada cantidad de bytes como lo muestra la tabla 4.2.

Transferencia	High Speed	Full Speed	Low Speed
Control	64	8, 16, 32, 64	8
Bulk	512	8, 16, 32, 64	no permitido
Interrupt	1024	64	8
Isochronous	3072	1023	no permitido

Cuadro 4.2: Bytes que cada tipo de transferencia puede manejar

El PIC16C745 solo maneja el protocolo versión 1.0 con una velocidad tipo Low Speed y utiliza el método Interrupt para las transferencias de datos. Una diferencia importante en el manejo de interrupciones en la comunicación USB es el hecho de que el dispositivo no inicia la interrupción, quien inicia la interrupción es la computadora, es decir, la computadora avisa al dispositivo si va a leer datos o a escribir a él. En nuestro caso la computadora interrumpe al dispositivo, le solicita datos y el dispositivo responde realizando el muestreo y enviando los datos colectados.

De acuerdo a la información de las tablas anteriores con un dispositivo tipo Low Speed podemos

- Transferir hasta 8 bytes como máximo.
- Transferir un paquete de datos cada 10 ms como tiempo mínimo.
- Ejecutar acciones en el dispositivo a partir de la solicitud de comunicación.

Esta velocidad de transferencia (Low Speed) funciona perfectamente para dispositivos en donde los cambios son lentos y no se requiere intercambiar mucha información (ratones, teclados, joysticks, etc.). Sin embargo, esta restricción en velocidad si es importante para otro tipo de aplicaciones como la nuestra.

Debido a las restricciones dadas por el dispositivo de comunicación el muestreo de la figura 4.6 tiene un tiempo de espera de 10 ms. Esto es, cada 12 ms de datos de muestreo van acompañados por 10 ms de transferencia de datos. Durante estos 10 ms la información de las señales analógicas se pierde (principalmente la señal de ECG) ya que es el tiempo requerido por el protocolo para el envío de la información. Esto se muestra en la figura 4.7.

La figura 4.7 muestra el mismo muestreo de la figura 4.6 pero con separaciones de 10 ms entre cada grupo de 8 muestreos. De esta manera es como funciona la versión actual del sistema, cuya principal diferencia con el sistema anterior [2] recae en el uso de los 8 bytes de datos que

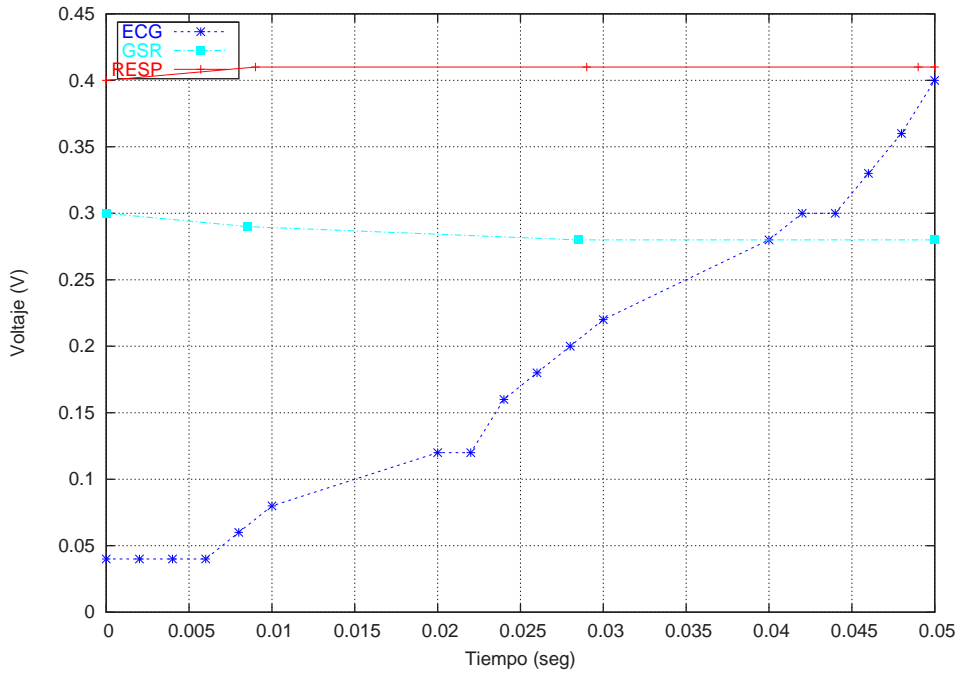


Figura 4.7: Efecto de la velocidad de transferencia en el muestreo de las tres señales fisiológicas.

el microcontrolador puede utilizar. 6 bytes asignados al muestreo de la señal más rápida (ECG) y 2 a las otras dos señales fisiológicas (GSR, respiración).

Posteriormente a la identificación del dispositivo por parte de la computadora inicia la transferencia de la información. En nuestro caso solo se requirió que la transferencia fuera del Sistema de Muestreo de Parámetros Fisiológicos hacia la computadora. Es por ello que en la figura 4.2 el flujo de la información se concentra en la instrucción `putData`. El comando `putData` permite de manera sencilla el envío de 8 bits de datos colocados en los registros específicamente creados con este fin dentro del microcontrolador. Posteriormente a la identificación, el sistema operativo y el driver se encargan de enviar la información a la aplicación.

## 4.2. Driver JUSB y Sistema Operativo

En toda PC el sistema operativo (SO) es el encargado de administrar los recursos del sistema. Administra el uso del procesador, la asignación de procesos, distribuye la memoria, maneja los dispositivos periféricos. Los puertos USB son vistos como periféricos por el SO y es este quien controla su acceso. Ya sea para leer del dispositivo que se conecta o escribir a él.



Para tener acceso a un dispositivo conectado a algún puerto USB de una computadora el SO debe realizar el procedimiento de enumeración. La enumeración es el reconocimiento y asignación de una dirección al dispositivo que se conecta a la computadora. Esta enumeración funciona como se describe en la figura 4.8 [17].

Los componentes que participan en el procedimiento de enumeración de un dispositivo son:

- El dispositivo USB. Es el elemento que se conecta a la computadora del cual se escribe o lee información. Este dispositivo cuenta con cuatro líneas. Dos de ellas son para tomar la alimentación eléctrica del hub de la PC (100 mA) si se requiere. Las otras dos líneas son las de comunicación identificadas como D+ y D-.
- El hub USB. Es la parte de hardware que permite la interfase a nivel eléctrico. Su función es parecida a la de una tarjeta de red en el protocolo TCP/IP.
- El Host USB. Es la parte de software que pertenece al sistema operativo y que le permite al kernel su acceso y administración.
- El driver para USB. Software de interfaz entre la aplicación y el host. Esta interfaz permite la comunicación de manera transparente entre el dispositivo USB y la aplicación.

El procedimiento de enumeración se realiza de la siguiente manera.

1. El usuario conecta el dispositivo al puerto USB de la computadora. Dependiendo del tipo de dispositivo en el momento de conexión puede o no tomar la alimentación del hub. En nuestro caso la alimentación del dispositivo es independiente de la del bus USB.
2. El hub detecta el dispositivo. El dispositivo debe indicar mediante una resistencia de pull-up en D+ o D- si su configuración es low speed o full speed. En nuestro caso, debido a que el microcontrolador está diseñado para trabajar a velocidad baja (low speed) se colocó una resistencia de  $1\text{ K}\Omega$  en D- conectada a 5 V [2].
3. El host obtiene información del nuevo dispositivo. El hub interrumpe al host para indicarle que hubo un evento. El host solicita al hub mediante la interfase Get\_Port\_Status que se le informe el puerto donde se registró el evento.
4. El hub detecta si el dispositivo es low or full speed. El host vuelve a hacer la llamada Get\_Port\_Status para solicitar al hub que identifique si el dispositivo es low o full speed.

5. El hub inicializa (reset) el dispositivo. Posteriormente a la identificación de la velocidad se realiza un reset del dispositivo para el host se asegure del estado del dispositivo antes de continuar la enumeración.
6. El host detecta si un dispositivo full speed soporta high speed. A partir del reset el host solicita al dispositivo, mediante el hub, indicar si es capaz de manejar una velocidad tipo high speed. Esta solicitud se realiza si el dispositivo fue identificado anteriormente como full speed.
7. El hub establece una ruta de comunicación entre el dispositivo y el host. En este punto el host identifica al dispositivo con la dirección 0, dirección que usará hasta asignarle una definitiva.
8. El host solicita información del tamaño máximo de paquete (Get\_Descriptor). Como el dispositivo está identificado parcialmente se hace la solicitud del tamaño máximo de paquete de datos a utilizar. En nuestro caso el dispositivo maneja 8 bytes de datos.
9. El host asigna una dirección al dispositivo (Set\_Address). Se asigna una dirección dependiendo del número de dispositivos que se encuentren ya conectados e identificados.
10. El host detecta las capacidades del dispositivo con la dirección asignada (Get\_Descriptor). Se vuelve a utilizar la llamada Get\_Descriptor para detectar nuevamente las características del dispositivo, pero ahora a nivel host.
11. El host asigna y carga el driver para el dispositivo. Se asigna el driver que se encargará de realizar a nivel aplicación el manejo de envío y recepción de datos.
12. El host selecciona una configuración. El driver vuelve a solicitar información del dispositivo para cargar una configuración con la cual trabajará el resto del tiempo.

A grandes rasgos estos son los pasos necesarios para la enumeración del dispositivo, y podría decirse que una de las partes más importantes es la asignación de la dirección al dispositivo. Dirección que se mantendrá mientras el dispositivo siga conectado al hub. Como ya se comentó, posterior al reconocimiento del dispositivo, el sistema operativo asigna un programa el cual será el manejador del dispositivo (driver), a quien el sistema operativo delega la responsabilidad de responder a las solicitudes de la aplicación.

El driver utilizado en el proyecto fue el JUSB [16]. Este controlador tiene como característica

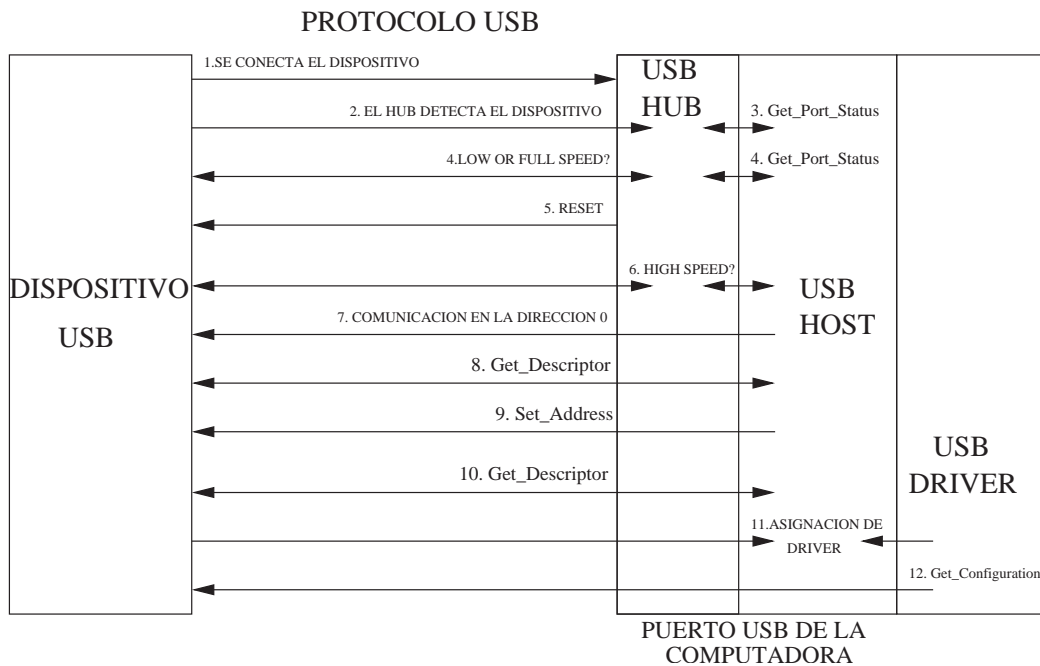


Figura 4.8: Reconocimiento de un dispositivo USB

principal el permitir que la información de un dispositivo USB pueda ser enviada o recibida por una aplicación hecha en el lenguaje Java.

Fue creado para ejecutarse en el SO Windows y aun cuando está programado en Java, una parte importante se desarrolló con una herramienta que permite generar como ejecutable final un programa nativo del sistema operativo (Java Native Interface - JNI). El controlador fue diseñado y programado por Michael Stahl. Este trabajo está basado en la necesidad de crear la manera de recibir datos de una aplicación en Java que no fuera el puerto serial. La necesidad se creó como parte del proyecto paper++ [20] en el cual se requería ubicar de manera precisa la colocación del papel en diferentes dispositivos mediante una aplicación hecha en Java. La implementación del driver de USB para Java (JUSB) le permitió a Stahl obtener el grado de licenciatura.

El driver JUSB realiza todo el procedimiento de enumeración del protocolo USB, revisa constantemente la conexión/desconexión del dispositivo y proporciona API's (interfaces de aplicación) para que la aplicación envíe o reciba datos de manera transparente al protocolo.

### 4.3. Diagrama de clases

El diagrama de clases siguiente presenta la interacción de las clases más representativas del sistema. Se resaltan en oscuro las clases que se implementaron para la funcionalidad del

proyecto en el módulo de evaluación fisiológica. El diagrama indica la relación entre cada una de las clases y el agregado que se hace para mostrar a nivel usuario funcionalidad transparente. Cada clase se encarga de las siguientes actividades.

- USBConnector. Clase encargada del manejo del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos conectado a la computadora mediante el puerto USB.
- Algoritmos. Clase donde se implementaron algoritmos para el análisis de las señales fisiológicas.
- Plot. Clase dedicada exclusivamente a recibir datos y graficarlos en el instante en el que se reciben vía USB.
- FisiFrame. Clase utilizada a nivel de usuario la cual muestra gráficamente las señales fisiológicas.
- ResultFrame. Clase que presenta al usuario los resultados del análisis fisiológico de las señales.
- Principal. Clase que engloba toda la información a nivel de usuario que las clases anteriores generan.

La clase USBConector integra el módulo de control del USB. Este módulo se describe con mayor detalle en la siguiente sección.

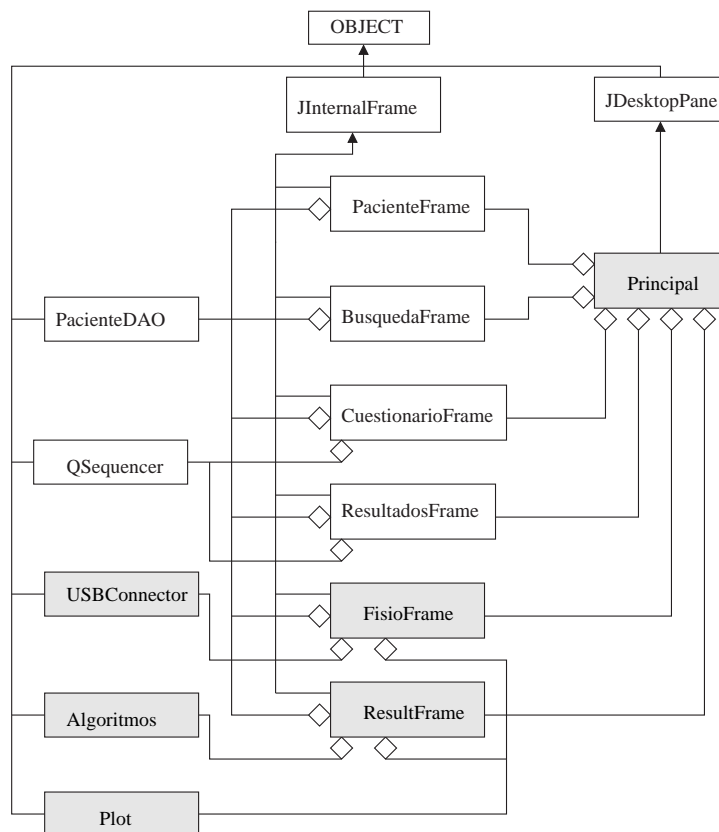


Figura 4.9: Diagrama de clases general indicando las clases principales del módulo de evaluación fisiológica

#### 4.4. Módulo de control del USB

El módulo de control de USB es una clase que encapsula al driver JUSB y le agrega funcionalidad. Esta combinación permite a nivel de aplicación el uso transparente del puerto USB. La figura 4.9 muestra la utilización de la clase USBConnector como módulo de control del USB.

Este módulo permite al programador

- Detectar la presencia o ausencia del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF).
- Leer datos de manera transparente desde el SMPF.
- Proporcionar datos administrativos como tamaño del buffer que se está utilizando, identificadores de producto y de fabricante.

La clase extiende a Thread la cual permite al objeto el ejecutarse en su propio contexto y ejecutarse de manera paralela a otras clases o procesos de la máquina virtual de java. Como parámetro de entrada recibe un buffer en el cual coloca de manera sincronizada los datos.

La sincronización se logró mediante el uso de un buffer el cual implementa los métodos take y append del esquema Productor-Consumidor. El módulo de control del USB es el que se encarga de agregar (append) los datos al buffer de la aplicación indicando al semáforo la existencia de datos. Fue la utilización de Threads lo que obligó de manera directa el uso de este tipo de esquema. Ya que en las pruebas iniciales la generación de errores por acceso a datos no sincronizados terminaba con toda la aplicación. Fue la implementación de la sincronización lo que permitió el funcionamiento de la aplicación sin mayor problema.

## **4.5. Datos de variables fisiológicas y algoritmos aplicados**

Los datos recibidos mediante la lectura del módulo de control del USB se guardan en objetos de la clase XYData, la cual está compuesta de dos clases Vector en donde se guardan los valores de tiempo (X) y de voltaje (Y) que se obtienen del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos.

A cada señal almacenada se le aplican algoritmos. En la señal de ECG nos interesa el identificar los tiempos en los que sucede cada R. En la señal de GSR nos interesa solo conocer el promedio de los valores recibidos y mostrar el comportamiento de manera gráfica. Finalmente en la señal de respiración nos interesa la graficación y el conocer la cantidad de respiraciones por minuto realizadas por el paciente.

Iniciaremos comentando los algoritmos utilizados para la identificación de los tiempos RR. Como lo muestra la figura 4.10 se aplicaron varias etapas en el manejo de los datos para poder obtener finalmente los tiempos RR entre cada “beat” del corazón.

A partir de los datos de ECG recibidos se realiza un corte del ruido de la señal. Este corte de ruido evita que las señales cercanas a cero volts provoquen cruces por cero falsos al momento de aplicar la derivada. Pues los valores además de ser aleatorios son fluctuantes teniendo mínimos y máximos que se reflejan en la señal de la derivada. Al realizar este corte los cruces por cero representarán únicamente a los puntos máximos de la señal de ECG, los puntos R.

Debido a las restricciones de comunicación comentadas en la sección 4.1.4 existirá un lapso de tiempo de 10 ms donde no se transmite información del Sistema de Muestreo de Paráme-

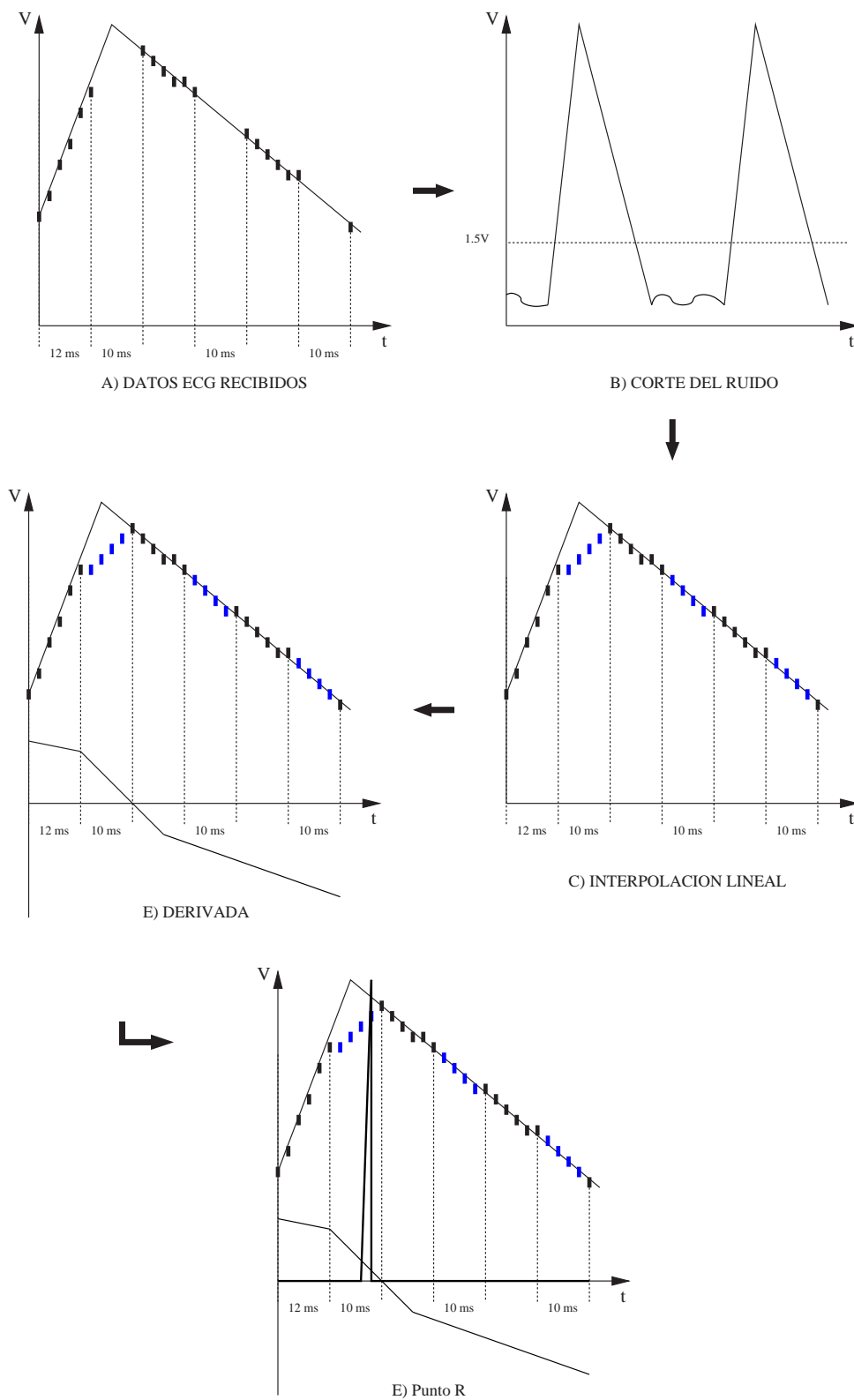


Figura 4.10: Etapas implementadas para la detección de tiempos RR.

tros Fisiológicos (SMPF) a la computadora. Tiempo en el cual no se recibirá información del SMPF. Este lapso de tiempo es constante ya que la solicitud de información al SMPF se realiza de manera continua por “pooling”, lo que garantiza que se recibirán 12 ms de datos seguidos de 10 ms del lapso de información.

Para completar la falta de información de la señal de ECG se optó por realizar una interpolación lineal. La interpolación lineal fue rápida de implementar y proporciona “continuidad” a los datos de entrada de las etapas subsecuentes, como lo es la derivada.

La derivada nos permite identificar cada punto R de la señal (máximo). Sin embargo, como se puede ver en la figura 4.10 inciso C, debido a la interpolación existe la posibilidad de que se identifique un valor máximo distinto al real. Para minimizar esta posibilidad se realizan los siguientes pasos en la identificación del punto R.

1. Se identifica el primer valor negativo de la derivada (i). Figura 4.10 inciso D.
2. Se identifica el cuarto valor positivo de la derivada (i-4).
3. Se toma como R el valor intermedio (i-2). Figura 4.10 inciso E.

De acuerdo a las observaciones realizadas el tomar como punto R dos valores antes del primer negativo de la derivada nos conduce siempre a tener un error a lo más 2 ms con respecto al punto R real. Como se comentó en 4.1.3 la velocidad deseada de muestreo es de 2 ms (500 Hz), pero la velocidad de la señal de ECG es de 60 bpm (beats per minute) lo que nos da una frecuencia de 1 Hz. Esto indica que de cada “beat” del corazón se toman 500 muestras aproximadamente. Lo que genera un error de solo 2 ms en la identificación de cada R, que es realmente un error mínimo respecto a la velocidad de cambio de la señal fisiológica. Realmente la figura 4.10 muestra una señal de ECG muy disminuida en el tiempo con el fin de ejemplificar el procedimiento de identificación de cada R.

A partir del vector de RR's estos se pueden graficar. Colocando en el eje “x” el número de R que es y en el eje “y” el tiempo entre cada R. A esta relación se le denomina variabilidad cardíaca y a la gráfica se le conoce comúnmente como tacograma. El tacograma sirve a su vez para realizar un análisis en frecuencia denominado memse [22]. Este análisis en frecuencia es semejante al realizado en [2] [23] con la única diferencia que el resultado final desde el punto de vista gráfico presenta definiciones menos agudas en los puntos máximos de las curvas. En el espectro de frecuencia se identifican la parte simpática y la parte parasimpática de la variabilidad cardíaca. Esperando encontrar relaciones que indiquen la ausencia o presencia de estrés crónico



se realiza la razón entre el área de la curva de la frecuencia simpática y parasimpática.

Para el caso de la señal GSR solo se toma el valor de la señal inicial y la final para obtener el promedio de la misma. De esta señal fisiológica el punto más importante es la visualización de la señal para detectar cambios bruscos en la misma. A partir de estos cambios se tratará de identificar el grado de estrés crónico que tiene el paciente.

La señal de la respiración es una señal oscilante con respecto a 2.5 V. A esta señal se le aplica la derivada para identificar los puntos máximos y a partir de ahí conocer el número de respiraciones por minuto. Una frecuencia respiratoria “alta” indicará si el paciente sufre de un estrés crónico. La definición de una frecuencia “alta” depende de estudios posteriores en los cuales se utilizará esta herramienta.

## 4.6. Módulo de graficación

El módulo de graficación está definido por la clase Plot de la figura 4.9. Este módulo consta de subclases con las cuales se implementa el objeto graficador. Se eligió este componente programado en lenguaje JAVA principalmente por las siguientes características.

- Permite la graficación de datos dinámicos.
- Cuenta con métodos que permiten una rápida configuración.
- El código de implementación está disponible para su modificación.

El módulo se tomó del proyecto PtPlot realizado por la universidad de Berkeley [24]. El módulo de graficación permite visualizar datos que se alimentan dinámicamente, debido principalmente a la implementación de hilos de ejecución (threads) en su código. Cuenta además con la capacidad de realizar acercamiento y alejamiento de los datos (zoom), impresión del módulo de graficación y reinicio a valores iniciales de configuración (reset). Todo esto manejado de manera transparente al programador.

Debido al manejo de threads fue necesario, como se comentó anteriormente, implementar un mecanismo de sincronización entre el módulo de control del USB y este módulo de graficación. El mecanismo fue el Productor-Consumidor con el cual se sincronizó el acceso a los datos del buffer de la aplicación.

## 4.7. Resumen

En este capítulo se presentan las características técnicas con las que cuenta la implementación del módulo de evaluación fisiológica.

Se describen a mayor detalle los módulos que componen a la sección, iniciando por el Sistema de Muestro de Parámetros Fisiológico (SMPF). En este sistema se encuentran implementados los sensores, las tarjetas de adecuación de las señales, el módulo de muestreo y el de comunicación. Se comentan ampliamente sus características y restricciones identificadas; las cuales obligaron a implementar un nuevo esquema de muestreo de las señales fisiológicas. Especialmente en la señal de ECG a la que fue necesario muestrear más rápidamente que en el sistema anterior. Buscándose el tratar de obtener una muestra de esta señal cada 2 ms. Lográndose parcialmente el objetivo debido a las restricciones de comunicación que presenta el protocolo USB 1.0.

A nivel de software, la restricción de comunicación provocó que se implementara un nuevo algoritmo de identificación de cada punto R de la señal de ECG. Obteniéndose un error de 2 ms como máximo en la identificación de cada R, mejorando el error con respecto al sistema anterior el cual podía llegar a tener un error de 10 ms. Con respecto a las señales de GSR y abdominal, se conservó su periodo de muestreo de cada 10 ms, debido a que son señales de cambio lentas, en las cuales no fue necesario disminuir el periodo de muestreo.

## Capítulo 5

# Implementación del Módulo de Evaluación Psicológica

El módulo de evaluación psicológica se encarga de determinar el grado de estrés que la persona siente. El estrés, tal como se comentó en la sección 3.3 está determinado por el grado de depresión, bienestar, efectos reactivos, etc., que el paciente por si mismo percibe.

Las secciones que componen al módulo son.

- La base de datos.
- El cuestionario TAPE.
- Los módulos para acceso a datos.
- Los módulos para manejo de pacientes y aplicación de cuestionarios.

La interacción que cada módulo realiza se presenta en la figura 5.1.

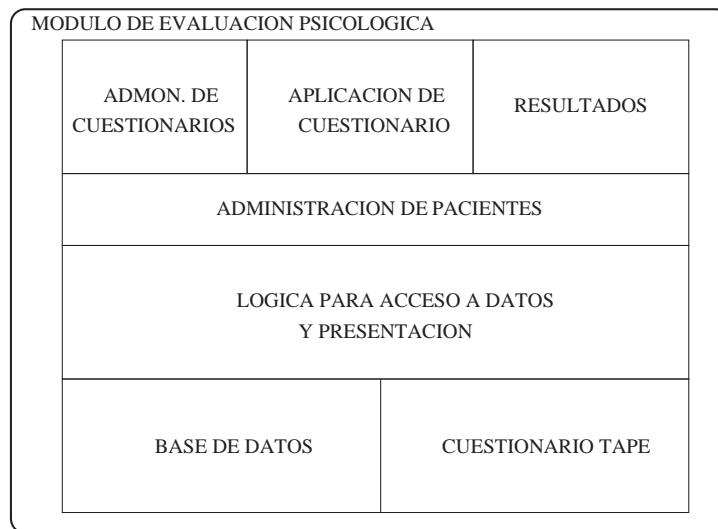


Figura 5.1: Módulo de Evaluación Psicológica.

## 5.1. La base de datos

La base de datos se encarga de contener toda la información de los pacientes y las respuestas a los cuestionarios. Fue implementada en FoxPro Database por las siguientes razones:

- El tamaño de tabla será menor a 1 GB de espacio en disco. El número de pacientes será menor a 200, teniendo cada paciente menos de 10 sesiones registradas. Se considera que el tamaño de tabla más grande será de 140,000 registros. Esta cantidad se llega a cubrir con un tamaño de tabla en disco de 70 KB. El tamaño máximo de tabla en FoxPro Database es de 1GB.
- La integridad referencial. En el diseño de la base de datos se indican los campos llave de las tablas diseñadas y esta integridad es revisada por el manejador de la base.
- El acceso mediante java. Existen drivers para acceder y modificar la información contenida en la base utilizando en lenguaje java.

La figura 5.2 muestra el diseño de la base de datos y los enlaces entidad-relación que determinan la integridad.

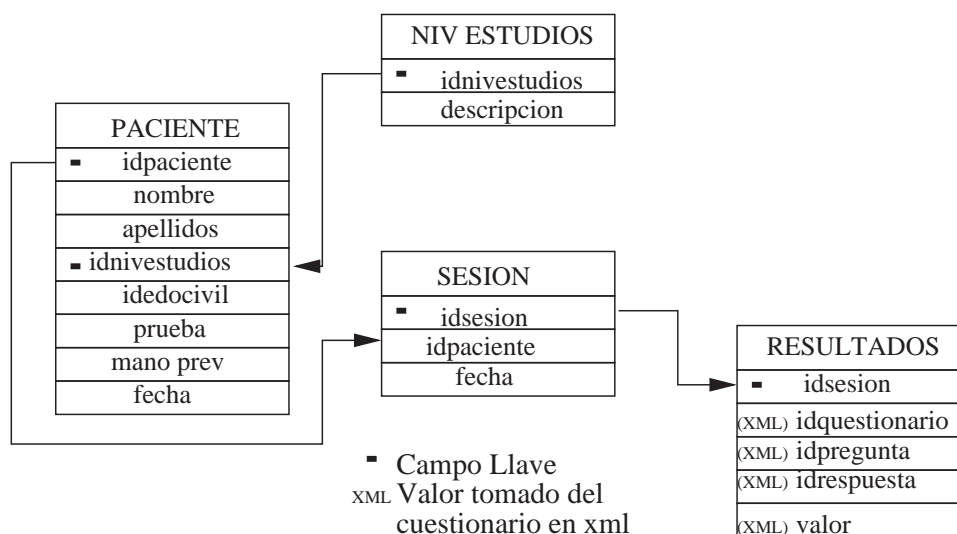


Figura 5.2: Diagrama entidad-relación de la base de datos.

## 5.2. El cuestionario TAPE

El cuestionario TAPE (Test de AutoPercepción del Estrés) aplicado en el sistema desarrollado es el resultado del análisis de más de 200 pacientes de diferentes edades, sexos y ocupaciones. Con las pruebas realizadas se pudo llegar a la definición del test final que es el que se presenta en este trabajo.

El cuestionario consta de 71 preguntas, divididas en 7 secciones descritas en el capítulo 3. Las preguntas que el cuestionario contiene son del tipo.

- RU respuesta única.
- RUM respuesta única memoria.
- RUE respuesta única-escala (1-10) leyenda en 1, leyenda en 10.
- RM respuestas múltiples.
- RMM respuestas múltiples memoria.

La implementación del cuestionario se realizó en el lenguaje XML (eXtensible Markup Language). Teniendo como elemento de mayor jerarquía a “cuestionario”, posteriormente a “pregunta” y finalmente a “respuesta”. Cada elemento jerárquico tiene a su vez atributos. La implementación de cada pregunta tipo de pregunta y respuesta se presenta en la figura 5.3

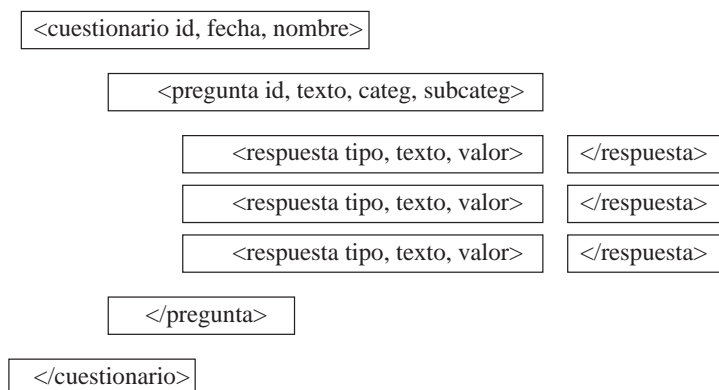


Figura 5.3: Elementos y atributos de la implementación del TAPE.

```

- <pregunta id="2" topico="1" subtopico="1" eval="SM" grupos="7">
  <texto_es tip="" texto="El tiempo aproximado en que tuve la
  experiencia dolorosa fue"/>
  <texto_en tip="" texto="English"/>
  <texto_fr tip="" texto="Francés"/>
  <texto_it tip="" texto="Italiano"/>
  <respuesta tipo="RUM" valor="4" sigpreg="3" mem="0"
  txtcualitativo_es="Asalto con violencia: Desde un día hasta un mes"
  texto_es="Desde un día hasta un mes" texto_en="en" texto_fr="fr"
  texto_it="it"/>
  <respuesta tipo="RUM" valor="3" sigpreg="3" mem="0"
  txtcualitativo_es="Asalto con violencia: Más de un mes hasta un año"
  texto_es="Más de un mes hasta un año" texto_en="en" texto_fr="fr"
  texto_it="it"/>
  <respuesta tipo="RUM" valor="2" sigpreg="3" mem="0"
  txtcualitativo_es="Asalto con violencia: Más de un año hasta cinco
  años" texto_es="Más de un año hasta cinco años" texto_en="en"

```

Figura 5.4: Implementación del test TAPE en XML.

### 5.3. Clases implementadas

Se presenta a continuación el diagrama de clases general del sistema en la figura 5.5.

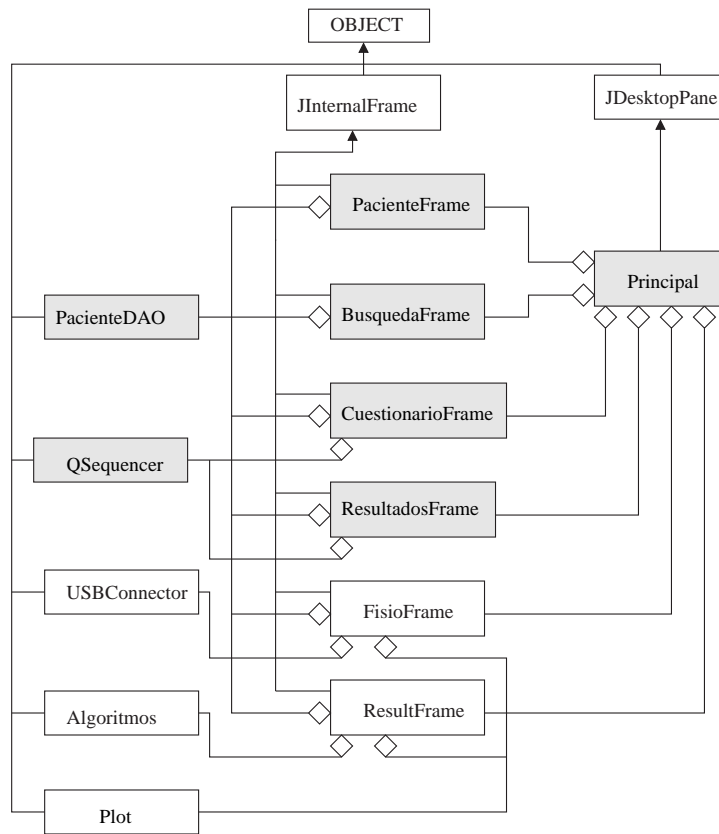


Figura 5.5: Diagrama de clases general del módulo de acceso a datos y presentación

En color gris oscuro se muestran las clases que forman parte del módulo de evaluación psicológica. De izquierda a derecha se encuentran las clases PacienteDAO y QSequencer, encargadas del acceso a datos y lógica en el manejo de los cuestionarios. Las clases con terminación Frame son clases de capa de presentación que heredan de la clase JInternalFrame y utilizan PacienteDAO y QSequencer. Estas clases son utilizadas por la clase Principal, que hereda de la clase JDesktopPane. Mediante la interacción de estas clases es como se permite al usuario el manejo de pacientes y la aplicación del cuestionario TAPE.

### **5.3.1. Clases de acceso a datos**

Las clases de acceso a datos son las encargadas de la interacción con la base de datos. Las clases desarrolladas son.

- **PacienteDAO.** Contiene métodos que permiten el manejo de toda la información referente a los pacientes. Como es el darlos de alta, de baja, y modificación.
- **QSequencer.** Contiene métodos que permiten el manejo de la información referente a algún cuestionario TAPE aplicado o a aplicar.

### **5.3.2. Clase de acceso a cuestionario**

La clase de acceso al cuestionario se denomina QSequencer y es la encargada dos funciones principales.

- El fragmentar la información de manera adecuada para proveerla a las clases de presentación.
- El controlar la secuencia de las preguntas de acuerdo a las respuestas proporcionadas por el usuario.

Esta clase permite obtener y guardar información referente a los cuestionarios aplicados o los que se están aplicando. Tiene relación con clases del acceso a datos para poder guardar y obtener información de la base de datos. Como se comentó en la sección 5.1 en la base de datos se coleccionará la información generada en el sistema.



## 5.4. Resumen

En el módulo de evaluación psicológica se implementaron los módulos para el registro de pacientes, permitiendo el registro de datos personales básicos. Esto mediante una base de datos en la cual se guardan los datos personales y los resultados del test psicológico que se aplique al paciente.

Es precisamente el test psicológico una de las mejoras presentadas en este sistema. El nuevo test psicológico, denominado TAPE, tiene como característica principal el estar completamente categorizado. Tiene siete categorías con las cuales se intenta identificar la cantidad de recursos de afrontamiento que tiene un paciente. Además de mostrar las áreas en las que la persona presenta mayores indicios de estar afectada por estrés crónico.

Como característica técnica este sistema, además de manejar completamente la información de los pacientes en una base de datos, presenta también una implementación del cuestionario realizado en XML. Esto debido a que XML ofrece la facilidad de manejo y modificación de elementos y atributos fácilmente, además de la jerarquía en árbol que semeja mucho al esquema pregunta-respuestas que tienen en general los cuestionarios. Inicialmente implementándose el cuestionario, de forma manual, en un archivo XML.

Se implementaron módulos de acceso a base de datos y módulos de acceso cuestionario. Los cuales son parte de la capa lógica de esta sección del sistema. Se implementaron también los módulos de capa de presentación, que son los que finalmente utiliza el usuario para aplicar el test a los pacientes y en donde se ve reflejada toda la interacción que se realiza entre los diferentes módulos.

# Capítulo 6

## Resultados

En las secciones siguientes se muestran los resultados obtenidos, a nivel de usuario, en la implementación del diseño modular. Se describe la información desde el punto de vista técnico del sistema, así como un caso de estudio.

Desde el punto de vista técnico presentamos los resultados que a nivel de usuario se presentan en la utilización del sistema.

El módulo principal de ejecución de la aplicación, tal como se indica en las figuras 4.9 y 5.5. Clase en donde se conjuntan los módulos de evaluación psicológica y fisiológica. Se utiliza cada clase “frame” mediante el acceso a los menús. La clase extiende de `JDesktopPane` [26] la cual permite el manejo MDI (Multiple-Document Interface). Las clases “frame” de los diagramas de clase extienden a la clase `JInternalFrame` [26] la cual les permite ser parte del contexto visual de la pantalla principal. La ventaja de tener una aplicación en el contexto MDI es que da la apariencia de modularidad a nivel de usuario y permite minimizar, maximizar y cerrar las ventanas que no se utilicen, permitiendo al usuario tener control de las ventanas tanto de la parte psicológica como de la fisiológica. Desde el punto de vista técnico se tiene como ventaja el facilidad de agregar o deshabilitar ventanas con diferentes implementaciones a evaluar. Por ejemplo, se pueden agregar diferentes estudios fisiológicos o psicológicos extra a los presentados sin mucho problema.

Los menús implementados son los siguientes:

- Paciente. Manejo de datos relacionados con el paciente.
  - Nuevo. Registra un nuevo paciente.
  - Registrado. Selecciona un paciente existente.

- Exportar. Exporta los registros de un paciente mediante archivo XML.
- Importar. Importa los registros de un paciente mediante archivo XML.
- Salir. Termina la aplicación.
- Pruebas. Acceso a las pruebas psicológicas y fisiológicas.
  - Fisiológica. Pruebas fisiológicas al paciente.
  - Nuevo TAPE. Aplica nuevo test fisiológico al paciente.
  - Editar TAPE. Edita un test fisiológico registrado en la base de datos.
- Resultados
  - Fisiológicos. Resultados del muestreo de las señales fisiológicas.
  - TAPE. Resultados del test psicológico.
- Ayuda
  - Acerca de. Información sobre la versión y el autor.

## **6.1. Resultados de la implementación del módulo de evaluación psicológica**

El módulo de evaluación psicológica permite al usuario la aplicación del test psicológico TAPE. El test como se comentó en la sección 3.3 se aplica a cada paciente a evaluar, con la posibilidad de aplicarle más de un test y guardar los resultados en la base de datos.

Cada pregunta del cuestionario TAPE a evaluar debe estar definida con una de las clasificaciones comentadas en la sección 5.2. Mostramos la presentación del módulo de evaluación psicológica con el cual se aplica el TAPE al paciente, y algunos ejemplos de las implementaciones del tipo de respuesta asignado a cada pregunta.

A nivel de presentación la clase CuestionarioFrame de la figura 5.5 utiliza a la clase QSequencer. La clase QSequencer se encarga de la secuencia de las preguntas, en ella se guarda la información de la respuesta de la pregunta y proporciona métodos para indicar si es la última pregunta o la primera, cual es la pregunta siguiente y cual es la respuesta de la pregunta anterior, como se explicó en la sección 5.3.2.

Uno de los tipos de respuestas que identifica la clase QSequencer es la pregunta RMM (Respuesta Múltiple con Memoria) (figura 6.1) en ella se guardan temporalmente las respuestas proporcionadas en la primer pregunta para relacionarlas con respuestas en la segunda pregunta.

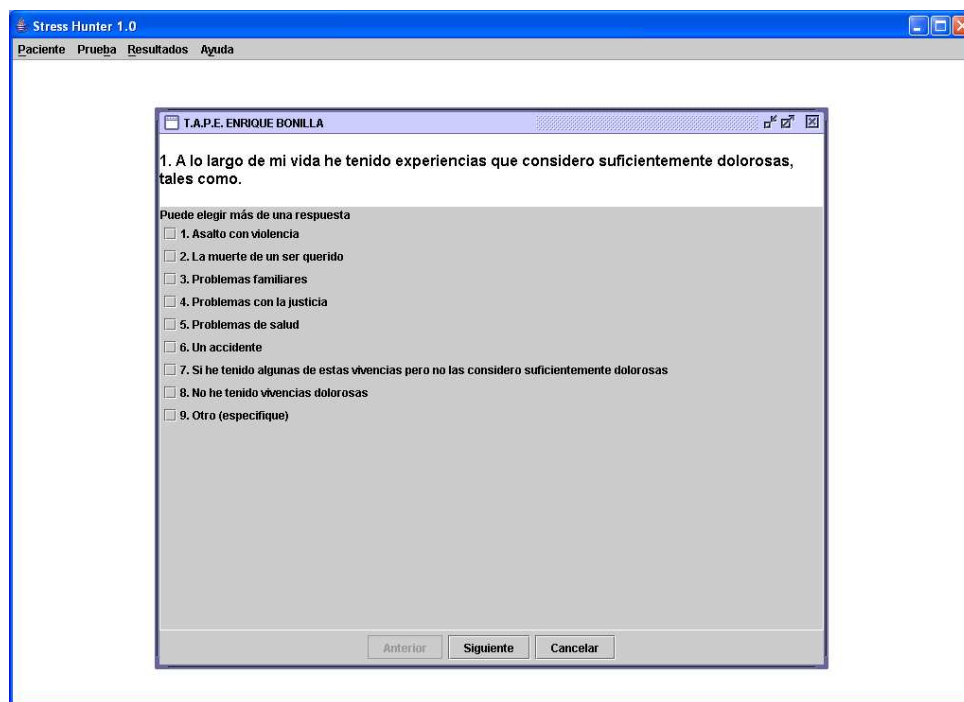


Figura 6.1: Tipo de pregunta RMM (Respuesta Múltiple con Memoria).

En el tipo de respuesta única de las figuras 6.2 y 6.3 se puede apreciar la flexibilidad de la capa de presentación. Se pueden definir diferentes cantidades de respuestas indicando en cada una de ellas el tipo que son. Así en la figura 6.2 se tienen tan solo dos respuestas, mientras que en la pregunta 6.3 se tienen seis respuestas. No importando el número de respuestas el sistema presenta la respuesta con el tipo de opción requerida.

La respuesta única escala (RUE) de la figura 6.4 es una variación de la respuesta única, en ella la diferencia está en la presentación, ya que se requiere que el paciente conteste en una escala de 1 a 10.

A nivel de presentación también se valida si la pregunta ha sido contestada para continuar con la siguiente. Esta información también se obtiene de QSequencer. Al usuario se le presenta una advertencia con la cual se le indica que la pregunta no ha sido contestada y que seleccione una respuesta. Mientras no conteste la respuesta la aplicación no avanzará a la siguiente.

Posterior a la aplicación del TAPE se pueden ver los resultados de la evaluación presentada. Al seleccionar la opción TAPE del menú resultados, aparecerá una casilla de selección que

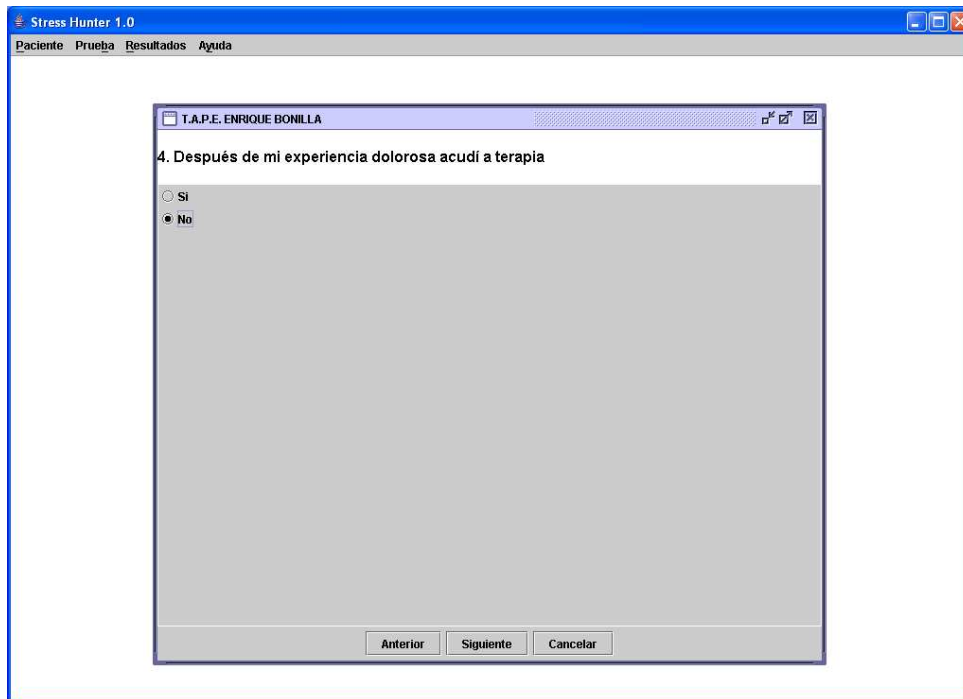


Figura 6.2: Tipo de pregunta RU (Respuesta Unica).

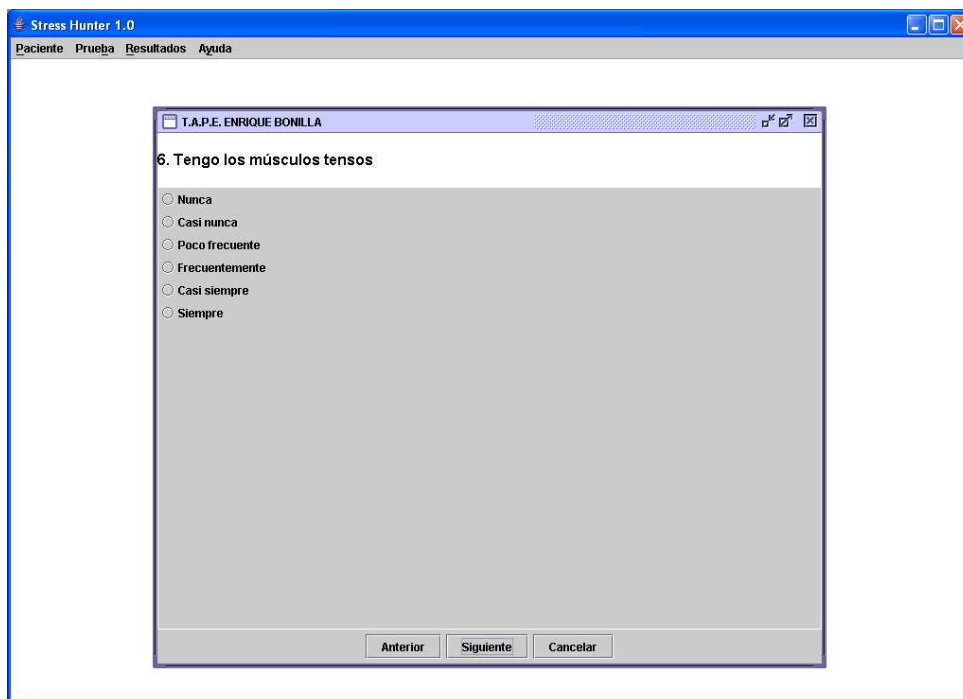


Figura 6.3: Tipo de pregunta RU (Respuesta Unica).

mostrará todas las sesiones realizadas al paciente y de las cuales podrá el evaluador elegir para conocer los resultados de diferentes sesiones. El objetivo de mantener datos históricos de las

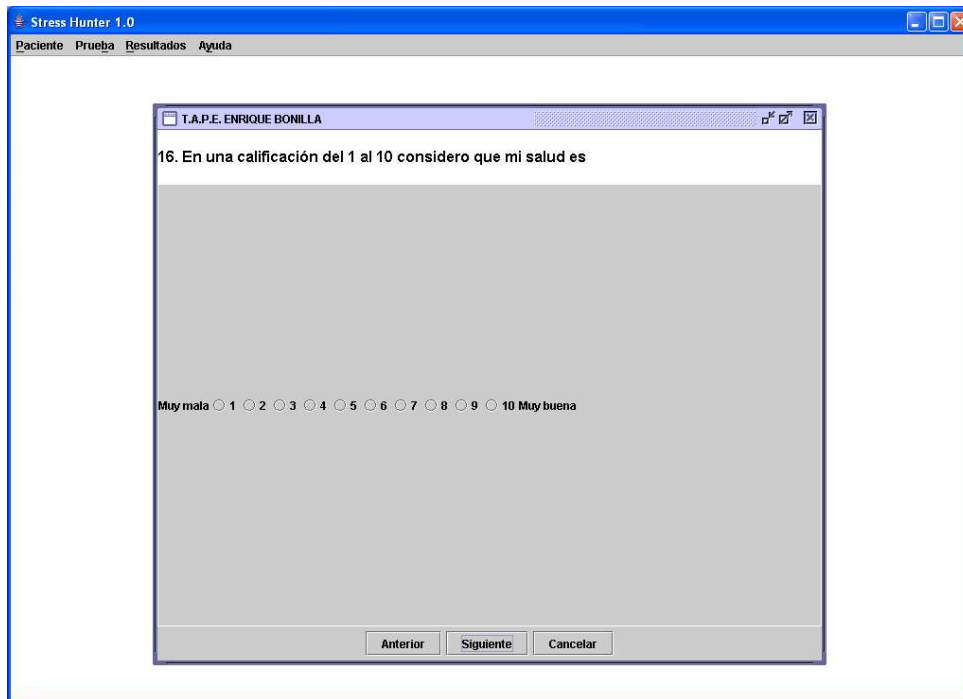


Figura 6.4: Tipo de pregunta RUE (Respuesta Unica Escala)

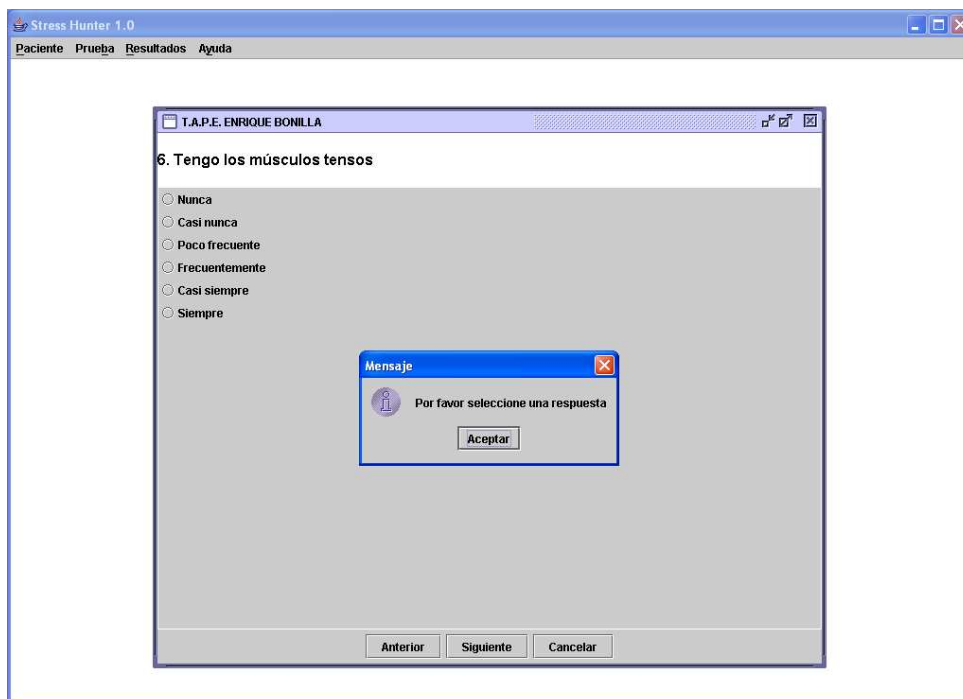


Figura 6.5: Validación a nivel presentación.

personas se debe principalmente a la búsqueda de técnicas psicológicas para el manejo del estrés. Al término de algún tratamiento psicológico el paciente puede ser evaluado mediante el

test y determinar el grado de mejora de los factores que a consideración del psicólogo le causan el estrés crónico.

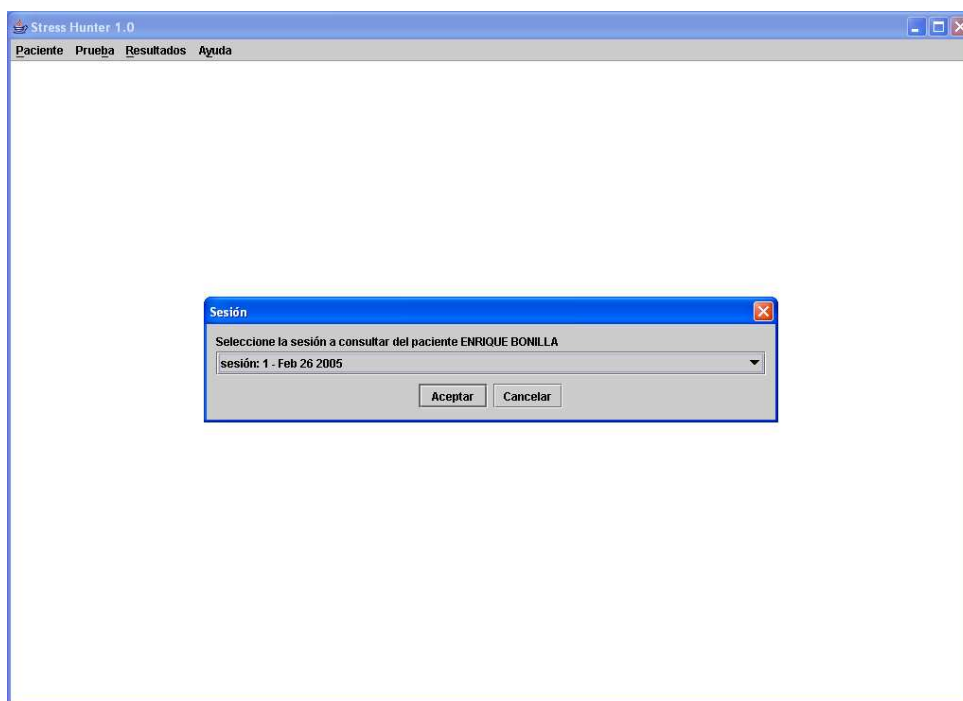


Figura 6.6: Selección de sesiones de resultados.

Posterior a la elección de la sesión a revisar, se presentan los resultados de la aplicación del TAPE. Estos resultados pueden evaluarse en tres niveles diferentes. En el primer nivel se presentan los Resultados Generales (Fig. 6.7) en los cuales se puede evaluar el resultado de cada sección.

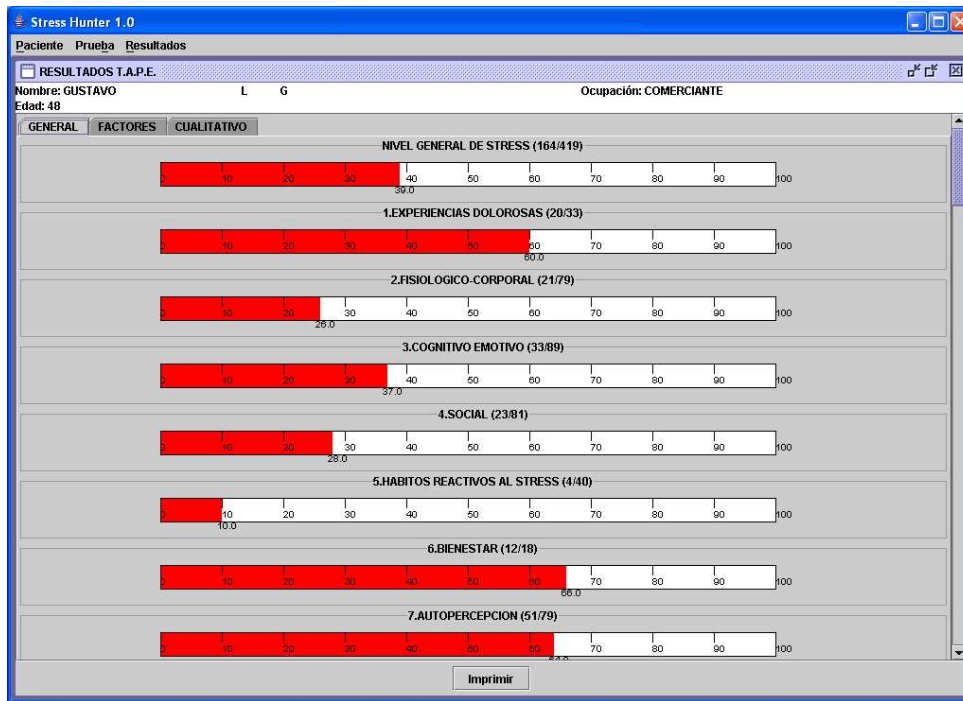


Figura 6.7: Resultados Generales.

En el segundo nivel se presentan los resultados de las subsecciones que evalúa el TAPE. Para tener identificar los estados psicológicos en los que la persona siente los efectos del estrés. Con ellos se intenta mostrar un panorama más amplio del estado psicológico del paciente. La figura 6.8 muestra la información que el usuario del sistema obtendría es este segundo nivel.



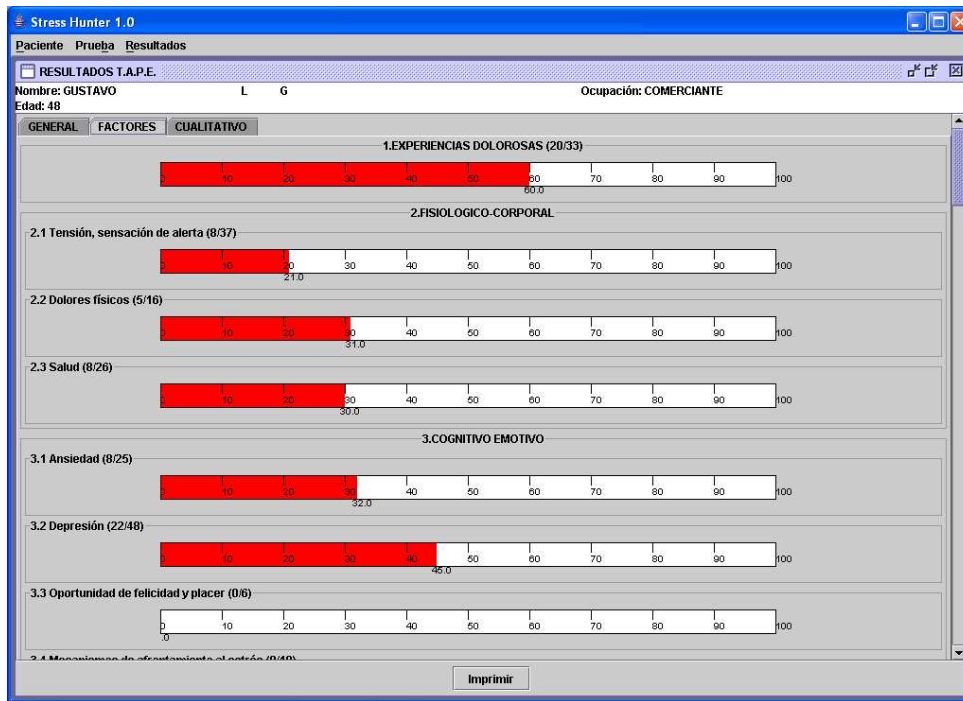


Figura 6.8: Resultados por secciones.

El tercer nivel de resultados presenta el TAPE con las respuestas que el paciente proporcionó. En este nivel se puede apreciar además de la respuesta del paciente el puntaje que recibió la pregunta de acuerdo a la tabla de calificaciones que se proporcionó previamente. Como información extra algunas de las preguntas tienen un comentario cualitativo del tipo de afección que pudiera tener el paciente al proporcionar determinada respuesta, este comentario también fue proporcionado para su implementación en el sistema. En la figura 6.9 se muestra un ejemplo de los resultados cualitativos.

Los tres niveles de resultados de la parte psicológica muestran como la implementación de las capas lógicas y de base de datos mostradas en el capítulo 5 permiten la presentación, validación y evaluación de las respuestas proporcionadas por el paciente al momento de contestar el TAPE.

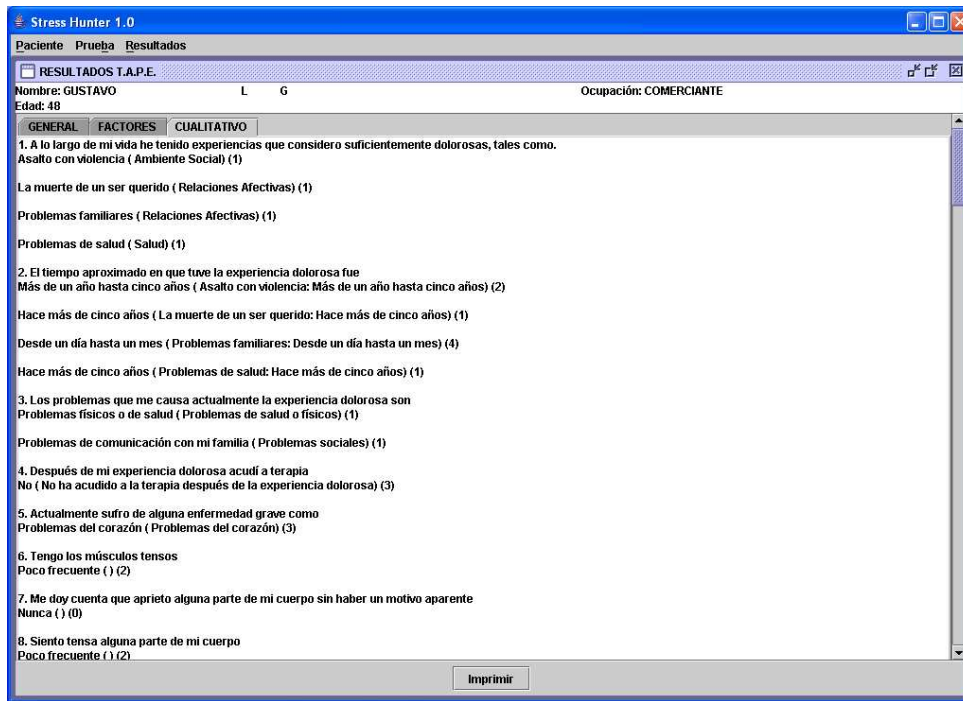


Figura 6.9: Resultados cualitativos.

## 6.2. Resultados de la implementación del módulo de evaluación fisiológica

El módulo de evaluación psicológica permite al usuario tomar la información fisiológica del paciente, evaluarla y ver los resultados obtenidos. La implementación de la sección fisiológica, comentada en el capítulo 4, provee al sistema la infraestructura necesaria para tener a nivel de usuario la información fisiológica que permita evaluar al paciente.

Como se puede apreciar en la figura 6.10 el sistema permite a nivel de usuario la visualización de las tres señales fisiológicas. Cada señal es presentada en una gráfica independiente seleccionable mediante un separador, como se puede ver al centro de la figura. Cada separador cuenta con controles específicos para cada señal. Estos controles permiten la habilitación y deshabilitación de la señal y realizar un “zoom” de la misma para amplificar o reducir la señal que llega del SMPF (Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos). En la parte superior de la figura se encuentra un visor general de las tres señales. En este visor se pueden apreciar las señales y su comportamiento general.

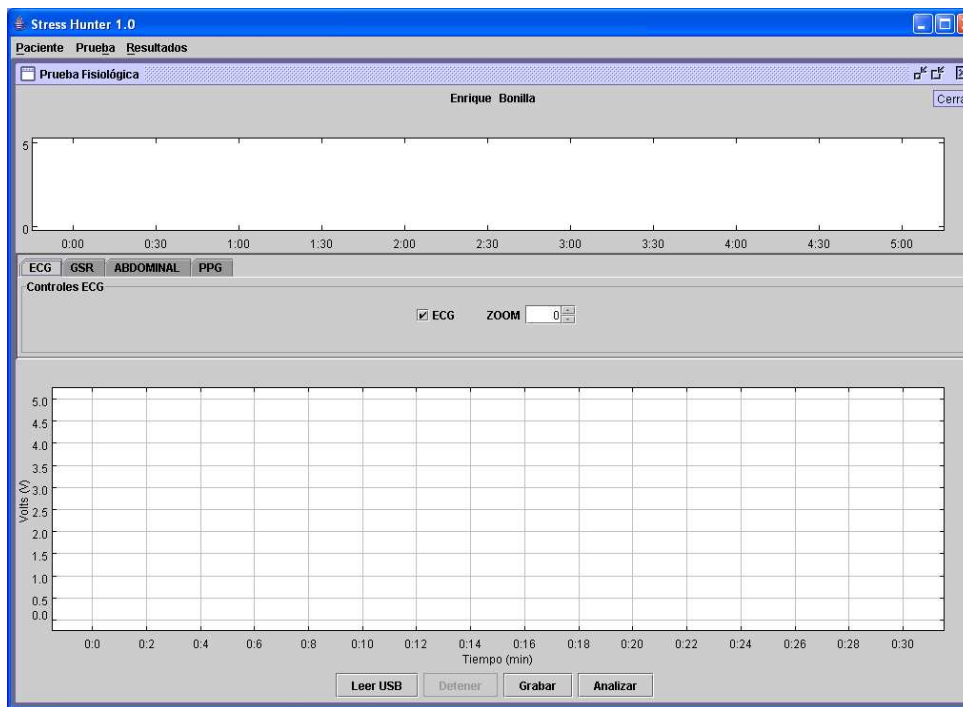


Figura 6.10: Capa de presentación de módulo de evaluación fisiológica.

Los controles generales del sistema son:

- Leer USB. Al presionar el botón el sistema solicita la conexión lógica al SMPF mediante el puerto USB. En caso de no estar conectado el dispositivo se envía un mensaje para indicarlo.
- Detener. Detiene el muestreo de las señales. Si el muestreo fue detenido el mensaje de botón cambia a “continuar”, este botón permite el deshabilitar la captura de señales para corregir malas conexiones o para realizar maniobras y comentarios al paciente.
- Grabar. En el momento que el usuario considere que el paciente se encuentra relajado y que las señales en pantalla son estables se presiona este botón para iniciar la grabación de los datos. El registro de la información se realiza durante 5 minutos.
- Analizar. Si el usuario considera que el registro tomado al paciente es útil entonces presiona el botón analizar para aplicar los algoritmos mencionados en la sección 4.5.

Se muestran a continuación figuras en donde se pueden apreciar las tres variables de GSR (Fig. 6.11), Respiración abdominal (Fig. 6.12), y ECG (Fig. 6.13).



Figura 6.11: Señal de GSR (Galvanic Skin Response).

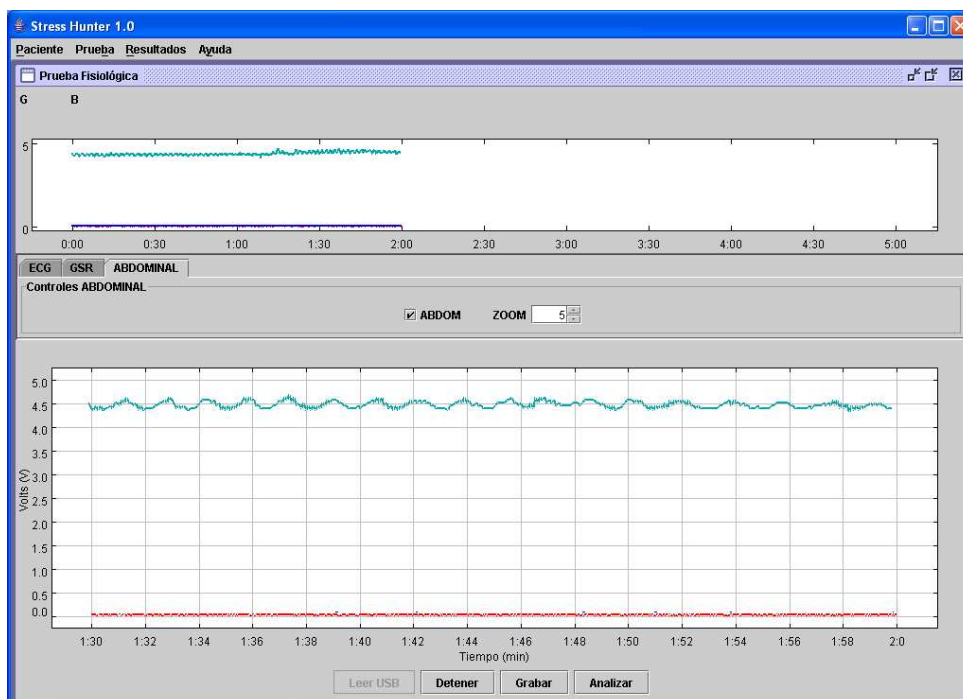


Figura 6.12: Señal de la Respiración abdominal.

Al finalizar el registro de datos fisiológicos el usuario puede consultar los resultados accediendo al menú Resultados opción Fisiológicos. En esta opción se muestra una ventana como en

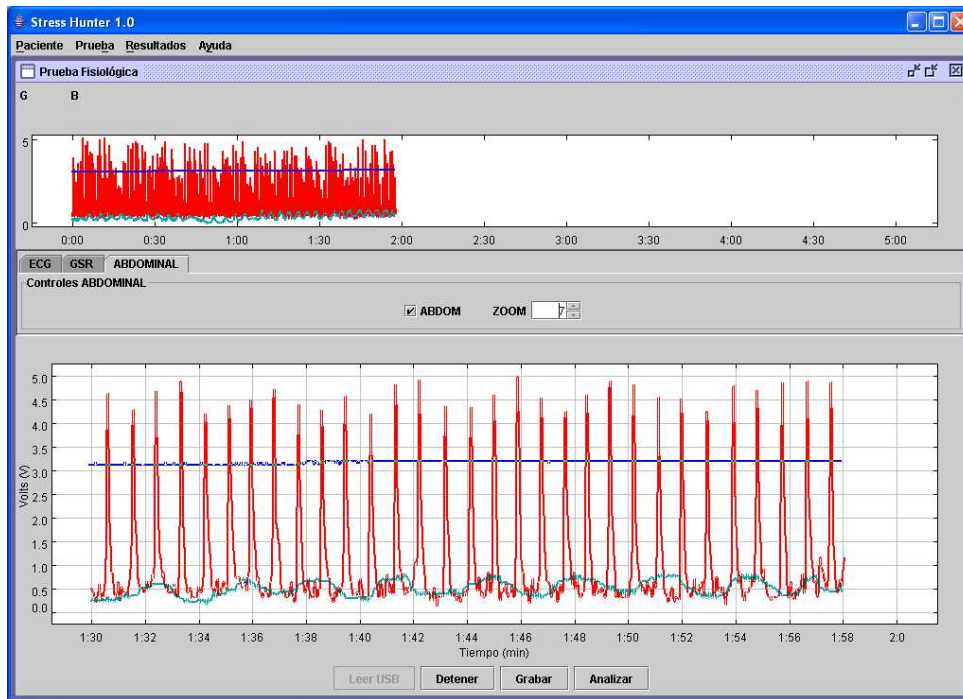


Figura 6.13: Presentación de la señal de ECG.

la figura 6.14. En ella se consultan los resultados de la evaluación ECG, la variabilidad cardiaca, el promedio de GSR referenciado al valor de voltaje máximo de la señal, y las respiraciones por minuto del paciente.

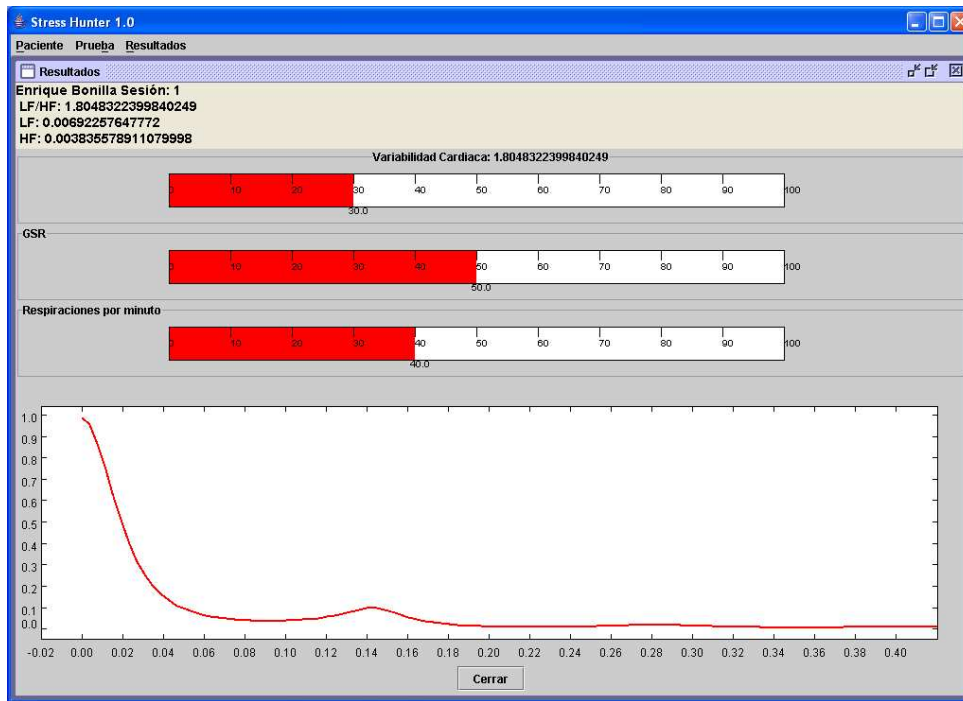


Figura 6.14: Resultados de la evaluación fisiológica.

### 6.3. Reutilización de módulos

Uno de los objetivos de esta tesis era el reutilizar los módulos para la construcción de aplicaciones futuras. Este objetivo se alcanzó, debido a que requerimientos fisiológicos y psicológicos de la investigación, se tuvo la necesidad de implementar un nuevo test psicológico y la de evaluar una nueva variable fisiológica para próximas investigaciones.

El nuevo test psicológico, denominado TAPE Rápido, tenían como características

- Constaba de 28 preguntas con respuestas de respuesta única.
- Se requería registro de pacientes y resultados.
- Presentación de respuestas en categorías.

Reutilizando los módulos de acceso a datos, la base de datos del TAPE y adecuando los módulos de la capa de presentación se obtuvo la aplicación que se presenta en las figuras 6.15 y 6.16. Los resultados del test se presentan al usuario como se muestra en las figuras 6.17 y 6.18.

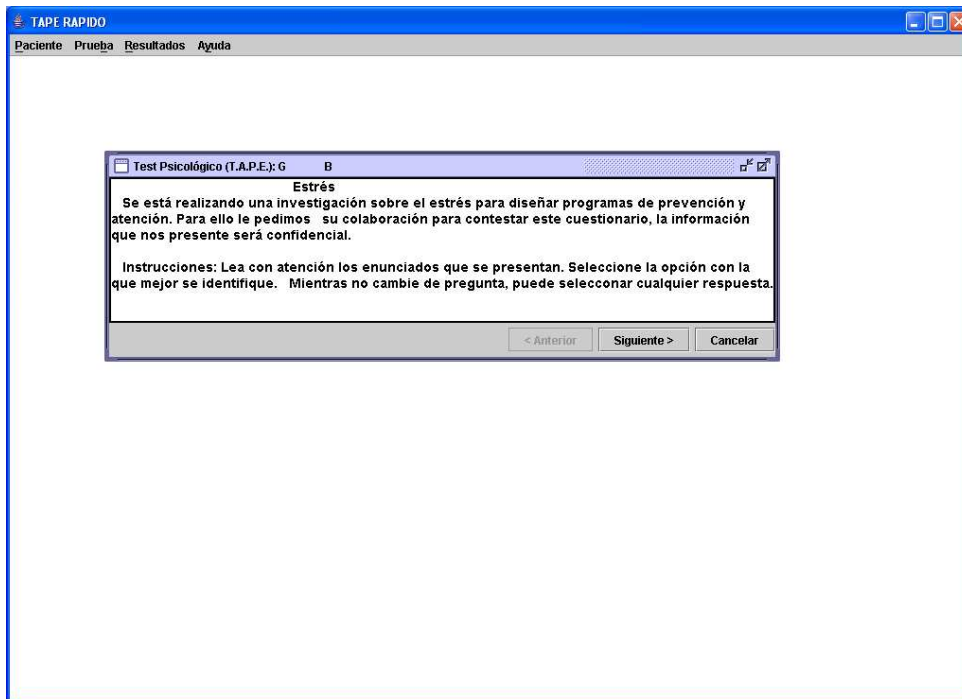


Figura 6.15: Aplicación del TAPE Rápido.

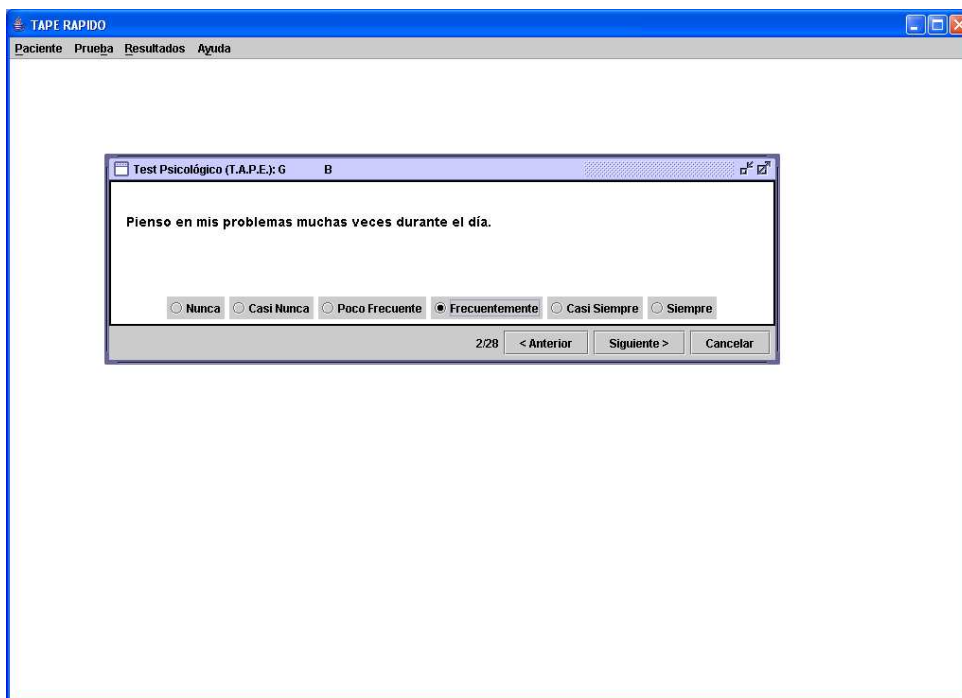


Figura 6.16: Tipo de preguntas del TAPE Rápido.

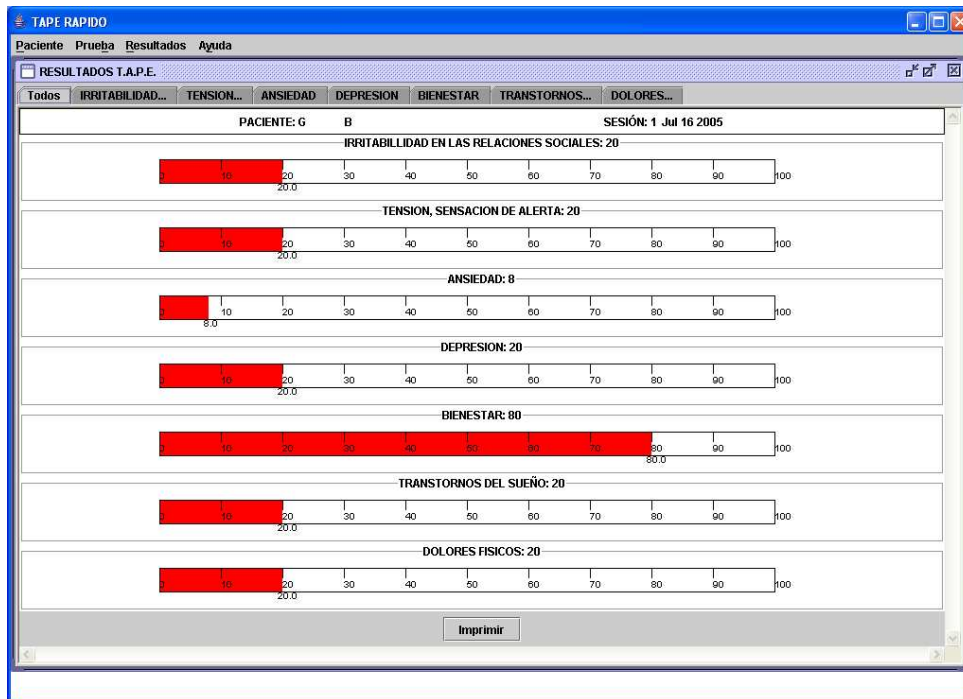


Figura 6.17: Resultados generales del TAPE Rápido.

1 Siento tensa alguna parte de mi cuerpo.  
 Nunca  Casi Nunca  Poco Frecuente  Frecuentemente  Casi Siempre  Siempre

3 Pierdo fácilmente la paciencia con las personas o las cosas.  
 Nunca  Casi Nunca  Poco Frecuente  Frecuentemente  Casi Siempre  Siempre

8 La gente me dice que tengo mal humor.  
 Nunca  Casi Nunca  Poco Frecuente  Frecuentemente  Casi Siempre  Siempre

12 Me enoja fácilmente con la gente.  
 Nunca  Casi Nunca  Poco Frecuente  Frecuentemente  Casi Siempre  Siempre

15 Respondo agresivamente ante personas que me dan su punto de vista.  
 Nunca  Casi Nunca  Poco Frecuente  Frecuentemente  Casi Siempre  Siempre

17 Mi humor me trae problemas con la gente.  
 Nunca  Casi Nunca  Poco Frecuente  Frecuentemente  Casi Siempre  Siempre

Figura 6.18: Respuestas por categoría del TAPE Rápido.

En el desarrollo de la aplicación de la nueva variable fisiológica a investigar, se reutilizaron los módulos



- Muestreo.
- Conversión A/D.
- Comunicación USB.
- Driver JUSB.
- USB Controller.
- El Buffer.
- El módulo de graficación.

El sensor de photoplethysmografía (PPG) permite la conversión de cambios en el flujo sanguíneo a variaciones de voltaje mediante un transmisor y un receptor infrarrojo colocados en alguna parte del cuerpo en donde haya flujo sanguíneo, normalmente las extremidades.

Los resultados de la reutilización de los módulos mencionados se pueden apreciar en la figura 6.19.

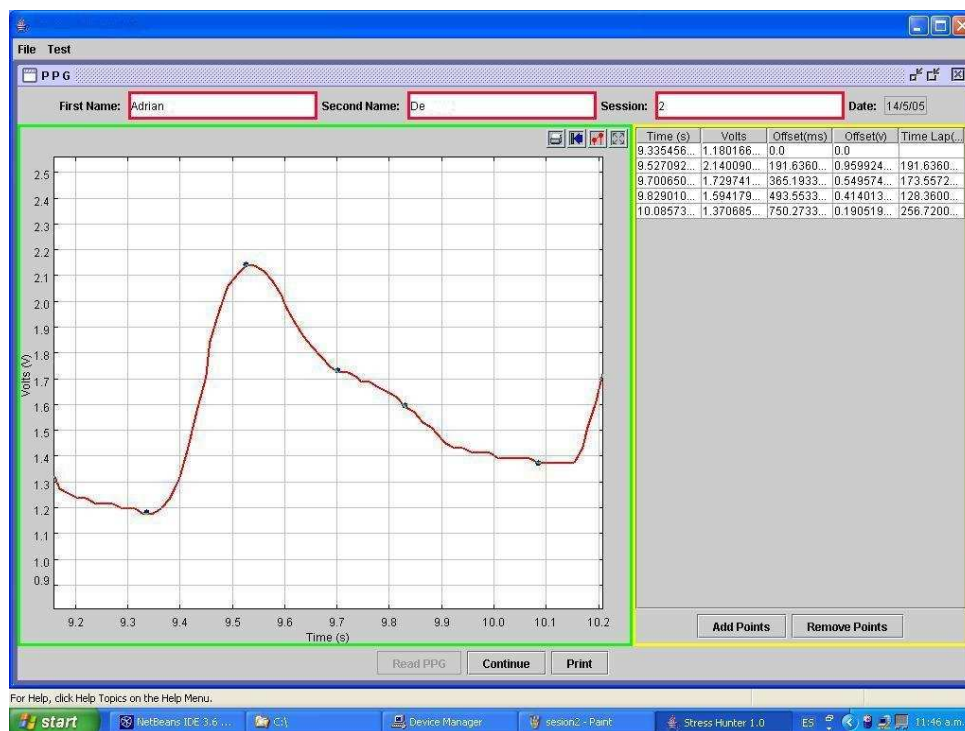


Figura 6.19: Aplicación PPG con reutilización de módulos fisiológicos.

## 6.4. Estudio de Caso

Se presenta a continuación los resultados del estudio de caso aplicado en el Instituto Nacional de Cardiología durante el mes de marzo de 2005. Se aplicaron 40 pruebas TAPE a igual número de pacientes que padecieron infarto al miocardio. El estudio se pensó realizar inicialmente en personas enfermas para detectar particularidades tanto desde el punto de vista psicológico como desde el fisiológico. La parte fisiológica no se evaluó por el hecho de que el sistema está implementado para detectar probables disfunciones como medición preventiva. En el caso de pacientes con infarto los resultados no podían dar un valor preventivo debido a que la condición del paciente mostraba ya un infarto en curso.

Mostramos a continuación algunos de los resultados que se obtuvieron en la aplicación de Test de AutoPercepción del Estrés (TAPE) en el Instituto Nacional de Cardiología. De acuerdo a lo comentado por la Dra. María Elena Sánchez, codirectora de esta tesis, el objetivo de la aplicación del TAPE en pacientes con alguna enfermedad definida es el identificar las experiencias y características de personalidad que determinan la predisposición a ciertas enfermedades afectadas anteriormente al suceso del padecimiento. Existen tres preguntas del TAPE que arrojaron resultados interesantes en la relación estrés crónico-trauma-enfermedad, en ellas se preguntó.

- ¿Sufrió una experiencia dolorosa antes del infarto?
- ¿Qué tipo de experiencia dolorosa sufrió?
- ¿Hace cuanto tiempo sufrió la experiencia dolorosa?

La utilización del Sistema Modular para la Medición del Estrés como herramienta de evaluación de las pruebas condujeron a la doctora María Elena y su equipo a los siguientes resultados.

La figura 6.20 muestra el porcentaje de pacientes que sufrieron una experiencia dolorosa antes del infarto (trauma).

### Sufrieron una experiencia dolorosa antes del infarto

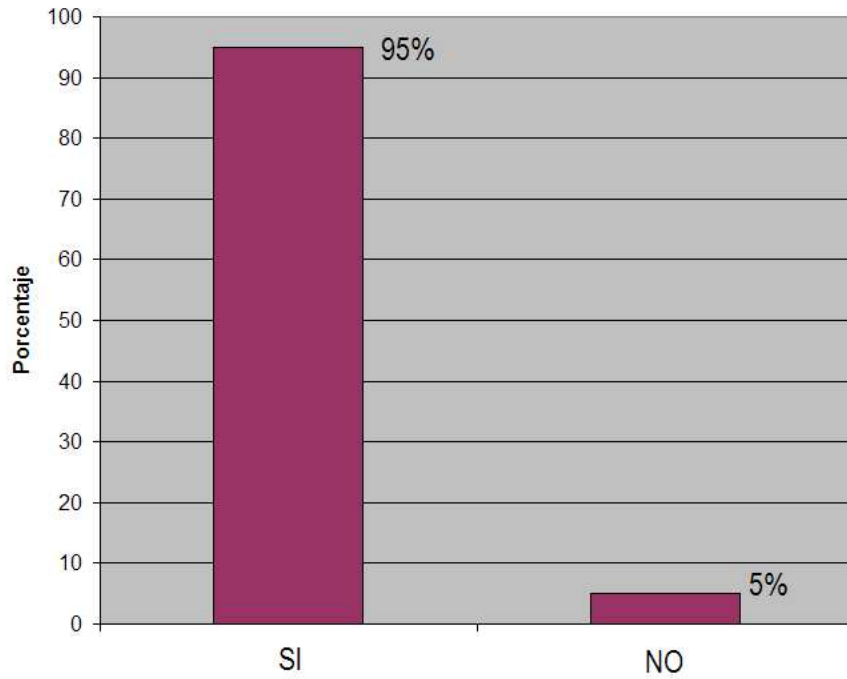


Figura 6.20: Pacientes que sufrieron una experiencia dolorosa antes del infarto.

En la figura 6.21 se presentan los porcentajes de pacientes que dijeron sufrir la muerte de un ser querido antes del infarto. Lo que indica que la experiencia dolorosa sufrida de la figura 6.20 fue la muerte de un ser querido.

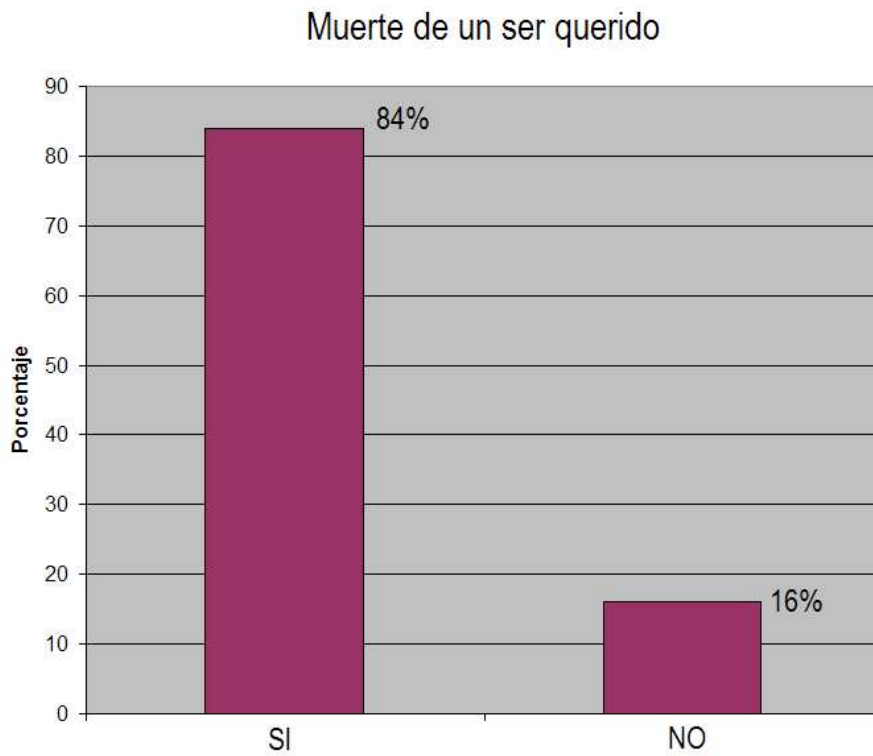


Figura 6.21: Pacientes que sufrieron la muerte de un ser querido antes del infarto.

La figura 6.22 muestra que la experiencia dolorosa, por lo menos en estos 40 pacientes, fue sufrida con una anterioridad de entre un mes y un año.

### Tiempo aproximado en el que tuvo la experiencia dolorosa

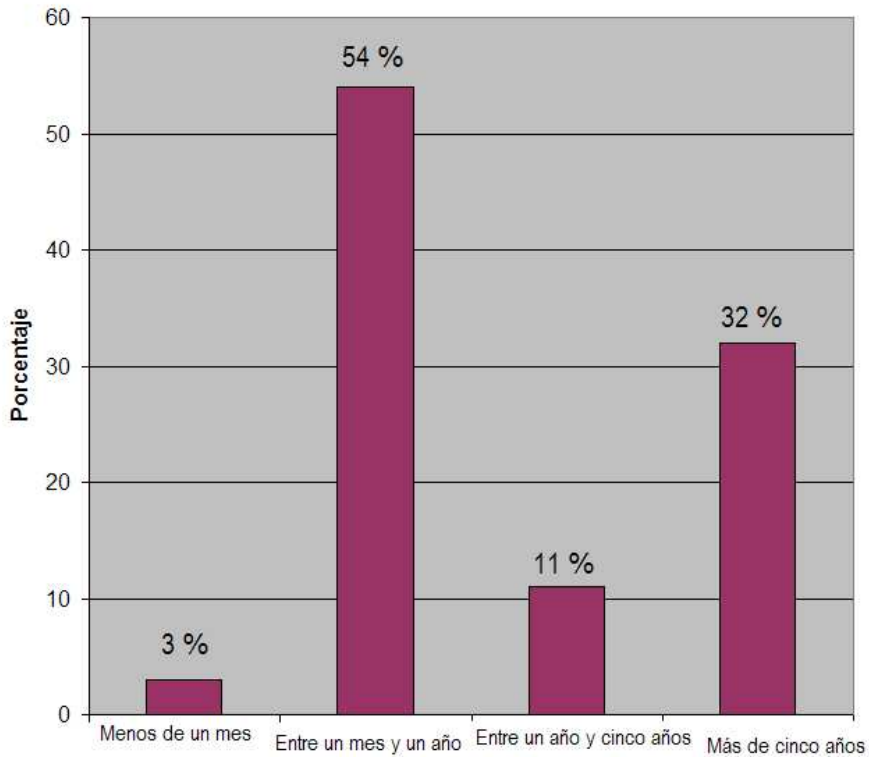


Figura 6.22: Tiempo en el que tuvo la experiencia dolorosa.

Estos son los resultados de la aplicación del TAPE en los pacientes ya mencionados. Es bajo este tipo aplicaciones en las que el Sistema de Modular para la Medición del Estrés, pasa de ser un proyecto técnico de desarrollo a un proyecto útil en otro campo de la ciencia. Mediante el sistema se seguirán aplicando test y esperamos tomar o se nos proporcione información fisiológica que nos permita validar la parte fisiológica del sistema con los mismos pacientes. Se espera con esto poder cruzar la información obtenida de la parte fisiológica, para poder contar con información más confiable que constituya una aportación al campo de la salud para la prevención.

## 6.5. Resumen

Los resultados presentados en este capítulo se dividen en resultados técnicos y en resultados de aplicación. Desde el punto de vista técnico se presentan las figuras que muestran las opciones que tiene el Sistema Modular para la Medición del Estrés al usuario. Desde el punto de vista de aplicación se presentan algunos resultados que se obtuvieron de la aplicación del test TAPE a pacientes del Instituto Nacional de Cardiología.

La evaluación psicológica permite al usuario mediante menús las posibilidades de aplicar o modificar algún test aplicado al paciente o de aplicar uno nuevo. En ambos casos el test es manejado desde el punto de vista lógico por la clase QSequencer y desde el punto de vista gráfico por la clase Frame. Esta separación de funciones permite la rápida modificación del sistema y la definición de actividades que realiza cada módulo. Se muestran ejemplos de los diferentes tipos de preguntas y respuestas que el test TAPE contiene.

La evaluación fisiológica muestra también las ventanas que se utilizan a nivel usuario y su relación con los módulos asociados que permiten la implementación. Se indica la parte de la aplicación en la que se toman los registros fisiológicos de cada paciente y la que se encarga de mostrar los resultados de la aplicación de los algoritmos.

Cabe señalar que aun cuando a nivel presentación la sección psicológica requirió mayor implementación a nivel software, fue la sección fisiológica la que requirió mayor implementación a nivel lógico y de hardware.

En el Instituto Nacional de Cardiología hubo interés por realizar pruebas del sistema e identificar la relación entre el estrés y la calidad de vida de una persona. Tomando como un factor de disminución de esa calidad la existencia de estrés crónico en el paciente. Se aplicó el test psicológico a los pacientes designados encontrándose interesantes resultados. Estos resultados más que llevar a conclusiones nos llevan a realizar más cuestionamientos y la necesidad de aplicar el test a una población mucho mayor. La aplicación de la parte fisiológica desafortunadamente no se nos permitió realizarla, obteniéndose por el momento resultados parciales en la aplicación de nuestro sistema.

# Capítulo 7

## Conclusiones

El Sistema Modular para la Medición del Estrés es la continuación del trabajo realizado en el SCMME [2]. Con el Sistema Modular para la Medición del Estrés se identificó y delimitó de manera precisa la funcionalidad que realiza cada parte del sistema. Además se diseñó e implementó cada nueva sección, agregando definición y mejoras a las secciones ya diseñadas con anterioridad.

Desde el punto de vista técnico el nuevo sistema permite la modificación y reutilización de cada parte del sistema. Esto debido a la mejor identificación y estructuración del mismo en todos los módulos que lo componen. Concluyéndose que las mejoras realizadas, como modularidad y redefinición del diseño, en la nueva implementación permiten adecuaciones rápidas al sistema y reutilización de módulos de manera sencilla.

Desde el punto de vista clínico consideramos que la aplicación del sistema a pacientes en hospitalización nos ha permitido evaluar el rumbo de la investigación. El cual ha presentado resultados alentadores para la continuidad del trabajo relacionado con la medición del estrés. Concluyéndose que, aun cuando existe gran complejidad en el tema de la investigación, los resultados obtenidos hasta el momento motivan a continuar en el estudio de la medición del estrés.

En general se concluye que es importante el identificar e implementar los puntos de mejora que se detecten en cada trabajo de investigación realizado. Puntos de mejora que deben estar perfectamente identificados y definidos, ya que esto nos llevará a avances en todos nuestros trabajos de investigación. En nuestro caso, al tener una herramienta con mejoras en su diseño

permite al tema de investigación el añadir, modificar o eliminar métodos para la medición del estrés. Tanto psicológicos como fisiológicos con un tiempo de desarrollo menor al esperado en la implementación anterior.

## **7.1. Aportaciones**

Las aportaciones realizadas en este sistema desde el punto de vista de diseño son:

- Disección de todo el sistema en módulos.
- Identificación precisa de las actividades de cada módulo.
- Definición precisa de la funcionalidad a desarrollar en cada módulo.
- Diseño a bloques del sistema.
- Diseño a bloques de los módulos de evaluación fisiológica y psicológica.
- Definición de las capas que componen cada módulo y su interacción.

Desde el punto de vista de implementación de la sección fisiológica se realizaron las siguientes mejoras:

- La definición modular permite identificar los elementos que componen el Sistema de Muestreo de Parámetros Fisiológicos (SMPF).
- Se mejoró el sistema de engranes utilizado en la medición de la respiración.
- Se identificó que la velocidad máxima en la transmisión de datos utilizando el protocolo USB 1.0 es de 10 ms.
- Se modificó el firmware para obtener muestras de la señal de ECG cada 2 ms y no cada 10 como anteriormente se implementó.
- Se implementó un mecanismo de interpolación lineal para asegurar la existencia de puntos en las secciones en donde el protocolo no proporcionaba información.
- Se utilizó un mecanismo de retroceso y avance para la mejor identificación del punto R en la señal de ECG.



- Mediante la interpolación y el mecanismo de identificación de cada R se obtuvo un valor de 2 ms como margen de error.
- Se implementó el algoritmo MEMSE para la generación del espectro de potencia de la variabilidad cardiaca.

En la sección psicológica se implementaron las siguientes mejoras:

- Se utilizó una base de datos para el registro de los pacientes y sus sesiones.
- Se implementaron los módulos para acceso a datos y para acceso a cuestionario.
- Se utilizó el nuevo cuestionario TAPE (Test de AutoPercepción del Estrés) en este sistema.
- Se definió e implementó el cuestionario TAPE en XML.
- Se implementó un módulo en la capa de presentación para mostrar las preguntas al usuario.
- Se implementó un módulo encargado de la secuencia lógica de las preguntas.
- Se presentaron los resultados del TAPE categorizados en tres diferentes niveles de información.

## 7.2. Trabajo futuro

La medición del estrés mediante la evaluación de la condición del estado psicológico y algunas variables fisiológicas es, sin duda, una visión nueva dentro del campo del estudio del estrés. De ahí que consideremos que exista un enorme campo en la investigación de este tema. Siendo este trabajo solo un paso más en la definición de los alcances de la investigación.

Como trabajos futuros se plantean los siguientes.

- Mejorar la velocidad de envío de datos fisiológicos ECG a la computadora. Esto puede ser logrado de dos maneras. Cambiando el microcontrolador para utilizar una versión de protocolo USB más rápida o implementando en hardware un mecanismo de identificación de puntos R. Actualmente estas dos opciones de mejora están siendo implementadas por un compañero de esta Sección de Computación. Como punto importante de esta mejora está el desarrollar en hardware un sistema modular que permita el envío de diferentes señales fisiológicas a la computadora. Con la opción de poder utilizar múltiples sensores fisiológico conectado a un solo módulo de hardware.
- Reducir el tamaño del Sistema de Medición de Parámetros Fisiológicos (SMPF). Esto con la finalidad de tener un sistema portátil con el cual se nos permita el ingreso a hospitales para recabar información fisiológica de los pacientes sin mucho problema, o en su caso, el permitir colocarlo a un paciente por varios días para realizar el registro.
- Probar algunas otras variables fisiológicas para determinar su anexión a la evaluación fisiológica. Existen variables fisiológicas como el flujo sanguíneo que pueden sustituir en un momento dado el análisis del ECG. Otra variable fisiológica que podría ser evaluada es la temperatura corporal de la persona. Con la cual podría identificarse un estado de estrés al medir la temperatura de las extremidades. Definiciones del hardware a utilizar, colocación del sensor y los rangos de temperaturas esperadas son parte de la investigación a realizar.
- Evaluar con pacientes dentro de un hospital el desempeño de la parte fisiológica de este sistema. Debido a complicaciones administrativas la parte fisiológica no pudo ser evaluada en el mismo hospital en el cual se evaluó la parte psicológica, de la cual se obtuvieron alentadores resultados psicológicos, pero faltó retroalimentación de la parte fisiológica.

Aun cuando los pacientes tenían ya una afección fisiológica al estar diagnosticados como pacientes con infarto al miocardio.

- Proponer, implementar y probar nuevos algoritmos de análisis con los datos fisiológicos. Esto con la finalidad de identificar toda la gama de información que se puede obtener de las señales fisiológicas del paciente.
- Identificar las preguntas más enfocadas a determinado tipo de pacientes del cuestionario TAPE.

Uno de los conceptos que mejor se delimitó desde el punto de vista psicológico y fisiológico fue el hecho de realizar ahora una búsqueda de la cantidad de recursos de afrontamiento al estrés que tiene un paciente. Esto como medida de la cantidad de recursos que tiene la persona para enfrentar determinada situación. El estudio de la medición del estrés desde el punto de vista de la cantidad de recursos de afrontamiento que tiene un paciente es también un tema de estudio.

# Bibliografía

- [1] Acevedo M.E., *Sistema de Medición del Estrés*, Sección de Computación, Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV, México. Tesis de maestría. 2000.
- [2] Pérez G., *Sistema Computacional para la Medición Multidimensional del Estrés*. Sección de Computación, Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV, México. Tesis de maestría. Diciembre de 2004.
- [3] Cannon B., *Stresses and strains of homeostasis*, Medical Science 1935. 189:1-14.
- [4] Hans S., *The Stress of Life*, Mc Graw-Hill 1956.
- [5] Hans S., *A syndrome produced by diverse nocuous agents*, Nature 1936. 138:32.
- [6] Hans S., *The Physiology and Pathology of Exposure to Stress*, Montreal, Acta Inc. 1950.2-13.
- [7] Di Nuovo S., Rispoli L., Genita E., *Misurare lo Stress. Il test MSP e altri strumenti per una valutazione integrata*, Ed. Franco Angeli/Linea Test año 2000.
- [8] Briozzo L., Alonso J., Martínez A., *Análisis computarizado de la variabilidad de la frecuencia cardíaca fetal como predictor de acidosis perinatal*, Revista Médica del Uruguay. Vol. 15. Número 2. Agosto 1999.
- [9] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, *Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use*, Vol. 93, March 1, 1996.
- [10] McCraty, R., *Heart Rhythm Coherence. An Emerging Area of Biofeedback*, Institute of HeartMath, Boulder Creek, Ca. 2002.

- [11] McCraty R. et al, *The Effects of Emotions on Short-Term Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability*, Journal of Cardiology. Vol 76, No. 14, November 15, 1995.
- [12] Berston G., Cacioppo J., *Heart Rate Variability: Stress and Psychiatric Conditions*, Psychophysiology 34, 1997.
- [13] Pan J., Tompkins W.J., *A Real Time QRS Detection Algorithm*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME32, No. 3, March 1985.
- [14] Lemyre L. Tessier R., Fillion L. *La Mesure du stress psychologique: manuel d'utilisation*. Quebec. Qué: Behaviora; 1990.
- [15] BIOPAC Systems. <http://www.biopac.com>.
- [16] Stahl M., *Java USB API for Windows*, Diploma thesis at the Institute for Information Systems, ETH Zürich. Septiembre 2003.
- [17] Axelson J., *USB Complete*, Third Edition. 2005.
- [18] Universal Serial Bus Specification. <http://www.usb.org/developers/docs>.
- [19] Java USB Project Page, <http://jusb.sourceforge.net>
- [20] The European Paper++ Project. <http://www.paperplusplus.net>
- [21] Moody G.B., *RR Intervals, Heart Rate, and HRV Howto*, Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, Physionet, <http://www.physionet.com>.
- [22] Cambridge University, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press. 1992.
- [23] Welch P. D., *The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms*, IEEE Transactions on Audio and Electro-acoustics, Vol. AU-15, No. 2, June 1967.
- [24] Edward A. L., Christopher H., William W., Lukito M., *PtPlot Project*. Universidad de Berkeley.
- [25] Netbeans IDE. <http://www.netbeans.org>
- [26] Java 2 Platform Standard Edition (J2SE), <http://java.sun.com/j2se/>