

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



TESIS

**APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN LA MEJORA Y
RECUPERACIÓN DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO EN MEDICINA
FUNCIONAL**

PRESENTADO POR:

Br. YURI BAZAN NUÑEZ

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE FÍSICO**

ASESOR:

Lic. JANET KIMBERLY RODRÍGUEZ
RODRÍGUEZ

CO ASESOR:

Lic. JOSÉ OLINTHO DE LA TORRE CRUZ

CUSCO - PERÚ

2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** JANET KIMBERLY RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ y Co Asesor JÓSE OLINTHO DE LA TORRE CRUZ quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: **APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN LA MEJORA Y RECUPERACIÓN DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO EN MEDICINA FUNCIONAL**

Presentado por: **YURI BAZAN NUÑEZ** DNI N° **43373114**; presentado por: DNI N°: Para optar el título Profesional/Grado Académico de **FÍSICO**

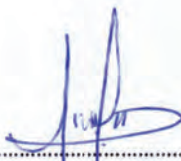
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **2** veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **5** %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, **10** de **OCTUBRE** de 20**25**


Firma

Post firma JANET KIMBERLY RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

Nro. de DNI 24003950

ORCID del Asesor 0000 0002 0374 8133


Firma

Post firma JÓSE OLINTHO DE LA TORRE CRUZ

Nro. de DNI 23834017

ORCID del Co asesor 0000 0002 0946 777X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:511214801

Yuri Bazan Nuñez

Aplicación de la Ingeniería Inversa en la Mejora y Recuperación de un Sistema de Diagnóstico en Medicina Funci...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:511214801

Fecha de entrega

10 oct 2025, 4:49 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

28 oct 2025, 10:26 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Aplicación de la Ingeniería Inversa en la Mejora y Recuperación de un Sistema de Diagnóstico enpdf

Tamaño del archivo

61.6 MB

249 páginas

44.336 palabras

240.481 caracteres




5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Exclusiones


- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
374 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicado íntegramente a la prodigiosa memoria de Luisa y la inagotable creatividad de Braulio. Singulares virtudes que tras una larga travesía por un mar de desesperanza arriban a buen puerto para cumplir su propósito en mi existencia y regocijo de ese milagro llamado familia. . .

Declaración

Por la presente declaro que, el contenido de esta tesis es original y es el resultado de mi propio trabajo.

No existiendo una normativa clara respecto del formato de presentación del informe de tesis a nivel de pregrado, se optó por hacer caso de las recomendaciones que sugieren el uso de las normas APA en su versión 7. Sin embargo estas fueron utilizadas únicamente en el contexto del formato de citas, referencias, encabezado y nota de pie de tablas e imágenes y los niveles de títulos; tomando cierta libertad en cuanto al diseño del documento y las tablas para una visualización mejor cuidada.

Por otro lado el uso de las tecnologías de información jugaron un papel importante en su desarrollo. Corresponde ser claro y preciso, que en estricta adhesión a la Ley N° 31814 (Ley que Promueve el Uso de la Inteligencia Artificial en Favor del Desarrollo Económico y Social del País); la presente investigación hizo uso de esta tecnología restringiéndola a labores de: Corrector de estilo, orientación en la estructura del contenido, traducción, comentarios y documentación en el código fuente del software desarrollado, asistente de redacción en Latex y simulador de defensa para la sustentación de la presente tesis.

Se procuro el mayor cuidado en citar y referenciar debidamente cada cuerpo de conocimiento que ayudo al desarrollo de esta investigación.

El autor de la tesis tendrá ocasión de dar fe de todo lo aquí manifestado y atender las observaciones que puedan surgir durante el acto público de sustentación de la tesis.

Presentada por: Br. Yuri Bazan Nuñez

Agradecimientos

Mi gratitud infinita a esa entidad creadora que, en su misterio, me otorgó el regalo de la existencia, el poder de comprender y la capacidad de asombrarme ante el universo que nos envuelve.

Este trabajo no es solo una obra de esfuerzo personal, sino el testimonio de una travesía compartida. Es la suma de las luces que iluminaron mi camino y de las palabras que llegaron como bálsamo en los momentos de mayor incertidumbre. A todos los que creyeron en mí, aun cuando mis propios pasos vacilaron, este logro también es suyo. En sus actos, encontré la fe que a veces me faltaba. En sus gestos, el faro que guiaba mi rumbo. Este es, más que nada, un triunfo colectivo, construido desde el amor, el apoyo y la confianza.

Resumen

Esta investigación explora el potencial de la ingeniería inversa como recurso antagónico frente a los problemas de obsolescencia y obsolescencia programada. Se centra en la recuperación y prolongación de la vida útil del sistema de diagnóstico en medicina funcional VEGA DFM 722, cuyo periférico de salida ha quedado obsoleto. A través de un análisis exhaustivo de los componentes de hardware y los protocolos de comunicación del sistema, se ha diseñado una solución moderna basada en ordenador que sustituye al periférico de salida original. Esta propuesta no sólo ayudó a extender la vida útil del dispositivo, sino que también optimizó el rendimiento del sistema, introdujo mejoras notables en la visualización en tiempo real del proceso de medición, y permitió el almacenamiento de los resultados en una base de datos, así como su impresión en un formato más portable. Además, subraya la relevancia de la ingeniería inversa en la recuperación y optimización de tecnologías existentes forzadas al desuso.

Palabras clave: Ingeniería inversa, Obsolescencia programada, Sistemas embebidos, Protocolos de comunicación.

Abstract

This research explores the potential of reverse engineering as an antagonistic resource against the issues of obsolescence and planned obsolescence. It focuses on the recovery and extension of the lifespan of the VEGA DFM 722 functional medicine diagnostic system, whose output peripheral has become obsolete. Through a thorough analysis of the system's hardware components and communication protocols, a modern computer-based solution has been designed to replace the original output peripheral. This proposal not only helped to extend the device's lifespan but also optimized the system's performance, introduced notable improvements in the real-time visualization of the measurement process, and enabled the storage of results in a database, as well as their printing in a more portable format. Additionally, it highlights the relevance of reverse engineering in the recovery and optimization of existing technologies forced into disuse.

Keywords: Reverse engineering, Planned obsolescence, Embedded systems, Communication protocols.

Índice

Lista de Figuras	xii
Lista de Tablas	xvii
Introducción	1
1 Planteamiento del Problema	2
1.1 Descripción de la Situación Problemática	2
1.2 Formulación del Problema	4
1.2.1 Problema General	4
1.2.2 Problemas Específicos	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos de la Investigación	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	6
2 Marco Teórico	7
2.1 Estado del Arte	7
2.2 Bases Teóricas	10
2.2.1 Obsolescencia y Obsolescencia Programada	10
2.2.2 Ingeniería Inversa	13
2.2.3 Medicina Funcional	15
2.2.4 Sistemas Embebidos	16

2.2.5	Protocolos de Comunicación	17
2.2.6	Programación Orientada a Objetos (POO)	39
3	Metodología	41
3.1	Introducción	41
3.2	Diseño de la Investigación	41
3.2.1	Estudio Exploratorio	41
3.2.2	Estudio Descriptivo	42
3.2.3	Estudio Explicativo	42
3.2.4	Estudio Aplicado	42
3.2.5	Enfoque Mixto	43
3.3	Población, Muestra y Variables	43
3.4	Instrumentos y Equipos	45
3.4.1	Equipos de Medición, Análisis y Procesamiento	45
3.4.2	Instrumentos Complementarios	45
3.4.3	Software	45
3.5	Fases de la Metodología	46
3.5.1	Análisis del Sistema Actual	46
3.5.2	Emulación, Modelado y Simulación	47
3.5.3	Estudio del Sistema de Comunicaciones	48
3.5.4	Desarrollo de Software	49
3.5.5	Pruebas y Validación	49
3.6	Consideraciones Éticas y de Seguridad	50
4	Resultados y Discusión	51
4.1	Introducción	51
4.2	Análisis del Sistema Actual	51
4.2.1	Principio de Funcionamiento	52
4.2.2	Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722	70
4.2.3	Observación Directa y Análisis del Proceso de Medición	81

4.2.4	Discusión al Análisis del Sistema Actual	86
4.3	Emulación, Modelado y Simulación	88
4.3.1	Circuito Emulador de Sujeto de Prueba	88
4.3.2	Modelado 3D y Simulación	90
4.3.3	Discusión a la Emulación, Modelado y Simulación	92
4.4	Estudio del Sistema de Comunicaciones	93
4.4.1	Análisis del Protocolo de Comunicación	93
4.4.2	Captura de Información	96
4.4.3	Determinación del Lenguaje de Comunicación	100
4.4.4	Especificaciones para la Nueva Interfaz de Comunicación	104
4.4.5	Discusión al Estudio del Sistema de Comunicaciones	105
4.5	Desarrollo del Software	107
4.5.1	Software de Control	107
4.5.2	Pruebas y Validación	123
4.5.3	Discusión al Desarrollo de Software	127
4.6	Interpretación de los Resultados e Implicancias	129
5	Conclusiones	130
5.1	Conclusiones por Objetivos Específicos	130
5.1.1	Principio de Funcionamiento	130
5.1.2	Emulador de Sujeto de Prueba	130
5.1.3	Sistema de Comunicación	131
5.1.4	Software de Gestión	131
5.1.5	Fiabilidad y Precisión del Sistema Modificado	131
5.1.6	Visualización y Modelado para Fines Pedagógicos	131
5.2	Conclusión General	132
5.3	Alcances y Limitaciones del Estudio	132
5.4	Consideraciones Éticas Sobre la Ingeniería Inversa	133
	Referencias	134

Apéndice A Estudio Preliminar Sobre las Implicancias de la Ley de Moore en el Ritmo de la Generación de Desechos Electrónicos a Nivel Global	137
A.1 Hipótesis	139
A.2 Recopilación de Datos	139
A.2.1 La Ley de Moore y el Conteo Real de Transistores	139
A.2.2 El Ritmo en la Generación de Desechos Electrónicos	143
A.2.3 Análisis Exploratorio de Datos (EDA)	146
A.2.4 Pruebas de Normalidad	151
A.2.5 Correlación Bivariada	153
A.2.6 Análisis de Regresión Lineal	156
A.2.7 Conclusiones y Consideraciones Éticas	160
Apéndice B Instrumentos y Equipos	163
Apéndice C Fases de la Metodología	172
Apéndice D Misceláneas	185
D.1 Análisis Complementario de las Curvas Originales	185
D.1.1 Resultados de Medición para una Configuración de Electrodo Abiertos	186
D.1.2 Resultados de Medición para una Configuración de Electrodo en Corto Circuito	189
D.1.3 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedan- cia Resistiva	192
D.1.4 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedan- cia Resistiva y Capacitiva Constante	195
D.1.5 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedan- cia Resistiva y Capacitiva Diferenciada	198
D.2 Fragmentos Esenciales del Código Fuente del Software de Control	206
D.2.1 Implementación de los Comandos de inicio de Medición	206
D.2.2 Sincronización de los Procesos de Medición	209

D.3	Comparación de los Resultados de Impresión	218
D.4	Replica de la Señal de Medición Generada por la Unidad de Control Utilizando Arduino Uno	221
D.5	Manual de Usuario del Software de Control – VEGA DFM 722	223
D.6	Reflexión Filosófica a la Obsolescencia Programada	230

Lista de Figuras

1	Impacto Ambiental de la Innovación Tecnológica: Del Auge de los Transistores a la Acumulación de Desechos Electrónicos	12
2	Protocolos de Comunicación	20
3	Modos de Transmisión en la Comunicación Serial	22
4	Interconexión RS-232 entre el Equipo Terminal de Datos (DTE) y el Equipo de Comunicación de Datos (DCE)	23
5	Conectores D-sub DB9 y DB25 (vista frontal), Establecidos en el Estándar RS-232	26
6	Esquemas de Cableado para Conexiones de Modem Nulo y Cable Directo con Conectores DB9 Hembra (vista del lado de la soldadura)	29
7	Comparación de los Protocolos de Transmisión Síncrona y Asíncrona . . .	31
8	Diagramas de Cableado para Configuraciones de Handshaking RS-232 . . .	34
9	Proceso de Transmisión de Datos Entre el Buffer del Emisor y el Buffer del Receptor	35
10	Diagramas de Cableado para Configuraciones Sin Handshaking RS-232 . .	36
11	Esquema de Interconexión y Comunicación UART	38
12	Línea de Equipos VEGA Medizin y WEGAMED	53
13	Sustancia Base	54
14	Modelo Electrofisiológico de la Resistencia de la Piel	56
15	Modelo Análogo para la Distribución de Cargas	57
16	Tramos de Medición Predefinidos	58

17	Ciclo del Programa de Medición VEGA DFM 722	61
18	Hoja de Resultados del Sistema VEGA DFM 722	63
19	Curvas Originales	65
20	Gráficas del Comportamiento de Regulación y Nivel de los Factores	67
21	Notas de Interpretación Automática	69
22	Composición del Sistema VEGA DFM 722	71
23	Unidad de Control VEGA DFM 722	72
24	Vista Frontal y Posterior de la Unidad de Control	75
25	Caja de Conexión de Electrodo	76
26	Desensamblado de la Unidad de Control	78
27	Vista Interna de la Unidad de Control	79
28	Tarjetas Electrónicas de la Unidad de Control	80
29	Puesta en Marcha del Sistema	82
30	Observación Directa del Proceso de Medición	83
31	Impresión por Plotter de los Resultados de Medición	84
32	Señales de Medición Utilizados por el Sistema VEGA DFM 722	85
33	Circuito Emulador de Sujeto de Prueba	89
34	Modelación 3D y Simulación	91
35	Monitoreo del Protocolo de Comunicación	94
36	Conector DB9 de la Unidad de Control y Configuración del Cable Tapping .	95
37	Configuración del Hardware de Monitoreo e Intercepción	97
38	Captura de Información	98
39	Análisis de la Información Capturada	99
40	Instrucciones RD-GL Presentes en los Archivos de Captura	100
41	Búsqueda por Referencia Cruzada	101
42	Representación Gráfica de un Archivo de Captura	102
43	Repositorios de la Utilidad de Código Abierto hp2xx	103
44	Especificaciones para la Interfaz de Comunicación USB-Serie	104
45	Diagrama de Casos de Uso	108

46	Diagrama de Componentes	110
47	Interfaz de Usuario (UI)	112
48	Implementación de los Comandos de Inicio de Medición	113
49	Módulos de Captura y Visualización	115
50	Base de Datos del Sistema	117
51	Presentación de Resultados en Soporte de Impresión (C.D.M.F.C. QOSQO HAMPI)	118
52	Mapeo de los Trazados en Instrucciones HP-GL	120
53	Sincronización de los Procesos de Medición y el Módulo de Visualización .	121
54	Resultados Finales Presentados por el Módulo de Visualización	122
55	Prueba del Software de Control en individuos Reales	124
56	Vista del Registro de Mediciones del Centro de Diagnóstico	125
57	Informe de Satisfacción de Usuario Final	126
A.1	Evolución de la Densidad de Transistores en los Microprocesadores (1971- 2021)	142
A.2	Tendencia de la Generación de Residuos Electrónicos a Nivel Mundial (2014- 2030)	145
A.3	Distribución de Frecuencias para el Conteo de Transistores, Desechos Elec- trónicos y el Logaritmo del Conteo de Transistores (2014-2030)	150
A.4	Relación Lineal entre el Conteo de Transistores y los Desechos Electrónicos Generados	158
B.1	Osciloscopio	164
B.2	Multímetro	165
B.3	Interfaz USB a Serie	166
B.4	Interfaz RS-232/UART/USB	167
B.5	Cable Tapping o de Monitoreo	168
B.6	Computadora-Ordenador	169
B.7	Instrumentos complementarios	170

B.8	Software Utilizado	171
C.1	Determinación del Principio de Funcionamiento	173
C.2	Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722	174
C.3	Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722 - (Continuación)	175
C.4	Observación Directa y Análisis del Proceso de Medición	176
C.5	Circuito Emulador de Sujeto de Prueba y Modelado 3D	177
C.6	Análisis del Protocolo de Comunicación	178
C.7	Captura de Información	179
C.8	Determinación del Lenguaje de Comunicación	180
C.9	Especificaciones para la Nueva Interfaz de Comunicación	181
C.10	Software de Control	182
C.11	Optimización de la Presentación	183
C.12	Pruebas unitarias y Validación	184
D.1	Configuración del CESP para una Configuración de Electrodo Abiertos	187
D.2	Resultados de Medición para una Configuración de Electrodo Abiertos	188
D.3	Configuración del CESP para una Configuración de Electrodo en Corto Circuito	190
D.4	Resultados de Medición para una Configuración de Electrodo en Corto Circuito	191
D.5	Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva	193
D.6	Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva	194
D.7	Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante	196
D.8	Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante	197

D.9 Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia	
Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Directa)	199
D.10 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia	
Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Directa)	200
D.11 Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia	
Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Inversa)	201
D.12 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia	
Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Inversa)	202
D.13 Rol de las Impedancias Resistiva y Capacitiva en la Generación de las Curvas	
Originales	204
D.14 Superposicion Relativa de las Curvas originales	205
D.15 Presentación de los Resultados de Medición en Formato A3	218
D.16 Presentación de los Resultados de Medición en Formato A4	219
D.17 Presentación de los Resultados de Medición con el VEGACHECK	220
D.18 Simulación del Circuito Generador de Señales de Medición	222
D.19 Software de Control – VEGA DFM 722	223
D.20 Instalación del Software	225
D.21 Configuración del Puerto de Comunicación	225
D.22 Interfaz Gráfica del Programa DFM-Manager	227

Lista de Tablas

1	Niveles de Voltaje para las Líneas de Señal y Control en el Protocolo RS-232	24
2	Señales Estándar en Comunicación Serial RS-232: Descripción y Funciones	27
3	Grupos de Órganos Analizados por Segmento	59
4	Transcripción de la Hoja de Especificaciones Técnicas de la Unidad de Control	73
A.1	Conteo de la Cantidad de Transistores por Microprocesador (1971-2021) . .	141
A.2	Volumen Anual de Residuos Electrónicos a Nivel Mundial (2014-2030) . .	144
A.3	Comparativa Anual del Conteo de Transistores por Microprocesador y la Generación de Desechos Electrónicos a Nivel Mundial (2014-2021)	146
A.4	Resumen Estadístico del Conteo de Transistores por Microprocesador, la Generación de Desechos Electrónicos y el Logaritmo del Conteo de Transis- tores (2014-2021)	147
A.5	Tablas de Frecuencia para el Conteo Transistores por Microprocesador, la Generación de Desechos Electrónicos y el Logaritmo del Conteo de Transistores (2014-2021)	149
A.6	Palabras clave en español e inglés	152
A.7	Prueba de Correlación de Pearson entre el Conteo de Transistores y la Generación de Desechos Electrónicos	154
A.8	Prueba de Correlación de Pearson entre el Logaritmo del Conteo de Transis- tores y la Generación de Desechos Electrónicos	155
A.9	Resumen del Modelo	157
A.10	Análisis de Varianza (ANOVA)	157

A.11	Coeficientes de la Regresión	158
A.12	Resumen del Modelo y Estimaciones del Parámetro	159
D.1	Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Electrodo Abiertos	186
D.2	Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Electrodo en Corto Circuito	189
D.3	Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva	192
D.4	Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante . .	195
D.5	Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada	198

Introducción

El continuo e incesante avance de la tecnología, sumada a una sociedad cada vez más dependiente de las innovaciones de la industria, son algunos de los motivos para la actualización y adopción de nuevos estándares. Pero cuando la necesidad de adoptar estos estándares son el resultado de prácticas cuestionables como la *Obsolescencia Programada*, se presentan con frecuencia situaciones en las que, las mejoras adicionadas a un determinado sistema, son de un carácter parcial; pudiendo simplemente ofrecerse estas mejoras como un componente extra a adquirir, se exige la actualización integral de todo el sistema. Esta práctica representa una amenaza para la economía del consumidor y conlleva implicaciones ambientales ampliamente reconocidas.

La *Ingeniería Inversa* puede desempeñar un papel fundamental en la reutilización, reparación y extensión de la vida útil de dispositivos electrónicos que han sido forzados al desuso.

El presente proyecto de investigación, plantea la utilización de ingeniería inversa para prolongar la vida útil de un Sistema de Diagnóstico en Medicina Funcional. El cual está compuesto por una unidad central de procesamiento, electrodos de medición y un periférico de salida; resultando este último como el más afectado por el problema de obsolescencia.

Se propone entonces, a partir de los resultados obtenidos mediante el proceso de ingeniería inversa, aplicado tanto a los aspectos de hardware y software del objeto en estudio, la posibilidad de desarrollar un programa de gestión para el sistema, el cual permita utilizar un ordenador como periférico de salida y procesamiento de datos.

Capítulo 1

Planteamiento del Problema

1.1 Descripción de la Situación Problemática

"Vivimos en una sociedad exquisitamente dependiente de la ciencia y la tecnología, en la que casi nadie sabe nada de ciencia y tecnología. Esa es una clara receta para el desastre." — *Carl Sagan, The Demon-Haunted World*

Esta reflexión de Carl Sagan, expresada hace casi tres décadas, ya resaltaba en ese entonces un aspecto crítico de nuestra civilización moderna: la profunda dependencia de la ciencia y la tecnología, acompañada de una alarmante falta de comprensión por parte de la mayoría de la población. Si trasladamos esa observación a nuestros días, es probable que el veredicto del célebre divulgador fuera aún más contundente (Sagan, 1996): [Adaptación] *Esa peligrosa mezcla combustible de ignorancia y poder tecnológico está cada vez más cerca de detonarnos en el rostro.*

La obsolescencia es, en general un proceso natural dentro del ciclo de vida de los productos tecnológicos. Con el tiempo, el desgaste de los componentes, el avance de la tecnología y las cambiantes necesidades del mercado llevan a que los dispositivos pierdan su funcionalidad o se vuelvan ineficaces. Sin embargo, a este fenómeno natural se suma la práctica deliberada de la obsolescencia programada, una estrategia utilizada por la industria para acortar intencionadamente la vida útil de los productos.

La obsolescencia programada toma ventaja del limitado entendimiento que tienen los consumidores sobre el funcionamiento de estos dispositivos. En este contexto, los usuarios se ven privados de la capacidad de tomar decisiones informadas para extender la vida útil de sus productos o explotar al máximo sus prestaciones. La falta de acceso a repuestos, la complejidad en las reparaciones y la dependencia del soporte técnico oficial son herramientas utilizadas por los fabricantes para asegurarse de que los dispositivos queden obsoletos rápidamente. Esta práctica se traduce en un gasto económico para el consumidor y tiene un impacto medioambiental significativo, al aumentar la cantidad de desechos electrónicos (Forti et al., 2020b).

Este escenario no solo afecta a dispositivos de consumo masivo, como teléfonos móviles o electrodomésticos, sino que también impacta seriamente a equipos tecnológicos más especializados, como los sistemas de diagnóstico médico. En estos casos, la obsolescencia limita la capacidad del equipo para seguir siendo funcional y puede tener consecuencias mucho más graves, como la interrupción de servicios esenciales o el aumento de los costos operativos. Los profesionales de la salud, que dependen de estos equipos para llevar a cabo diagnósticos, se ven obligados a reemplazar dispositivos costosos ante la falta de alternativas.

Este es el caso del sistema de diagnóstico en medicina funcional que nos ocupa. El equipo, está compuesto por una unidad central de procesamiento (CPU), un periférico de salida (Plotter) y electrodos de medición. A medida que el sistema ha envejecido, el periférico de salida ha comenzado a presentar fallas debido al tiempo de uso prolongado, la falta de consumibles y la ausencia de reemplazos disponibles en el mercado.

En general, el sistema se ve afectado por un problema de obsolescencia con matices claros de obsolescencia programada. Ante la falta de opciones de actualización o soporte técnico, se plantea la posibilidad de utilizar un ordenador que pueda procesar e interpretar los datos provistos por el CPU del sistema de diagnóstico, presentarlos en el monitor en tiempo real, registrarlos en una base de datos y así mismo poder imprimirlos.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Es posible aplicar Ingeniería Inversa a un sistema de diagnóstico en medicina funcional, para su mejora y recuperación?

1.2.2 Problemas Específicos

- **Principio de Funcionamiento:** ¿Cuáles son los principios de funcionamiento del sistema VEGA DFM 722 y de qué manera la interacción entre sus componentes contribuye a su desempeño integral?
- **Emulador de Sujeto de Prueba:** ¿Es posible diseñar y fabricar un circuito electrónico que emule adecuadamente las respuestas fisiológicas humanas para las pruebas del sistema VEGA DFM 722 sin precisar de sujetos reales?
- **Sistema de Comunicación:** El sistema VEGA DFM 722 utiliza un protocolo de comunicación sobre el cual se implementa un lenguaje estructurado. Ambos elementos deben ser identificados y adaptados para interactuar eficazmente con las tecnologías informáticas actuales.
- **Software de Gestión:** El software de gestión debe ser diseñado para interpretar y mostrar los datos de medición en tiempo real, asegurar su correcto almacenamiento en una base de datos y permitir la impresión de los mismos.
- **Fiabilidad y Precisión del Sistema Modificado:** ¿Cómo se pueden diseñar e implementar pruebas efectivas para evaluar la fiabilidad y precisión del sistema modificado en condiciones reales de uso?
- **Visualización y Modelado para Fines Pedagógicos:** ¿Qué herramientas informáticas son más efectivas para recrear el funcionamiento del sistema VEGA DFM 722 y facilitar su comprensión a un público no especializado?

1.3 Justificación

La obsolescencia como parte del ciclo de vida de un producto, la rápida evolución de los productos tecnológicos, la existencia de prácticas como la obsolescencia programada y una sociedad distraída, han creado una cultura de consumo desenfrenado que genera un impacto negativo en el medio ambiente, debido a la creciente cantidad de desechos electrónicos.

Se torna esencial cuestionar la necesidad real sobre la adquisición de nuevos sistemas y productos tecnológicos, que a menudo ofrecen mejoras nada más que estéticas y no críticas, respecto de los sistemas con los que ya se cuentan.

En este contexto, el estudio de un proyecto centrado en la ingeniería inversa, con todas sus implicancias éticas y legales, representa una oportunidad para enfrentar el problema de la obsolescencia y la obsolescencia programada.

Al reutilizar, adaptar y mejorar los sistemas tecnológicos ya existentes, podemos contribuir a la reducción de la generación de desechos electrónicos. Esta perspectiva podría ser fundamental para fomentar una mentalidad de consumo más responsable y respetuosa con el medio ambiente.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Aplicar la ingeniería inversa para la mejora y recuperación de un sistema de diagnóstico en medicina funcional, específicamente el sistema VEGA DFM 722 (Rademacher & Wesener, 1998, p. 27).

1.4.2 Objetivos Específicos

- **Principio de Funcionamiento:** Comprender los principios de funcionamiento bajo los que opera el objeto de estudio y determinar la tecnología involucrada en el diseño del sistema y la dinámica de los procesos de medición.
- **Emulador de Sujeto de Prueba:** Diseñar y fabricar un circuito electrónico que emule de manera efectiva las respuestas fisiológicas de un ser humano conectado a los electrodos de medición del sistema VEGA DFM 722, evitando la necesidad de utilizar sujetos reales para las pruebas.
- **Sistema de Comunicación:** Identificar el protocolo de comunicación y el lenguaje estructurado implementados en el sistema VEGA DFM 722, y adaptarlos para su interacción eficaz con tecnologías informáticas actuales, tomando como guía el enfoque de la ingeniería inversa.
- **Software de Gestión:** Desarrollar un software de gestión que controle el flujo de datos entre la CPU del sistema VEGA DFM 722 y el ordenador, interprete los datos, muestre en el monitor en tiempo real los resultados de las mediciones, registre dicha información en una base de datos y permita la impresión de los resultados.
- **Fiabilidad y Precisión del Sistema Modificado:** Probar y validar el Sistema Modificado en individuos reales y en un entorno clínico, para evaluar su desempeño.
- **Visualización y Modelado para Fines Pedagógicos:** Utilizar herramientas de modelado, CAD (Computer Aided Design), animación 2D y 3D, diseño gráfico y edición de vídeo para recrear el funcionamiento del sistema, que permitirá simplificar la comprensión del mismo para fines pedagógicos y de presentación.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1 Estado del Arte

En la actualidad, la Ingeniería Inversa ha evolucionado considerablemente, debido a los avances tecnológicos y la creciente conciencia sobre su importancia en diversos campos, entre los que destacan la industria automotriz, industria aeroespacial, medicina, biónica, seguridad informática, preservación de patrimonio cultural, etc.

Se pueden resaltar dos ámbitos con una mayor incidencia de ser sometidos a este proceso, los programas informáticos y los dispositivos electrónicos.

Dentro de este proyecto de investigación, una parte significativa se ocupará de aplicar ingeniería inversa al protocolo de comunicación (CPU - Periférico de salida) del sistema, además de abordar los aspectos esenciales del funcionamiento del dispositivo, con un énfasis ligeramente menor en estos últimos.

En este contexto, podemos resaltar el trabajo realizado por Msiska (2013), *Reverse Engineering a Proprietary Serial Communication*. Trabajo en el que aplica ingeniería inversa al protocolo de comunicación serial de un instrumento (TOC/TN Analyzer) que analiza la presencia de carbono o nitrógeno orgánico en muestras de agua con fines de medir la calidad de la misma. El objetivo principal del trabajo fue el de crear una interfaz web simplificada que permita la manipulación remota del instrumento.

Para este propósito, el autor tiene que determinar los comandos de inicialización del instrumento, recibir y enviar dichos comandos usando una interfaz creada en C++, llevar a cabo pruebas de laboratorio y pruebas de encendido o apagado del instrumento.

Valiéndose para este propósito del Visual Studio 2010 como entorno de programación, conversores de puerto USB a serie, analizadores de puerto serie (sniffers) para la lectura del tráfico y duplicadores de puerto serie (splitters) para compartir el flujo de datos de uno de los puertos.

Un trabajo local que sigue la misma línea de investigación viene a ser el proyecto FEDU *Aplicación de Ingeniería Inversa para el Desarrollo de un Software de Gestión del Sistema EFAC-3D de la Escuela Profesional de Física-UNSAAC 2022 – 2023* (De La Torre Cruz et al., 2023). Este estudio se centra en los desafíos asociados con el sistema EFAC 3D en la Escuela Profesional de Física de la UNSAAC, abordando problemas como la obsolescencia, la falta de actualizaciones y el soporte de software, los cuales afectaban la usabilidad del sistema.

El objetivo principal de la investigación, fue realizar un proceso de ingeniería inversa sobre el protocolo de adquisición de datos, la comunicación serial y el software del sistema, con el fin de crear un programa de gestión propio, que resuelva específicamente los problemas de inconsistencias en las unidades de medida, los bloqueos frecuentes del software de gestión original, y por último mejore el control y manejo del sistema, así como su compatibilidad nativa con sistemas operativos Windows más actuales. Con el desarrollo de un software independiente, se superaron los desafíos de la obsolescencia y la falta de soporte, mejorando la experiencia del usuario a través de una interfaz más intuitiva y una presentación de resultados más clara.

Aparte de estos dos trabajos que guardan una especificidad con la estructura de esta tesis, se hace referencia a continuación a aquellos relacionados a la ingeniería inversa y su aplicación en el ámbito de la medicina.

En el trabajo *Ingeniería Inversa Aplicada a un Dispositivo de Ventilación Mecánica con Presión Positiva CPAP* (Molina Cabrera et al., 2022), los autores analizaron un dispositivo de ventilación no invasiva CPAP mediante técnicas de ingeniería inversa. Su estudio consistió

en replicar un modelo CAD del dispositivo “UCL Ventura” desarrollado por el University College de Londres. El equipo adaptó y rediseñó componentes clave, como la entrada de oxígeno y el soporte, para ajustarse a las necesidades hospitalarias locales en Ecuador. Utilizaron software de análisis de fluidos computacional (CFD) para optimizar el diseño, lo que permitió fabricar un prototipo económico y funcional que mantiene las vías respiratorias abiertas mediante una presión positiva continua, crucial durante la pandemia de COVID-19.

Otro ejemplo es el trabajo *Reverse Engineering in Medical Application: Literature Review, Proof of Concept and Future Perspectives* (Wakjira et al., 2024). En el se aplica la ingeniería inversa para desarrollar modelos anatómicos tridimensionales a partir de datos de imágenes médicas. El estudio mostró cómo la ingeniería inversa permite desarrollar soluciones personalizadas, como prótesis y dispositivos médicos, utilizando tecnologías avanzadas de escaneo 3D y modelado CAD. El equipo reconstruyó un fémur humano, demostrando la capacidad de esta metodología para mejorar las prácticas médicas personalizada.

El hacking está estrechamente relacionado con la ingeniería inversa, y un ejemplo emblemático es el caso de Marie Moe, una experta en ciberseguridad que en 2015 hackeó su propio marcapasos para resaltar vulnerabilidades en dispositivos médicos conectados (Vallance, 2015). Moe descubrió que su marcapasos tenía dos interfaces inalámbricas, una de las cuales podía ser hackeada para modificar su funcionamiento. Este estudio mostró cómo los dispositivos médicos interconectados, como los marcapasos, son susceptibles a ataques cibernéticos, exponiendo la posibilidad de comprometer la seguridad de los pacientes. Su investigación llamo la atención del congreso de los Estados Unidos y en el año 2015 aprobó la legalidad de que los investigadores de seguridad realicen ingeniería inversa en implantes y dispositivos médicos sin infringir los derechos de autor.

Este trabajo fue pionero y abrió la puerta a investigaciones recientes sobre la seguridad de dispositivos médicos, como el estudio *Medical Devices: Reverse Engineering for Innovation and Advancement in Healthcare* (Tauscher et al., 2024), el cual se centra en el análisis de dispositivos médicos interconectados y sus vulnerabilidades frente a ataques del tipo *man in the middle* MitM. Estos estudios han demostrado que es posible mejorar la seguridad de los dispositivos mediante la ingeniería inversa, lo que permite protegerlos.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Obsolescencia y Obsolescencia Programada

2.2.1.1 Obsolescencia

Se entiende por obsolescencia a la condición de volverse obsoleto, desactualizado o fuera de uso. En el contexto de productos y tecnología, la obsolescencia ocurre cuando un producto ya no es funcional, eficiente o relevante debido a avances tecnológicos, cambios en la demanda del mercado o la falta de soporte para el mantenimiento y reparación.

2.2.1.2 Obsolescencia Programada

La obsolescencia programada se define como la estrategia deliberada de los fabricantes para reducir la vida útil de un producto, o que se vuelven obsoletos prematuramente, con el fin de que los consumidores se vean obligados a reemplazar el producto más frecuentemente, lo que aumenta las ventas y beneficios para la empresa. Pudiendo esta estrategia ser implementada durante la fase de diseño o durante el ciclo de vida del producto.

Un aspecto cuestionable de esta practica, es la forma en la que los fabricantes limitan el derecho a la reparación que debería tener el consumidor. Utilizando el diseño para hacer compleja la reparación, restringiendo el acceso a los manuales de servicio, a las actualizaciones de software, a los componentes de reemplazo; cuyos precios en muchas ocasiones equipara al costo de adquirir un aparato nuevo. Por ultimo, esta la posibilidad de enfrentar demandas legales a quienes ofrezcan el servicio de reparación a estos equipos.

A este hecho se le suma otro fenómeno denominado *Obsolescencia Percibida*, término acuñado en 1954, por el diseñador industrial Brooks Stevens, y lo definió como "el deseo del consumidor de poseer algo ligeramente más nuevo, un poco mejor y antes de que sea necesario" (Adamson & Stevens, 2003). En palabras del ingeniero y escritor Bob Baddeley, si la obsolescencia programada existe también "*Es culpa tuya*" (Baddeley, 2018).

Abordar el problema de la obsolescencia programada; requiere de una perspectiva amplia que involucre a los fabricantes, consumidores, reguladores y expertos en sostenibilidad.

2.2.1.3 Evolución Tecnológica e Impacto Ambiental

Ya sea por obsolescencia, obsolescencia programada u obsolescencia percibida; parece existir una estrecha relación entre el ritmo al cual se generan desechos electrónicos y el ritmo al cual ha evolucionado la tecnología en los últimos 60 años.

La Ley de Moore (Moore, 1965), en su formulación revisada de 1975, predijo que “la cantidad de transistores en un chip se duplicaría cada dos años” (Moore, 1975). Algunos expertos, sugieren que el período de duplicación podría extenderse a tres años o más, debido a los límites físicos existentes, lo que todavía implicaría un crecimiento notable, pero a un ritmo más sostenible.

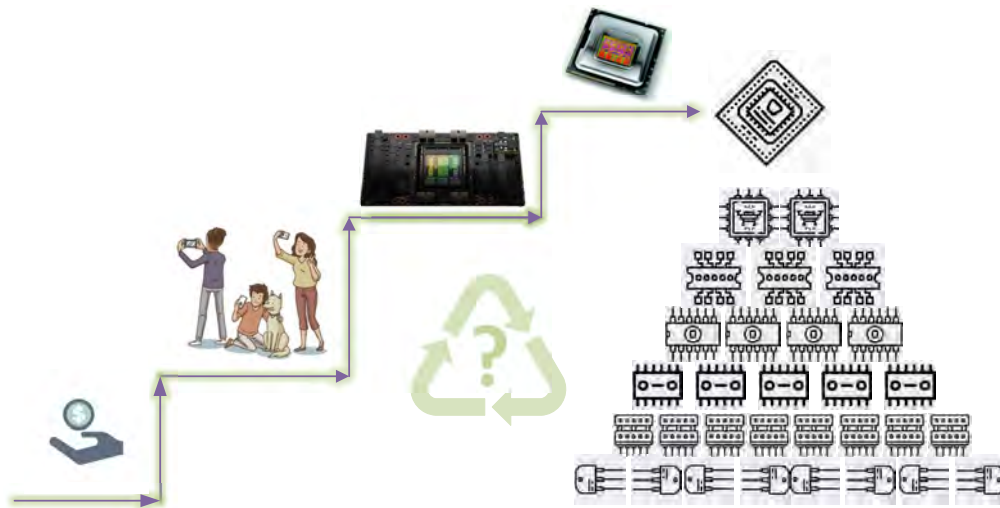
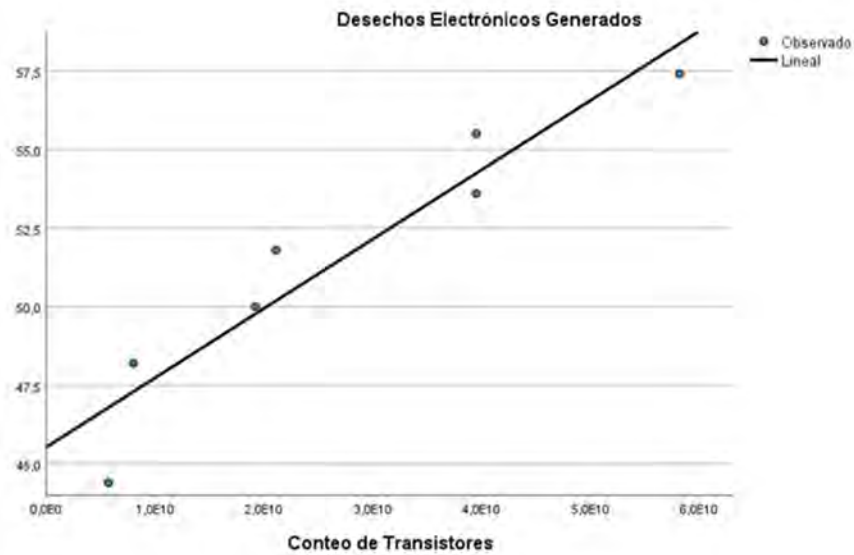
Si bien la Ley de Moore no es una ley científica en el sentido estricto, la evolución tecnológica impulsada por ésta, no sólo ha revolucionado la electrónica de consumo, sino que también ha tenido un impacto considerable en otras áreas de la industria. La informática, la medicina, la comunicación, la robótica y la inteligencia artificial son solo algunos ejemplos de sectores que se han beneficiado enormemente del incremento en el poder de procesamiento de los dispositivos electrónicos.

El Apéndice A de la presente tesis contiene una colección detallada de evidencia empírica que respalda las observaciones presentadas en la Figura 1. El estudio preliminar presentado en este apéndice, evidencia de manera efectiva la posible relación existente entre la progresión descrita por la Ley de Moore y el incremento correspondiente en la acumulación de desechos electrónicos a escala global. Esta rápida evolución tecnológica ha llevado a la producción masiva de desechos electrónicos, generando un enorme desafío en términos de gestión de residuos y sostenibilidad ambiental.

La gestión sostenible de los desechos electrónicos y la implementación de prácticas de reciclaje adecuadas se vuelven cada vez más críticas para abordar este problema de carácter global. Como sociedad, se debe buscar equilibrar el avance tecnológico con la responsabilidad ambiental, promoviendo una economía circular y fomentando la investigación y el desarrollo de tecnologías más sostenibles.

Figura 1

Impacto Ambiental de la Innovación Tecnológica: Del Auge de los Transistores a la Acumulación de Desechos Electrónicos



Nota. Esta figura ilustra la correlación entre el incremento en la densidad de transistores por microprocesador a lo largo del tiempo y su repercusión en la generación de desechos electrónicos. Remítase al Apéndice A para un mayor contexto. Elaboración propia.

2.2.2 Ingeniería Inversa

2.2.2.1 Reseña Histórica

El concepto e idea de ingeniería inversa se puede rastrear hasta los albores de la civilización. Las primeras formas de ingeniería inversa se podrían observar en las estrategias que utilizaban los primeros seres humanos para mejorar sus herramientas rudimentarias y armas. Al desmontar y examinar los objetos fabricados por otros, podían replicar y mejorar su tecnología.

En la antigüedad, los egipcios, romanos y griegos usaron técnicas similares. Los romanos, por ejemplo, copiaron y mejoraron tecnologías militares como armas y barcos de guerra del enemigo para fortalecer su imperio.

El siglo XVIII durante la Revolución Industrial, la ingeniería inversa fue una práctica muy difundida. La industrialización de la manufactura permitió la producción en masa, y los fabricantes desarmaban productos de competidores para entender y mejorar sus propias técnicas de producción.

Un caso que resalta en el siglo XIX, Samuel Slater, conocido como el "Padre de la Revolución Industrial Americana", memorizó diseños de máquinas de hilado en Reino Unido y las replicó en Estados Unidos (Evans, 2004).

En el siglo XX, la ingeniería inversa se utilizó extensivamente en la industria militar y aeroespacial. Durante la Segunda Guerra Mundial y la posterior Guerra Fría, los Estados Unidos y la Unión Soviética desmantelaron máquinas de cifrado, aviones y misiles enemigos para entender su tecnología (Messler, 2014, p. 125).

La ingeniería inversa también ha tenido un papel crucial en la industria de la tecnología y software. Al analizar y descompilar programas, los desarrolladores pueden entender y mejorar el código existente; detectar, corregir errores y vulnerabilidades, o asegurarse de que el software es compatible con otros sistemas.

Como dato curioso, una teoría de conspiración relata la supuesta recuperación de una nave extraterrestre en Roswell, Nuevo México en 1947. De donde se afirma, que tecnología actual como la fibra óptica y los microchips, son el resultado de la ingeniería inversa practicada

a esta tecnología alienígena (Corso & Birnes, 1998). Sin embargo, no existe evidencia científica que respalde tales afirmaciones.

2.2.2.2 Definición

De las definiciones existentes para la Ingeniería Inversa destaca por sobre todo la del autor Elliot Chikofsky quien sostiene:

La ingeniería inversa es el proceso de análisis de un sistema sujeto a estudio con el fin de identificar los componentes del sistema y su interrelación. Tiene como meta el crear representaciones alternas del sistema con mayor nivel de abstracción, representaciones que documenten el sistema y faciliten nuestro entendimiento sobre: qué es, cómo trabaja y cómo no trabaja. La ingeniería inversa como un proceso puede ser aplicada a cada uno de los tres principales aspectos de un sistema: datos o información, proceso y control... La ingeniería inversa por sí misma no implica el cambio del sistema o la creación de un nuevo sistema basado en el sistema sujeto a ingeniería inversa. Es tan solo un proceso de examinación y no un proceso de cambio o réplica (Chikofsky & Cross, 1990, p. 25).

Cabe señalar que esta última afirmación más allá de representar un complemento a la definición de ingeniería inversa, sugiere una postura más conservadora por parte del autor y será considerada como tal; dado que el propósito de la presente tesis implicará de una u otra forma la alteración del sistema.

Una aproximación informal y más cercana a la realidad viene de la mano de Barak D. Jolish, quien manifiesta:

La Ingeniería Inversa es el arte del rastreador, el polizón, el imitador y, a veces, el ladrón. En la ingeniería inversa se desmonta el producto de otra persona para aprender cómo funciona y apropiarse de sus ideas. Es un atajo alrededor de las incontables horas y costos sustanciales de desarrollo y prueba de productos...

Sin embargo, la ingeniería inversa es también un acelerador del progreso, que permite a los competidores producir productos compatibles o mejorar los diseños existentes. Esta interacción recompensa al público con un aluvión constante de nuevos, mejores y productos más baratos (Jolish, 1998, p. 509).

2.2.2.3 Relación con los Métodos Científicos

La Ingeniería Inversa, como un método específico, guarda una estrecha relación con los principios del razonamiento abductivo (Weigand & Hartung, 2012), el cual también es central en el método científico (Dellsén, 2024). Este razonamiento se utiliza para formular hipótesis basadas en observaciones y pruebas experimentales, lo que refleja los pasos fundamentales del método científico.

El proceso de ingeniería inversa comienza con la observación, se estudia un sistema o componente para entender su estructura y funcionalidad. Posteriormente, se formula la hipótesis más plausible sobre cómo funciona el sistema. Esta hipótesis se basa en la descomposición del sistema en sus partes constituyentes y en el análisis de cómo interactúan estas partes. La hipótesis se prueba construyendo una réplica del sistema o modificándolo de alguna manera. Si el sistema modificado o réplica funciona de la misma manera que el sistema original, la hipótesis se considera correcta. Si no es así, la hipótesis se ajusta y se prueba nuevamente.

En este sentido, es válido afirmar que la ingeniería inversa no solo comparte técnicas con el método científico, sino que también se constituye como otra expresión de los métodos científicos.

2.2.3 Medicina Funcional

La medicina funcional tiene un carácter holístico y centrado en el paciente, trata de identificar y abordar la causa raíz de las enfermedades. Va más allá del tratamiento de los síntomas y busca entender cómo interactúan los sistemas del cuerpo, enfatiza la personalización del tratamiento, adaptando los planes de atención a la historia única y los factores de estilo de

vida de cada paciente, resultando efectiva en la gestión y reversión de enfermedades crónicas (Rademacher & Wesener, 1998).

2.2.3.1 Validez Científica

- Basada en Evidencia: Utiliza pruebas diagnósticas y tratamientos respaldados por la ciencia.
- Tratamiento Sistémico: Considera la interacción de los sistemas biológicos.
- Integración: Puede integrarse con la medicina convencional.

2.2.4 Sistemas Embebidos

2.2.4.1 Definición

Un sistema embebido o incrustado es un sistema informático integrado diseñado para realizar una o varias funciones dedicadas y específicas. En la actualidad, los sistemas embebidos son omnipresentes y fundamentales en la era de la Internet de las Cosas (IoT).

La miniaturización y la eficiencia energética han permitido su integración en una amplia variedad de aplicaciones. Por lo general funciona tomando una señal de entrada analógica o digital, procesándola y tomando control del resultado a través de un dispositivo de salida (Codrey Electronics, 2017b).

2.2.4.2 Características

- Especialización: Realizan tareas específicas en una aplicación o sistema.
- Eficiencia: Optimizados para el rendimiento y el consumo de energía.
- Tamaño: Generalmente más pequeños que los sistemas de propósito general.
- Confiabilidad: Deben ser altamente confiables, especialmente en aplicaciones críticas.
- Costo: Diseñados para ser rentables en la producción en masa.

2.2.4.3 Componentes

- Microcontrolador/Microprocesador: Es el cerebro del sistema, ejecuta el software almacenado en la memoria.
- Memoria: Almacena el código y los datos. Puede ser RAM, ROM, Flash, entre otros.
- Periféricos de Entrada/Salida: Permiten la interacción con el mundo exterior, como sensores, actuadores, interfaces de comunicación.
- Sistema Operativo: Puede ser un sistema operativo de tiempo real (RTOS) o sin sistema operativo, dependiendo de las necesidades.
- Controladores: Facilitan la comunicación con el hardware.
- Programas: Realizan la función específica del sistema embebido.

2.2.4.4 Aplicaciones

Los sistemas embebidos están presentes en una amplia variedad de aplicaciones, entre las cuales destacan:

- Industria: Automatización y control de procesos.
- Automoción y Aeroespacial: Sistemas de control y navegación.
- Salud: Equipos médicos y dispositivos de monitoreo.
- Consumo: Domótica, electrodomésticos, dispositivos móviles.

2.2.5 Protocolos de Comunicación

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y estándares que se utilizan para establecer y mantener la comunicación entre dos o más dispositivos. Estas reglas y estándares establecen cómo deben formatearse, interpretarse y sincronizarse los mensajes, así como también cómo se deben manejar los errores. Estos protocolos pueden ser implementados a través de hardware, software o una combinación de ambos (“Communication protocol”, 2024).

La mayoría de estos protocolos especifican una o más de las siguientes características:

- Identificación de dispositivos: Los dispositivos deben poder identificarse entre sí para poder establecer la comunicación.
- Formato de mensajes: Los mensajes deben tener un formato definido para que puedan ser entendidos por ambos dispositivos.
- Proceso de transmisión y recepción de mensajes: Debe haber un proceso definido para la transmisión y recepción de mensajes entre los dispositivos.
- Manejo de errores: Debe haber un mecanismo para detectar y corregir errores en la comunicación.
- Gestión de conflictos: Debe haber un mecanismo para evitar conflictos en la comunicación, como la transmisión de mensajes simultáneos por parte de los dispositivos.

Para los propósitos del presente trabajo, abordaremos exclusivamente los estándares RS-232 y UART.

2.2.5.1 Comunicación Serial

La comunicación serial es una forma de transmisión de datos en la que se transmite un bit a la vez a través de una conexión serial.

La conexión serial se realiza a través de dos o más cables, cada uno de los cuales transmite una señal de datos y una señal de control (Codrey Electronics, 2017d).

La comunicación serial se utiliza en muchas aplicaciones, incluyendo la conexión de dispositivos a una computadora, la comunicación entre dispositivos industriales y es crucial en sistemas embebidos para la interacción con sensores y actuadores. Además, se emplea en tecnologías de comunicación modernas, como USB.

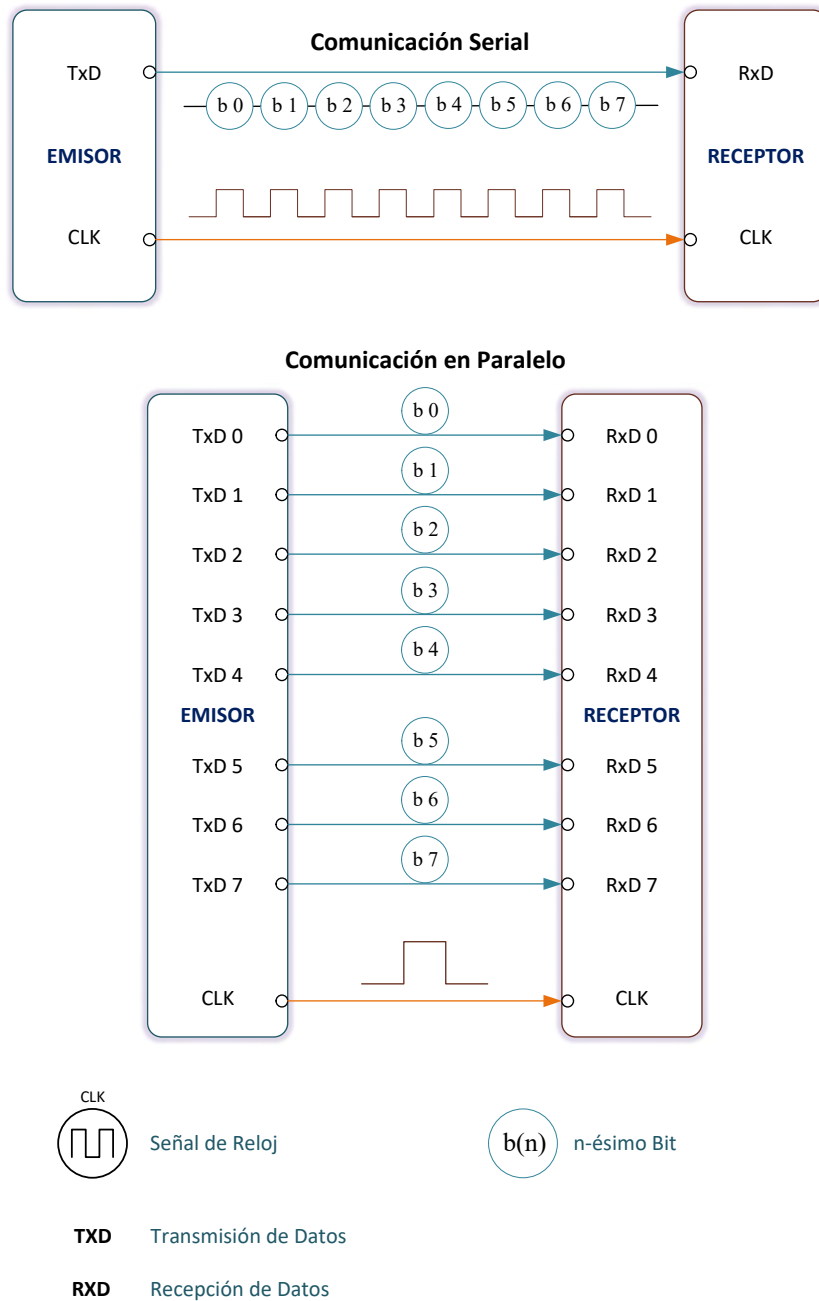
La comunicación serial también es esencial en aplicaciones médicas, permitiendo la transmisión de datos entre dispositivos médicos y sistemas de monitoreo. Este método es preferido por su simplicidad, eficiencia en el uso de cables y su capacidad para mantener la integridad de la señal a largas distancias.

Como se muestra en la Figura 2, en contraste a una comunicación en paralelo, en la que todos los bits se envían al mismo tiempo por todas las líneas del bus y que consecuentemente requiere de la misma cantidad de líneas de transmisión como bits tenga dicha información, en la comunicación serial, los datos se transmiten de manera secuencial; esto permite usar un número reducido de líneas de transmisión lo que se traduce en una enorme ventaja a la hora de ser implementada.

Un aspecto curioso e histórico de la comunicación serial es su desarrollo en paralelo (irónicamente) con la evolución de las computadoras y dispositivos de telecomunicaciones. Entre los años 1960 y 1990, la comunicación paralela era vista como superior en términos de velocidad y era la preferida para transferencias de datos rápidas, especialmente en impresoras como el puerto paralelo Centronics utilizado en impresoras y el SCSI (Small Computer System Interface) para discos duros.

Sin embargo, a medida que las velocidades de transmisión y las distancias entre dispositivos aumentaron, las limitaciones de la comunicación paralela se hicieron más evidentes. En la actualidad la simplicidad y eficiencia de la comunicación serial es la mejor solución para la transmisión de datos, especialmente en aplicaciones modernas.

Figura 2
Protocolos de Comunicación



Nota. La figura ilustra los esquemas de comunicación serial y paralela entre dos dispositivos.
 Elaboración propia.

En una comunicación serial los modos de transmisión son métodos que determinan cómo se envían y reciben los datos entre dos puntos, típicamente un emisor y un receptor. Estos modos se pueden agrupar en tres categorías (Figura 3):

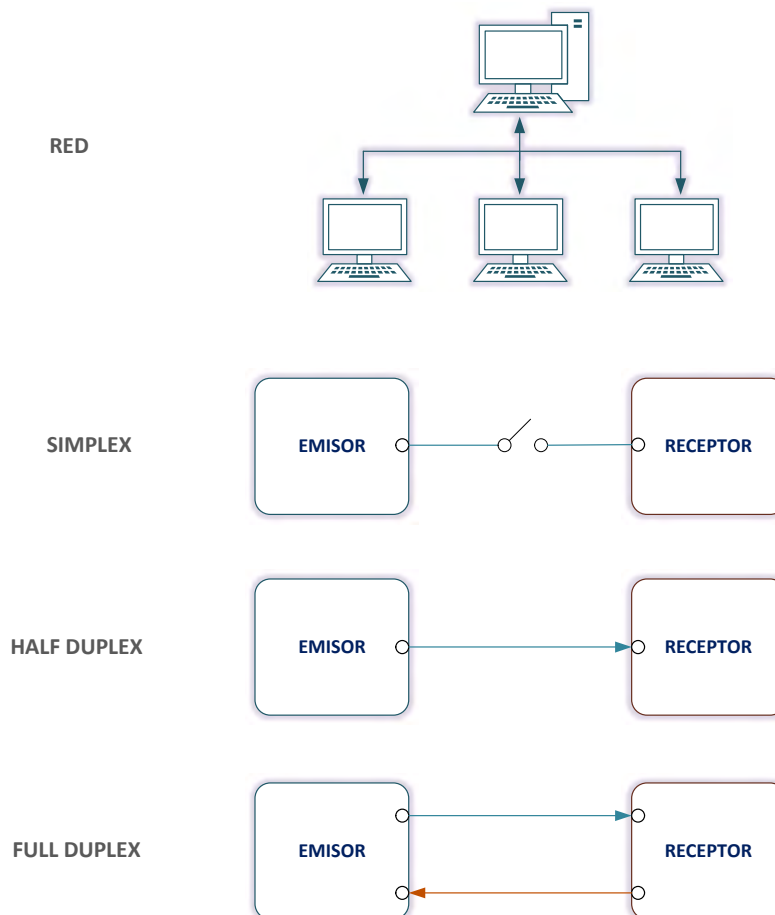
- Simplex: Es una técnica de comunicación unidireccional. Solo un cliente (ya sea el emisor o el receptor) está activo en un momento dado. Si un emisor transmite, el receptor solo puede aceptar. Ejemplos del modo Simplex son las transmisiones de radio y televisión.
- Half Duplex: En el modo Half Duplex, tanto el emisor como el receptor están activos, pero no al mismo tiempo. Es decir, si un emisor transmite, el receptor puede aceptar, pero no enviar, y viceversa. Un buen ejemplo de esto es Internet. Si un cliente (como una computadora portátil) envía una solicitud de una página web, el servidor web procesa la solicitud y envía la información de vuelta.
- Full Duplex: El modo Full Duplex es una forma ampliamente utilizada de comunicación en el mundo. Aquí, tanto el emisor como el receptor pueden transmitir y recibir al mismo tiempo. Un ejemplo es el uso para comunicación de un smartphone (Codrey Electronics, 2017d).

2.2.5.2 Estándar RS-232

El protocolo RS-232, creado en 1962 como EIA/TIA-232, es un antiguo pero duradero estándar de comunicación serie. A pesar de protocolos más modernos como USB, Ethernet y Wi-Fi, el RS-232 ha persistido por más de 50 años debido a su utilidad, simplicidad y flexibilidad en la implementación (Codrey Electronics, 2017c).

En el protocolo RS-232, las siglas RS significa "Estándar Recomendado". Este protocolo se encarga de regular la comunicación serial mediante señales DTE (Data Terminal Equipment) y DCE (Data Communication Equipment). Donde DTE se refiere a equipo terminal de datos y DCE a equipo de comunicación de datos. Un ejemplo de un dispositivo DTE sería una computadora mientras que un DCE sería un periférico de salida. En resumen, RS-232 especifica la interfaz entre equipos DTE y DCE a través del intercambio de datos binarios serie.

Figura 3
Modos de Transmisión en la Comunicación Serial

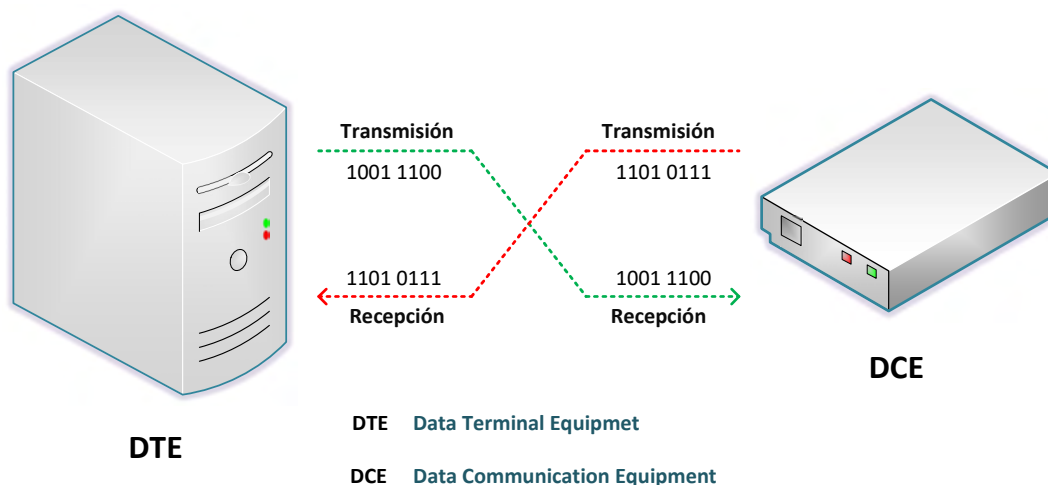


Nota. La figura muestra los tres modos de comunicación serial en redes de datos: simplex, half duplex y full duplex. Elaboración propia.

En la Figura 4, se muestra un escenario en el cual, el DTE (como una computadora) transmite la información de manera secuencial hacia el otro DCE (como un módem). Para este caso, el DTE envía una secuencia binaria "10011100" al DCE, y a su vez, el DCE transmite una secuencia binaria "10011100" al dispositivo DTE.

Figura 4

Interconexión RS-232 entre el Equipo Terminal de Datos (DTE) y el Equipo de Comunicación de Datos (DCE)



Nota. La Transmisión y Recepción toma como referencia el punto de vista del DTE. Elaboración propia.

El protocolo RS-232 establece los niveles de voltaje, estándares eléctricos, modo de operación y cantidad de bits que deben ser transferidos entre el DTE y el DCE.

Estas especificaciones eléctricas fueron actualizadas en 1969 y a la fecha estas involucran a los voltajes eléctricos, la velocidad de cambio de voltaje, la impedancia de la línea, el modo de operación y la velocidad de transmisión (Codrey Electronics, 2017c).

2.2.5.2.1 Estándares Eléctricos

Niveles de Voltaje: Los voltajes en las líneas del protocolo RS-232 fluctúan entre -25V y +25V. Estos voltajes son clasificados en voltajes de señal y voltajes de control (Tabla 1).

Los voltajes de señal entre +3V y +25V indican un valor lógico "0" mientras que los voltajes de señal entre -3V y -25V indican un valor lógico "1".

Por otro lado, las señales de voltaje de control utilizan una lógica positiva, es decir, un valor lógico "0" se indica con voltajes entre -3 y -25 voltios y un valor lógico "1" se indica con voltajes entre +3V y +25V. Los voltajes entre -3V y +3V se consideran un estado indeterminado (Codrey Electronics, 2017c).

Tabla 1

Niveles de Voltaje para las Líneas de Señal y Control en el Protocolo RS-232

Voltajes de Señal (V)	Estado Lógico	Voltaje de Control (V)	Estado Lógico
-3 a -25	OFF (1)	-3 a -25	OFF (0)
+3 a +25	ON (0)	+3 a +25	ON (1)

Nota: Obsérvese la diferencia entre los estados lógicos de las líneas de señal y las de control. Elaboración propia.

Velocidad de Cambio de Voltaje (Slew Rate): La velocidad de respuesta del controlador RS-232 está determinada por la velocidad de cambio del voltaje de entrada, a menudo llamada tasa de variación.

El estándar RS-232 establece una tasa mínima de variación con tiempos de subida y bajada lentos para reducir la interferencia entre señales vecinas. La tasa máxima permitida suele ser 30V/μsec.

Impedancia de la Línea: La impedancia de conexión entre el controlador RS-232 y el receptor se establece para maximizar la cantidad de voltaje transferido entre el transmisor y el receptor. El rango de impedancia es de 3 kΩ a 7 kΩ.

Modo de Operación: Los dispositivos RS-232 utilizan una técnica de señalización de una sola terminación (dos hilos). Esto significa que un cable se utiliza para transmitir un voltaje variable y el otro cable está conectado a tierra. Las señales de una sola terminación están sujetas a interferencia debido a las diferencias en los voltajes de tierra entre los circuitos del controlador y del receptor. La ventaja de esta técnica es que requiere menos cables para transmitir información.

Velocidad de Transmisión: La tasa de transmisión es la cantidad de bits binarios que se transfieren por segundo (Bit Rate / Baud Rate). RS-232 soporta tasas de transmisión desde 110 hasta 230400. Comúnmente se utilizan tasas de transmisión de 1200, 4800, 9600, 115200. Esto determina la velocidad a la que se envía la información desde el dispositivo transmisor al receptor. Es importante mencionar que tanto en el dispositivo transmisor como en el receptor la tasa de transmisión debe ser la misma.

2.2.5.2.2 Interfaz de Comunicación

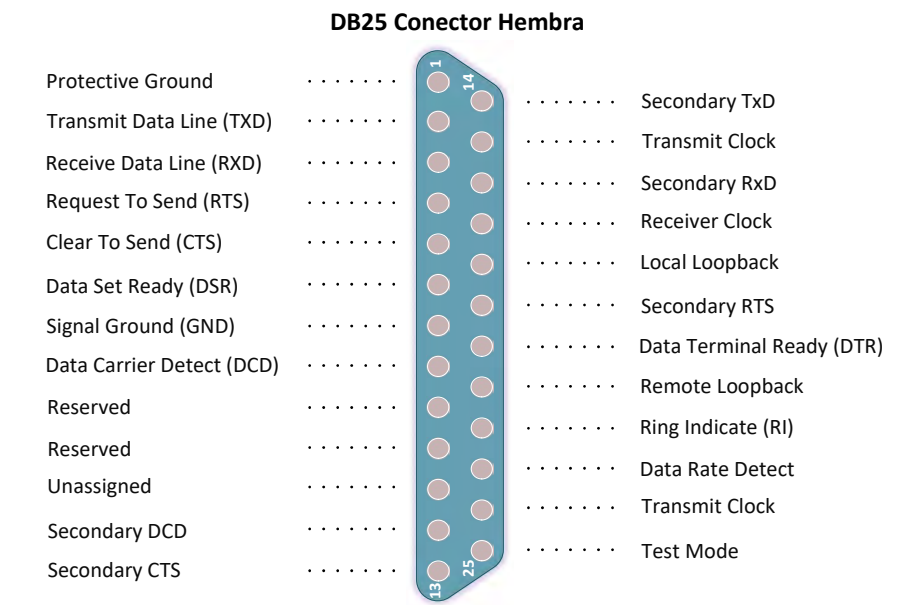
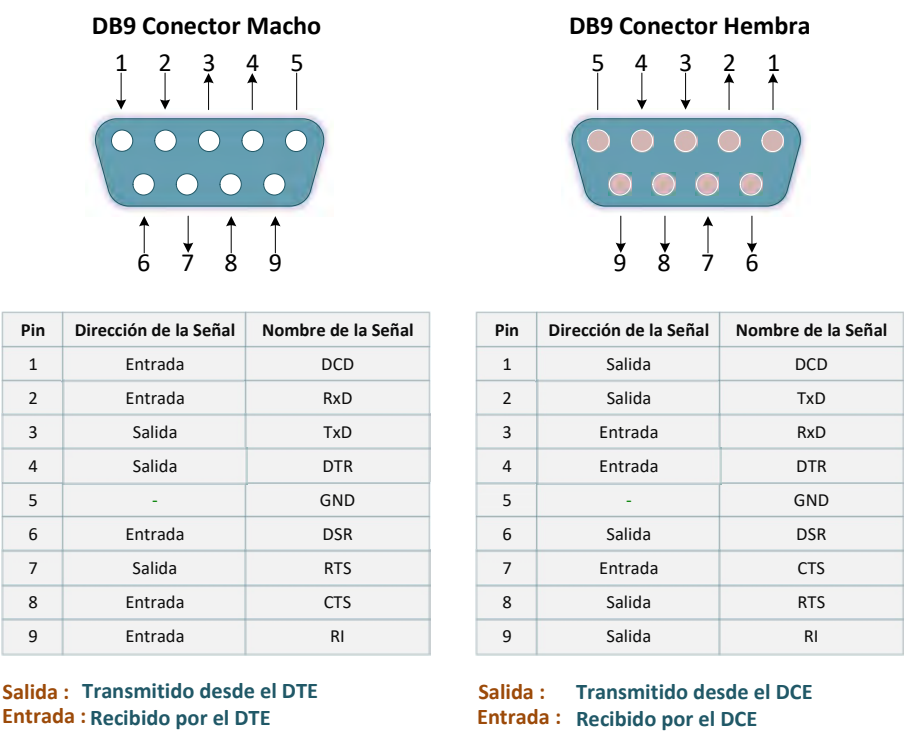
El protocolo RS-232 establece la comunicación entre el dispositivo DTE (Data Terminal Equipment) y el dispositivo DCE (Data Communication Equipment) mediante los conectores DB9 y DB25 (Figura 5). Estos conectores, también conocidos como conectores D-sub debido a su forma en "D" vienen en versiones macho y hembra, siendo un estándar en la industria para la transmisión de datos en serie; donde cada una de sus terminales cumple una función específica (Codrey Electronics, 2017c).

- DB9: Utilizado comúnmente en aplicaciones que no requieren una gran cantidad de conexiones, el conector DB9 es compacto y eficiente. Los terminales están dispuestos en dos filas de cinco y cuatro pines, respectivamente.
- DB25: Ofrece una mayor cantidad de terminales, lo que es útil en aplicaciones más complejas que requieren más líneas de señal. Los terminales en el conector DB25 están dispuestos en dos filas de 13 y 12 pines, respectivamente.

2.2.5.2.3 Descripción Funcional

Además de las características eléctricas, el estándar RS-232 define las funciones de las señales utilizadas en la interfaz serie. Algunas de ellas son la tierra común, señales de datos, control y sincronización; aparte de estas, RS-232 proporciona señales secundarias como DTE secundario, RTS secundario, DCD secundario, TxD secundario y RxD secundario para la conexión opcional de DTEs y DCEs (Codrey Electronics, 2017c). En la Tabla 2, se presenta una lista de las señales que componen el pinout de las interfaces RS-232.

Figura 5
Conectores D-sub DB9 y DB25 (vista frontal), Establecidos en el Estándar RS-232



Nota. La figura ilustra los pinout para los conectores DB9 y DB25 dentro del estándar RS-232.
Elaboración propia.

Tabla 2*Señales Estándar en Comunicación Serial RS-232: Descripción y Funciones*

Nombre de la Señal	Función
Protective Ground	Esta señal se conecta a la tierra del chasis del conector metálico.
Signal Ground	Nivel de referencia cero para todas las señales.
TxD	Para transmitir datos desde el DTE al DCE.
RxD	Para enviar datos desde el DCE al DTE.
DTR (Data Terminal Ready)	El DTE está listo para aceptar solicitudes.
DCD (Data Carrier Detect)	El DCE acepta una señal portadora de un DTE ubicado en una ubicación remota.
DSR (Data Set Ready)	El DCE está preparado para enviar y recibir información.
RI (Ring Indicator)	Detecta el tono de llamada entrante en la línea telefónica.
RTS (Request To Send)	El DTE solicita al DCE para que envíe los datos.
RTR (Ready To Receive)	El DTE está preparado para recibir los datos que vienen del DCE.
CTS (Clear To Send)	El DCE se encuentra en un estado de listo para aceptar los datos que vienen del DTE.

Nota: Esta tabla resume las principales señales utilizadas en la comunicación serial RS-232, entre el Equipo de Terminal de Datos (DTE) y el Equipo de Comunicación de Datos (DCE). Elaboración propia.

Nombre de la Señal	Función
Protective Ground	Esta señal se conecta a la tierra del chasis del conector metálico.
Signal Ground	Nivel de referencia cero para todas las señales.
TxD	Para transmitir datos desde el DTE al DCE.
RxD	Para enviar datos desde el DCE al DTE.
DTR (Data Terminal Ready)	El DTE está listo para aceptar solicitudes.
DCD (Data Carrier Detect)	El DCE acepta una señal portadora de un DTE ubicado en una ubicación remota.
DSR (Data Set Ready)	El DCE está preparado para enviar y recibir información.
RI (Ring Indicator)	Detecta el tono de llamada entrante en la línea telefónica.
RTS (Request To Send)	El DTE solicita al DCE para que envíe los datos.
RTR (Ready To Receive)	El DTE está preparado para recibir los datos que vienen del DCE.
CTS (Clear To Send)	El DCE se encuentra en un estado de listo para aceptar los datos que vienen del DTE.

2.2.5.2.4 Tipos de Cables Serie

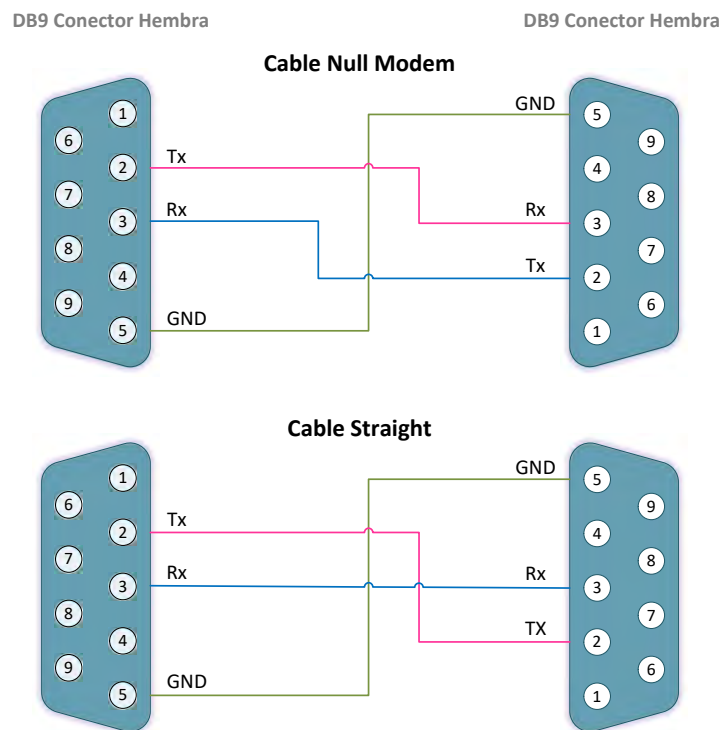
Para establecer una comunicación serial entre el DTE y DCE, existen dos tipos de cables RS-232 (Figura 6). Estos son el cable *Modem Nulo* (Null modem) y el *Cable Directo* (Straight) (Codrey Electronics, 2017c). En el cable null modem, la conexión del pin Tx (transmisor) del conector macho se une con el pin Rx (receptor) del conector hembra, mientras que la conexión del pin Rx del conector macho se une con el pin Tx del conector hembra.

En el cable Straight, se conecta uno a uno el pin de transmisión de un dispositivo con el pin de transmisión del otro dispositivo, de la misma manera el pin de recepción de un dispositivo se conecta al pin de recepción del otro dispositivo.

Además de las conexiones, la longitud del cable está determinada por la capacitancia del mismo, según las especificaciones, la longitud máxima del cable es de 24 metros.

Figura 6

Esquemas de Cableado para Conexiones de Modem Nulo y Cable Directo con Conectores DB9 Hembra (vista del lado de la soldadura)



Nota. Los cables están codificados por colores para diferenciar las líneas de transmisión (Tx), recepción (Rx) y tierra (GND). Elaboración propia.

2.2.5.2.5 Funcionamiento del Estándar RS-232

En el ámbito de la comunicación serial, los conceptos de sincronía y asincronía juegan un rol importante respecto de cómo los dispositivos intercambian información.

La comunicación síncrona se caracteriza por incorporar una línea de reloj en la interfaz, usualmente gestionada por uno de los dispositivos. Esta característica permite que todos los bits transmitidos se ajusten a este reloj, garantizando una coordinación precisa en el envío y recepción de señales. Ejemplos de protocolos síncronos vienen a ser I2C, SPI y Microwire (Axelson, 2007).

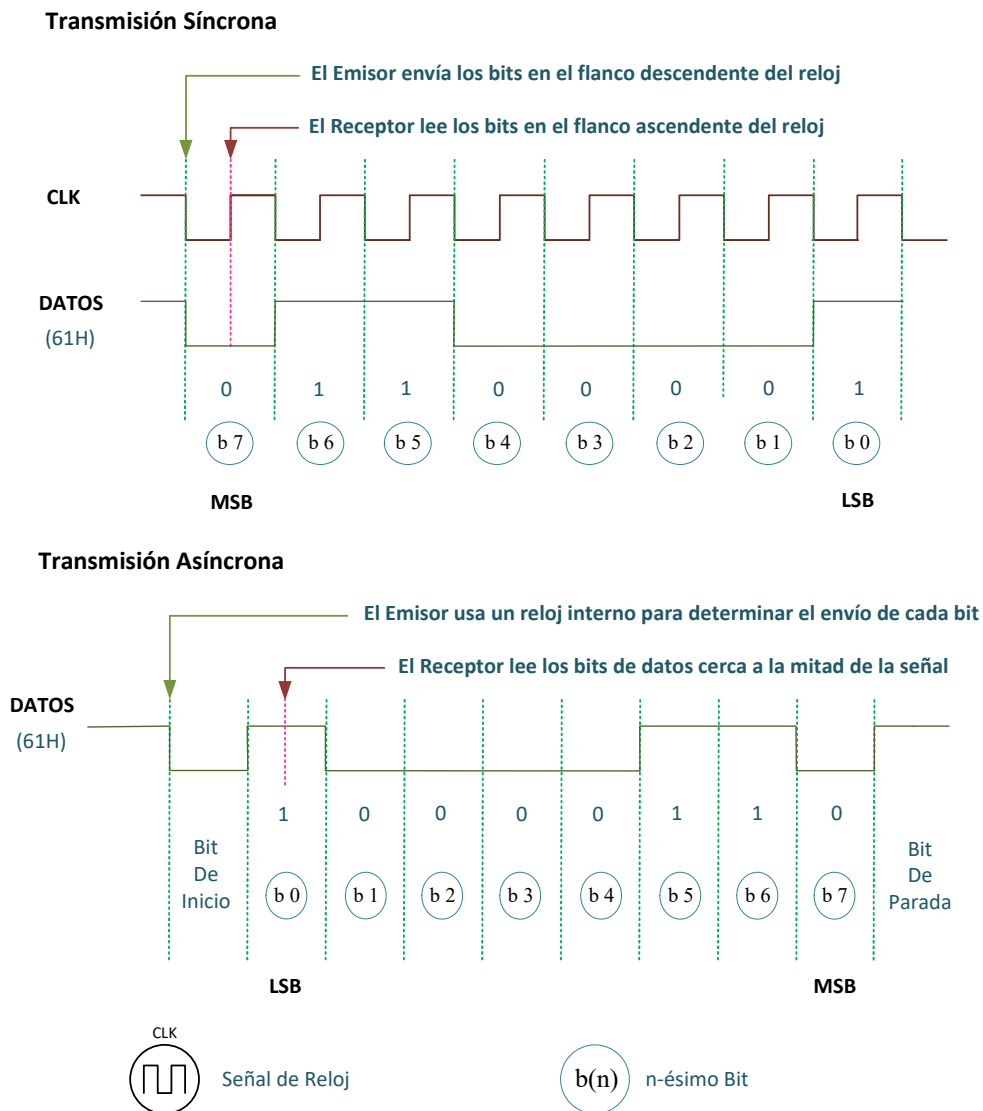
Por otro lado, la comunicación asíncrona prescinde de este reloj común. En lugar de ello, cada ordenador emplea su propio reloj como referencia temporal. Es esencial que ambos sistemas concuerden en una frecuencia de reloj y que las frecuencias en uso sean similares con una mínima desviación permitida. Un bit de inicio enviado asegura la sincronización entre los relojes del emisor y del receptor al comenzar la transmisión.

En la Figura 7 se ilustran dos diagramas de temporización que contrastan ambos modos de transmisión serial. En la parte superior, la transmisión síncrona muestra una línea de reloj y una línea de datos, donde el transmisor envía bits en el flanco descendente del reloj, mientras que el receptor lee los bits en el flanco ascendente del reloj, ilustrando cómo el intercambio de datos se alinea estrictamente con los ciclos de reloj. Se observa que el bit más significativo (MSB) se transmite primero. En la parte inferior, la transmisión asíncrona no depende de una línea de reloj compartida; en cambio, el transmisor utiliza un reloj interno para determinar cuándo enviar cada bit. El receptor detecta el flanco descendente del bit de inicio y luego usa su propio reloj interno para leer los bits de datos subsiguientes cerca del centro de cada bit, terminando con un bit de parada. Esta representación muestra que, en los protocolos asíncronos, el bit menos significativo (LSB) se envía primero.

Dentro del protocolo RS-232, se emplean unidades llamadas *palabras* (Word) para la transmisión de datos. Cada palabra, incluye un *bit de inicio*, *bits de datos*, un *bit de paridad* opcional y uno o más *bits de parada* (Axelson, 2007, p. 12).

Un formato de palabra comúnmente utilizado es el conocido como 8-N-1. En este formato, el transmisor envía cada palabra con un bit de inicio, seguido de ocho bits de datos y un bit de parada. La "N" en la notación 8-N-1 señala que las palabras no incluyen un bit de paridad.

En contraste, los formatos que hacen uso del bit de paridad pueden ser categorizados como par (Even), impar (Odd), marca o espacio. Como ejemplo de un formato que emplea paridad, podemos mencionar el 7-E-1. En este caso, el transmisor envía una secuencia que consta de un bit de inicio, seguido por siete bits de datos, un bit de paridad par y finalmente un bit de parada.

Figura 7*Comparación de los Protocolos de Transmisión Síncrona y Asíncrona*

Nota. Arriba, la transmisión síncrona con emisor y receptor alineados por un reloj compartido; abajo, la transmisión asíncrona utiliza bits de inicio y parada para marcar cada byte enviado sin reloj común. Elaboración propia.

El bit de paridad, ya sea par o impar, se utiliza como un método elemental de detección de errores en la comunicación. En el caso de paridad par, se asegura que el número total de unos, en una palabra, incluyendo el bit de paridad, sea par. Por otro lado, en la paridad impar, se busca que el número total de unos sea impar. Esta distinción facilita la identificación de posibles errores en la transmisión de datos de manera fundamental y precisa.

Generalmente se admiten datos de 7 y 8 bits. Sin embargo, algunos casos admiten desde 5 hasta 8 bits de datos. Los bits de datos en una palabra transmitida a veces se denominan carácter y pueden representar un carácter de texto.

Es importante destacar que los bits de datos se transmiten comenzando con el bit 0, que es el bit menos significativo (LSB) y finalizando en el bit más significativo (MSB) (Axelson, 2007, p. 12).

Toda esta estructura asegura la integridad de la información transmitida a través del protocolo RS-232.

En las transmisiones seriales, los bits de datos pueden transportar diversos tipos de contenido, tales como comandos, lecturas de sensores, información de estado, códigos de error o datos de configuración, así como archivos con texto, código ejecutable u otro tipo de información.

Todos estos datos, al final, se reducen a bytes o a unidades de medida de datos de longitud variable. El software encargado de la gestión de las comunicaciones a través del puerto serial suele procesar los datos transmitidos como binarios o como texto.

Un hecho importante a considerar en las conexiones asíncronas es la ordenación de los bits durante la transmisión y observación. En este tipo de conexiones, el bit menos significativo (LSB) es el primero en llegar. Cuando estos bits son observados a través de un osciloscopio o un analizador lógico, el orden de los bits debe ser invertido para obtener la notación convencional con el bit más significativo (MSB) primero. Esta inversión de bits no sólo es un detalle técnico, sino una práctica esencial para cualquier profesional que trabaje con comunicaciones seriales asíncronas. Ignorar este aspecto puede llevar a errores de interpretación y diagnósticos incorrectos en sistemas de comunicación (Axelson, 2007, p. 18).

2.2.5.2.6 Control de Flujo

El control de flujo o *handshaking* es el proceso mediante el cual una computadora emisora puede indicar cuándo tiene datos para enviar, y una computadora receptora puede señalar cuándo está lista para recibir datos. En el caso de RS-232 existen dos tipos de control de flujo, el *handshaking* por hardware y el *handshaking* por software (Codrey Electronics, 2017c).

La Figura 8 ilustra con detalle la implementación de un sistema de control de flujo mediante el uso de conectores DB9 y DB25.

Para utilizar la técnica de *handshaking*, los pines RTS y CTS se acoplan entre sí. Así mismo, los pines DTR y DSR también se conectan en modo cruzado.

Del mismo modo para enviar y recibir información sin pérdida de datos, y mantener una comunicación robusta entre el transmisor y el receptor, se utiliza un buffer.

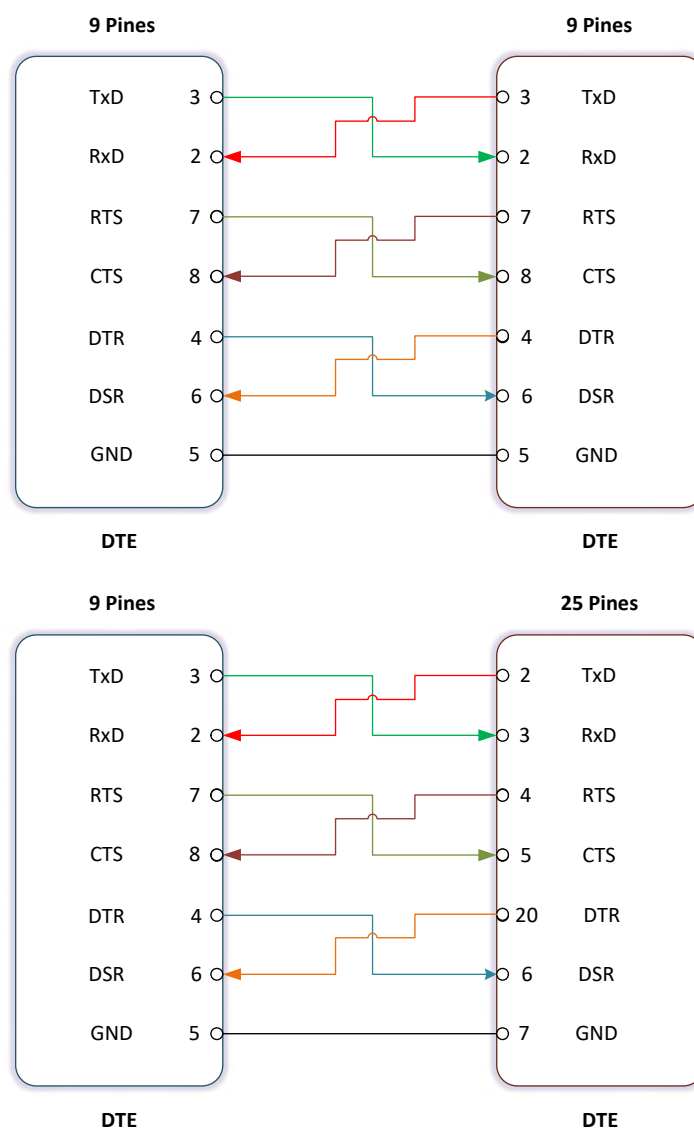
Un buffer es una ubicación de almacenamiento temporal que permite al transmisor y al receptor almacenar los datos hasta que la información sea procesada por ambos a diferentes velocidades.

En la Figura 9, el dispositivo transmisor y receptor tienen su propio buffer, el buffer de transmisión almacena los caracteres a ser enviados al receptor, mientras que el buffer de recepción almacena los caracteres recibidos del transmisor. Si el dispositivo transmisor envía los datos a una velocidad elevada, el receptor puede no ser capaz de recibirlos, en nuestro ejemplo, el carácter "C" es perdido por el receptor. Para evitar esto, se utiliza el *handshaking*, este último permitirá al dispositivo transmisor y receptor acordar antes de empezar una comunicación (Codrey Electronics, 2017c).

En el caso del *handshaking* por hardware, las especificaciones RS-232 asignan nombres a las señales de control de flujo. En una PC, la señal de entrada se denomina "Listo para Enviar" (CTS por sus siglas en inglés) y la señal de salida se llama "Solicitud de Envío" (RTS). Un cable que conecta dos PCs debe conectar cada salida RTS con la entrada CTS del otro ordenador. Un voltaje RS-232 positivo significa listo para recibir y un voltaje negativo significa no listo (Axelson, 2007, p. 26).

Figura 8

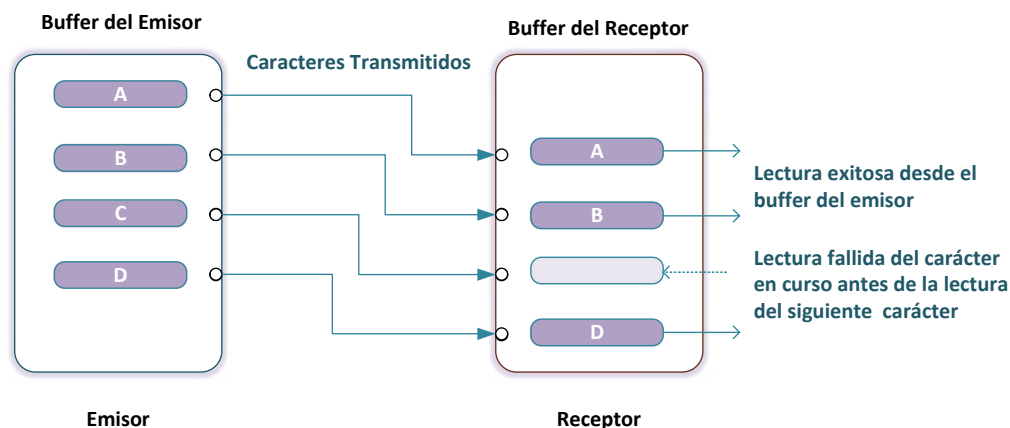
Diagramas de Cableado para Configuraciones de Handshaking RS-232



Nota. Cableado RS-232 para handshaking utilizando configuraciones de 9 pines a 9 pines y de 9 pines a 25 pines. Elaboración propia.

Figura 9

Proceso de Transmisión de Datos Entre el Buffer del Emisor y el Buffer del Receptor



Nota. Esta figura ilustra la secuencia de eventos en la transmisión de datos desde el buffer del emisor hasta el buffer del receptor, incluyendo las lecturas exitosas y fallidas de caracteres. Elaboración propia.

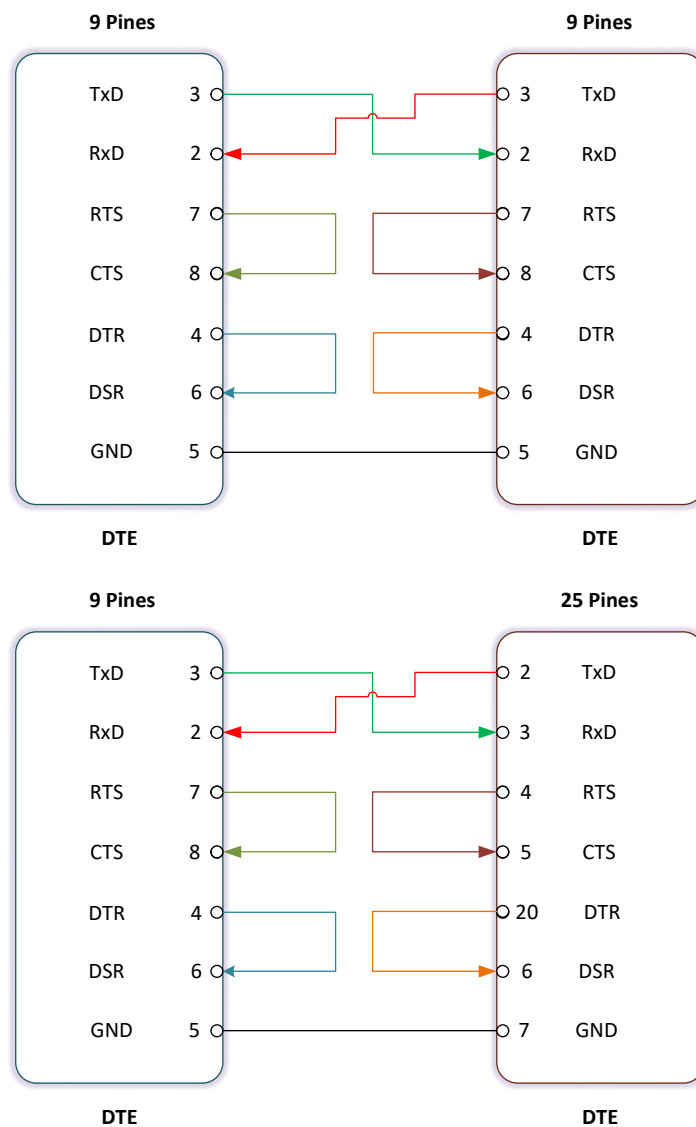
Otras dos señales de control de flujo RS-232 son "Listo para el Terminal de Datos" (DTR) y "Listo para el Conjunto de Datos" (DSR). Estas líneas se definieron como un medio para proporcionar información sobre el estado de una línea telefónica u otro canal de comunicación en un módem que se conecta mediante RS-232 a una computadora o terminal. En las PC, DTR es una salida y DSR es una entrada.

En el caso del handshaking por software, una computadora receptora envía un código Xon para indicar que está lista para recibir y envía un código Xoff para indicarle al transmisor que deje de enviar. Este método solo funciona al enviar datos como texto en inglés plano u otra codificación que no utilice los códigos Xon y Xoff en otros datos. El punto de código Xon es típicamente 11h (Control+Q), y Xoff es 13h (Control+S). Algunos controladores de software permiten seleccionar diferentes códigos (Axelson, 2007, p. 27).

Cuando no se va efectuar un handshaking, solo los pines TxD (Transmisor) y RxD están acoplados entre sí. Los demás pines, RTS, CTS, DSR y DTR están conectados en forma de bucle o loopback (Figura 10).

Figura 10

Diagramas de Cableado para Configuraciones Sin Handshaking RS-232



Nota. Cableado RS-232 sin handshaking utilizando configuraciones de 9 pines a 9 pines y de 9 pines a 25 pines. Elaboración propia.

2.2.5.3 Protocolo UART

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) es un protocolo de comunicación serie asíncrono. Se utiliza con frecuencia en sistemas embebidos, microcontroladores y periféricos de computadora para la comunicación serial dúplex completa (Codrey Electronics, 2017a).

Su función es la de convertir los datos de entrada y salida en una secuencia binaria serial. Los datos en serie recibidos del dispositivo periférico se convierten a forma paralela mediante la conversión de serial a paralelo, y los datos paralelos recibidos del CPU se convierten usando la conversión de paralelo a serial.

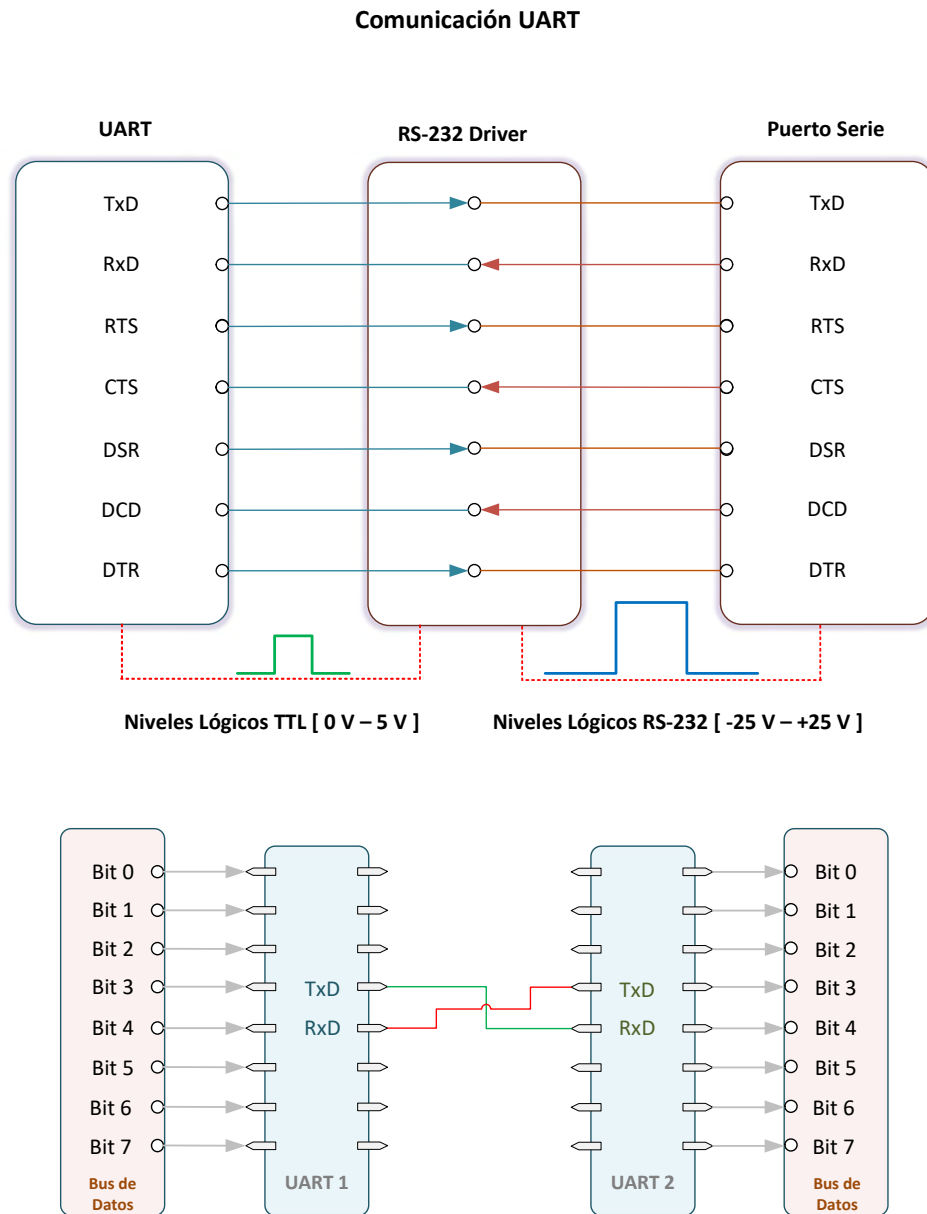
Los UART se suelen utilizar en situaciones donde la rapidez en la transmisión de datos no es crítica. Este dispositivo de comunicación, considerado como una opción de bajo costo, opera con un único par de transmisión y recepción, necesitando únicamente dos cables: uno para el envío y otro para la recepción de datos. Para la conexión con una computadora, se puede utilizar un conversor de RS-232 a TTL o de USB a TTL.

La principal diferencia entre los protocolos RS-232 y UART radica en los niveles de voltaje, pudiendo ser estos TTL o CMOS . Aparte de esto, ambos soportan comunicación dúplex completa y dúplex medio.

En muchas aplicaciones los dispositivos no están diseñados para manejar directamente los elevados voltajes asociados con el estándar RS-232 y pueden sufrir daños si se exponen a ellos. Por ello, para la transmisión y recepción serial de datos, se emplea un UART. Para adecuar los niveles de voltaje entre el UART y el puerto serie RS-232, normalmente se hace uso de un chip controlador RS-232, como es el caso del MAX-232 (Figura 11). Para este proyecto en particular, optaremos por utilizar convertidores que se basan en los chips FTDI y Prolific.

Como un hecho a mencionar, antes de que el USB se generalizara, los puertos seriales RS-232 eran el estándar en las PCs y otros dispositivos. Cada uno de estos puertos incluían un UART que se conectaba con el CPU del sistema. En la actualidad cualquier PC que tenga una ranura de expansión disponible puede agregar este tipo de puerto mediante una tarjeta, o como se indicó anteriormente, utilizando un conversor USB-Serie.

Figura 11
Esquema de Interconexión y Comunicación UART



Nota. Esta figura muestra la interconexión entre un UART, un controlador RS-232 y un puerto serie, proporcionando un ejemplo detallado de la conversión de señales y los niveles lógicos TTL a niveles lógicos RS-232. Además, se ilustra la transmisión y recepción de datos en un esquema de comunicación serial entre dos UARTs. Esencial en el diseño y la depuración de sistemas de comunicaciones electrónicas. Elaboración propia.

2.2.6 Programación Orientada a Objetos (POO)

2.2.6.1 Definición

La Programación Orientada a Objetos (POO) es un paradigma de programación que utiliza objetos y clases para organizar el código. Se enfoca en agrupar datos y funciones relacionadas en una entidad llamada objeto, que puede representar una entidad del mundo real (“Programación orientada a objetos”, 2024).

2.2.6.2 Características

- Encapsulamiento: Agrupa datos y métodos relacionados en un objeto, ocultando detalles internos.
- Herencia: Permite que una clase herede atributos y métodos de otra clase.
- Polimorfismo: Permite que un objeto tome diferentes formas, facilitando la reutilización de código.
- Abstracción: Enfoca en las características esenciales de un objeto, ignorando detalles innecesarios.

2.2.6.3 Aplicaciones

- Desarrollo de Software: Creación de aplicaciones de escritorio, web y móviles.
- Simulación y Modelado: Representación de entidades y procesos del mundo real.
- Sistemas de Gestión: Como sistemas de información empresarial y bases de datos orientadas a objetos.
- Videojuegos: Desarrollo de juegos complejos con múltiples entidades interactivas.
- Inteligencia Artificial: Librerías de aprendizaje automático como TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn.
- Robótica: Programación de robots y sistemas autónomos.

2.2.6.4 Ventajas

- Reutilización de Código: Facilita la reutilización a través de la herencia y el polimorfismo.
- Mantenibilidad: La encapsulación y abstracción hacen que el código sea más fácil de mantener y modificar.
- Escalabilidad: Facilita la expansión y adaptación del software a nuevas necesidades.
- Intuitividad: Representa conceptos del mundo real, facilitando la comprensión y el diseño.

Capítulo 3

Metodología

3.1 Introducción

La metodología empleada en la presente investigación se centra en un planteamiento sistemático y estructurado, guiado por la ingeniería inversa, con la finalidad de comprender, analizar, recuperar y mejorar el sistema de diagnóstico en medicina funcional VEGA DFM 722.

3.2 Diseño de la Investigación

Dado el propósito y alcance de la investigación se optó por definir los niveles de ésta como exploratorio, descriptivo, explicativo y aplicado, con un enfoque metodológico mixto que combina aspectos cualitativos y cuantitativos, que permitan abordar los diferentes objetivos propuestos.

3.2.1 Estudio Exploratorio

- Naturaleza del Problema: La ingeniería inversa aplicada a este sistema de diagnóstico representa un proceso complejo y multidisciplinario, que requiere el análisis de diversas áreas que han recibido escasa atención investigativa en nuestro entorno.

La falta de reemplazo en el mercado para el periférico de salida y la necesidad de comprender en profundidad el sistema de diagnóstico sugieren abordar el problema de manera exploratoria antes de desarrollar soluciones.

- **Flexibilidad:** La investigación exploratoria permite la adaptabilidad a lo largo del estudio. En este caso, la naturaleza compleja del sistema puede revelar aspectos imprevistos que requieran un control flexible de los mismos.

3.2.2 Estudio Descriptivo

Este estudio proporciona una descripción detallada del sistema VEGA DFM 722, centrándose en su estructura, componentes principales (CPU, periférico de salida, electrodos), y el protocolo de comunicación entre ellos. Además, se evalúa el estado de obsolescencia del sistema, lo que permite identificar las limitaciones operativas actuales y las áreas que requieren intervención mediante ingeniería inversa.

3.2.3 Estudio Explicativo

El estudio explica cómo el periférico de salida obsoleto afecta el desempeño general del sistema, y cómo la modificación de los protocolos de comunicación y la implementación de un software de gestión moderno pueden mejorar la interacción entre los componentes, optimizando el funcionamiento del sistema en términos de funcionalidad y durabilidad.

3.2.4 Estudio Aplicado

- **Solución a un Problema Real:** La investigación no sólo busca comprender el sistema sino también desarrollar soluciones aplicables a un problema existente como es: la obsolescencia y falta de reemplazo del periférico de salida en nuestro sistema.
- **Transferencia de Conocimiento a la Práctica:** La creación de un software de control y la implementación de un nuevo sistema de interfaz y control, demuestra una aplicación directa de la investigación a una situación práctica.

3.2.5 Enfoque Mixto

3.2.5.1 Enfoque Cuantitativo

Esta perspectiva se aplicó en el análisis del protocolo de comunicación, verificación de datos técnicos, mediciones y comparaciones. Esto incluye, la recopilación y análisis de datos numéricos, como voltajes, frecuencias y tiempos de medición. Así mismo se utilizaron técnicas estadísticas para el desarrollo del apéndice A.

3.2.5.2 Enfoque Cualitativo

A través de esta perspectiva, se llevó a cabo el análisis descriptivo del funcionamiento y los componentes del sistema, se evaluó la calidad de las mejoras realizadas, el análisis contextual del sistema y la interpretación de los datos; prestando especial atención a la experiencia del usuario y la usabilidad del sistema modificado, de modo que las mejoras cumplan con las necesidades operativas y expectativas de los profesionales del campo.

3.2.5.3 Integración de Métodos

Un enfoque mixto permite una comprensión más rica y completa del objeto de estudio. Los métodos cualitativos ofrecen una perspectiva contextual y comprensiva, mientras que los cuantitativos proporcionan precisiones y validaciones empíricas. En este caso, la combinación de ambos puede ofrecer una visión holística del sistema de diagnóstico en medicina funcional, sus problemas, y las soluciones potenciales.

3.3 Población, Muestra y Variables

La inclusión de los términos "población," "muestra," y "variables" en este capítulo depende en gran medida de la naturaleza y el propósito del estudio. En el contexto de la aplicación de ingeniería inversa en un sistema de diagnóstico embebido, estos términos pueden no ser convencionales o esenciales. El estudio no implica un análisis estadístico o comparativo de varios sistemas o componentes (donde estos términos serían más relevantes), hecho por el

cual se opta en redactar el capítulo de Metodología sin forzar la inclusión de estos conceptos. En su lugar, el enfoque estará dirigido hacia detalles más técnicos y específicos del proceso de ingeniería inversa, como la evaluación del sistema, el análisis de componentes, la simulación, la fabricación de circuitos, etc.

3.4 Instrumentos y Equipos

3.4.1 Equipos de Medición, Análisis y Procesamiento

- Osciloscopio
- Multímetro
- Interfaz USB/Serie
- Interfaces RS-232/UART/USB
- Sniffers - Cables Tapping
- Ordenador/Computadora

3.4.2 Instrumentos Complementarios

- Estereoscopio
- Estación de soldadura
- Dremel
- Cámara fotográfica
- Protoboard
- Kit Arduino
- Componentes electrónicos

3.4.3 Software

- IDE: Visual Studio 2022 y VS Code
- SPICE: Proteus y Tinkercad.
- CAD: SolidWorks y Sketchup.
- Animación, Edición y 3D: Photoshop, After Effects, Vegas Pro y Daz 3D.
- Paquete Estadístico: SPSS y Librerías de Python

Para una comprensión detallada y visual de los instrumentos y equipos utilizados en esta investigación, se invita al lector a consultar el Apéndice B. En esta sección se incluyen figuras ilustrativas y descriptivas de cada herramienta empleada, desde los dispositivos de medición y análisis hasta los instrumentos complementarios y el software empleado.

3.5 Fases de la Metodología

Cada fase de la metodología descrita en esta sección, puede ser visualizada en el Apéndice C, donde se incluye una selección cuidadosa de imágenes que facilitan y complementan su comprensión. Estas imágenes sirven no sólo como evidencia empírica, sino también como herramientas didácticas que facilitan la apreciación de la complejidad técnica y la innovación metodológica inherente a esta investigación.

3.5.1 Análisis del Sistema Actual

3.5.1.1 Determinación del Principio de Funcionamiento

El análisis dio inicio con la recopilación de la documentación existente, relacionada al sistema VEGA DFM 722. Se incluyeron manuales de usuario, guías de uso rápido y cualquier otra fuente de información relevante, además de documentación pertinente a dispositivos embebidos y plotters. El objetivo de este análisis fue establecer una base de conocimiento acerca del sistema, su diseño y composición.

3.5.1.2 Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722

Esta fase comenzó con la descripción de la composición del sistema en general, enfocándose posteriormente en la unidad de control del sistema (CPU). Esto implicó la búsqueda de documentación relacionada a las especificaciones técnicas del CPU, seguido de un análisis visual del mismo y su proceso de encendido.

Por último, se llevó a cabo el desmontaje de la unidad de control del sistema, teniendo especial cuidado en documentar esta etapa. Este proceso involucró la captura de imágenes detalladas, la observación visual del comportamiento del sistema mientras permanecía operativo y la utilización de sondas de prueba sobre componentes clave en los circuitos del sistema; con la finalidad de verificar la integridad de los componentes internos de la unidad de control y sobre todo analizar la viabilidad de un proceso de ingeniería inversa completo a la unidad de control, en caso de que la ingeniería inversa sobre el sistema de comunicación no diera un resultado positivo a nuestro propósito.

3.5.1.3 Observación Directa y Análisis del Proceso de Medición

Se llevaron a cabo sesiones de observación visual del sistema durante los procesos de medición.

Se procedió también a la observación y medición con osciloscopio, de las señales emitidas por la unidad de control a través de los electrodos, para tal efecto se colocaron las sondas de prueba del osciloscopio en los siete tramos de medición.

En estas sesiones, se prestaron especial atención a los indicadores visuales del circuito emulador de sujeto de prueba y a los sonidos emitidos por los relés dentro de la unidad de control.

Esta observación permitió comprender la dinámica de funcionamiento del sistema en un entorno real y el correcto funcionamiento del mismo, para lo cual se contrastaron estas observaciones con la referencia documental existente sobre su funcionamiento.

3.5.2 Emulación, Modelado y Simulación

3.5.2.1 Circuito Emulador de Sujeto de Prueba

Se diseñó un circuito electrónico con el software Proteus, que emula la presencia de un ser humano conectado a los electrodos, para lo cual se tomó en consideración los fundamentos bio eléctricos del método VEGA y se consultó la bibliografía relacionada a la interacción de un electrodo y el tejido humano. Posteriormente se armó el circuito en un protoboard, lo que permitió llevar a cabo las pruebas de medición con el sistema VEGA DFM 722, prescindiendo así de un sujeto real conectado a los electrodos.

Este circuito se utilizó desde la etapa de observación y análisis del proceso de medición, una vez que se determinó la necesidad de su fabricación.

3.5.2.2 Modelado 3D y Simulación

Utilizando el software SolidWorks, se creó una réplica tridimensional del sistema, con la finalidad de simplificar la comprensión geométrica y detalles específicos, posibilitar un desmontaje virtual, y análisis de la interacción entre sus componentes internos.

A través de software de animación y CAD, se simuló la puesta en marcha del sistema con fines didácticos y de presentación, de forma que permitan visualizar y entender mejor, su manejo y funcionamiento.

3.5.3 Estudio del Sistema de Comunicaciones

3.5.3.1 Análisis del Protocolo de Comunicación

Para este propósito se puso en marcha el sistema y se intervinieron las líneas de transmisión del cable de comunicación entre la unidad de control y el plotter haciendo uso de un osciloscopio, lo que permitió la visualización y el estudio físico de la señal transmitida, la identificación correcta del protocolo de comunicación y los respectivos parámetros de operación.

3.5.3.2 Captura de Información

Para este propósito se implementó un escenario de *Hombre en el Medio* (MitM), el cual permite interceptar y manipular los datos transmitidos entre ambos componentes. Por tanto se intervinieron las líneas de transmisión del cable de comunicación entre la unidad de control y el plotter haciendo uso de sniffers, lo que permitió analizar desde un ordenador los paquetes de información intercambiada por ambos componentes.

3.5.3.3 Determinación del Lenguaje de Comunicación

Se procedió a analizar la información capturada y realizar una búsqueda cruzada de la sintaxis encontrada, utilizando un buscador de internet, lo que permitió determinar el lenguaje utilizado sobre el protocolo de comunicación, para la representación de los resultados en el plotter.

3.5.3.4 Especificaciones para la Nueva Interfaz de Comunicación

Se exploraron las distintas alternativas de interfaces entre la unidad de control y un ordenador, para poder empezar con el desarrollo del software de control.

3.5.4 Desarrollo de Software

3.5.4.1 Software de Control

Se implementó un software que controla el flujo de datos del sistema CPU-Ordenador. Este software es capaz de interpretar los datos, mostrar resultados en tiempo real, registrar la información en una base de datos y ofrecer opciones de impresión, se desarrolló tomando en consideración el paradigma de programación orientada a objetos y se utilizó el lenguaje de programación C#.

Dado los resultados de la implementación inicial del software, se consideró viable y acertado incorporar rutinas adicionales para mejorar la presentación de los resultados originales enviados por la unidad de control, para ello se utilizaron técnicas de búsqueda sobre el flujo de información e inyección de datos.

Por último, el diseño del software presentó una ventaja inesperada que optimizó el proceso de medición, al reducir en aproximadamente 4 minutos el tiempo necesario para completar las mediciones.

3.5.5 Pruebas y Validación

Para la fase de pruebas se realizaron múltiples mediciones en un total de siete sujetos reales utilizando el sistema modificado. Además, se efectuó una comparación directa con el rendimiento del sistema original, a fin de evaluar las mejoras introducidas y verificar la fidelidad en la reproducción de los resultados.

Para el proceso de validación, se evaluó el nuevo sistema en un entorno clínico real durante un periodo de tiempo prolongado de aproximadamente un año. Posteriormente se recabaron los datos de medición de aproximadamente sesenta pacientes para su análisis y un informe de satisfacción por parte del usuario final.

3.6 Consideraciones Éticas y de Seguridad

Se mantuvo una estricta adhesión a las normas éticas y legales, especialmente en el manejo de datos sensibles. Así mismo se tuvo especial cuidado en asegurar la integridad física de los participantes durante la realización de pruebas en seres humanos.

Durante la fase de prueba los participantes fueron informados sobre el estudio y se obtuvo su consentimiento para formar parte del proceso.

Para los fines de redacción del informe de la tesis, se tuvo especial cuidado en aplicar técnicas de ofuscamiento que impidieran la identificación directa de los pacientes al presentar imágenes o datos relacionados con su identidad. La única excepción corresponde al autor de la tesis.

Capítulo 4

Resultados y Discusión

4.1 Introducción

A lo largo de este capítulo, se desglosan los resultados obtenidos en cada etapa de la metodología, procurando una exposición que brinde una comprensión completa y detallada de los avances logrados en la investigación, y cómo estos resultados responden a los objetivos planteados.

Se optó por presentar la discusión a cada fase de la metodología de manera individual e inmediata para una lectura más cómoda y evitar el riesgo de omitir detalles importantes.

4.2 Análisis del Sistema Actual

El sistema VEGA DFM 722 representa para esta investigación el escenario ideal para abordar los problemas de obsolescencia y obsolescencia programada y así mismo poner a prueba nuestra premisa sobre los alcances de la ingeniería inversa como una alternativa de solución.

Corresponde mencionar que en esta exposición no se abordaron temas relacionados a la efectividad en el diagnóstico, ni se cuestionaron los alcances o limitaciones del método VEGA y se centró la atención en los aspectos relevantes al desarrollo de nuestra investigación.

4.2.1 Principio de Funcionamiento

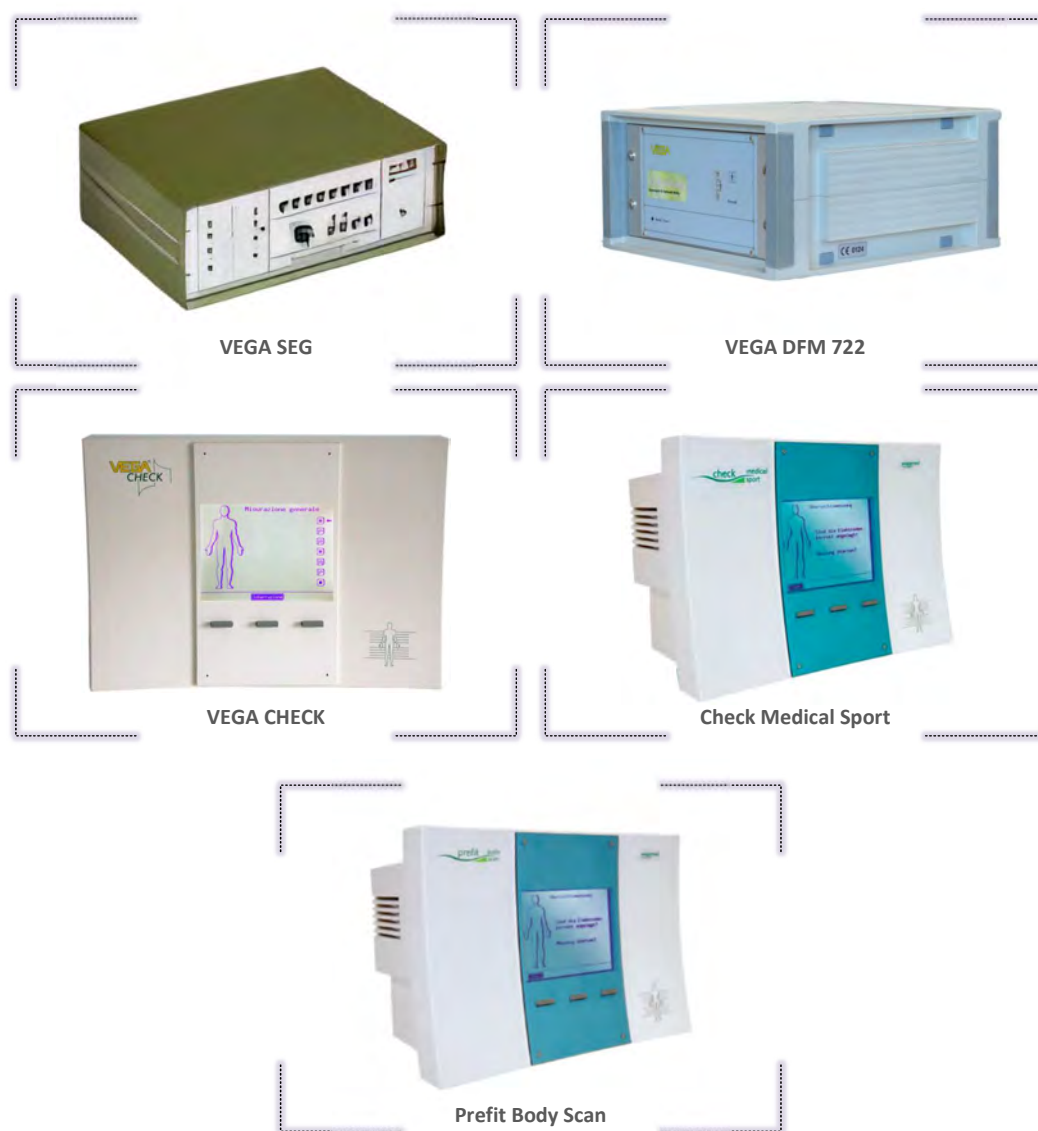
A pesar de la abundante información encontrada sobre el manejo del dispositivo, los detalles relacionados con los principios de funcionamiento fueron limitados y hasta cierto punto reservados. No obstante, esta información resultó suficiente para inferir una idea integral de su funcionamiento.

El sistema VEGA DFM 722 forma parte de una línea de dispositivos en medicina funcional, fabricados por VEGA Medizin. Esta línea incluye al electrógrafo de segmentos VEGA-SEG, que estuvo en producción hacia el año 1979, seguido por el VEGA DFM 722, objeto de nuestro estudio, que estuvo en el mercado entre 1991 y 2000; la línea, continúa con el VEGA CHECK, que se empezó a comercializar desde el año 2000 y que hasta la fecha cuenta con dos variantes: Check Medical Sport y Prefit Bodyscan bajo la dirección de la actual empresa WEGAMED (Figura 12).

Estos dispositivos basan su funcionamiento en gran medida en los estudios del investigador alemán Peter Georg Rademacher, realizados entre las décadas de los 70 y 90 sobre trastornos funcionales. Rademacher es el creador del método VEGA y fundamentó sus investigaciones en los trabajos del médico y profesor vienés Alfred Pischinger hacia la década de los 50 sobre el sistema de regulación básica.

Este cuerpo de conocimiento sostiene la existencia de una matriz de tejido conjuntivo blando, conocida como sustancia base (Figura 13), que desempeña funciones de alimentación, protección y control para todas las células del organismo. Además, sostiene que cualquier alteración en la configuración de la sustancia base se transmite de inmediato a las células correspondientes del cuerpo (Rademacher & Wesener, 1998, pp. 183–187).

En este contexto, la piel se considera un órgano multifuncional que actúa como punto de intersección entre el organismo y el entorno exterior. Por lo tanto, el estado del organismo se reflejará en la forma en la que la piel y la matriz, que está en contacto con esta última, reaccionan a los estímulos externos.

Figura 12*Línea de Equipos VEGA Medizin y WEGAMED*

Nota. Línea de equipos en medicina funcional que basan su funcionamiento en el método VEGA.
Elaboración propia.

Figura 13
Sustancia Base



- 1: Proteoglucanos y glucoproteínas estructuradas
- 2: Colágeno
- 3: Elastina
- 4: Mastocitos
- 5: Células defensivas
- 6: Fibrocitos
- 7: Axón vegetativo terminal
- 8: Capilares
- 9: Basilema
- 10: Célula conjuntiva del órgano

Nota. Representación de la matriz de tejido conjuntivo blando (sustancia base) según Alfred Pischinger. Adaptado de The Basic System (p.183), Rademacher & Wesener, 1998, Company'MED.

4.2.1.1 El Método VEGA

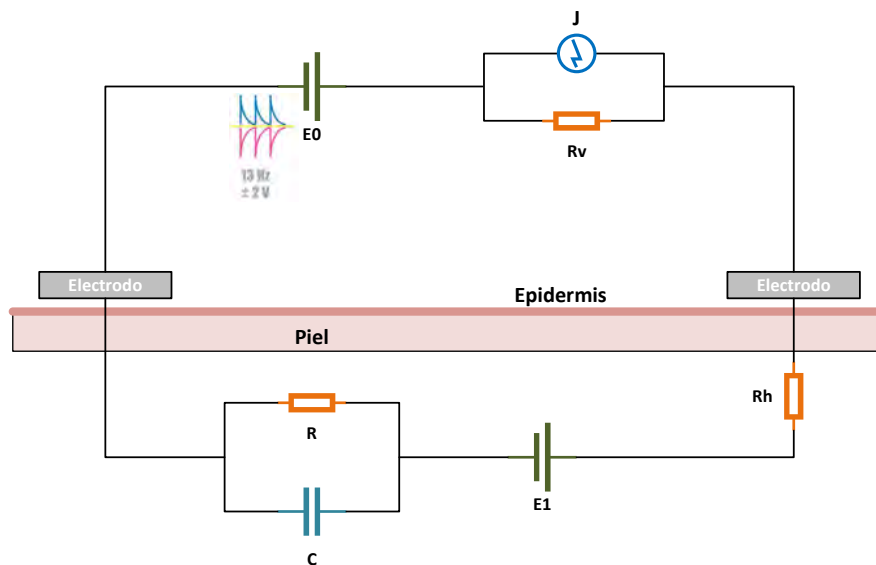
El método VEGA considera que el organismo humano vivo es capaz de reaccionar a diferentes estímulos. Del mismo modo afirma que, normalmente, la reacción del organismo a un estímulo se puede desglosar en tres fases: Choque, Contra choque y fase de recuperación (Rademacher & Wesener, 1998, pp. 183–187).

Un organismo es saludable cuando reacciona correctamente a un estímulo. Si falla en su comportamiento, hablamos de trastornos de regulación o de reacción. Así pues, se debe asumir con certeza, la existencia de un trastorno en nuestro organismo, ya sea que este reaccione de manera exagerada, demasiado débil, con retraso o si carece de reacción frente a un estímulo.

El método VEGA aprovecha este esquema estímulo – reacción, y para ello hace uso de un generador interno de impulsos, el cual genera voltajes alternos rectificados de 13 Hz (Por ser los más adecuados para obtener una reacción de la matriz) con una intensidad apenas perceptible y un máximo de 2 voltios (Figura 14). La ruta de la medición está definida por los 2 electrodos de plata que se colocan directamente sobre la piel sin usar cremas, pastas, ungüentos u otras sustancias, de modo que se evita cualquier alteración en la conductividad de la piel (Rademacher & Wesener, 1998, pp. 167–169).

Entre estos dos electrodos, debido a la corriente de medición, se origina un flujo de electrones/iones, que provoca un cambio en las condiciones bioeléctricas del tejido entre los dos electrodos.

Según las investigaciones de Pischinger, la sustancia base, una región en la que residen todos los órganos y que contiene aproximadamente el 80% de las células humanas; la corriente sigue el camino de menor resistencia a través de los fluidos del cuerpo, y la conductividad eléctrica varía según el estado del tejido y la superficie de la piel (Rademacher & Wesener, 1998, pp. 183–187). El flujo de electrones dentro del tejido se transforma en un flujo de iones.

Figura 14*Modelo Electrofisiológico de la Resistencia de la Piel*

- **E0:** Señal de pulso periódica de 13Hz ($\pm 2V$ y $10\mu A$)
- **E1:** Potencial de contacto (V)
- **R:** Resistencia de descarga con respecto a la capacidad de la piel (Ω)
- **Rh:** Resistencia de la piel (Ω)
- **Rv:** Resistencia de medición (Ω)
- **C:** Capacitancia de la piel (F)
- **J:** Instrumento de medida (No definido)

Nota. La figura muestra un modelo electrofisiológico de la medida de la resistencia de la piel, utilizando el sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

La distribución de cargas se puede imaginar como dos contenedores conectados que se levantan y bajan alternativamente y de diversas maneras, lo que resulta en una redistribución del líquido, en este caso particular, la liberación de iones (Figura 15).

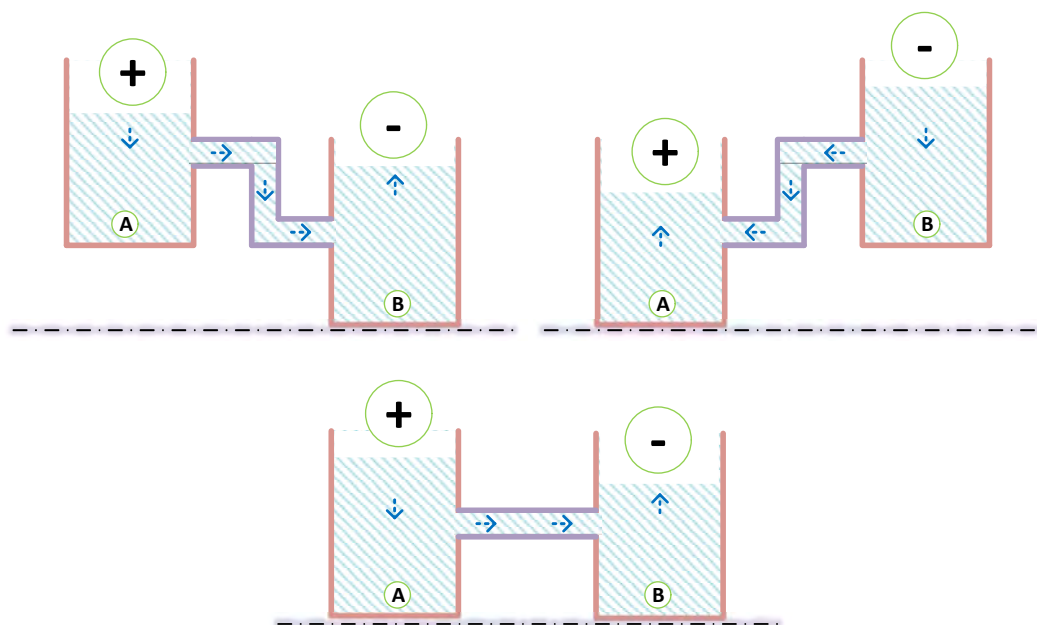
En la ilustración, la redistribución se representa gráficamente levantando primero el contenedor izquierdo y luego el derecho. Dependiendo de la condición del tejido, se acumulan cargas, es decir, acumulaciones de iones, y se transportan en diversos grados. La corriente de retorno es, de hecho, el proceso de descarga, la liberación de las cargas que se acumularon durante el primer paso.

El tamaño de los paquetes de impulsos, que avanzan de A a B durante la primera fase y de B a A durante la segunda fase inversa, depende de la conductividad del tejido. Los iones fácilmente móviles pueden intercambiarse rápidamente, mientras que los iones grandes, pesados y lentos muestran mucha inercia. Por lo tanto, la intensidad de la corriente y de los paquetes de impulsos se vuelve mayor; cuanto mayor es la concentración de iones, mayor es el contenido de agua del tejido.

Por lo tanto, es plausible que la forma de los paquetes de impulsos esté determinada por las propiedades electro biológicas de la matriz y la piel.

Figura 15

Modelo Análogo para la Distribución de Cargas



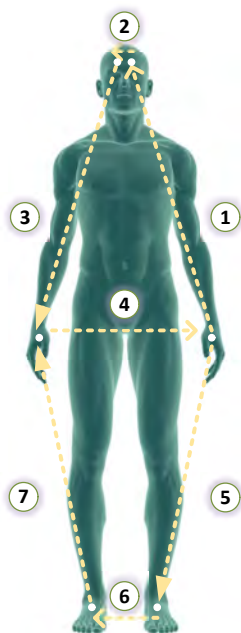
Nota. La figura muestra una representación análoga de la distribución de cargas para el modelo electrofisiológico de la medida de la resistencia de la piel, utilizando el sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

4.2.1.2 El Proceso de Medición

El proceso de medición total del VEGA DFM 722 se realiza mediante tres conjuntos de electrodos: un par de electrodos frontales, dos electrodos en las manos y un par de electrodos en los pies. El sistema efectúa mediciones a lo largo de siete segmentos o derivaciones predefinidas y almacena estos datos para su posterior análisis (Figura 16) (Rademacher & Wesener, 1998, p. 171). Cada segmento de medición proporciona información sobre el estado de un conjunto específico de órganos (Tabla 3).

Figura 16

Tramos de Medición Predefinidos



- 1: Derivación: Mano Izquierda – Cabeza H. Izquierdo
- 2: Derivación: Cabeza H. Izquierdo – Cabeza H. Derecho
- 3: Derivación: Cabeza H. Derecho - Mano Derecha
- 4: Derivación: Mano Derecha - Mano Izquierda
- 5: Derivación: Mano Izquierda – Pie Izquierdo
- 6: Derivación: Pie Izquierdo - Pie Derecho
- 7: Derivación: Pie Derecho - Mano Derecha

Nota. La figura muestra un ser humano y los siete tramos de medición sobre los cuales se efectúa la medición de la resistencia de la piel, utilizando el sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Tabla 3
Grupos de Órganos Analizados por Segmento

Derivación	Órganos Involucrados en la Medición
Mano Izquierda Cabeza H. Izquierdo	Hemisferio izquierdo de la cabeza y de la cara con oído, ojo, nariz, fosas paranasales, maxilar superior e inferior, tonsilas y columna cervical. Esta derivación permite también deducciones sobre las arterias, la irrigación sanguínea arterial y sobre la circulación.
Cabeza H. Izquierdo Cabeza H. Derecho	Cabeza con los ojos, oídos, nariz y fosas paranasales, la mandíbula superior, el nivel de mando de las hormonas y el sistema nervioso central.
Cabeza H. Derecho Mano Derecha	Hemisferio derecho de la cabeza y de la cara con oído, ojo, nariz, fosas paranasales, mandíbula superior e inferior, tonsilas y columna cervical. Esta derivación permite también deducciones sobre las venas, la irrigación sanguínea venosa, las varices y sobre el complejo hígado/vesícula biliar.
Mano Derecha Mano Izquierda	Tórax con pulmón, corazón, mamas, región epigástrica (con relación a estómago e intestino delgado, fosas paranasales) y tiroides. Esta derivación permite también deducciones sobre cabello, piel e intestino grueso.
Mano Izquierda Pie Izquierdo	Lado inferior izquierdo del cuerpo, con bazo, páncreas, estómago, colon descendente, corazón, pulmón izquierdo, riñón izquierdo, articulación de cadera izquierda y duodeno.
Pie Izquierdo Pie Derecho	Región hipogástrica con los órganos pélvicos, las vértebras lumbares, el aparato urogenital, el recto y las articulaciones. Esta derivación permite también deducciones sobre la columna vertebral, las articulaciones y las glándulas genitales.
Pie Derecho Mano Derecha	Parte inferior derecha del cuerpo, con hígado, vesícula biliar, apéndice, colon ascendente, riñón derecho, pulmón derecho, articulación de la cadera derecha e ileon.

Nota: Tomado de (Rademacher & Wesener, 1998, p. 34).

En la medición básica de la conductividad eléctrica de la piel, se aplican corrientes eléctricas continuas pulsadas de 13 Hz entre dos electrodos. La corriente pulsada fluye a través de la piel, se modifica de manera característica en el trayecto "electrodo - piel - cuerpo - piel - electrodo".

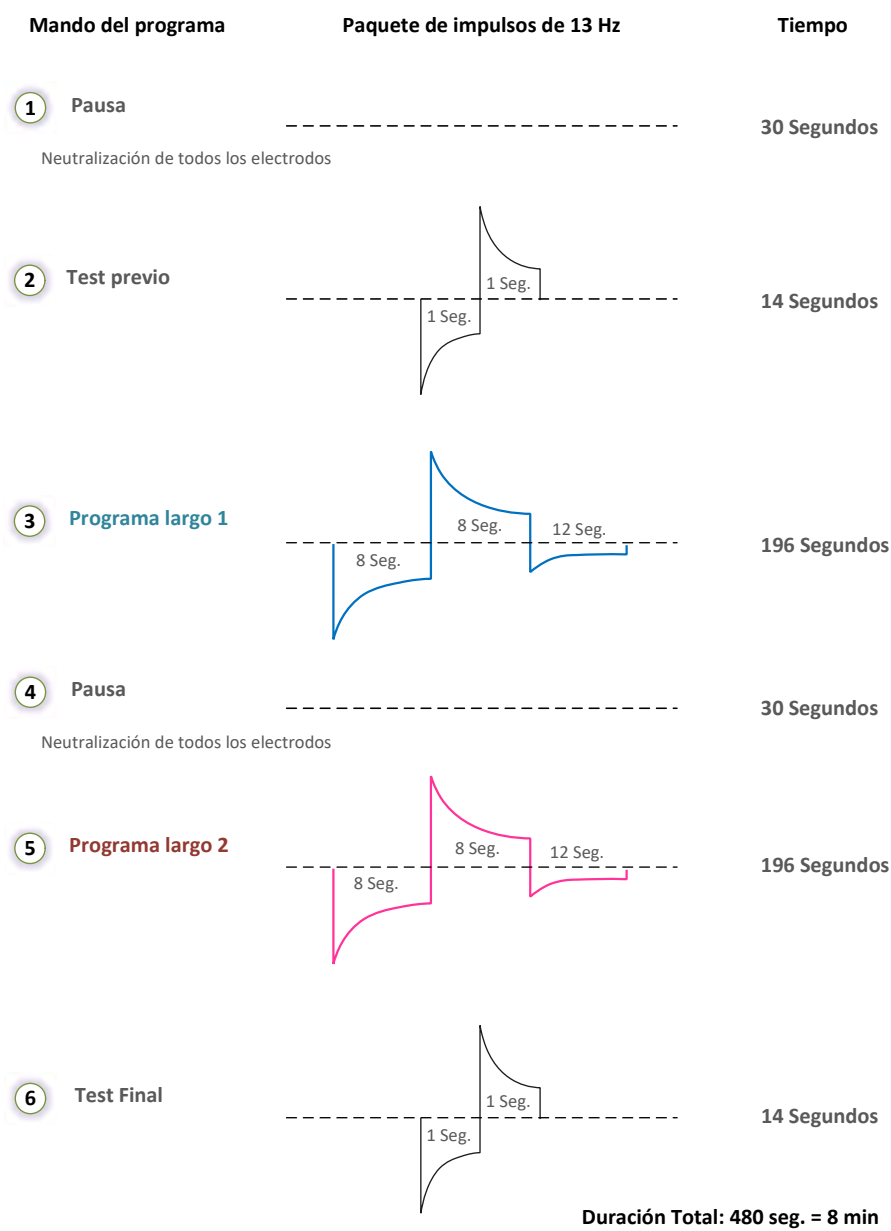
Se observa una disminución de las amplitudes, similar a un efecto de carga, donde la corriente inicial se reduce exponencialmente hasta alcanzar un valor de saturación.

Cuando se invierte la polaridad de la corriente, se produce una intensificación de la corriente de medición debido a las cargas previamente acumuladas, razón por la cual, el paquete de impulsos positivos es en general mayor que el de los impulsos negativos.

El proceso de medición del VEGA DFM 722 comienza con una pausa de 30 segundos durante la cual todos los electrodos se colocan en cortocircuito para neutralizar cualquier carga estática accidental y desplazamientos de potencial. Al finalizar esta etapa, se inicia la medición de segmentos propiamente dicha mediante un test previo que consiste en un breve recorrido de medición. Cada segmento se mide utilizando un paquete de impulsos negativos y positivos de 13 Hz, cada uno con una duración de 1 segundo. Luego, el *primer programa largo* (L1) efectúa un nuevo recorrido de medición a través de todos los segmentos. Cada una de estas mediciones, al igual que en el test previo, se realiza con paquetes de impulsos negativos y positivos de 13 Hz, cada uno con una duración de 8 segundos. Además, después de cada paquete de impulsos positivos, se apaga la corriente de medición del dispositivo y se registra la corriente de retorno del segmento medido, con una duración de doce segundos para cada medición de la corriente de retorno.

Una vez finalizado el test previo y el primer programa largo, hay otra pausa de 30 segundos durante la cual los electrodos se vuelven a poner en cortocircuito para neutralizar cualquier acumulación de cargas. Posteriormente, el dispositivo efectúa el *segundo programa largo* (L2) de medición siguiendo el mismo procedimiento que en el primero. La medición total concluye con un recorrido final de medición, denominado test final, que sigue el mismo ciclo que el test previo (Figura 17).

Figura 17
Ciclo del Programa de Medición VEGA DFM 722



Nota. La figura muestra las distintas etapas del proceso de medición, con sus respectivas duraciones y paquetes de impulsos de 13 Hz. Elaboración propia.

El registro del segundo programa largo es necesario porque solo la carga aplicada en L1 rompe la compensación del cuerpo y hace visible el estado energético. Por esta razón, el primer programa largo debe considerarse principalmente como información sobre la situación energética existente. De esta forma, se obtienen indicaciones decisivas sobre la energía o morfología clínica a partir de las curvas de medición del primer programa largo del registro VEGA en caso de una mala situación energética, o de las curvas de medición del segundo programa largo si la situación energética es buena.

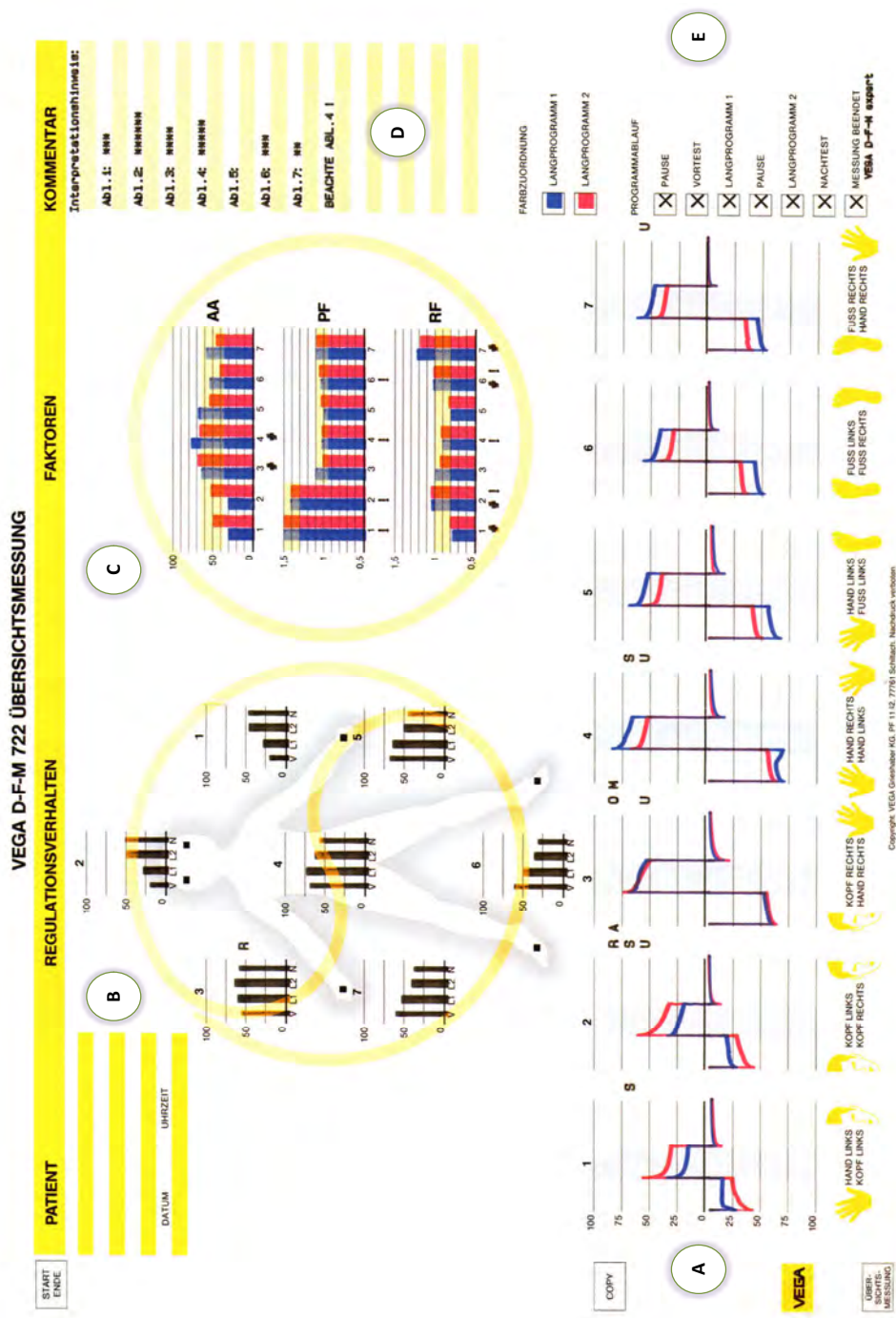
El programa registra las curvas originales de ambos programas largos. En cada uno de los siete tramos de medición explorados se observa una triple combinación de corrientes de medición: el paquete de impulsos negativos, el paquete de impulsos positivos y la corriente de retorno (Rademacher & Wesener, 1998, p. 171).

El proceso de medición dura 8 minutos, después de lo cual el paciente puede dejar de sostener los electrodos. No obstante, el plotter del sistema sigue generando la gráfica de los resultados, lo cual puede tardar entre 2 y 4 minutos adicionales. Por lo tanto, el proceso completo de medición con el VEGA DFM 722 lleva entre 10 y 12 minutos.

Una vez finalizado el proceso de medición, se obtiene una gráfica con los resultados, similar a la Figura 18, que proporciona una representación visual detallada de los datos recopilados durante el examen. Esta gráfica es fundamental para el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos, ya que permite identificar patrones y anomalías en los datos medidos, se muestran también cinco regiones que muestran un contenido específico:

- A: Región de las curvas originales
- B: Región del comportamiento de regulación
- C: Región del nivel de los factores
- D: Región de las notas de interpretación automáticas
- E: Región de la secuencia de los programas

Figura 18
Hoja de Resultados del Sistema VEGA DFM 722



Nota. Hoja de resultados con las distintas regiones de análisis para el diagnóstico. Elaboración propia.

4.2.1.3 Evaluaciones Estadísticas y Opciones de Análisis

El registro VEGA muestra en la mayoría de los casos, cambios en la regulación de la conductividad eléctrica de la piel. En individuos sanos, generalmente se observa un aumento (en las derivaciones 1 y 3) o una disminución (en las derivaciones 4 a 7) en las amplitudes de los impulsos negativos y positivos, así como en la corriente de retorno. Para analizar las formas de las señales, se determinan los flancos de los impulsos negativos y positivos, así como de la corriente de retorno.

Se utilizan tres tipos de variables para la evaluación:

- Flancos de los paquetes de impulsos y la corriente de retorno como datos aproximados.
- Relaciones entre los flancos como parámetros empíricos de VEGA.
- Magnitudes eléctricas calculadas, como potencial de contacto, resistencia y capacidad, utilizando un modelo teórico basado en datos aproximados (ver Figura 14).

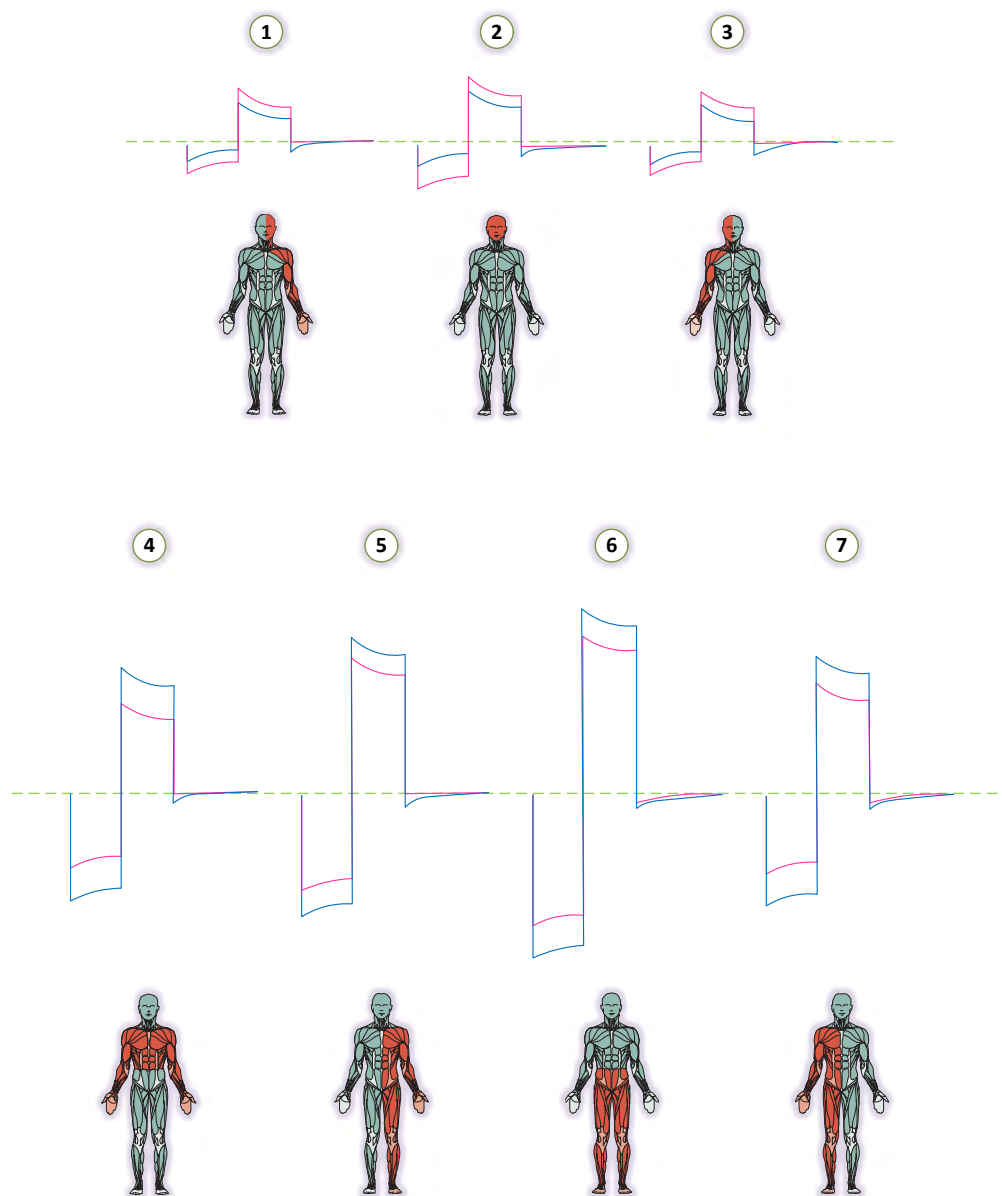
Estos parámetros del modelo proporcionan una representación gráfica y están directamente relacionados con los procesos fisiológicos en la piel (Rademacher & Mölleney, 2003, pp. 32–35).

4.2.1.4 Las Curvas Originales

Las curvas originales son representaciones gráficas de los dos programas largos de medición del VEGA DFM 722 (Figura 19). La evaluación óptica de todas las curvas originales es parte del análisis de un registro VEGA (Rademacher & Mölleney, 2003, pp. 32–35). Los criterios de análisis incluyen:

- Altura de las curvas (programa largo L1 y L2, corriente de retorno).
- Relación entre las curvas (entre los programas largos L1 y L2).
- Inclinação y distancia entre los flancos de las curvas.
- Irregularidades en los flancos de la curva.
- Detalles anómalos y desviaciones de la normalidad.

Figura 19
Curvas Originales



Nota. La figura muestra la representación gráfica de los dos programas largos para las distintas derivaciones, en azul para el primer programa largo (L1) y rojo para el segundo programa largo (L2) (obsérvese la inversión de curva en los tramos 4 a 7, respecto de los tramos 1 a 3). Elaboración propia.

4.2.1.5 El Comportamiento de Regulación

En la impresión del "comportamiento de regulación," las amplitudes de los cuatro programas de prueba se representan gráficamente en forma de barras (Figura 20 a). Los programas de prueba previos (P, en alemán V) y finales (F, en alemán N) solo se muestran en el gráfico de comportamiento de regulación, sin necesidad de un registro individual.

Los esquemas de regulación se derivan de las cargas secuenciales en el tiempo en todos los segmentos sometidos a una carga muy breve (P), dos cargas largas (L1 y L2) y otra carga muy breve (F) (Rademacher & Mölleney, 2003, pp. 32–35).

4.2.1.6 El Nivel de los Factores

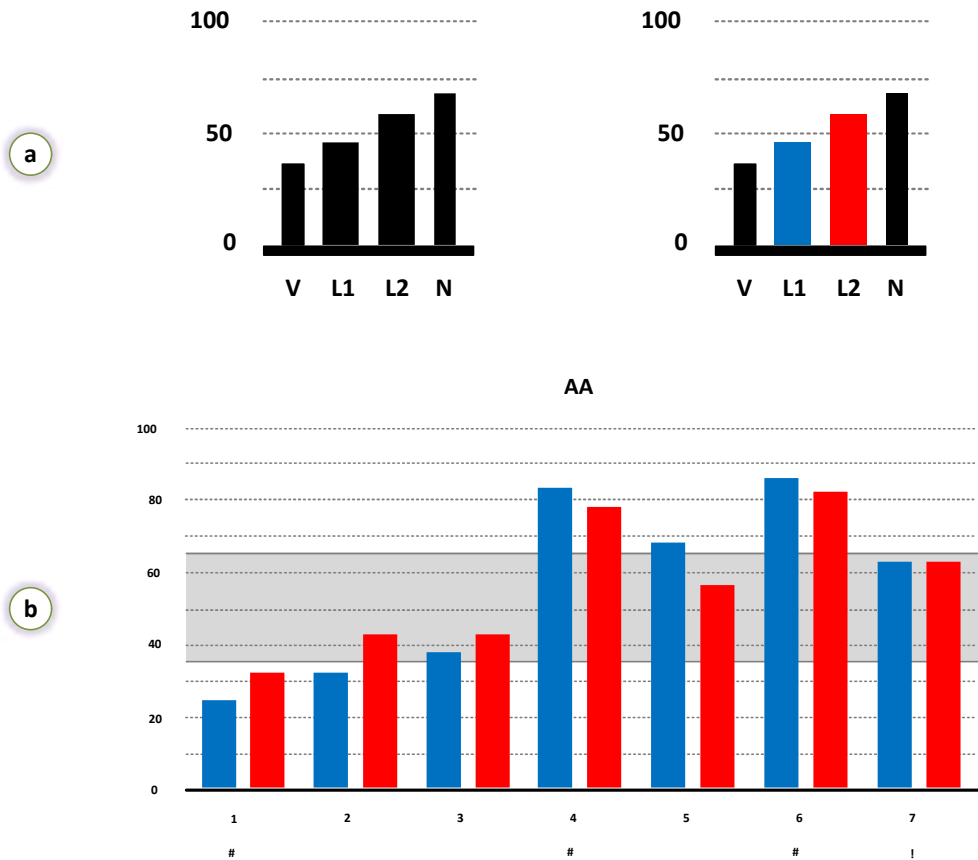
Los "factores de proporcionalidad" se refieren a representaciones gráficas de diferentes relaciones de valores de medición, obtenidos de las curvas originales de los dos programas largos.

Los "factores AA" (amplitudes absolutas) se determinan fisiológicamente por la resistencia de la piel y las características de capacidad de los diferentes segmentos. Estos factores indican el nivel energético del paciente y permiten analizar las características de la piel, el estado normal, las desviaciones de la norma y las tendencias de regulación.

Los "factores PF" (factores de proporcionalidad) reflejan las diferencias en resistencia debidas a desviaciones de carga entre el sector positivo y negativo de las curvas originales después de la carga capacitiva de la piel por la tensión de medición. Ayudan a identificar trastornos crónicos y desviaciones de la norma.

Los "factores RF" (factores de corriente de retorno) representan el comportamiento de carga y descarga de las capacidades de la piel en todos los tramos de medición. Estos factores permiten identificar patologías, especialmente crónicas, en función de desviaciones de la norma (Figura 20 b). Valores RF bajos indican enfermedades que terminan en "osis," mientras que valores RF altos señalan enfermedades que terminan en "itis" (Rademacher & Mölleney, 2003, pp. 32–35).

Figura 20
Gráficas del Comportamiento de Regulación y Nivel de los Factores



Nota. Parte superior, gráfica para un caso típico del comportamiento de regulación (izquierda VEGA DFM 722, derecha VEGA CHECK); parte inferior, gráfica para el nivel de los factores AA, la banda en gris representa el rango de valores normales para este factor. Elaboración propia.

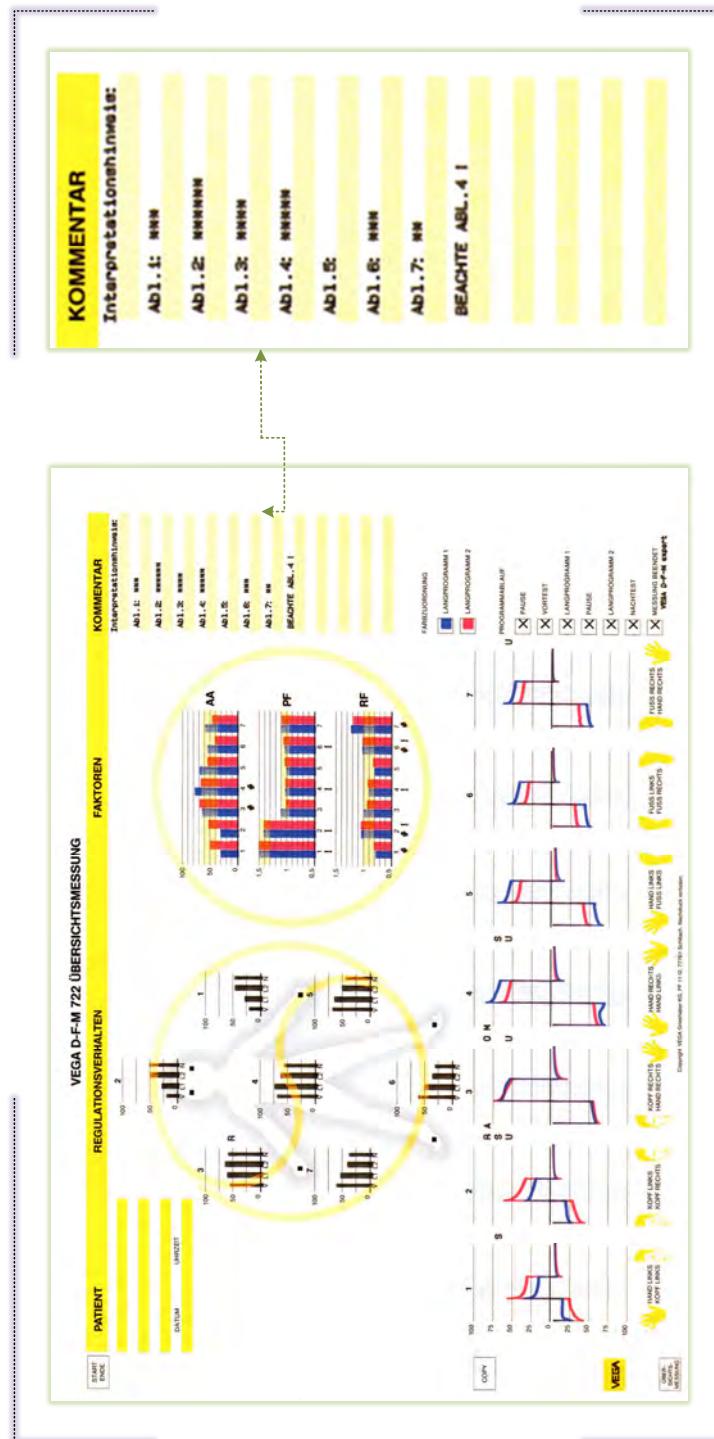
4.2.1.7 Las Notas de Interpretación Automática

El software calcula automáticamente las notas de interpretación a partir de tres secciones diferentes del gráfico (curvas originales, comportamiento de regulación y nivel de los factores). Estas notas se basan en más de 100,000 mediciones realizadas en los últimos años en diversas prácticas terapéuticas (fecha de referencia 1998).

Su objetivo es ayudar al profesional a identificar fácilmente cualquier irregularidad en las tres secciones de evaluación del gráfico. Cada irregularidad se marca con un asterisco (*) y se suman para cada derivación, imprimiéndose en una lista bajo el encabezado "Interpretationshinweise" (alemán) (Figura 21). Al final de estas notas, el software también ofrece comentarios adicionales sobre patrones básicos almacenados en la memoria, como "Allergie" (alergia) y "hypererg" (hiperérgico). Así mismo las irregularidades notables en alguna derivación en particular también quedan registradas en la gráfica de resultados.

Por último, el software del sistema VEGA DFM 722, tiene una utilidad denominada Auto-Expert que proporciona al examinador, varias pistas y técnicas de diagnóstico valiosas, las cuales queda registradas en la zona de las curvas originales. Estas indicaciones están relacionadas con los factores mencionados anteriormente.

Figura 21
Notas de Interpretación Automática



Nota. Notas de interpretación automática generadas por el software del sistema VEGA DFM 722.
 Elaboración propia.

4.2.2 Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722

4.2.2.1 Composición del Sistema

El sistema VEGA DFM 722 está compuesto por una variedad de componentes especializados, cada uno diseñado para cumplir una función específica dentro del proceso de diagnóstico y evaluación. A continuación, se presenta una descripción de cada uno de estos elementos (Figura 22):

- Unidad de Control VEGA DFM 722 (A): Esta unidad central coordina todas las operaciones del sistema, asegurando la correcta interacción entre los distintos componentes. Es el cerebro del sistema, ejecuta el software almacenado en la memoria.
- Plotter VEGA DFM (B): Utilizado para la representación gráfica de los datos obtenidos, facilitando la interpretación visual de los resultados. El modelo corresponde al Plotter DXY-1150A (Roland DGA Co.).
- Electrodo de Medición: Se dispone de electrodos de plata, esenciales para la captación de señales biológicas desde las distintas partes del cuerpo del paciente: para las manos (C), para la cabeza (D) y para los pies (E).
- Caja de Conexión de los Electrodo (F): Este componente actúa como un hub o concentrador central, que permite conectar todos los electrodos a la unidad de control del sistema a través de una clavija o conector de 20 pines.
- Hojas para Graficar Tamaño A3 (G): Papel especializado para el ploteo de los resultados, esta hoja trae predefinidos algunos patrones de referencia sobre los cuales se grafican los resultados de medición.
- Lápices para Plotter (H): Herramientas de escritura necesarias para la creación de gráficos con el plotter, escasos o inexistentes en la actualidad.
- Cable Serial Unidad de Control/Plotter (I): Permite la comunicación entre la unidad de control y el plotter, a través del protocolo RS-232.
- Cables y Fuente de Alimentación 220V (J): Proveen la energía necesaria para el funcionamiento de todos los componentes del sistema.

Figura 22
Composición del Sistema VEGA DFM 722



Nota. Elementos que componen el sistema de diagnóstico en medicina funcional VEGA DFM 722.
 Elaboración propia.

4.2.2.2 Unidad de Control (CPU)

La unidad de control es el núcleo del sistema, desencadena el funcionamiento del mismo, es la encargada de gestionar las funciones de procesamiento, medición, e interconectividad (Figura 23).

Figura 23

Unidad de Control VEGA DFM 722



Nota. Parte superior, vista en perspectiva de la unidad central de control; parte inferior, una copia de la hoja de especificaciones técnicas. Elaboración propia.

4.2.2.2.1 Especificaciones Técnicas

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas más relevantes que caracterizan el funcionamiento de la unidad de control del sistema VEGA DFM 722 (Tabla 4).

Tabla 4

Transcripción de la Hoja de Especificaciones Técnicas de la Unidad de Control

Característica	Descripción
Nombre del dispositivo	VEGA DFM 722
Tipo de dispositivo	Dispositivo de diagnóstico
Fuente de energía AC	230V \pm 10%, 50/60 Hz
Potencia de consumo	Máx. 22 VA
Frecuencia del generador de pulsos	DC Pulsante 13 Hz
Voltaje de salida del generador de pulsos	$U_{ss} \leq 5V$ (sin carga)
Corriente de salida del generador de pulsos	40 μA para una carga de 20 k Ω 110 μA para una carga de 500 Ω
Tipo de protección	BF
Clase de protección	I
Temperatura ambiental de operación	+5°C – +40°C
Temperatura de almacenamiento	+20°C – +60°C
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	32,5 x 18,5 x 35,0 cm
Peso	7 kg

Nota: En esta ficha técnica el término “carga” hace referencia al concepto técnico de *load* en electrónica, el cual se expresa normalmente en Ohmios (Ω) y debe diferenciarse del concepto de *electric charge* (carga eléctrica) cuya unidad es el Coulomb (C). Elaboración propia.

4.2.2.2.2 Descripción de los Paneles Frontal y Posterior de la Unidad de Control

La unidad de control cuenta con elementos de conexión y encendido ubicados tanto en el panel frontal como en el posterior, siendo estos dos los únicos paneles que presentan dichas características (Figura 24). A continuación, se presenta una descripción de estos elementos para ambos paneles:

- Panel Frontal: Este panel incluye un puerto de conexión destinado a la caja de conexión de electrodos (etiqueta Electrode). Adicionalmente, posee un indicador de encendido representado por un LED de color verde (etiqueta Betrieb/Power). Finalmente, se observa una serie de cerraduras o pernos que facilitan el desensamblado de esta sección.
- Panel Posterior: En esta sección se encuentra presente el selector de encendido (etiqueta O-I), la toma de corriente en formato IEC 60320 C-14 y por último el conector DB9 hembra, utilizado para la conexión con el plotter del sistema. (etiqueta Computer/Plotter).

4.2.2.3 Desmontaje del Sistema VEGA DFM 722

Esta etapa del desarrollo planteó un desafío, debido a la naturaleza de la investigación y el cuidado con el que se debía proceder al manipular el sistema VEGA DFM 722 dado su costo y escasez en el mercado. Se estableció que los elementos a ser desmontados serían la unidad de control y la caja de conexión de electrodos, por ser estos los que podrían aportar mayor información para un mejor entendimiento del sistema.

4.2.2.3.1 Descripción Interna de la Caja de Conexión de Electrodos

El proceso de desmontaje de este elemento no representó mayor complicación más allá de necesitar un destornillador para cabezales del tipo pozidriv.

La vista interna de este componente permitió establecer que este elemento, carece de elementos electrónicos y está destinado únicamente a concentrar y derivar las señales que viajan por los electrodos. Así mismo se determinó que el conector especial de 20 pines utilizado para la conexión con el panel frontal precisa únicamente de 6 de estos pines para operar (Figura 25).

Figura 24*Vista Frontal y Posterior de la Unidad de Control***Panel Frontal**

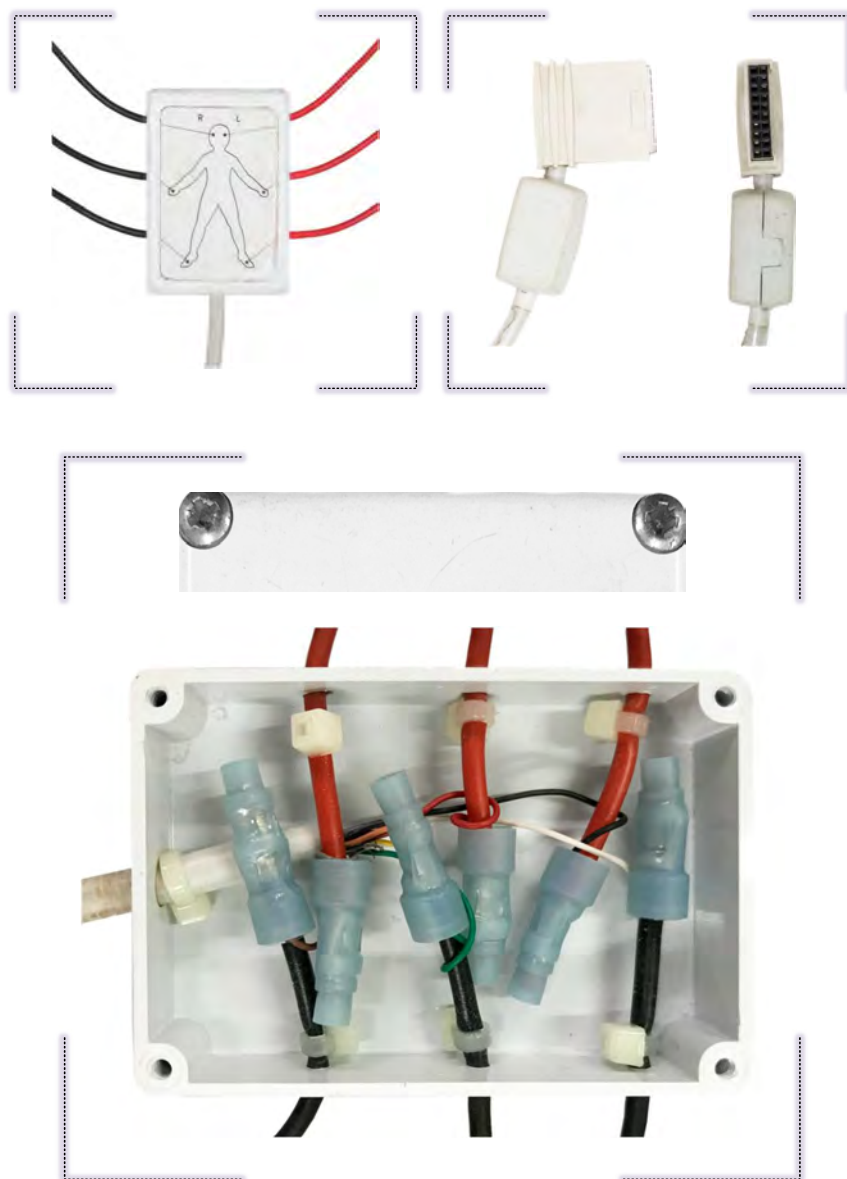
- A: Puerto para la caja de conexión de los electrodos.
- B: Indicador de encendido
- C: Pernos de cerradura

Panel Posterior

- A: Selector de encendido
- B: Toma de corriente
- C: Conector DB9 hembra

Nota. Lista de los elementos de conexión y encendido que están presentes en los paneles frontal y posterior del sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Figura 25
Caja de Conexión de Electrodo



Nota. Parte superior, vista frontal de la caja de conexión y el conector especial de 20 pines; parte inferior, vista interna de la caja de conexión de electrodos y sus tornillos de cerradura pozidriv. Elaboración propia.

4.2.2.3.2 Descripción Interna de la Unidad de Control

Una vez desmontada la unidad de control, se optó por abordar el problema desde un enfoque medianamente invasivo, de tal forma que tuviéramos que interactuar físicamente con este lo menos posible y tener desmontado el sistema un mínimo de tiempo para no provocar un daño innecesario a la unidad de control durante esta etapa.

Este proceso involucró la captura de imágenes detalladas, observación visual del comportamiento del sistema mientras permanecía operativo y utilización de sondas de prueba sobre componentes clave en los circuitos del sistema, esto con los siguientes objetivos:

- Verificar la integridad de los componentes internos de la unidad de control.
- Analizar la viabilidad de un proceso de ingeniería inversa completo a la unidad de control, en caso de que la ingeniería inversa sobre sistema de comunicación no diera un resultado positivo para nuestro propósito.

En la Figura 26 se puede apreciar una representación visual del proceso de desensamblado de la unidad de control. Una vista inicial muestra que la unidad de control presenta un diseño modular conformado por varias tarjetas, todas ellas encapsuladas en un chasis muy bien dispuesto, se puede manifestar que el diseño es muy transparente y amigable de cara a un proceso de ingeniería inversa (Figura 27 a).

El panel posterior que contiene el socket para la fuente de poder, el switch de encendido y la interfaz del puerto serie pueden ser fácilmente desconectadas de la placa de unión (Figura 27 b). Por su parte, el chasis que encapsula las tarjetas modulares puede ser desmontado con facilidad permitiendo el acceso a las mismas.

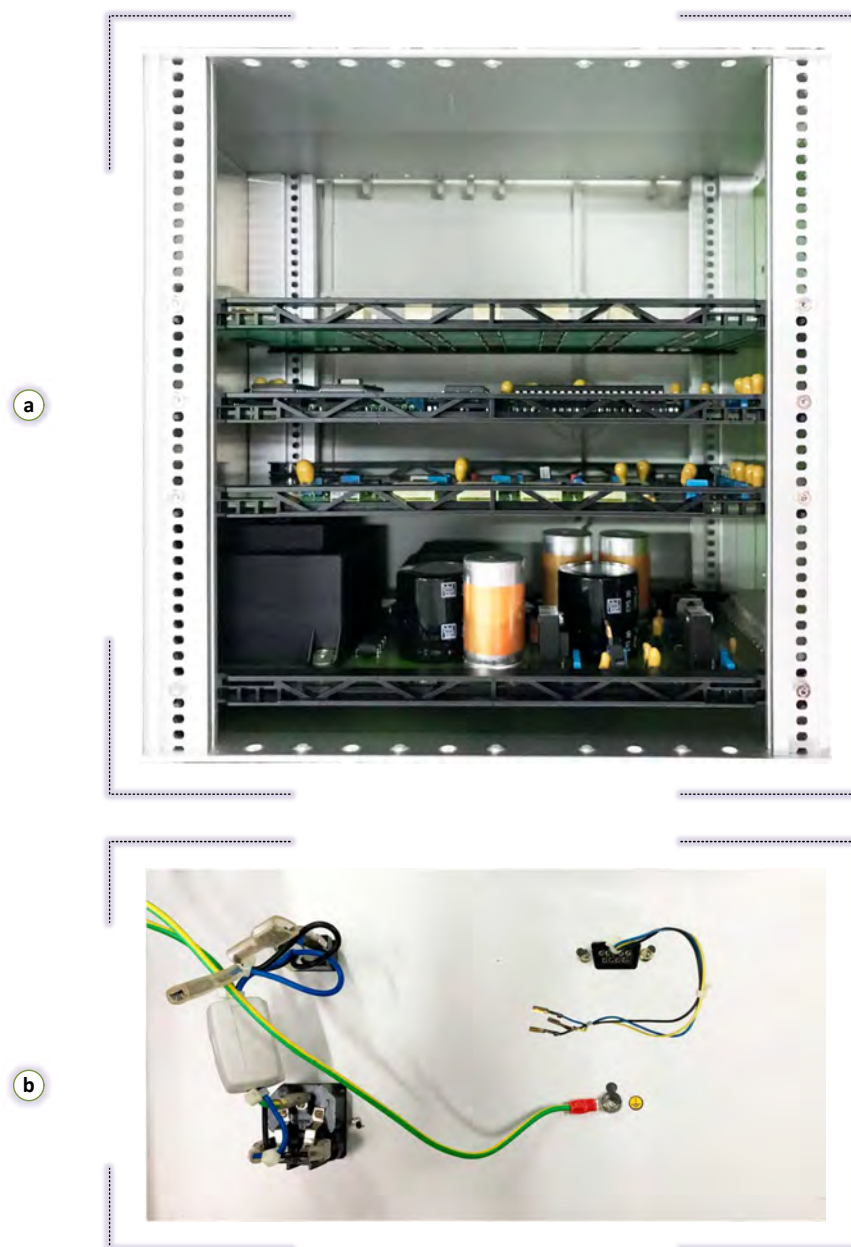
El sistema este compuesto por 5 tarjetas electrónicas, cuya función podría ser inferida en base a los elementos electrónicos que las componen (Figura 28), así tenemos:

- Tarjeta de conexión (A)
- Tarjeta de procesamiento lógico, almacenamiento e interconectividad (B)
- Tarjeta generadora de Pulsos (C)
- Tarjeta de conmutación y medición (D)
- Tarjeta fuente de alimentación (E)

Figura 26
Desensamblado de la Unidad de Control

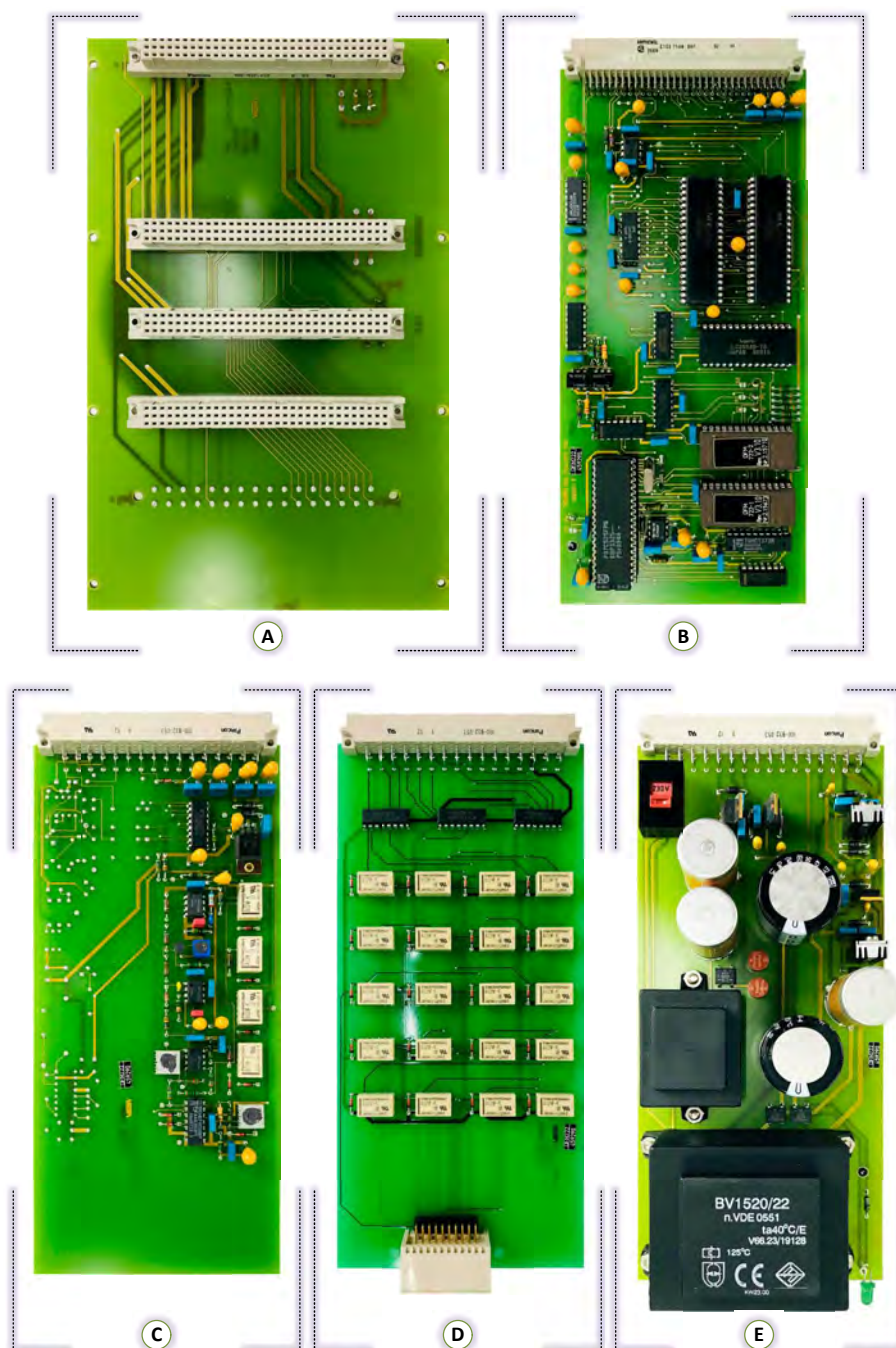


Nota. Representación visual del proceso de desmontaje de la unidad de control del sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Figura 27*Vista Interna de la Unidad de Control*

Nota. Parte superior, vista del conjunto de tarjetas electrónicas que componen la unidad de control; parte inferior, vista interna del panel posterior, obsérvese la conexión de tierra fijada al chasis. Elaboración propia.

Figura 28
Tarjetas Electrónicas de la Unidad de Control



Nota. Vista frontal de las tarjetas electrónicas que conforman la unidad de control del sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

4.2.3 Observación Directa y Análisis del Proceso de Medición

La observación directa implicó la supervisión cuidadosa y sistemática de cada etapa del proceso de medición, permitiendo la identificación de posibles fuentes de error y áreas de mejora.

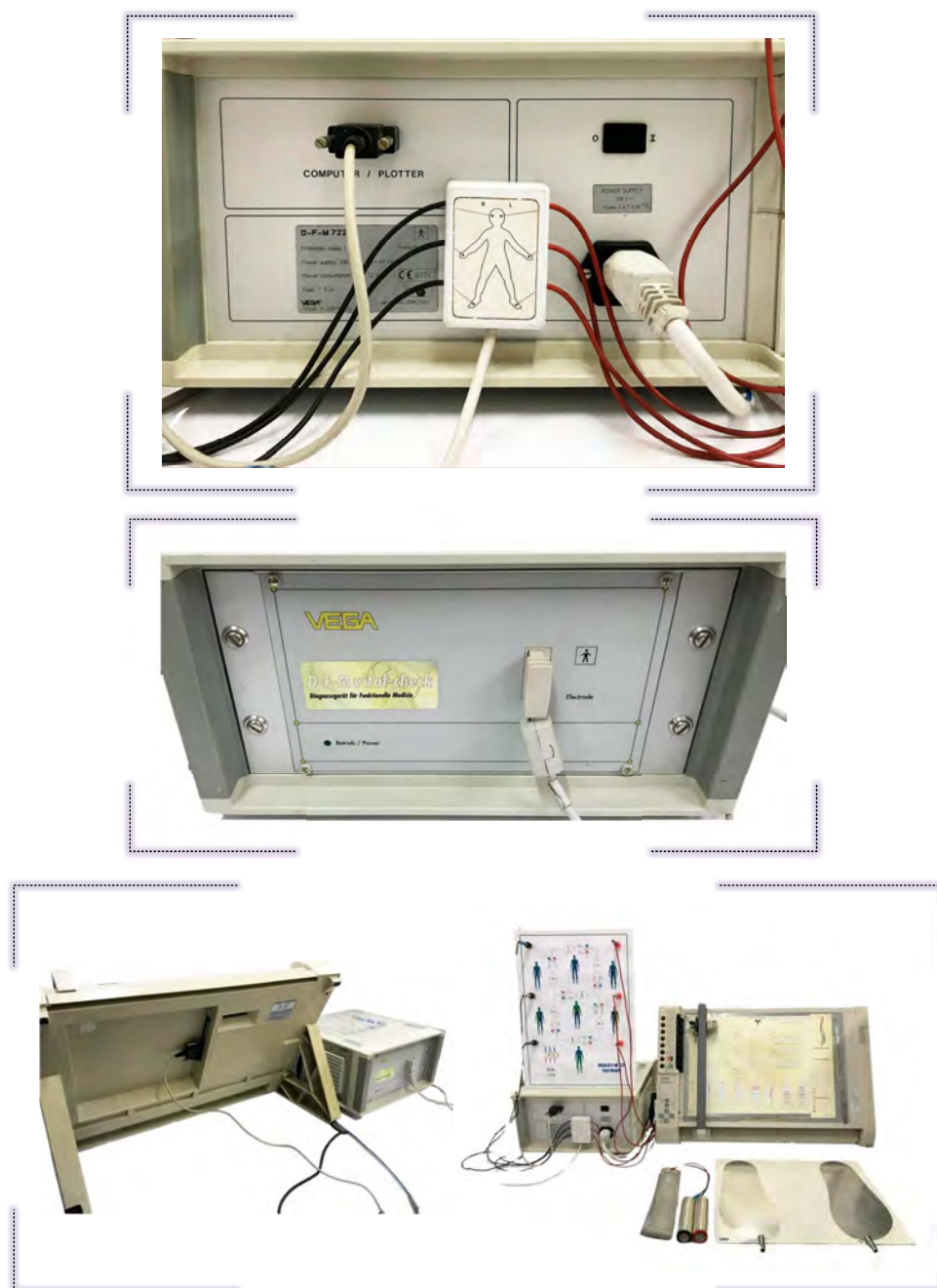
Para dar inicio al proceso de medición, es necesario llevar a cabo las siguientes acciones (Figura 29):

- Conectar los cables de poder a una fuente de alimentación de 220V.
- Conectar la Unidad de Control y el Plotter con el cable de conexión.
- Conectar la Caja de Conexión de electrodos en el puerto frontal de la Unidad de Control.
- Encender la Unidad de Control utilizando el switch del panel posterior.
- Encender el Plotter con el botón de encendido localizado en la parte lateral.
- Colocar la hoja de gráficos en el Plotter, asegurando que esté correctamente alineada.
- Presionar el botón Start del Plotter, lo que ubicara el lápiz en la posición de inicio.
- Presionar una vez más el botón Start del Plotter para dar inicio al proceso de medición, el cual puede ser percibido por la emisión de tres clics característicos provenientes de los relés dentro de la unidad de control.

El monitoreo del proceso de medición se llevó a cabo no sólo de manera visual, sino también utilizando instrumentos específicos para la visualización de señales. El osciloscopio se empleó para analizar tanto el intercambio de información entre la unidad de control y el plotter como las señales de medición enviadas a través de los electrodos (Figura 30).

Durante las sesiones de observación se confirmó que en efecto el periférico de salida, específicamente el plotter Roland DXY-1150A, presenta fallas atribuibles al desgaste por uso prolongado y la falta de consumibles necesarios. Este problema afecta la precisión y la confiabilidad de los resultados, evidenciando la necesidad de abordar el problema en busca de una solución asequible (Figura 31).

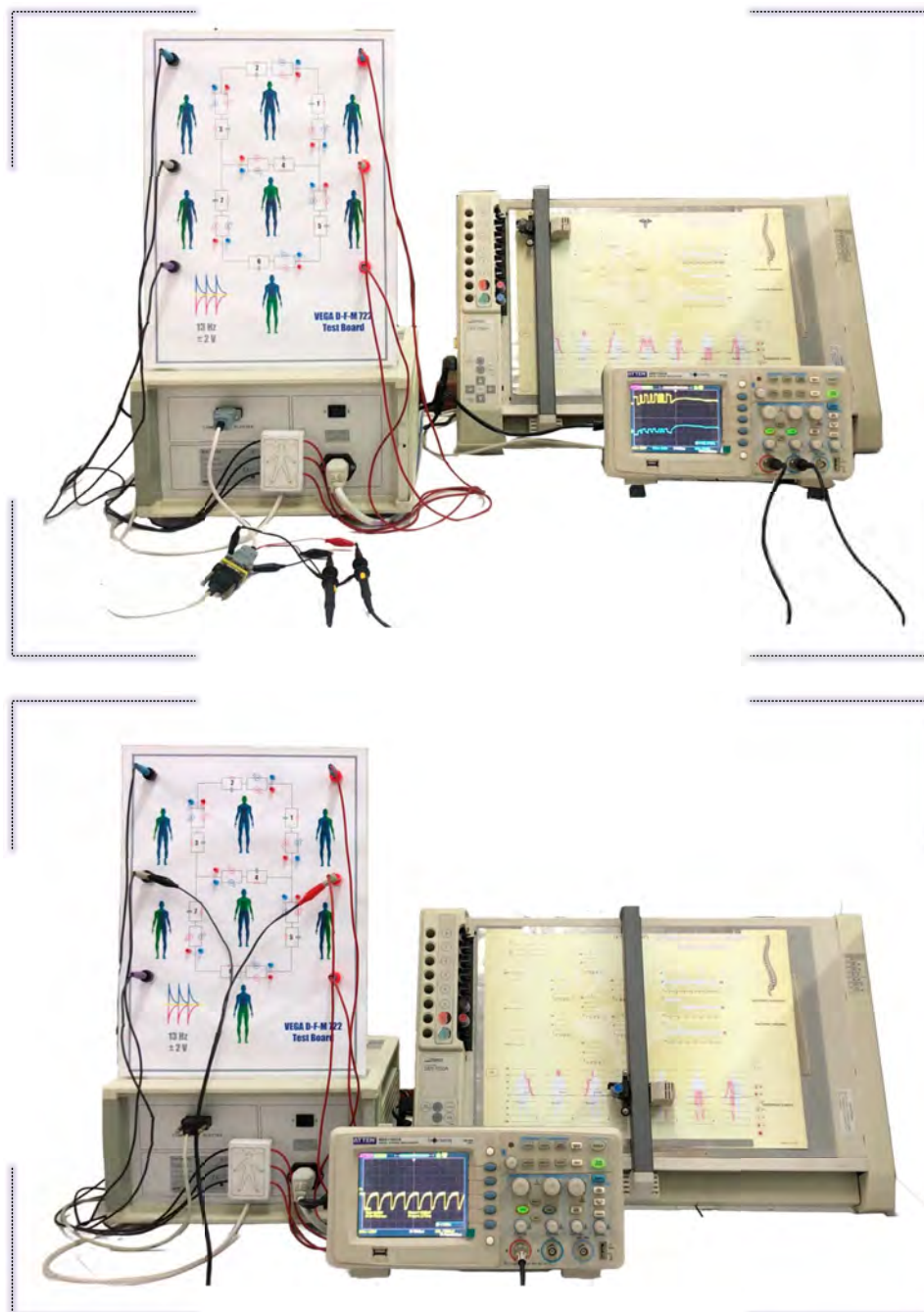
Figura 29
Puesta en Marcha del Sistema



Nota. Configuración utilizada para la observación de los procesos de medición. Elaboración propia.

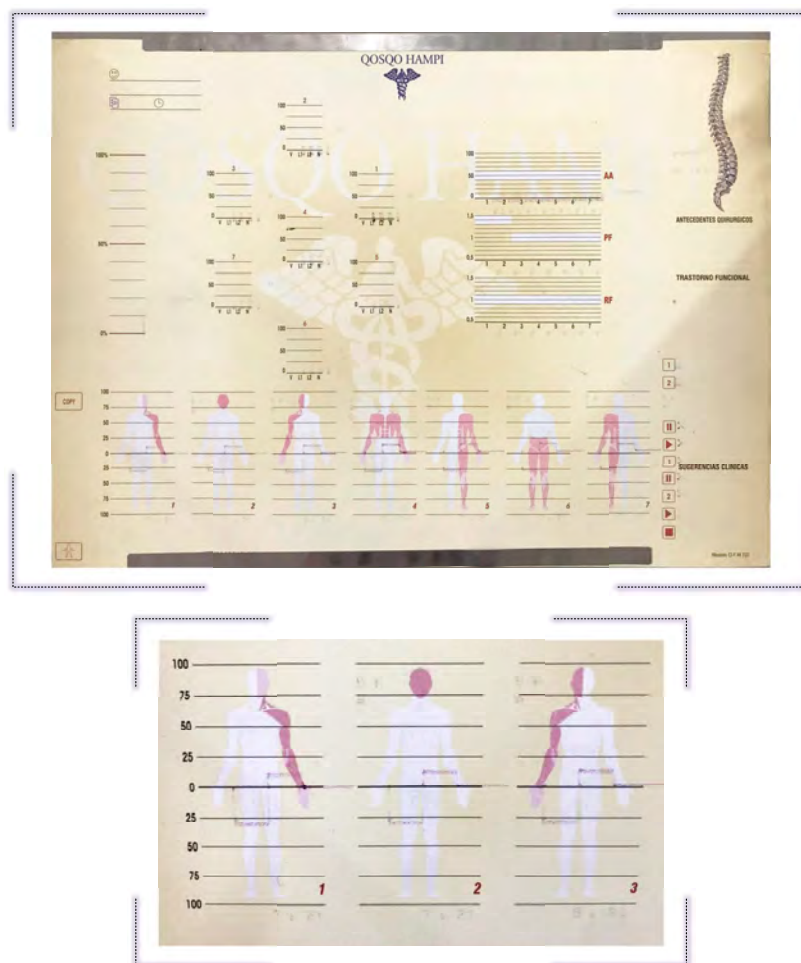
Figura 30

Observación Directa del Proceso de Medición



Nota. Parte superior, seguimiento de la señal digital intercambiada entre la CPU y el plotter; parte inferior, monitoreo de las señales analógicas transmitidas a través de los electrodos de medición. Elaboración propia.

Figura 31
Impresión por Plotter de los Resultados de Medición

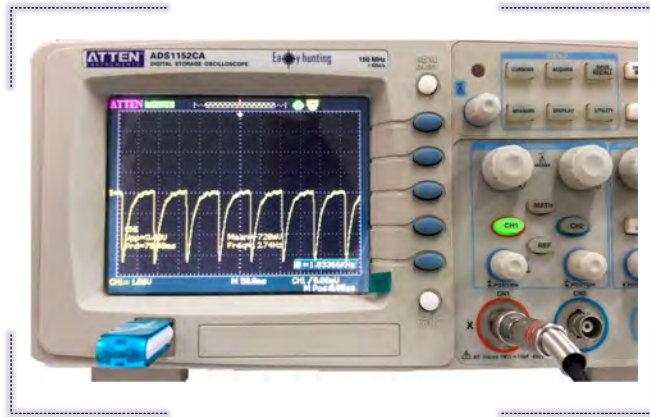


Nota. Estado actual de los resultados presentados por el plotter del sistema, obsérvese lo tenue de las marcas y la falta de calibración para la posición, pese a estar correctamente ubicada. Elaboración propia.

Las mediciones realizadas con el osciloscopio sobre la señal eléctrica emitida a través de los electrodos demostraron que los parámetros, tales como voltajes y frecuencias, utilizados por la unidad de control durante el proceso de medición, coinciden con las especificaciones técnicas del sistema (Figura 32). Este resultado es crucial para validar la integridad del sistema de medición y asegurar que los datos recolectados son precisos y fiables.

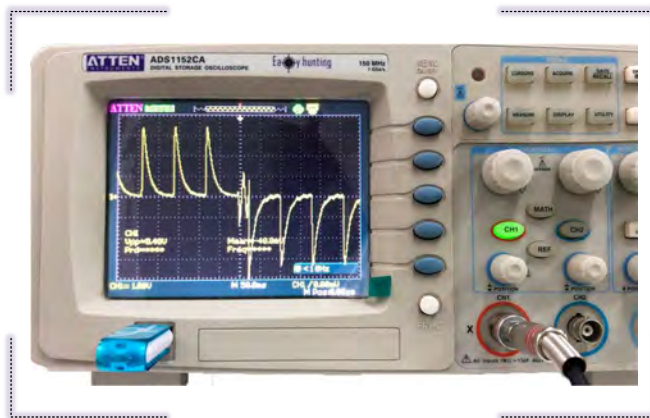
Figura 32

Señales de Medición Utilizados por el Sistema VEGA DFM 722

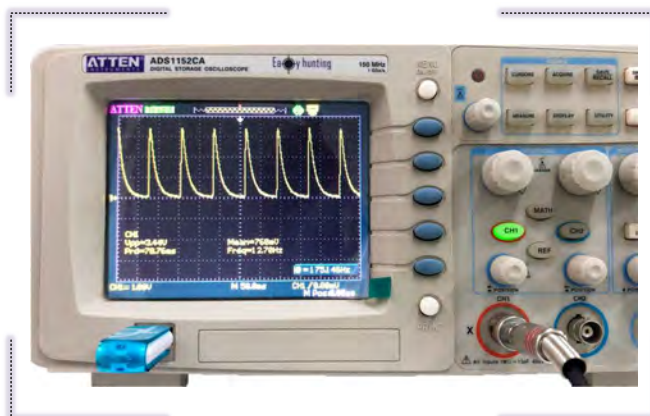


**Señal de Medición
Pulso Negativo**

- Amplitud: 3.48 Voltios.
- Frecuencia: 12.74 Hz
- Periodo: 78.48 Milisegundos



**Señal de Medición
Periodo de Transición**



**Señal de Medición
Pulso Positivo**

- Amplitud: 3.44 Voltios.
- Frecuencia: 12.70 Hz
- Periodo: 78.76 Milisegundos

Nota. Captura de los pulsos de medición, estos evidencian que los valores obtenidos por el osciloscopio, se ajustan a los parámetros propios del sistema VEGA DFM 722, también se observa el momento en el que el pulso cambia de polaridad. Elaboración propia.

4.2.4 Discusión al Análisis del Sistema Actual

4.2.4.1 Discusión al Principio de Funcionamiento

Los alcances del principio de funcionamiento del sistema VEGA DFM 722 presentados se centraron exclusivamente en los aspectos relevantes para esta investigación, omitiendo la amplia documentación relacionada con la interpretación de los posibles resultados obtenidos. Además, con esta exposición se busca justificar la importancia de la investigación, destacando la utilidad práctica que el sistema VEGA DMF 722 todavía puede ofrecer.

En lo expuesto se puede evidenciar la existencia de una base de conocimientos sobre los cuales se asienta el método VEGA y por ende los dispositivos en medicina funcional basados en este método.

En resumen, el sistema VEGA DFM 722, emplea corrientes eléctricas de baja intensidad y mediciones de conductividad para evaluar el estado de la sustancia base. La forma de los impulsos eléctricos utilizados durante la medición, está relacionada con las características electro biológicas de la matriz o sustancia base.

En el proceso de medición el cuerpo humano se desglosa en siete áreas, cada área o tramo de medición se encarga de evaluar el estado del conjunto específico de órganos que se encuentran dentro del sector; para ello se colocan electrodos en la cabeza, en las manos y en los pies; entre estos electrodos fluyen, desde la unidad central del sistema corrientes de impulsos mínimos de 13 Hz con una amplitud máxima de 2 V. Del mismo modo cómo reacciona a cada estímulo, el cuerpo reacciona también a esta corriente; las reacciones a este estímulo se reflejan en las curvas que registra el Plotter del sistema. El cuerpo de un paciente con problemas, debilitado o enfermo, no reacciona de la misma manera como el de una persona fuerte, sana y equilibrada. La anomalía se refleja en una reacción violenta y exagerada o en una reacción insuficiente, débil y hasta en una rigidez de regulación.

Al igual que cualquier otro método de diagnóstico existen ciertos aspectos a considerar para la utilización de este instrumento como es el caso de no usarlo en: pacientes con embarazo, pacientes con marcapasos, pacientes con fuertes trastornos en el ritmo cardiaco, pacientes con extremidades amputadas y niños hiperactivos.

4.2.4.2 Discusión a la Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722

La descripción técnica del sistema VEGA DFM 722 destaca su complejidad y proporciona una visión detallada de los componentes y especificaciones que conforman el sistema.

La ficha técnica lo clasifica como un dispositivo de diagnóstico. En términos de seguridad, el dispositivo está clasificado como Clase I y tiene una protección tipo BF, lo que indica que cumple con estrictos estándares de seguridad eléctrica, especialmente adecuados para aplicaciones médicas. Los rangos de temperatura de operación y almacenamiento, así como sus dimensiones y peso lo convierten en un dispositivo relativamente compacto y portátil, lo que facilita su uso en diferentes entornos y condiciones.

El análisis y desmontaje de la unidad de control del sistema VEGA DFM 722 reveló un diseño modular y transparente, lo que facilita la posibilidad de realizar procesos de ingeniería inversa. Esta característica abre la puerta a mejoras y adaptaciones de algunos componentes del sistema, permitiendo su compatibilidad con los recursos tecnológicos actuales.

4.2.4.3 Discusión a la Observación Directa y Análisis del Proceso de Medición

Durante la supervisión del proceso de medición, se detectaron posibles fuentes de error que pueden comprometer la exactitud de los resultados. El desgaste del plotter Roland DXY-1150A y la falta de consumibles son dos factores críticos que afectan la calidad de las impresiones gráficas de los datos.

Las mediciones realizadas con osciloscopio confirmaron que los parámetros eléctricos utilizados durante el proceso de medición, tales como voltajes y frecuencias, son consistentes con las especificaciones técnicas del sistema VEGA DFM 722. La coincidencia entre los valores medidos y los parámetros técnicos especificados refuerza la confianza en la funcionalidad del sistema.

La configuración y puesta en marcha del sistema VEGA DFM 722 implican una serie de pasos detallados, que incluyen la conexión de los cables de alimentación, comunicación y electrodos, la correcta alineación del papel gráfico en el plotter, así como el encendido y la secuencia de inicio del proceso de medición.

Es importante resaltar que la señal que da inicio al proceso de medición es generada por el plotter Roland DXY-1150A, el cual, según los objetivos de la investigación, necesita ser reemplazado. Esto implica la necesidad de replicar dicha señal de inicio mediante el software que controlará el sistema desde el ordenador.

4.3 Emulación, Modelado y Simulación

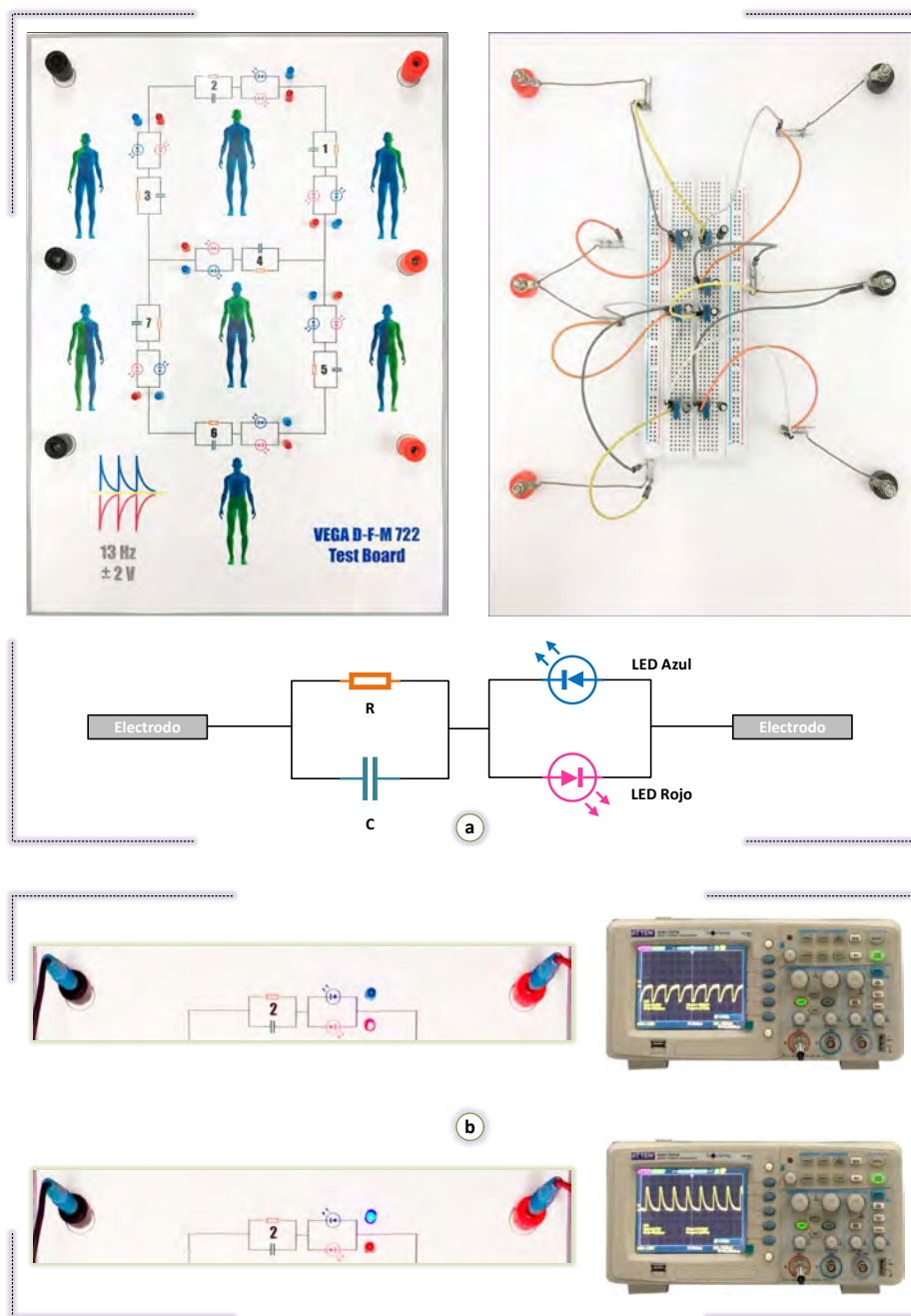
4.3.1 Circuito Emulador de Sujeto de Prueba

La naturaleza de la investigación hizo necesaria la incorporación y fabricación de este elemento, el cual fue indispensable durante el desarrollo de la investigación.

Este circuito se diseñó basado en los principios del método VEGA, y se describe como un sistema compuesto por circuitos RC en paralelo. Tras su diseño y simulación en Proteus, el circuito se ensambló en un protoboard y posteriormente se montó en una maqueta con terminales para cada electrodo. Se incorporó un elemento visual con dos LEDs en cada tramo de medición: un LED rojo para indicar el flanco negativo y un LED azul para señalar el flanco positivo, mostrando la dirección de la corriente de los pulsos generados por la unidad de control (Figura 33 a).

Durante la etapa de observación directa del proceso de medición, el circuito emulador del sujeto de prueba proporcionó una ayuda visual para determinar la duración de cada test realizado por la unidad de control y el cambio de polaridad de los pulsos. Esto se complementó con la señal sonora emitida por los relés de la unidad de control durante cada test, confirmando que los tiempos de medición y la inversión de polaridad coinciden con lo indicado en la guía de uso del sistema VEGA DFM 722. Cabe señalar que para este proceso se utilizó únicamente la señal visual de los LEDs del circuito emulador, desconectando los circuitos RC correspondientes en cada tramo de medición y dejando solo los LEDs rojo y azul. Así mismo, se pudo verificar que estos provocan una caída de voltaje en la amplitud de la señal original, más pronunciada en el LED rojo, debido a que requiere un voltaje directo (V_f) más pequeño en comparación al azul (Figura 33 b).

Figura 33
Circuito Emulador de Sujeto de Prueba



Nota. Vista frontal y posterior del circuito emulador de sujeto de prueba, diagrama eléctrico del circuito emulador para cada segmento y visualización del encendido de los LEDs de soporte visual. Elaboración propia.

Después de revisar el método VEGA, artículos relacionados a la medición de la impedancia de la piel (Araiza & Guerrero, 2007) y algunas pruebas de ensayo y error; se asignaron valores específicos para las resistencias y la capacidad de los condensadores: 250 ohmios y 100 pico faradios, respectivamente. Estos valores se mantuvieron constantes en todos los tramos de medición; esta configuración resultó adecuada y suficiente para emular un ser humano conectado a los electrodos de medición. Además, se buscó determinar si la unidad de control realizaba alguna modificación o procesamiento adicional sobre las medidas obtenidas en los diferentes tramos. El resultado fue negativo, ya que todas las curvas originales en cada tramo resultaron ser idénticas.

4.3.2 Modelado 3D y Simulación

Todo proceso de ingeniería inversa involucra el trabajo de crear una representación alterna del sistema, en ese entender la creación de un modelo 3D de la unidad de control y demás componentes se tornó absolutamente necesario para la redacción de esta tesis, su futura sustentación y para investigaciones posteriores sobre la replicación íntegra del sistema (Figura 34 a).

En este contexto, la réplica del sistema y su comportamiento, se recrearon asegurando que los aspectos esenciales del funcionamiento y su parecido al sistema real sean lo más aproximado posibles. Para ello, se recrearon los elementos que componen el sistema, tomando énfasis en los componentes internos de las tarjetas electrónicas de la unidad de control, haciendo uso de librerías de componentes proporcionadas por el programa SolidWorks, páginas dedicadas a proporcionar componentes 3D electrónicos, enviando solicitudes a los fabricantes de los componentes y en última instancia diseñándolos desde cero, utilizando las especificaciones del componente. Posteriormente se aplicó un proceso de texturizado de dichos componentes con las fotografías tomadas de los mismos, dando como resultado una réplica muy semejante a su contraparte real.

Así mismo la simulación del sistema en funcionamiento, presentando los aspectos relevantes del proceso de medición, desmontaje virtual e interacción de los componentes se aproxima considerablemente a lo que sucede con el sistema real en la práctica (Figura 34 b).

Figura 34
Modelación 3D y Simulación



Nota. Parte superior, captura del proceso de modelado 3D de la unidad de control; parte inferior, representación digital del sistema y el proceso de desmontaje virtual de la unidad de control. Elaboración propia.

4.3.3 Discusión a la Emulación, Modelado y Simulación

Es preciso aclarar que, en esta fase del desarrollo de la investigación, se abordaron directamente dos de los objetivos específicos, el relacionado al circuito emulador de sujeto de prueba y la generación de los modelos 3D y animación; por guardar estos una estrecha relación respecto de las herramientas utilizadas para su desarrollo.

4.3.3.1 Discusión al Circuito Emulador de Sujeto de Prueba

El circuito emulador de sujeto de prueba proporcionó un medio efectivo y fiable para simular las condiciones humanas durante las mediciones. La integración de señales visuales y sonoras, junto con una cuidadosa selección de valores para las resistencias y condensadores, permitió una validación de los procesos de medición y la confirmación de que la unidad de control operaba según lo previsto.

Los resultados obtenidos revelaron que las curvas originales obtenidas utilizando el emulador de sujeto de prueba presentan un comportamiento que sugiere una naturaleza estática. Esto contrasta con las mediciones realizadas en un sujeto real, donde los valores de resistencia y capacitancia del tejido humano varían con el tiempo, mostrando cualidades dinámicas. No obstante, para el objetivo de realizar una gran cantidad de mediciones y obtener las gráficas de las curvas originales, el emulador de sujeto de prueba cumplió perfectamente su propósito.

4.3.3.2 Discusión al Modelado 3D y Simulación

Bajo la premisa de que una imagen dice más que mil palabras y que una animación multiplicaría varias magnitudes esa cantidad, consideramos inviable explicar de manera didáctica el desarrollo de este proyecto en su futura sustentación sin la ayuda visual proporcionada por la manipulación en tres dimensiones del sistema.

El texturizado de los componentes, utilizando fotografías reales, añadió un nivel adicional de realismo al modelo. Esto no sólo mejoró la estética visual del modelo, sino que también facilitó la identificación y análisis de los componentes durante el proceso de simulación.

4.4 Estudio del Sistema de Comunicaciones

4.4.1 Análisis del Protocolo de Comunicación

La intervención de las líneas de transmisión entre la unidad de control y el plotter Roland DXY-1150A, permitió confirmar la premisa obtenida a partir de las especificaciones técnicas para las interfaces utilizadas por el plotter (Roland DG Corporation, 1997); que el protocolo de comunicación utilizado corresponde a una variante del estándar RS-232 conocido como RS-232C, el cual es una revisión y mejora a su antecesora, caracterizada por operar con voltajes entre -15V a +15V. Además, los valores de periodo y frecuencia obtenidos con el osciloscopio y cálculos auxiliares aproximan el baudrate a 9600 bps (Figura 35). Posteriormente, mediante ensayo y error, se determinaron los demás parámetros como: paridad, bits de datos y bits de parada; dejando el control de flujo para su configuración por software.

La ayuda que proporcionó el desmontaje de la unidad central fue de gran ayuda al momento de determinar la configuración de los pines (pinouts) utilizados por el puerto hembra DB9 del panel posterior (Figura 36 a). Pudiendo determinarse que el sistema utiliza un control de flujo por hardware (RTS-CTS) en modo *Half Duplex*. En este escenario, el plotter del sistema es quien inicia el diálogo activando en primera instancia su RTS (request to send) indicando a la unidad de control que está presente y listo para la transmisión de datos. La unidad de control por su parte espera a que el plotter envíe dos veces la señal de *Start* para proceder a dar inicio con la medición.

Resalta también el hecho de que el pin GND no esté presente en el puerto hembra DB9, posiblemente con el objetivo de que el sistema adquiera la puesta a tierra a través del plotter, mediante el conector macho DB9 fijado con los tornillos al chasis del panel posterior, donde converge también la tierra de la unidad de control.

Cabe indicar, que el análisis de la señal se hizo en primera instancia interviniendo la comunicación del cable modem nulo entre la unidad central y el plotter, utilizando para ello un cable tapping del tipo straight (directo) con derivaciones para el osciloscopio (Figura 36 b). Posteriormente, se utilizó un conversor USB a serie, el cual permitió obtener mediciones más limpias de la señal y su frecuencia. Esta configuración se empleó para el resto del desarrollo del proyecto.

Figura 35
Monitoreo del Protocolo de Comunicación



Cálculo del Baudrate Utilizando Osciloscopio

Parámetros de la Señal

- Duración de un pulso de bit alto (a): $\approx 100 \mu s$
- Periodo relativo entre el primer y segundo bit alto (b): $520.8 \mu s$
- Frecuencia relativa entre el primer y segundo bit alto: 1.92 kHz

Análisis

- Entre el primer y el segundo bit alto (periodo relativo), debe existir un número entero de bits.
- Se puede estimar en función de la visualización de la señal con el osciloscopio, que en $520.8 \mu s$ es posible enviar una cantidad de hasta 5 bits.
- Al dividir 520.8 entre 5 , obtenemos el valor real de la duración de un pulso alto equivalente a la duración de un bit: $104.16 \mu s$.
- De donde la tasa de baudios (baudrate) se puede calcular dividiendo un segundo entre la duración del bit.

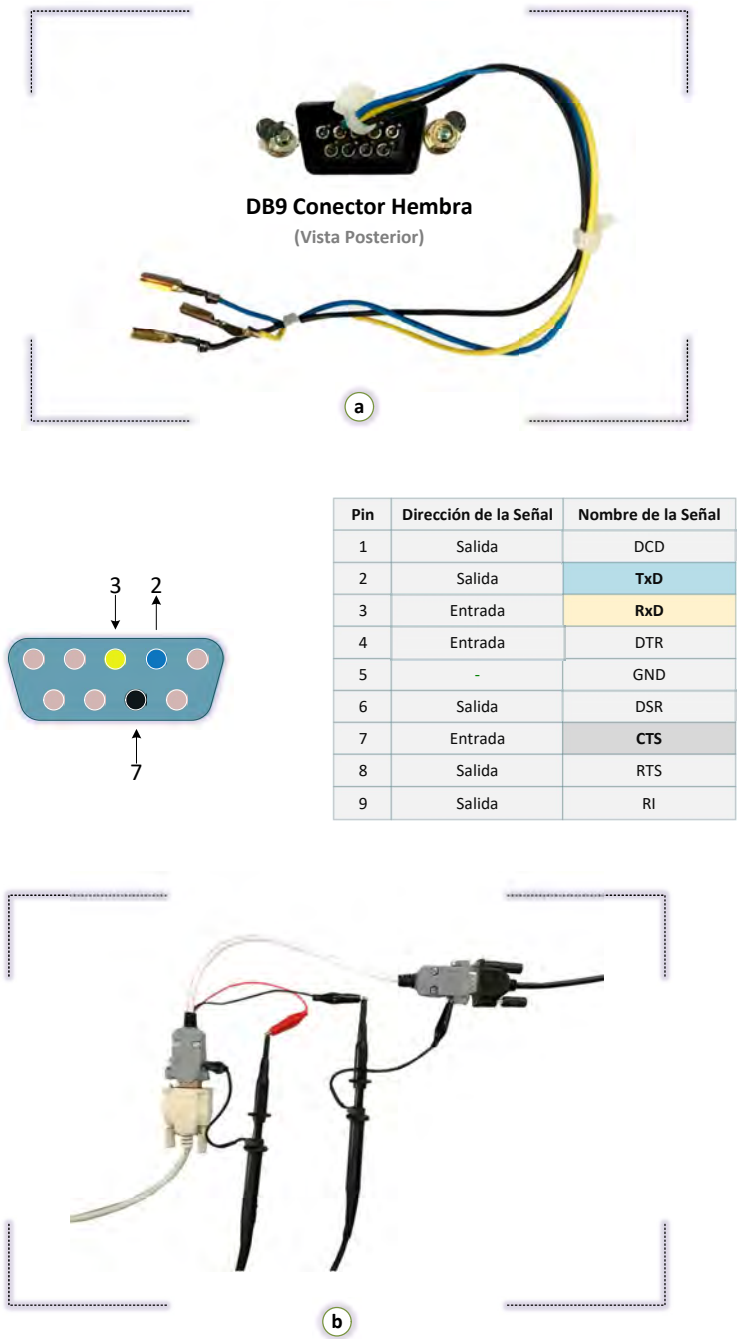
$$\frac{10^6 \mu s}{104.16 \mu s} = 9600.614$$

Parámetros RS 232

- Baudrate: 9600 bps
- Bits de datos: 7
- Paridad: Par
- Bits de parada: Uno

Nota. Procedimiento para determinar el baudrate de una señal RS 232 utilizando un osciloscopio digital. Elaboración propia.

Figura 36
Conector DB9 de la Unidad de Control y Configuración del Cable Tapping



Nota. Configuración del pinout del puerto DB9 hembra de la unidad de control (a). Configuración del cable tapping utilizada para interceptar la comunicación entre la unidad de control y el plotter (b).
Elaboración propia.

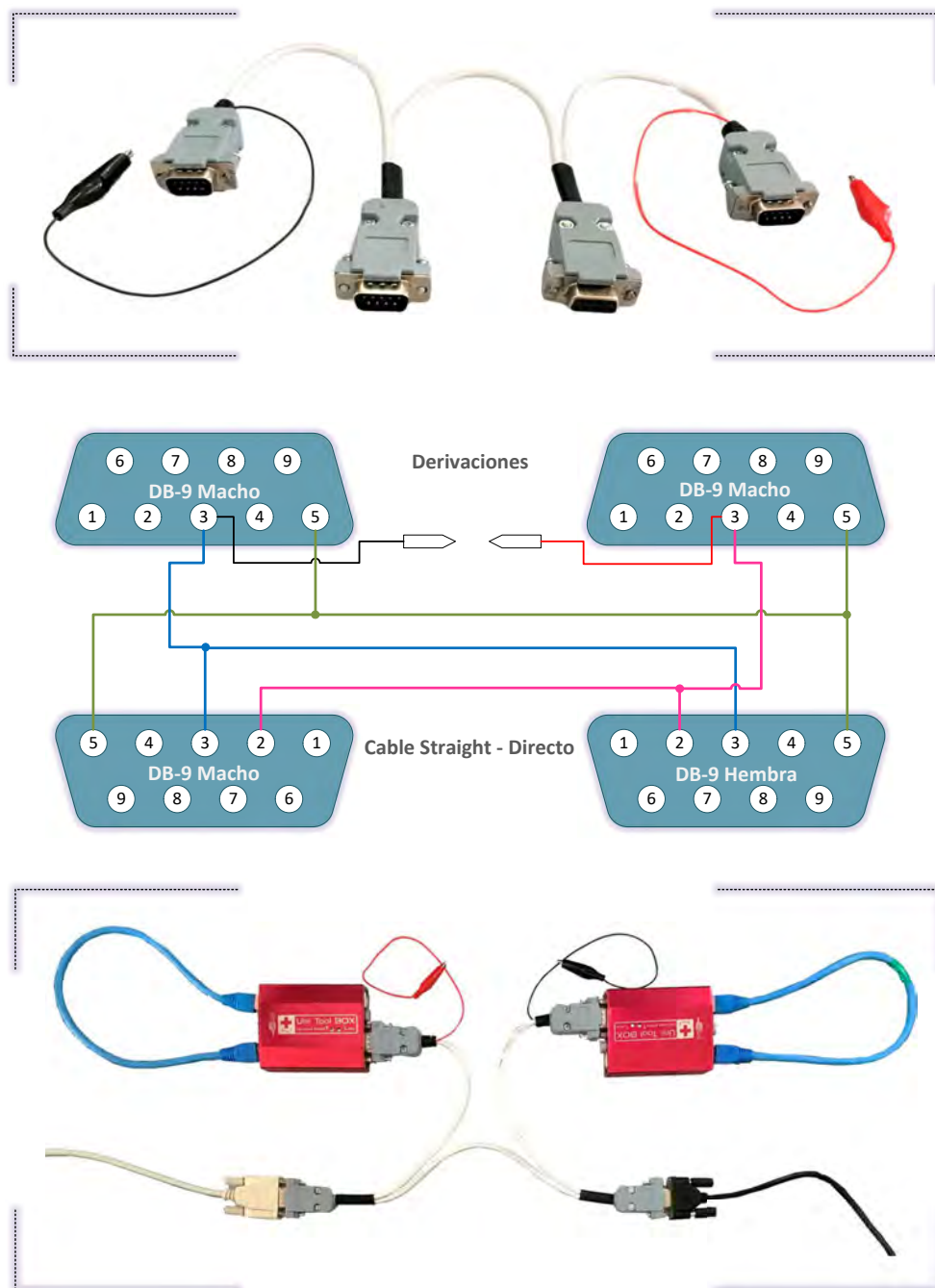
4.4.2 Captura de Información

Para el proceso de interceptación de la información intercambiada entre la unidad de control y el plotter, se utilizó la configuración mostrada en la Figura 37, en la que se puede apreciar un cable tapping con derivaciones para la observación de la señal a través del osciloscopio (pinzas cocodrilo) y derivaciones para redirigir de manera independiente el tráfico de las líneas de recepción y transmisión del cable null modem hacia los dos sniffers (puertos DB9 macho), los que a su vez reenviarán esta información hacia el software especializado para su captura.

La información reenviada por los sniffers fue procesada utilizando un monitor de puerto serie conocido como Comport Toolkit (Figura 38 a) y un proyecto de código abierto denominado SerialPort Terminal.

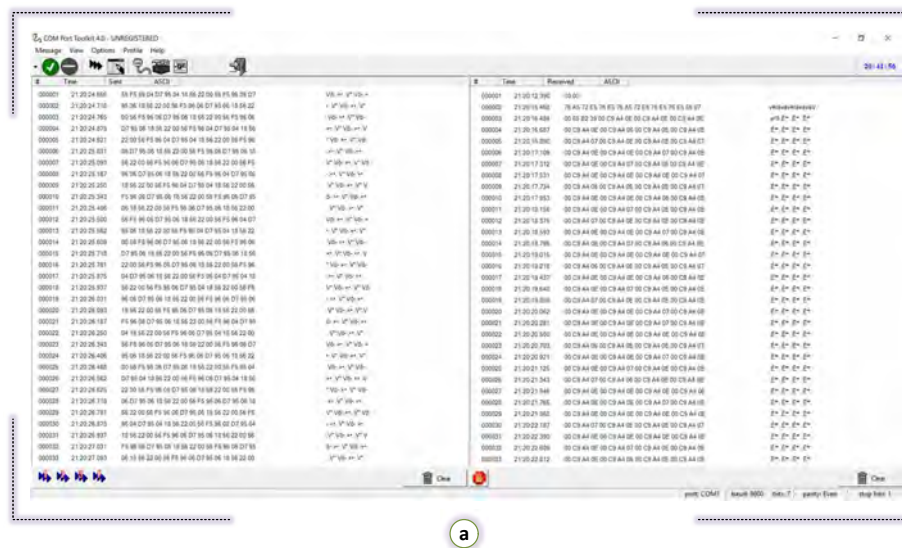
Se realizaron una serie de pruebas secuenciales de captura, comenzando con el encendido inicial de la unidad de control y luego del plotter, y viceversa (Figura 38 b). Posteriormente, se capturó la señal que da inicio al proceso de medición emitida por el plotter al presionar por segunda vez el botón START, para su utilización posterior en el desarrollo del software de control. Finalmente, se realizaron capturas completas de los procesos de medición.

Estas pruebas generaron una gran cantidad de archivos que contenían secuencias de caracteres con una estructura y sintaxis muy claras, las cuales parecían estar relacionadas con algún lenguaje de gráficos. El análisis detallado de estos archivos utilizando herramientas como HxD y WinMerge, permitió identificar patrones específicos en la comunicación entre la unidad de control y el plotter, proporcionando una visión más profunda sobre el protocolo y los datos intercambiados durante los distintos estados operativos del sistema (Figura 39). Esta información fue crucial para comprender el comportamiento del sistema y para la posterior incorporación de mejoras en la presentación de resultados, la optimización del proceso de medición y transmisión de datos.

Figura 37*Configuración del Hardware de Monitoreo e Intercepción*

Nota. Configuración de los sniffers y el cable tapping utilizada para la captura de información.
Elaboración propia.

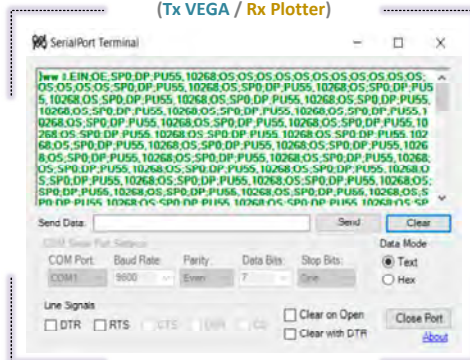
Figura 38
Captura de Información



a

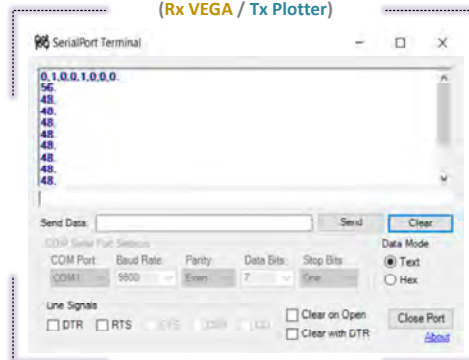
Primero VEGA

(Tx VEGA / Rx Plotter)



Segundo Plotter

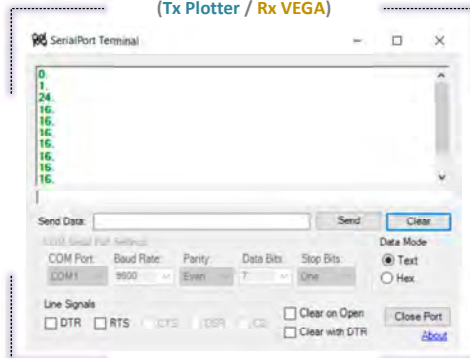
(Rx VEGA / Tx Plotter)



b

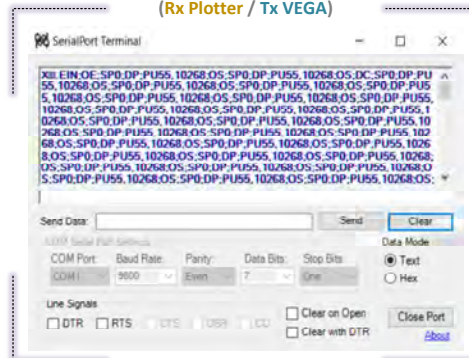
Primero Plotter

(Tx Plotter / Rx VEGA)



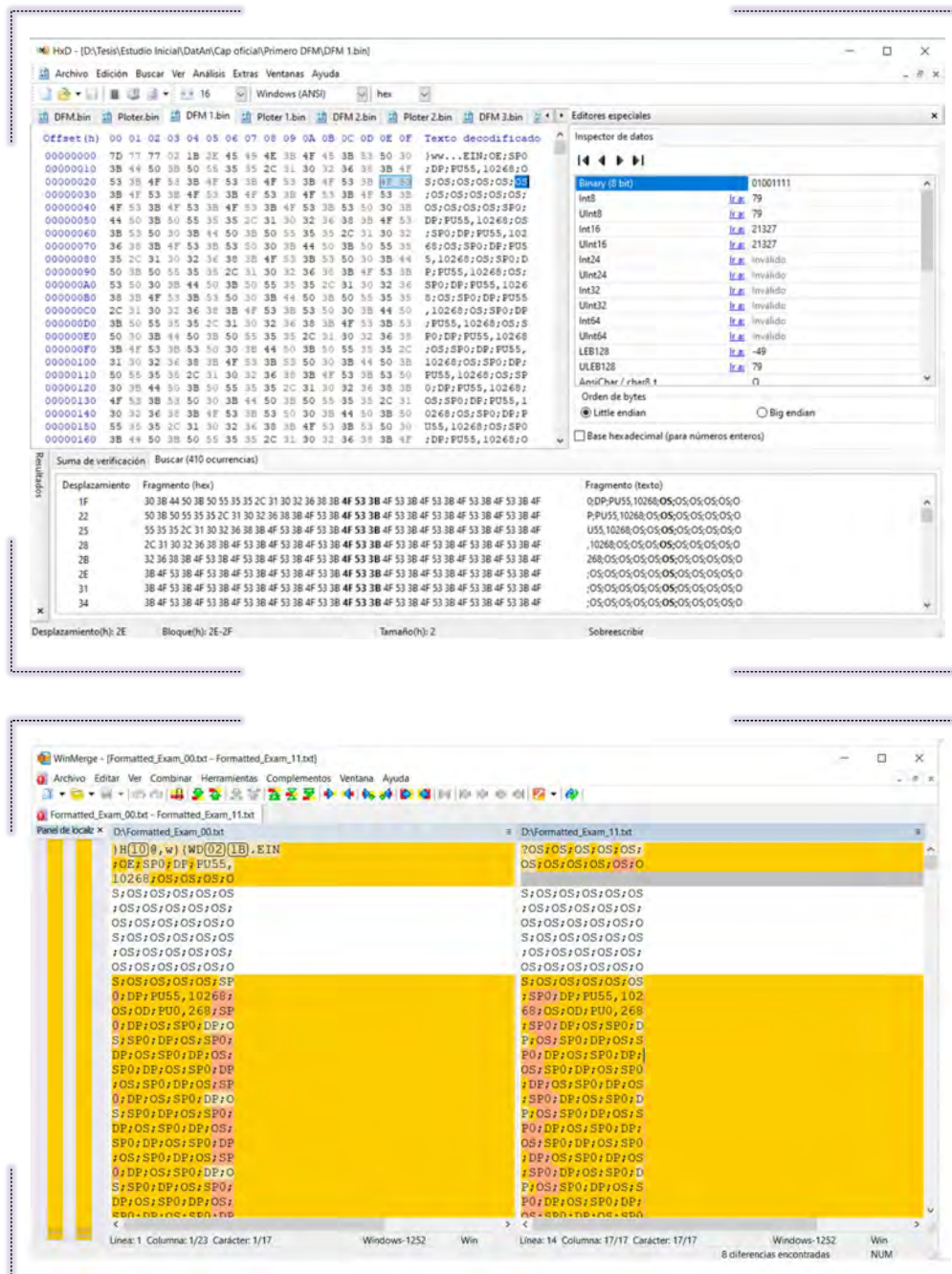
Segundo VEGA

(Rx Plotter / Tx VEGA)



Nota. Parte superior, software de monitoreo de puerto serie (a); parte inferior, captura de datos para distintas secuencias de encendido: VEGA-Plotter y Plotter-VEGA (b). Elaboración propia.

Figura 39
Análisis de la Información Capturada



Nota. Parte superior, inspección de los archivos de captura con la utilidad HxD; parte inferior, comparación de la estructura de distintos archivos de captura con la utilidad WinMerge. Elaboración propia.

Figura 41
Búsqueda por Referencia Cruzada

The figure consists of three vertically stacked screenshots of Google search results, each enclosed in a dashed rectangular border. The first screenshot shows a search for "SP0" instructions plotter roland, with a result from Launchpad Bugs titled "Bug #1409568 'Multiple pens for hpgl map pen to colour'". The second screenshot shows the same search query, but with a suggestion to filter by Spanish language and a result from lesporteslogiques.net titled "ROLAND DG CORPORATION". The third screenshot shows a search for "HPGL vs RD-GL" with a result from CTAN titled "CTAN: /tex-archive/graphics/hpgl2ps".

Search 1: "SP0" instructions plotter roland

28 nov 2016 — output to use with a **plotter**. File as produced is suitable for use with **Roland** ...
SP0;\n" "SP;\n" "IN;\n"; source & instructions ... **plotter**. File ...

Launchpad Bugs
<https://bugs.launchpad.net/bugs/> Traducir esta página

Bug #1409568 "Multiple pens for hpgl map pen to colour"

12 ene 2015 — ... **SP0**;IN;
 +IN;VS5;SP1;PU1655,2365;PD4342,2397;PU1439,1139;PD1439,1139,4407,1139;SP2;PU1568;

Search 2: "SP0" instructions plotter roland

Todo Imágenes Videos Shopping Noticias Más Herramientas

Sugerencia: Limitar esta búsqueda a resultados en idioma **español** . Más información para filtrar por idioma

lesporteslogiques.net
<https://lesporteslogiques.net/materiel/DPX-330...> PDF

ROLAND DG CORPORATION

bular **plotter** pen. You can also choose to use pen ... The **Instructions** for sending the **RD-GL II** from a ... 240 LPRINT "SM;**SP0**,0;". 250 END. 260 DATA ",500 ...

Search 3: HPGL vs RD-GL

¿Qué significa Hpgl?

Comentarios

CTAN: Comprehensive TeX Archive Network
<https://ctan.org/tex-archive/graphics/hpgl2ps> Traducir esta página

CTAN: /tex-archive/graphics/hpgl2ps

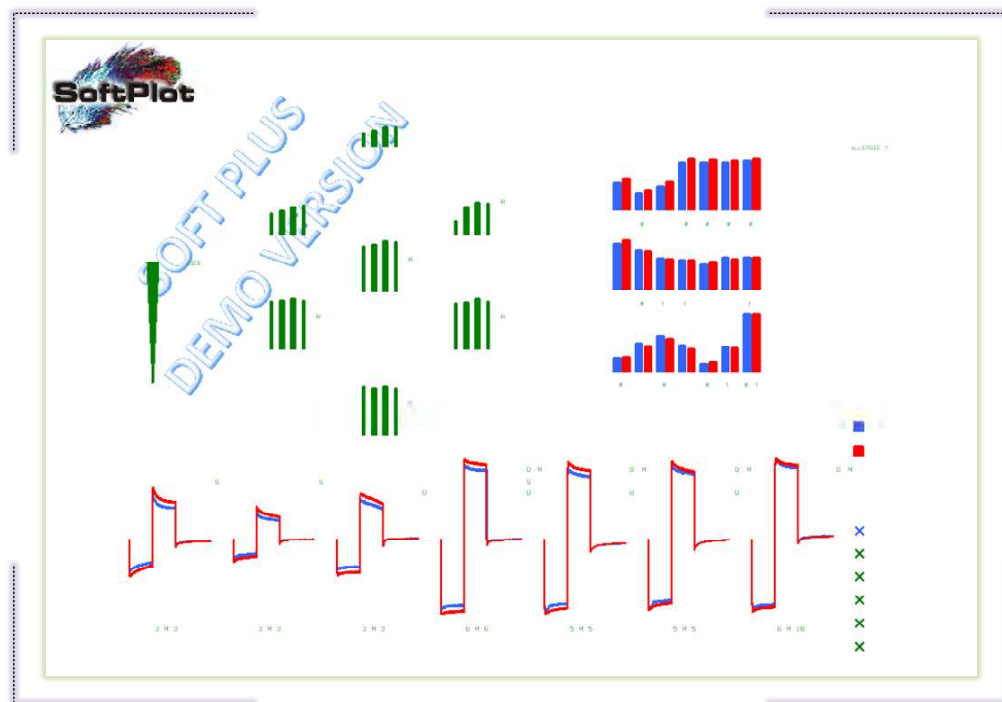
RD-GL: This command set is a superset of the HP (Hewlet Packard) graphics language. Not all the commands of DXY or **RD-GL (HPGL)** are implemented (approx 95 ...

Nota. Secuencia de resultados mostrados por Google para una búsqueda por referencia cruzada de la instrucción SP0 y la relación entre las instrucciones RD-GL y HP-GL. Elaboración propia.

Se procedió a descargar algunas utilidades de software que permitiesen graficar e interpretar la información capturada. Cada una de estas herramientas mostró el resultado de las gráficas con ciertas diferencias, pero esencialmente se trataba del mismo gráfico. No obstante, ninguna de estas utilidades permitía la libertad de presentación y manipulación requerida. Además, aquellos programas con funcionalidades avanzadas de manipulación a través de librerías y APIs exigían una licencia comercial (Figura 42).

Figura 42

Representación Gráfica de un Archivo de Captura

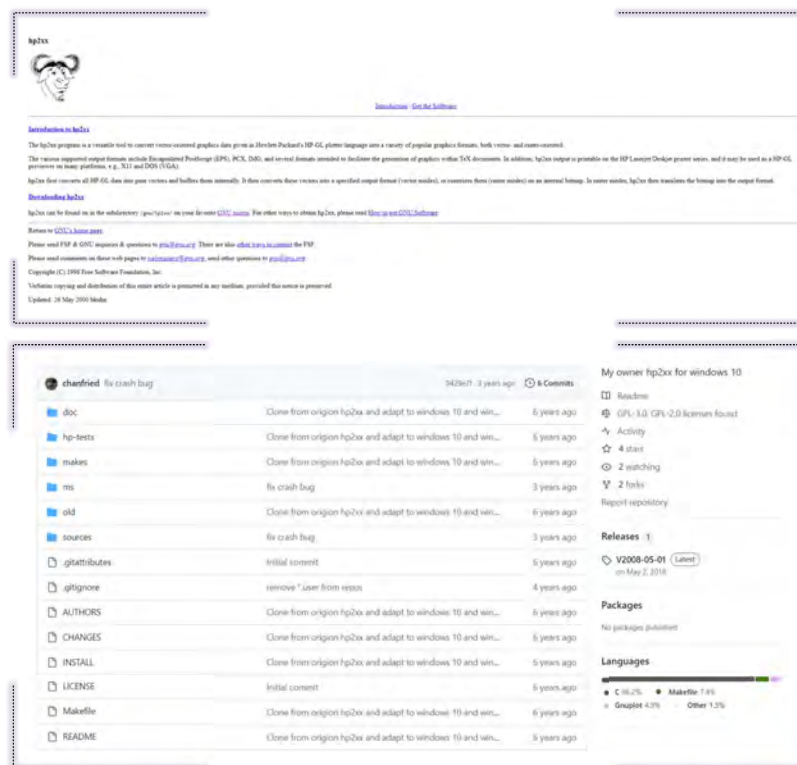


Nota. Gráfica de las instrucciones de una captura completa de datos correspondientes a una medición sobre un sujeto real. El software utilizado es una versión de prueba de la utilidad SoftPlot. Obsérvese la ausencia de las líneas y grafos de referencia que deben ser proporcionadas por el soporte de impresión (hoja de gráficos A3). Elaboración propia.

Con base en estas limitaciones, se decidió evaluar la posibilidad de crear un intérprete propio de gráficos HP-GL, adaptando algún proyecto de código abierto existente a nuestras necesidades específicas. El proyecto seleccionado fue una utilidad muy potente denominada hp2xx; la cual también resultó afectada por problemas de obsolescencia pues su última versión oficial data del año 2005 (“GnuWin - Browse /hp2xx/3.4.4-2 at SourceForge.net”, 2005). No obstante, la comunidad de programadores de software libre siguió sacando parches a nivel personal para hacerlo compatibles con versiones más actuales del sistema operativo Windows (Figura 43).

Figura 43

Repositorios de la Utilidad de Código Abierto hp2xx



Nota. Parte superior, captura de la página oficial del proyecto (“hp2xx - GNU Project - Free Software Foundation (FSF)”, 2000); parte inferior, captura del repositorio de una actualización para hp2xx compatible con Windows 10 (Chanfried, 2022). Elaboración propia.

4.4.4 Especificaciones para la Nueva Interfaz de Comunicación

Una vez determinado el lenguaje de comunicación y tomando en consideración que la señal que da inicio al proceso de medición es transmitida utilizando el protocolo RS-232 y puede ser reproducida programáticamente, se concluyó que es viable desarrollar un software de control, que requeriría únicamente de un conversor USB a serie para establecer la conexión entre el ordenador y la unidad de control, actuando como la nueva interfaz que permitirá gestionar los procesos de medición.

Después de realizar una búsqueda en tiendas físicas y virtuales de accesorios electrónicos, se identificó la interfaz adecuada para la comunicación entre el CPU del sistema VEGA DFM 722 y el ordenador donde se ejecutará el software de control. La Figura 44 presenta las especificaciones correspondientes al adaptador USB a Serie de la marca NETCOM, en general cualquier interfaz en otra marca y modelo que comparta estas especificaciones, debería ser funcional para este propósito.

Figura 44

Especificaciones para la Interfaz de Comunicación USB-Serie



Nota. Interfaz recomendada para la comunicación entre la unidad de control y el ordenador. Adaptado de Oeschle.pe (<https://www.oechsle.pe/cable-adaptador-usb-a-serie-rs232-db9-serial-1-5-metros-netcom-1000431510/p>).

4.4.5 Discusión al Estudio del Sistema de Comunicaciones

4.4.5.1 Discusión al Análisis del Protocolo de Comunicación

El análisis del protocolo de comunicación entre la unidad central y el plotter reveló la utilización del estándar serie RS-232C. La determinación de los parámetros propios del estándar no representó mayor complicación en virtud del manejo y consistencia de la teoría detrás del proceso.

El desmontaje de la unidad central fue determinante para identificar el control de flujo del protocolo de comunicación y la configuración de pines en el puerto DB9 del chasis. Resalto la ausencia del pin GND en el puerto DB9; pese a que esta señal de referencia podría haber sido proporcionada por el plotter a través del chasis, la señal medida seguía superponiéndose al ruido de tierra debido a que el ambiente en el que se desarrolló esta parte de la tesis carecía también de una puesta a tierra general; por tanto, se tuvo que recurrir al uso de interfaces USB a serie para poder estabilizar la señal.

4.4.5.2 Discusión a la Captura de Información

Los cables tapping y los sniffers jugaron uno de los papeles más importantes en el desarrollo de la presente tesis, al servir de elementos de monitoreo e interceptación de la información, permitiendo derivarla al software especializado para su captura. Se llevaron a cabo una serie de capturas de información bajo distintas secuencias de encendido, con el propósito de estudiar el proceso de handshaking entre la unidad central y el plotter, el resultado de esta experiencia mostró una ligera variación entre los datos enviados por el plotter, sin mayor significancia ya que la captura del comando que da inicio a la medición fue el mismo independientemente de cuál componente fuera encendido primero.

El análisis de la información capturada permitió determinar la existencia de secuencias de caracteres repetitivos que sugieren su uso como instrucciones, hecho que se ve reforzado por los números que las acompañan, los cuales podrían representar coordenadas en un marco de referencia. Por tanto, es acertado inferir que estas cadenas de caracteres estarían relacionadas a un lenguaje de gráficos.

4.4.5.3 Discusión a la Determinación del Lenguaje de Comunicación

La revisión del manual de usuario del plotter Roland DXY-1150A fue un paso crítico en la determinación del lenguaje de comunicación utilizado por el sistema VEGA DFM 722. A través de este manual, se identificó que el dispositivo empleaba un conjunto de instrucciones denominado RD-GL I y II. Este hallazgo permitió inferir que las instrucciones contenidas en los archivos de captura podrían estar relacionadas con este conjunto de comandos. Sin embargo, la falta de referencias claras sobre cómo procesar estas instrucciones fuera del contexto de un dispositivo de gráficos se presentó como un problema a tratar.

Para superar esta limitación, se recurrió a una estrategia de búsqueda por referencia cruzada en Google, lo que resultó en la identificación del lenguaje HP-GL/2 como el protocolo de comunicación utilizado por el sistema VEGA DFM 722. Este hallazgo facilitó la comprensión de cómo el sistema generaba sus instrucciones para la impresión de resultados.

Al procesar los archivos de captura que contienen las instrucciones HP-GL con el software especializado, se hizo evidente que, aunque era posible visualizar los resultados, la manipulación avanzada requería de una licencia comercial.

Frente a este obstáculo, se llevó a cabo un análisis detallado de las instrucciones presentes en los archivos de captura. Se descubrió que, a pesar de la gran cantidad de instrucciones disponibles en el lenguaje HP-GL, el sistema VEGA DFM 722 utilizaba un subconjunto reducido de estas instrucciones. Este resultado redirigió la atención a la búsqueda de herramientas de código abierto que se adecuaran más a nuestras necesidades.

Esta búsqueda condujo al proyecto GNU hp2xx, una utilidad desarrollada en lenguaje C durante la década de los 90. Aunque el proyecto ya no cuenta con soporte oficial, la comunidad de desarrolladores de código abierto mantuvo su viabilidad mediante parches y actualizaciones que permiten su uso en versiones modernas del sistema operativo Windows.

La utilidad hp2xx no sólo permitió la visualización de los resultados de medición en su formato original, sino que también proporcionó la capacidad de convertir estos resultados a otros formatos de imagen rasterizada y vectorial. Esto amplió notablemente las posibilidades de manipulación y presentación de los datos, adaptándose mejor a las necesidades específicas del proyecto.

4.4.5.4 Discusión a las Especificaciones para la Nueva Interfaz de Comunicación

Una vez asegurada la viabilidad del desarrollo del software para el sistema en base a los resultados obtenidos, correspondió evaluar e identificar la interfaz que será utilizada para conectar la unidad central y el ordenador en el que se ejecutará el software de control.

La interfaz que se utilizará para este propósito viene a ser un adaptador USB a serie, cuyas especificaciones deben procurar una correcta transmisión de datos y una conexión física estable, no requiriendo nada especial o fuera de lo que se tiene actualmente en el mercado.

4.5 Desarrollo del Software

Esta sección centra su atención en el desarrollo del software de control para el sistema VEGA DFM 722. El cual se desarrolló con el objetivo de sustituir las funciones tradicionales del plotter Roland DXY-1150A. Este software debió cumplir con una serie de requisitos específicos que aseguren la reincorporación del sistema VEGA DFM 722, su eficacia y usabilidad en un entorno clínico.

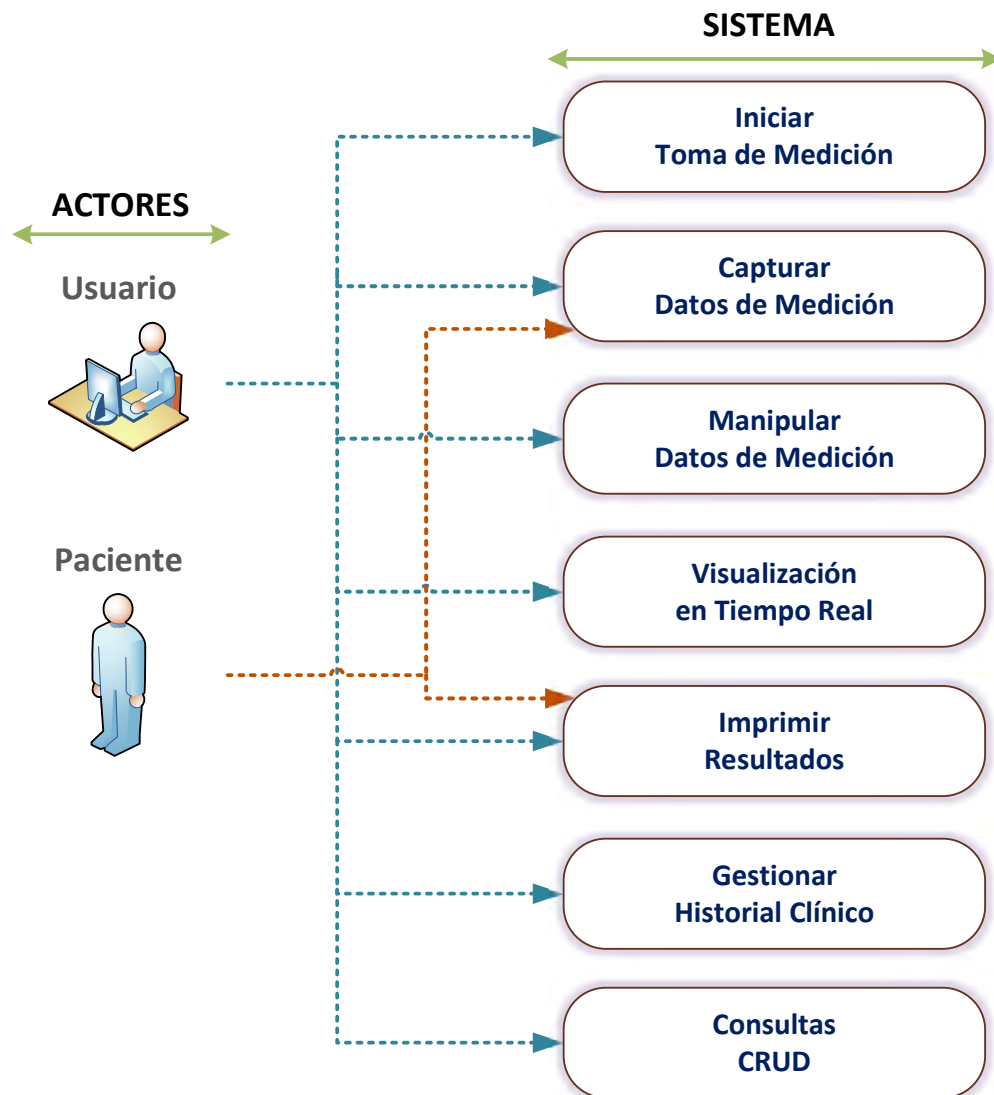
Para una mejor visualización y contexto de algunas imágenes presentadas en esta sección, se sugiere remitirse al apartado D.2 del Apéndice D.

4.5.1 Software de Control

4.5.1.1 Diseño del Software

Entre las principales funcionalidades que este software presenta están la capacidad de enviar comandos de inicio de medición, capturar y procesar la información recibida de la unidad central, manipular y mejorar la presentación de los datos de medición, optimizar los tiempos de medición y permitir su visualización gráfica en tiempo real. Además, el software debe ser capaz de imprimir los resultados para su entrega al paciente, almacenar la información en una base de datos Access, y ser compatible con las versiones actuales del sistema operativo Windows (Figura 45).

Figura 45
Diagrama de Casos de Uso



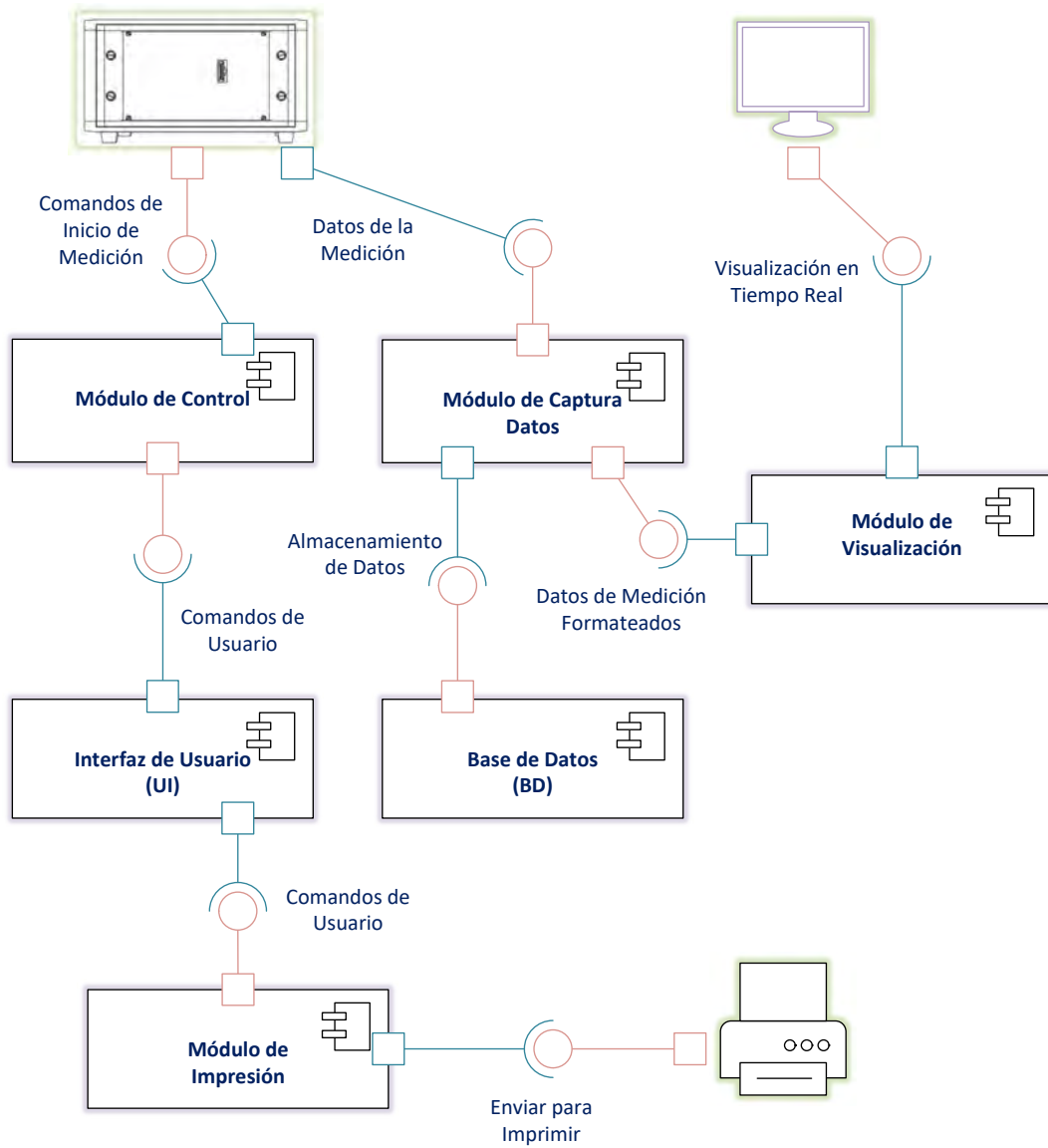
Nota. Representación gráfica de la interacción de los actores y el sistema, junto a sus requisitos funcionales. Elaboración propia.

La arquitectura del software posee un carácter modular, se desarrolló tomando en consideración el paradigma de programación orientada a objetos y se utilizó C# como lenguaje de programación principal. Los elementos que componen al sistema son:

- Interfaz de Usuario (UI): Interfaz gráfica utilizada por el usuario final para interactuar con el sistema. Incluye componentes como formularios, gráficos en tiempo real, y opciones para imprimir resultados.
- Módulo de Control: Gestiona la configuración del puerto serie y envía los comandos para iniciar la toma de mediciones.
- Módulo de Captura de Datos: Recibe los datos de medición desde la unidad central del sistema VEGA DFM 722, valida y preprocesa los datos antes de almacenarlos.
- Módulo de Visualización: Procesa los datos y genera visualizaciones gráficas en tiempo real. Envía gráficos y resultados a la UI y al monitor de presentación.
- Base de Datos (BD): Almacena los datos de medición, el historial clínico del paciente y otros datos relevantes. Utiliza una base de datos en Access.
- Módulo de Impresión: Gestiona la generación y el envío de resultados para su impresión. Permite la impresión de informes para la entrega al paciente.

Una representación visual de la forma en la que interactúan estos componentes se puede visualizar en la Figura 46.

Figura 46
Diagrama de Componentes



Nota. Representación gráfica de la interacción de los distintos módulos que componen el software, acompañado de su interacción con los componentes de hardware. Elaboración propia.

4.5.1.2 Implementación de los Módulos

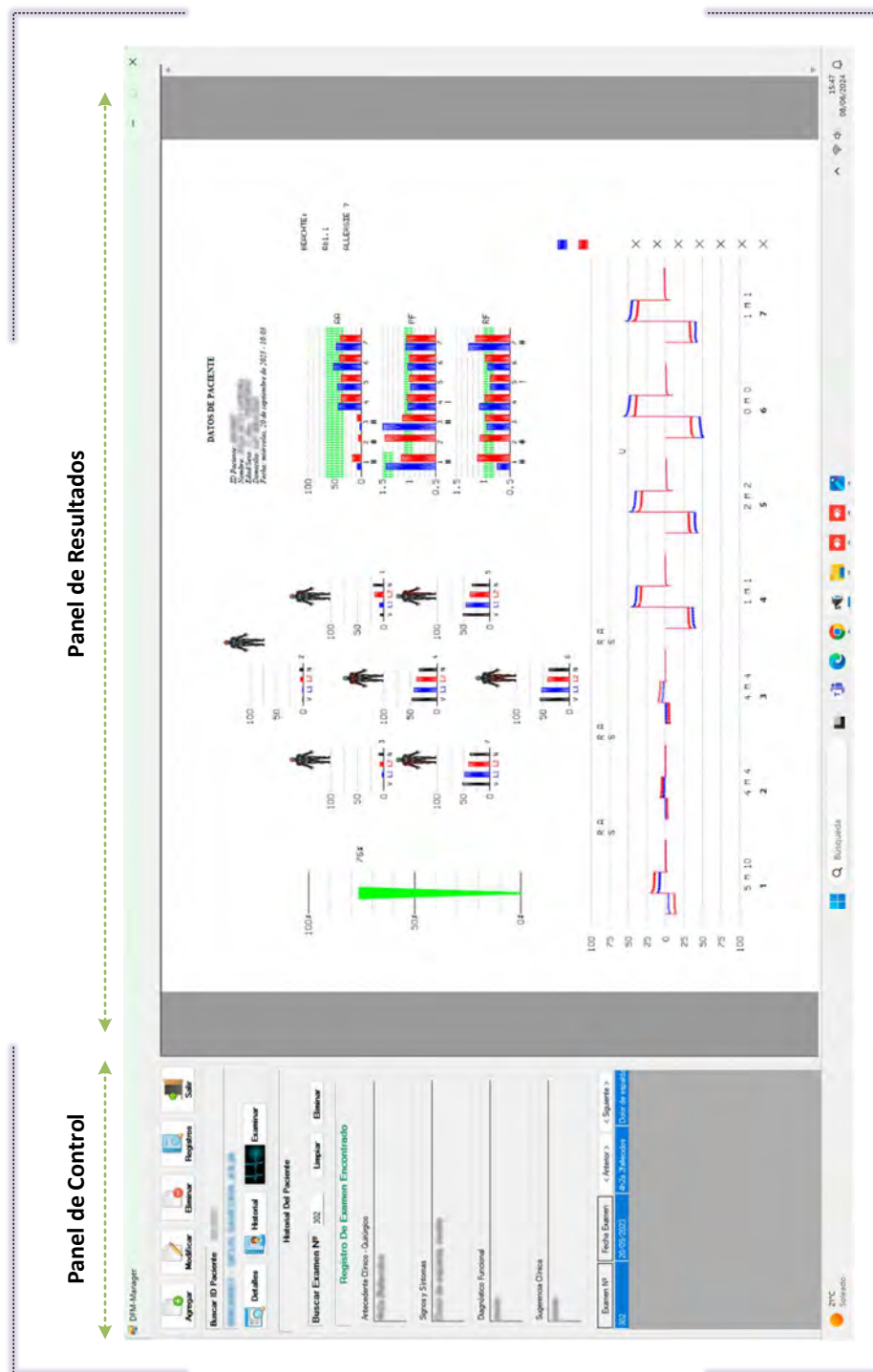
4.5.1.2.1 Interfaz de Usuario (UI)

La interfaz de usuario del sistema posee una estructura de navegación intuitiva, diseñada para proporcionar una experiencia de usuario eficiente, facilitando la gestión de pacientes, la toma de mediciones y la interpretación de datos clínicos (Figura 47).

Entre los componentes principales de la UI y sus funciones se tiene:

- Panel de Control
 - Botones de Acción
 - * Agregar registros
 - * Modificar registros
 - * Eliminar registros
 - * Acceder a registros
 - * Salir del programa
 - Buscar ID Paciente
 - * Campo de búsqueda para acceder a detalles, historial y exámenes del paciente.
- Panel de Resultados
 - Para la presentación de resultados
 - * Muestra los resultados del examen, el número, fecha y detalles clínicos del paciente.
 - Durante el proceso de medición
 - * Muestra en tiempo real los resultados parciales del proceso de medición, el panel de los tramos de medición y mensajes de estado.

Figura 47
Interfaz de Usuario (UI)



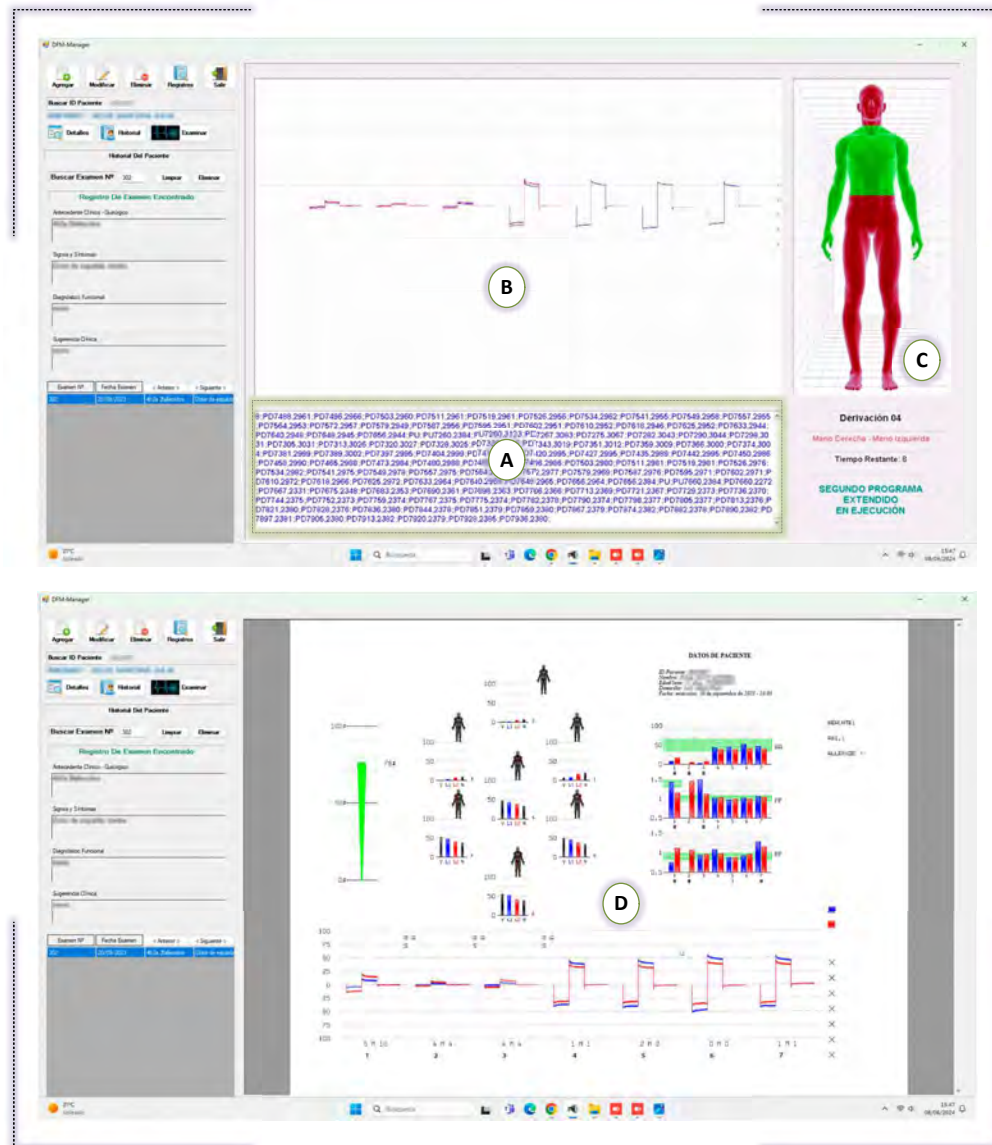
Nota. Software de control ejecutándose sobre Windows 11. Elaboración propia.

4.5.1.2.3 Módulo de Captura de Datos Este módulo es el encargado de recepcionar las instrucciones HP-GL provistas por la unidad central durante el proceso de medición. Para esto, el módulo verifica la existencia de datos en el buffer del puerto serie y luego los almacena en un control del tipo RichTextBox (Figura 49 a). Estos datos se acumulan dentro de un archivo temporal PLT, el cual se actualiza cada vez que la unidad central envía datos. Una vez concluida la medición, los datos recolectados se guardan en un archivo final de texto plano con la extensión PLT, para que pueda ser interpretado por el módulo de visualización

4.5.1.2.4 Módulo de Visualización Este módulo está compuesto por tres elementos visuales:

- Panel de visualización en tiempo real de los datos de medición: Este componente hace uso en segundo plano de la utilidad hp2xx; la cual permite interpretar los datos parciales de los archivos PLT temporales generados en el módulo de captura. Estos datos en formato PLT son rasterizados por la utilidad para convertirlos en imágenes PNG, las cuales se actualizan en la pantalla toda vez que el puerto COM recibe datos, emulando de este modo su visualización en tiempo real (Figura 49 b).
- Panel indicador de los tramos de medición y mensajes de estado: Este componente permite visualizar cada una de las etapas del proceso de medición VEGA. Para ello se sincroniza con la aparición de ciertos comandos dentro del RichTextBox del módulo de captura, los cuales indican que se llevará a cabo otra etapa del proceso de medición (Figura 49 c).
- Panel de resultados: Este componente se encarga de presentar los resultados de los exámenes en formato PDF. Para este proceso, utiliza la integración con Acrobat Reader, lo que permite la visualización de archivos PDF directamente en el software de control. Además, se integra con Microsoft Word para añadir texto adicional a los resultados de medición y generar un archivo PDF parcial. Finalmente, en segundo plano, se utiliza la herramienta PDFTK para fusionar los archivos PDF parciales, generados por hp2xx y Word, en un archivo PDF final. Este archivo se almacena en una carpeta específica y puede ser accedido mediante consultas a la base de datos (Figura 49 d).

Figura 49
Módulos de Captura y Visualización



Nota. Parte superior, elementos que componen al módulo de visualización durante el proceso de medición [A, B, C]; parte inferior, vista de panel de resultados, se presenta una vez concluida la medición o al acceder desde el historial de exámenes del paciente [D]. Elaboración propia.

4.5.1.2.5 Base de Datos

El módulo de base de datos del sistema emplea Microsoft Access para almacenar y gestionar la información clínica de los pacientes. Esta elección se debe a que dicho gestor de base de datos viene incluido en el paquete de ofimática Microsoft Office, presente en la mayoría de equipos de escritorio con sistema operativo Windows.

Las funciones principales de esta base de datos comprenden:

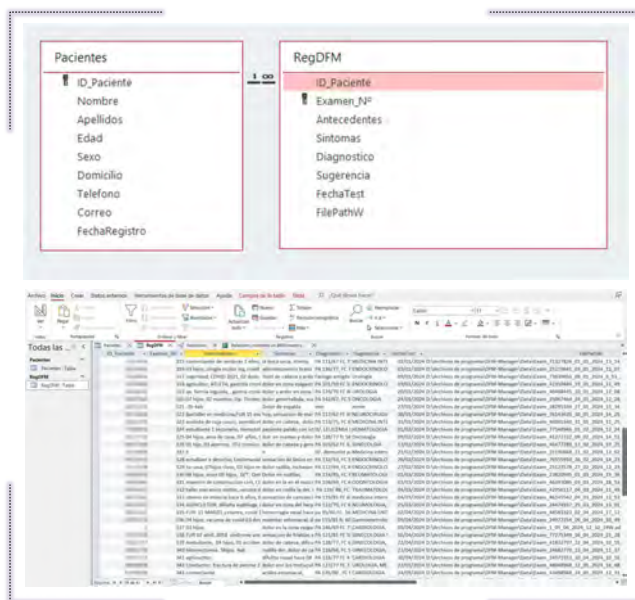
- Almacenamiento y recuperación de datos
- Consultas CRUD (Create, Read, Update, Delete)

La Figura 50 presenta la estructura de la base de datos diseñada para el sistema de control, compuesta por dos tablas principales: Pacientes y RegDFM. Estas tablas están interrelacionadas de manera que permiten la organización y gestión eficiente de los datos clínicos y los resultados de medición.

La relación entre las dos tablas es de uno a muchos, lo que significa que un paciente puede tener múltiples registros en la tabla RegDFM. Este diseño permite un seguimiento detallado del historial clínico de cada paciente, almacenando múltiples diagnósticos y resultados de pruebas a lo largo del tiempo.

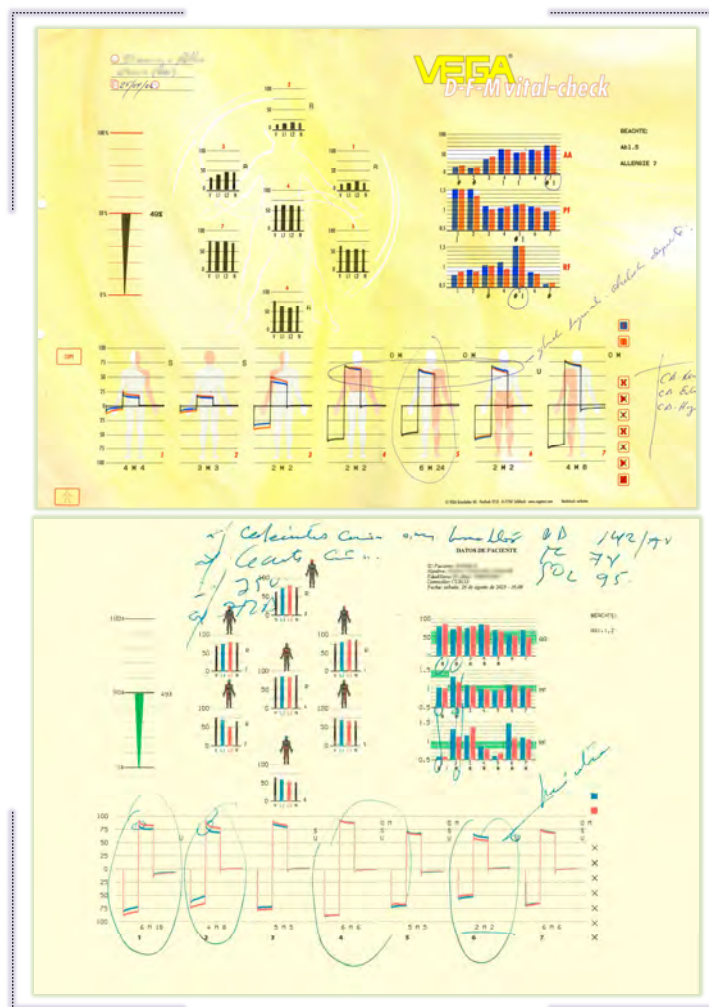
- Tabla Pacientes: Esta tabla contiene la información básica de cada paciente registrado en el sistema. Los campos incluyen:
 - ID_Paciente: Identificador único, que actúa como clave primaria.
 - Nombre
 - Apellidos
 - Edad
 - Sexo
 - Domicilio
 - Teléfono
 - Correo

- Tabla RegDFM: Esta tabla se utiliza para registrar los resultados de medición y diagnósticos obtenidos durante las pruebas realizadas. Los campos incluyen:
 - ID_Paciente: Clave foránea que vincula cada registro con el paciente correspondiente en la tabla Pacientes.
 - Examen_Nº: Número de identificación del examen realizado.
 - Antecedentes
 - Síntomas
 - Diagnóstico
 - Sugerencia
 - FechaTest: Fecha en la que se realizó el examen.
 - FilePathW: Ruta del archivo donde se almacenan los resultados del examen.

Figura 50*Base de Datos del Sistema*

Nota. Parte superior, relación entre las tablas "Pacientes" y "RegDFM" a través del campo ID_Paciente; parte inferior, captura de los registros de medición en la base de datos Access. Elaboración propia.

Presentación de Resultados en Soporte de Impresión (C.D.M.F.C. QOSQO HAMPI)



Nota. Parte superior, resultados de medición presentados por el plotter del sistema cuando estaba operativo (formato A3); parte inferior, resultados de medición presentados por el nuevo software de control (formato A4). Elaboración propia.

4.5.1.3 Mejora de la Presentación y Optimización del Proceso de Medición

La implementación de las mejoras a nivel de presentación fue posiblemente el aspecto más desafiante y estimulante tras haber logrado entender la lógica detrás de la presentación gráfica de los resultados. Para llevar a cabo estas mejoras se utilizaron técnicas de búsqueda sobre el flujo de información e inyección de datos.

En primera instancia, se creó un mapeo de las instrucciones HP-GL de todos los gráficos individuales que conforman la presentación final de resultados (Figura 52). Esto permitió inferir las coordenadas exactas donde deben trazarse las líneas de referencia así como sus correspondientes escalas.

De manera similar, mediante la búsqueda de instrucciones específicas en el flujo de información, se logró sincronizar el panel de visualización de mensajes de estado con los subprocesos de medición que se pueden visualizar en la Figura 17, los cuales son señalados en el soporte de impresión con una marca de control [X] una vez concluidos. (Figura 53).

Finalmente, el mapeo de las instrucciones HP-GL, permitió también controlar los colores utilizados en el trazado de algunos elementos.

Culminado el proceso de medición, se genera un volcado de información del contenido del RichTextBox del módulo de captura a un archivo temporal PLT. Posteriormente un algoritmo de búsqueda y reemplazo modifica algunos elementos de la presentación y agrega las líneas de referencia. Este proceso genera el archivo PLT final del módulo de captura, que será procesado por el módulo de visualización para su presentación final (Figura 54).

En cuanto a la optimización del proceso de medición, este resultó en la reducción de los tiempos de medición. En el sistema original que hacía uso del plotter, la unidad central finalizaba el proceso de medición a los 8 minutos; no obstante, la información de los resultados de medición se enviaba al plotter, que la almacenaba en su memoria para luego continuar con el trazado de los gráficos, un proceso que tomaba aproximadamente 4 minutos adicionales debido a su velocidad. En el nuevo sistema, esta información es procesada inmediatamente por el módulo de visualización. Este hecho fortuito se tradujo en un logro inesperado, que ha demostrado ser fundamental, destacando el enorme potencial de la ingeniería inversa en la generación de resultados y conocimiento directamente aplicable.

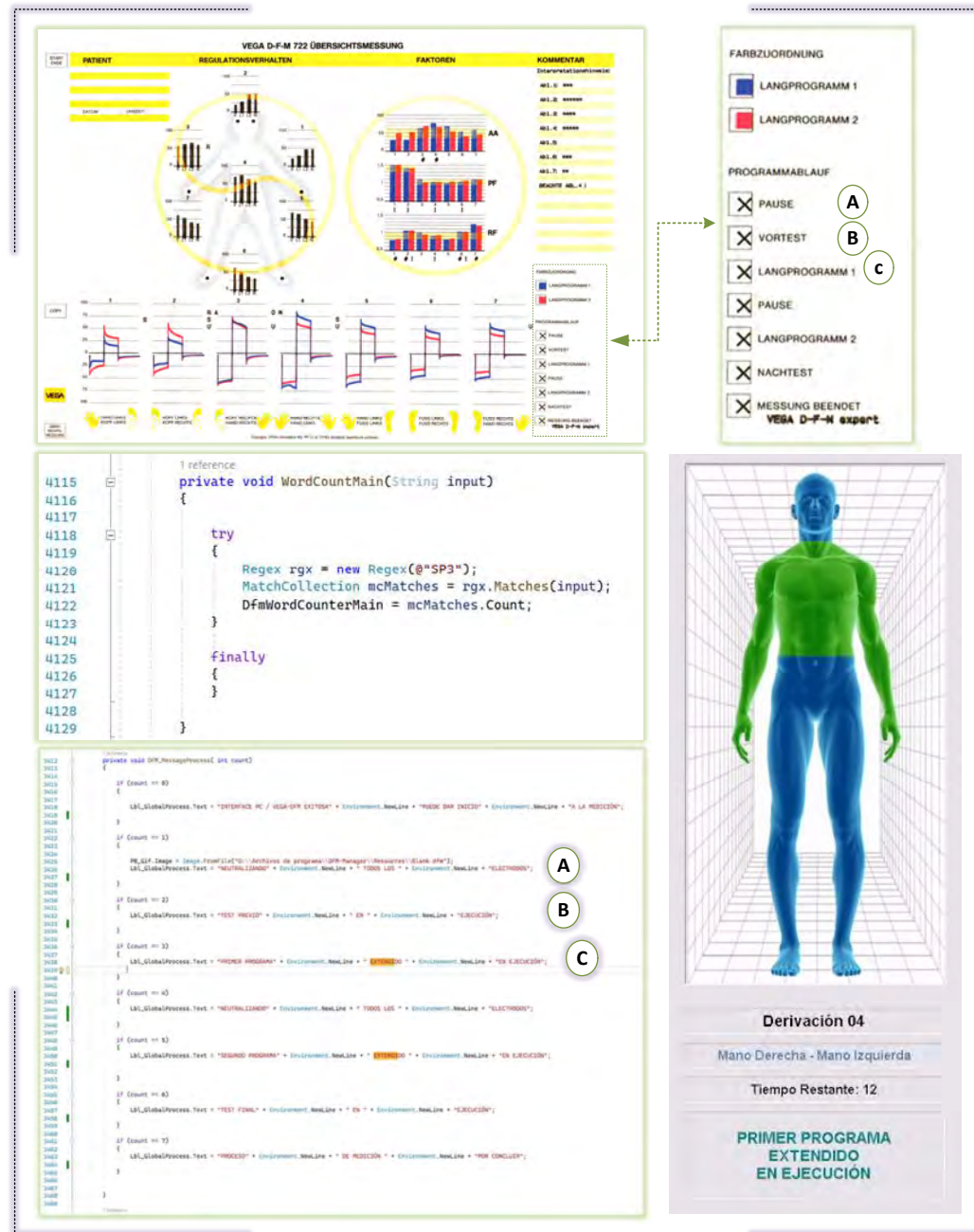
Figura 52
Mapecto de los Trazados en Instrucciones HP-GL



Nota. Mapeo en instrucciones HP-GL, de algunos de los trazados que componen los resultados de medición presentados por el plotter. Obsérvese las instrucciones resaltadas en la parte derecha y las guías señaladas a la izquierda, estas representan las coordenadas para el trazado de las líneas de referencia. Elaboración propia.

Figura 53

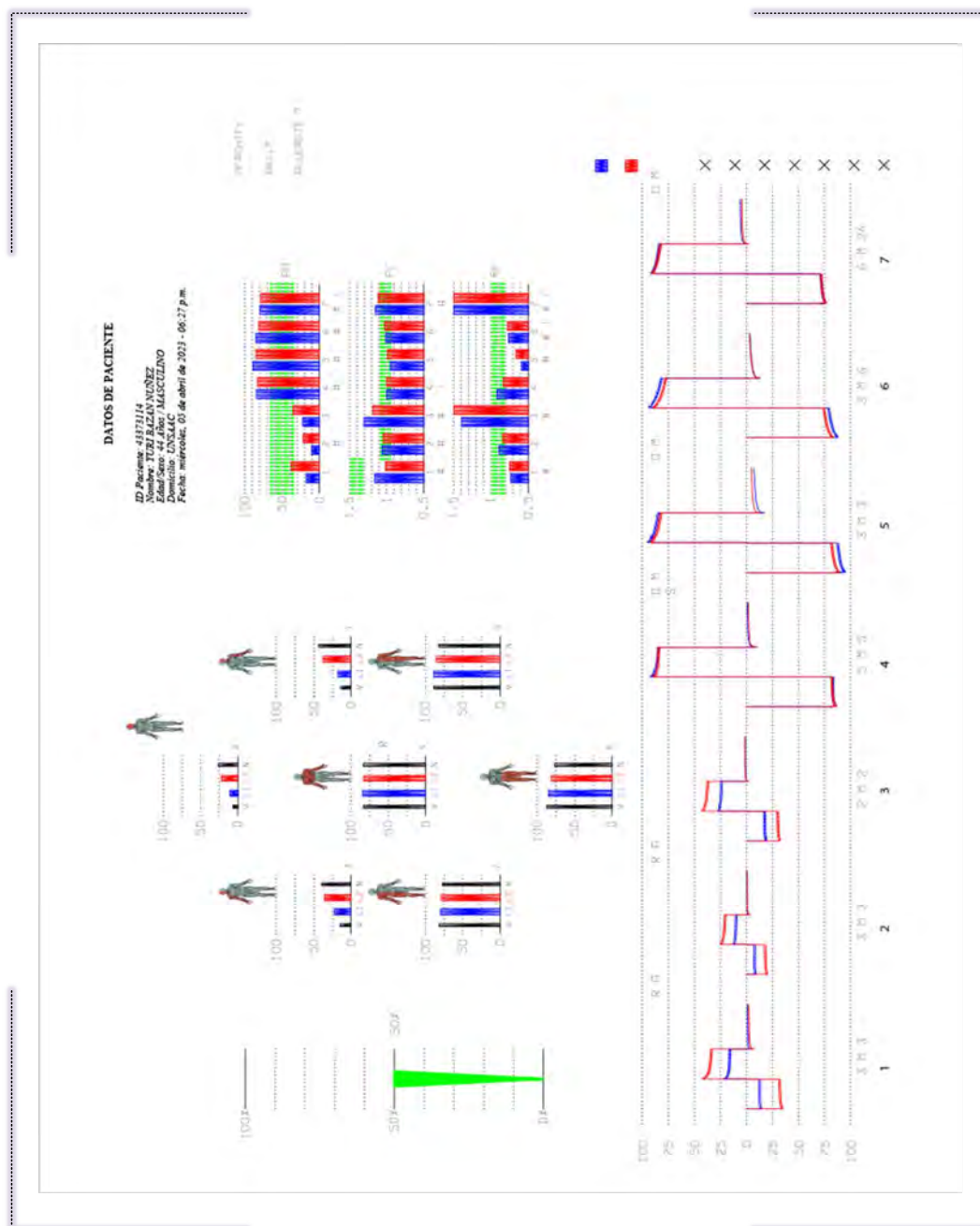
Sincronización de los Procesos de Medición y el Módulo de Visualización



Nota. Parte superior, marcas de control [X] de los subprocesos de medición [A, B, C...]; parte inferior, algoritmo de búsqueda de las marcas de control [X] y la implementación para su sincronización con el panel de tramos de medición y los mensajes de estado [A, B, C...]. Elaboración propia.

Figura 54

Resultados Finales Presentados por el Módulo de Visualización



Nota. Formato para la presentación final de los resultados de medición, incluye líneas de referencia y sus correspondientes escalas, figuras vectoriales que acompañan a los tramos de medición, barras sombreadas en color verde que indican los niveles normales en los factores de proporcionalidad y datos del paciente. Compárese con la gráfica mostrada en la Figura 42. Elaboración propia.

4.5.2 Pruebas y Validación

Se realizaron mediciones en sujetos reales utilizando el nuevo sistema Ordenador - VEGA DFM 722 (Figura 55). Asimismo, se llevó a cabo una comparación de los resultados obtenidos con el rendimiento previo del sistema para evaluar tanto las mejoras implementadas como la precisión del nuevo sistema.

El presente trabajo de investigación fue en parte financiado por el *Centro de Diagnóstico en Medicina Funcional – Complementaria QOSQO HAMPI*. Propietario de las dos unidades VEGA DFM 722 sobre las cuales se llevó a cabo el proceso de ingeniería inversa; en tal sentido, los directos interesados en el desarrollo del software para sus equipos.

El software desarrollado se entregó para su prueba de aceptación al centro de diagnóstico hacia el mes de marzo del año 2023; a la fecha julio del 2024, lleva poco más de un año operando en sus instalaciones.

Durante esta etapa de prueba se realizaron visitas periódicas al centro de diagnóstico, con la finalidad de brindar el soporte, asistencia, mantenimiento y despejar alguna duda o imprevisto que pudiera presentar el software desarrollado. No habiéndose reportado falla alguna o problema de incompatibilidad hasta la fecha de recabar la base datos de los resultados de medición. Posteriormente se analizó la data recolectada para redactar este apartado (Figura 56).

Asi mismo dicho centro de diagnóstico emitió un informe de satisfacción sobre el producto desarrollado, el cual se presenta en la Figura 57.

Sobre esta base, se procedió a la validación del software desarrollado para los sistemas VEGA DFM 722; en virtud de haber cumplido con la revisión de los requisitos, diseño y pruebas de usuario necesarias.

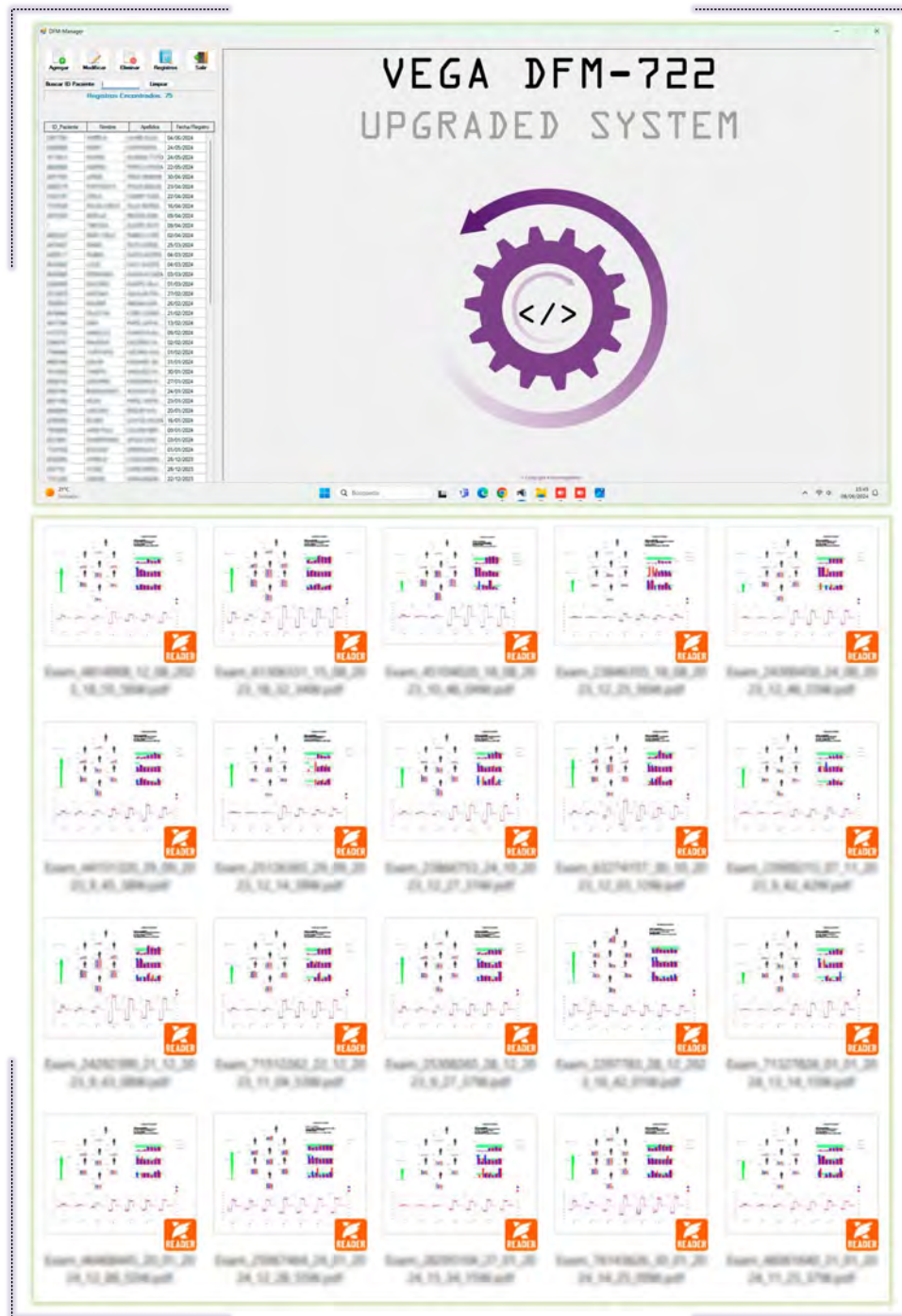
Figura 55
Prueba del Software de Control en individuos Reales



Nota. Proceso de medición sobre un sujeto real utilizando el nuevo sistema [Ordenador – VEGA DFM 722]. Elaboración propia.

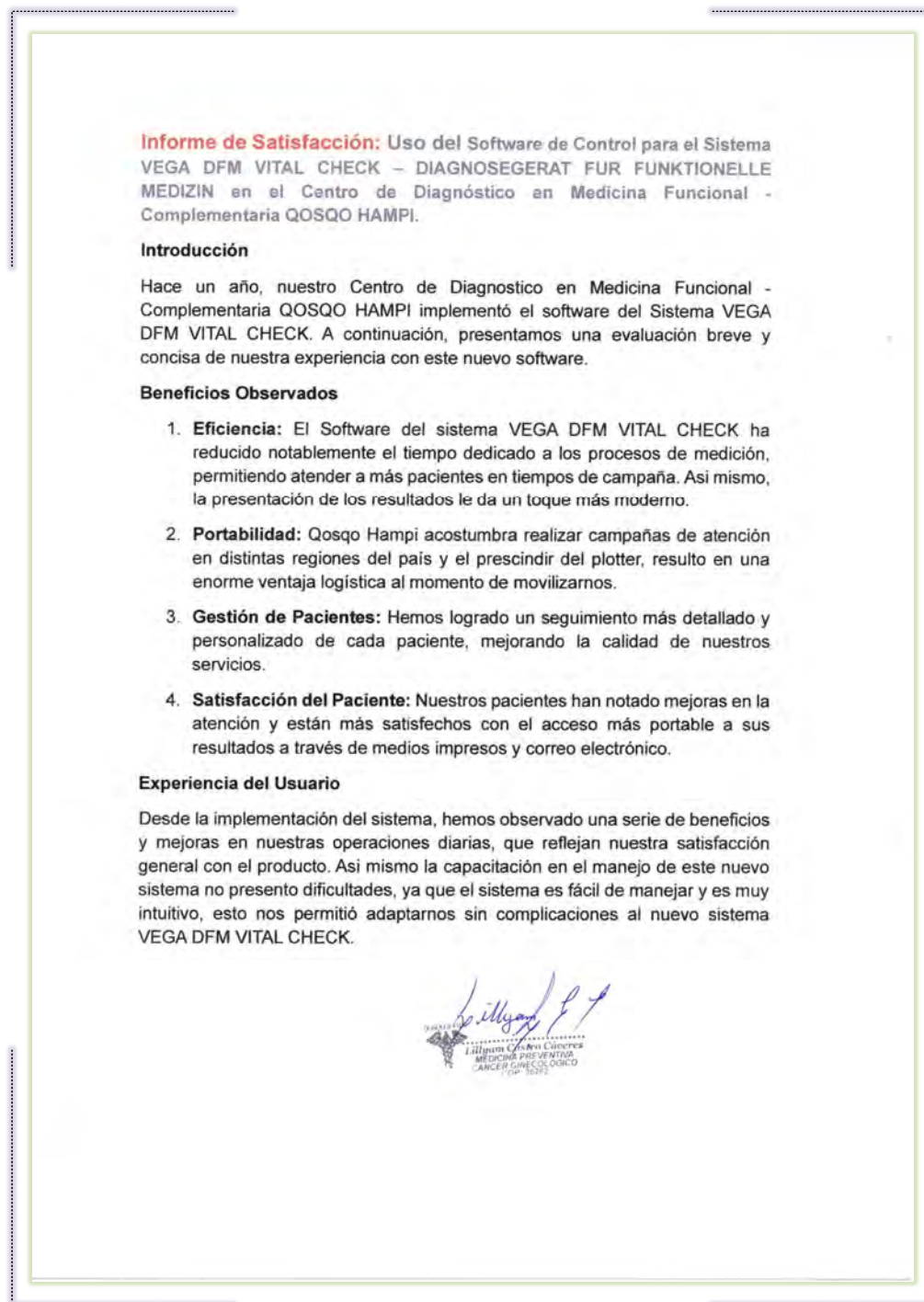
Figura 56

Vista del Registro de Mediciones del Centro de Diagnóstico



Nota. Parte superior, captura de los registros de medición; parte inferior, miniaturas de los archivos PDF con los resultados de medición. Elaboración propia.

Figura 57
Informe de Satisfacción de Usuario Final



Nota. Escaneo del informe de satisfacción emitido por el Centro de Diagnóstico en Medicina Funcional – Complementaria QOSQO HAMPI. Elaboración propia.

4.5.3 Discusión al Desarrollo de Software

4.5.3.1 Discusión al Software de Control

El desarrollo del software de control para el sistema VEGA DFM 722 presentó ciertos desafíos; intentar extender la vida útil del sistema al reemplazar las funciones anteriormente realizadas por el plotter Roland DXY-1150A por un ordenador, fue una iniciativa en cierto modo audaz. Esta actualización no sólo tenía como objetivo mantener operativo un sistema embebido antiguo, sino también incorporar mejoras que optimizaran tanto el proceso de medición como la presentación de resultados.

En este contexto, la adopción de una arquitectura modular y la decisión de elegir una POO apoyada en C# resultó ser acertada.

La interfaz de usuario (UI) fue otro aspecto importante en el desarrollo del software. Se procuro un diseño intuitivo y eficiente para su manejo dentro de un entorno clínico, donde la facilidad de uso y la rapidez son fundamentales. La inclusión de formularios bien estructurados, gráficos en tiempo real y opciones de impresión mejoradas no sólo elevó la calidad de la experiencia del usuario, sino que también contribuyó a una adopción más rápida y eficaz del software por parte del usuario final. Sin embargo, aunque estos resultados son prometedores, podrían existir algunas áreas de mejora.

Un logro técnico no previsto fue la optimización del tiempo de medición. El sistema original requería aproximadamente 12 minutos para completar el proceso, principalmente debido a la baja velocidad del plotter al trazar los resultados sobre la hoja física. En contraste, el nuevo software permitió reducir este tiempo a 8 minutos, gracias al procesamiento y visualización inmediata de los datos. Bajo el supuesto razonable de que una menor duración en los tiempos de ejecución conlleva también una menor utilización de recursos computacionales y, por ende, un menor consumo energético. Podemos a partir de ello inferir, que la eficiencia operativa del sistema ha sido también mejorada.

Las mejoras realizadas en la presentación gráfica de los resultados plantearon inicialmente un desafío técnico; sin embargo la implementación de técnicas de búsqueda en el flujo de información e inyección de datos con instrucciones HP-GL permitieron personalizar y

mejorar la visualización de los resultados de medición.

Los logros obtenidos en esta sección son muy alentadores respecto de la recuperación de sistemas embebidos y en particular del sistema VEGA DFM 722 a nivel de software. No obstante, se torna necesario asegurar la compatibilidad del software desarrollado con versiones actuales y futuras del sistema operativo Windows; para ello se requiere un plan de mantenimiento y actualizaciones continuas, en tal sentido una siguiente versión del software viene siendo desarrollada y forma parte de la reingeniería completa del sistema VEGA DFM 722, proyecto que viene siendo desarrollado de manera particular.

4.5.3.2 Discusión a las Pruebas y Validación

El proceso de pruebas unitarias realizado sobre los distintos módulos del sistema fue fundamental para garantizar que cada componente individual funcionara correctamente. Esto permitió identificar y corregir errores tempranamente, lo que se tradujo en una mayor estabilidad y fiabilidad del software en su conjunto. Al reflexionar sobre estos resultados, es evidente que la arquitectura modular del software jugó un papel importante en este proceso, ya que al evaluar cada modulo de manera independiente, permitió minimizar el riesgo de que fallos en un componente afectaran al sistema completo.

Llevar a cabo pruebas sobre individuos reales y recopilar la información de retroalimentación de los operadores permitió realizar ajustes y correcciones sobre el diseño del sistema.

La implementación y validación del sistema en un entorno real, específicamente en el Centro de Diagnóstico en Medicina Funcional - Complementaria QOSQO HAMPI, desde marzo de 2023, ofreció una valiosa oportunidad para evaluar el rendimiento del software en condiciones operativas reales. La recopilación de la base de datos del sistema entre junio de 2024 y la recepción del informe de satisfacción por parte de los propietarios del sistema VEGA DFM 722 en julio de 2024, proporcionaron evidencia objetiva del éxito del sistema en la práctica. Por tanto y en base a esta información se procedió a validar el software desarrollado, asegurando de esta forma que este cumplió con los requerimientos del cliente y con las especificaciones funcionales y no funcionales.

4.6 Interpretación de los Resultados e Implicancias

Los resultados obtenidos tras la implementación y validación del sistema modificado VEGA DFM 722, proporcionan una serie de perspectivas que destacan tanto las mejoras logradas como las posibles implicancias de estas en el ámbito de la medicina funcional y la ingeniería inversa.

Podemos afirmar con certeza, que el sistema modificado ha logrado una notable mejora en los distintos aspectos del proceso de medición, respecto del sistema original. Esto se traduce en la extensión de la vida útil de los sistemas VEGA DFM 722 y su vigencia en el ámbito de la Medicina Funcional.

El uso de la ingeniería inversa para prolongar la vida útil del sistema VEGA DFM 722 conlleva también ciertas implicancias éticas y legales. La posibilidad de extender la funcionalidad de dispositivos que han sido forzados al desuso, plantea preguntas sobre los derechos de propiedad intelectual.

¿Que tanto esta facultado el usuario de procurar estas modificaciones?.

Cuestiones como esta, subrayan la necesidad de tener bien en claro los marcos legales que regulan el uso de la ingeniería inversa, asegurando que se utilice de manera ética para el beneficio de la sociedad, mientras se respetan los derechos de los creadores originales.

Los resultados obtenidos sugieren también un camino claro para futuras investigaciones y desarrollos.

Finalmente la recuperación, reutilización y mejora de sistemas existentes que enfrentan problemas de obsolescencia contribuyen a la reducción de desechos electrónicos, promoviendo prácticas más sostenibles en la gestión de dispositivos embebidos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1 Conclusiones por Objetivos Específicos

5.1.1 Principio de Funcionamiento

Se logró una comprensión integral de los principios de funcionamiento del VEGA DFM 722. Aunque la información disponible fue limitada y parcialmente reservada, se pudo inferir adecuadamente el funcionamiento del sistema mediante un análisis detallado de sus componentes y procesos de medición. Esto sentó las bases para aplicar la ingeniería inversa de manera efectiva.

5.1.2 Emulador de Sujeto de Prueba

Se diseñó y fabricó con éxito un circuito electrónico que emula las respuestas fisiológicas humanas, permitiendo la realización de pruebas sin la necesidad de sujetos reales. Este avance fue crucial para la fase de pruebas y validación del sistema modificado, asegurando la seguridad y eficiencia del proceso.

5.1.3 Sistema de Comunicación

Se identificaron y adaptaron los protocolos de comunicación implementados en el sistema VEGA DFM 722. Mediante el uso de herramientas de análisis y captura de señales, se determinó que el sistema utiliza un protocolo de comunicación serial. Se logró adaptar este protocolo para interactuar con tecnologías informáticas actuales, facilitando la implementación del nuevo software de control.

5.1.4 Software de Gestión

Se desarrolló un software de gestión en C# que interpreta, muestra en tiempo real, almacena en una base de datos y permite la impresión de los datos de diagnóstico. El software mejoró significativamente la presentación gráfica de los resultados y optimizó el tiempo de medición, reduciendo el tiempo necesario para completar las mediciones en aproximadamente 4 minutos.

5.1.5 Fiabilidad y Precisión del Sistema Modificado

Las pruebas realizadas con el nuevo sistema en sujetos reales y un prolongado periodo de prueba en un entorno clínico, confirmaron la precisión y fiabilidad del sistema modificado. Los resultados fueron consistentes con los obtenidos con el sistema original, demostrando que las mejoras implementadas no sólo mantuvieron la exactitud del sistema, sino que también optimizaron su rendimiento.

5.1.6 Visualización y Modelado para Fines Pedagógicos

Se utilizaron herramientas de modelado y animación para recrear el funcionamiento del sistema, facilitando su comprensión para un público no especializado. Estas visualizaciones serán también utilizadas para la futura sustentación de esta tesis, ayudando a destacar la funcionalidad y beneficios del sistema modificado.

5.2 Conclusión General

La implementación de técnicas de ingeniería inversa para la recuperación y mejora del sistema VEGA DFM 722, ha demostrado ser exitosa, logrando no sólo restaurar su funcionalidad, sino también optimizar su rendimiento y facultar su compatibilidad e interacción con tecnologías actuales.

Este estudio no sólo contribuye a la prolongación de la vida útil de esta línea de dispositivos a través de la reutilización y adaptación, sino que también establece un marco metodológico que puede ser aplicado en general a dispositivos embebidos afectados por problemas obsolescencia y obsolescencia programada.

Por ultimo, este estudio procura sumarse a las iniciativas en pro de despertar conciencia en la sociedad respecto de la forma en la que venimos ignorando un problema de carácter global como es la generación de desechos electrónicos, con el cual inevitablemente tenderemos que lidiar como especie; con la esperanza de que cuando se dé, no sea demasiado tarde.

5.3 Alcances y Limitaciones del Estudio

El autor de la tesis considera haber encontrado un nicho de mercado para un futuro emprendimiento, en virtud de que la metodología desarrollada podría adaptarse para aplicaciones en los distintos ámbitos de la industria como es la médica, ingeniería, automotriz y áreas de consumo donde se interactúa con dispositivos que han caído o corren el riesgo de ser forzados al desuso por falta de soporte técnico o la ausencia de repuestos provenientes del fabricante.

No obstante se debe tener siempre en consideración, que las cotrapartes más modernas de esos dispositivos podrían ofrecer mejoras realmente sustanciales que marquen una diferencia respecto de las modificaciones hechas a un sistema a partir de un proceso de reingeniería.

5.4 Consideraciones Éticas Sobre la Ingeniería Inversa

La ingeniería inversa, fue y seguirá siendo motivo de controversia, por ser el medio por defecto para poder infringir derechos de autor, propiedad intelectual y patentes, facilitando la piratería de software y el clonado de tecnología. A pesar de su reputación, ha sido y continuará siendo un medio esencial para el avance tecnológico.

Es fundamental, que los investigadores aborden tanto los aspectos éticos como los legales con seriedad y diligencia. Al hacerlo, no sólo se protege la integridad y validez de la investigación, sino que también se asegura que los beneficios de la ingeniería inversa se obtengan de manera responsable y segura para todos los involucrados.

En este contexto de controversia y regulaciones, los resultados alentadores de este proyecto destacan la importancia de la ingeniería inversa en el ámbito académico.

Las universidades, al ser instituciones sin fines de lucro orientadas al desarrollo del conocimiento, se encuentran en una posición legítima para utilizar la ingeniería inversa como herramienta de análisis, investigación o mejora tecnológica. Esta práctica, cuando se realiza con fines educativos o investigativos, está generalmente amparada por el principio de uso justo o uso legítimo en muchas jurisdicciones internacionales, y permite formar profesionales con una comprensión más profunda de tecnologías existentes sin transgredir intereses comerciales (De La Torre José et al., 2023).

Referencias

- Adamson, G., & Stevens, B. (2003). *Industrial strength design: How brooks stevens shaped your world*. Milwaukee Art Museum.
- Araiza, H. L., & Guerrero, R. M. (2007). Medición de impedancia eléctrica de la piel en el rango de frecuencia de 5 a 1,000 Hz. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 28(2), 6–6.
- Axelson, J. (2007). *Serial port complete: COM ports, USB virtual COM ports, and ports for embedded systems* (2nd ed). Lakeview Research.
- Baddeley, B. (2018). *Planned obsolescence isn't a thing, but it is your fault* [Hackaday]. <https://hackaday.com/2018/09/24/planned-obsolescence-isnt-a-thing-but-its-your-fault/>
- Chanfried, C. (2022). *Chanfried/hp2xx* [original-date: 2018-05-02T09:52:00Z]. <https://github.com/chanfried/hp2xx>
- Chikofsky, E., & Cross, J. (1990). Reverse engineering and design recovery: A taxonomy. *IEEE Software*, 7(1), 13–17. <https://doi.org/10.1109/52.43044>
- Codrey Electronics, E. (2017a). *UART communication protocol - how it works?* <https://www.codrey.com/embedded-systems/uart-serial-communication-rs232/>
- Codrey Electronics, E. (2017b). *What is embedded system and how it works?* <https://www.codrey.com/embedded-systems/embedded-systems-introduction/>
- Codrey Electronics, E. (2017c). *What is RS232 protocol and how it works?* <https://www.codrey.com/embedded-systems/rs232-serial-communication/>
- Codrey Electronics, E. (2017d). *What is serial communication and how it works?* <https://www.codrey.com/embedded-systems/serial-communication-basics/>
- Communication protocol. (2024). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Communication_protocol&oldid=1197539439
- Corso, P., & Birnes, W. J. (1998). *The day after roswell*. Simon; Schuster.
- De La Torre Cruz, J. O., Huamán Morales, E., Romero Peña, M. H., Bazán Núñez, Y., & Masías Montesinos, G. (2023). Aplicación de ingeniería inversa para el desarrollo de un software de gestión del sistema EFAC-3D de la escuela profesional de Física-UNSAAC 2022 – 2023 [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Dellsén, F. (2024). Abductive reasoning in science. *Elements in the Philosophy of Science*. <https://doi.org/10.1017/9781009353199>
- Evans, H. (2004). *They Made America: from the steam engine to the search engine: Two centuries of innovators*. ELittle, Brown; Company.
- Forti, V., Baldé, C., & Kuehr, R. (2018). *E-waste statistics guidelines on classification, reporting and indicators*.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020a). The global e-waste monitor 2020.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020b). Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos 2020.

- Gallaugh, J. (2019). A manager's guide to harnessing technology version 7.0.
- GnuWin - browse /hp2xx/3.4.4-2 at SourceForge.net.* (2005). <https://sourceforge.net/projects/gnuwin32/files/hp2xx/3.4.4-2/>
- Halfhill, T. R. (2006). The mythology of moore's law: Why such a widely misunderstood 'law' is so captivating to so many. *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, 11(3), 21–25. <https://doi.org/10.1109/N-SSC.2006.4785856>
- Hp2xx - GNU project - free software foundation (FSF).* (2000). <https://www.gnu.org/software/hp2xx/>
- International e-waste day - optimize IAS.* (2021). <https://optimizeias.com/international-e-waste-day/>
- Jolish, B. (1998). Rescuing reverse engineering. *Santa Clara High Technology Law Journal*, 14(2), 509. <https://digitalcommons.law.scu.edu/chtlj/vol14/iss2/9>
- Ley de Moore. (2024). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ley_de_Moore&oldid=157523626
- Mendoza Villalobos, L. B., & Parque Merma, S. (2023). La gestión de bienes calificados como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y el impacto ambiental en el distrito de san sebastián - período 2020. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7326>
- Messler, R. W. (2014). *Reverse engineering: Mechanisms, structures, systems & materials* (1st Edition). McGraw-Hill Education.
- Molina Cabrera, K., Sánchez León, C., Núñez Nuñez, D., & Arroba Arroba, C. (2022). Ingeniería inversa aplicada a un dispositivo de ventilación mecánica con presión positiva CPAP. *Investigación y Desarrollo*, 16(1). <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1801>
- Mollick, E. (2006). Establishing moore's law. *IEEE Annals of the History of Computing*, 28(3), 62–75. <https://doi.org/10.1109/MAHC.2006.45>
- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Proceedings Of The IEEE*, 86(1).
- Moore, G. E. (1975). Progress in digital integrated electronics. *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, 11(3), 36–37. <https://doi.org/10.1109/N-SSC.2006.4804410>
- Msiska, R. (2013). *Reverse engineering a proprietary serial communication* [Thompson Rivers University]. Retrieved January 23, 2024, from <https://www.scribd.com/presentation/138262547/Reverse-Engineering-Serial-Protocol>
- Programación orientada a objetos. (2024). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Programaci%C3%B3n_orientada_a_objetos&oldid=157329315
- Rademacher, P.-G., & Mölleney, P. (2003). *Controllo della salute in una nuova dimensione: Manuale del metodo VEGACHEK*. VEGA Grieshaber KG.
- Rademacher, P.-G., & Wesener, L. (1998). *VEGA D-F-M: diagnostic system for functional medicine ; the succesful screening procedure for the modern holistic medical practice*. Ed. Company'MED.
- Roland DG Corporation. (1997). *XY PLOTTER DXY-1350a DXY-1150a user's manual*.
- Rupp, K. (2022). *Moore's law: The number of transistors per microprocessor*. Retrieved February 12, 2024, from <https://ourworldindata.org/grapher/transistors-per-microprocessor>
- Sagan, C. (1996). *Remembering carl sagan - charlie rose*. Retrieved October 20, 2024, from <https://charlierose.com/videos/2625>

- Tauscher, D., Nowatkowski, M., Morris, J. D., & Baldwin, D. (2024). Medical devices: Reverse engineering for innovation and advancement in healthcare [ISSN: 1558-058X]. *SoutheastCon 2024*, 860–862. <https://doi.org/10.1109/SoutheastCon52093.2024.10500213>
- Vallance, C. (2015). Could hackers break my heart via my pacemaker? *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/technology-34899713>
- Wakjira, Y., Kurukkal, N. S., & Lemu, H. G. (2024). Reverse engineering in medical application: Literature review, proof of concept and future perspectives. *Scientific Reports*, 14(1), 23621. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74176-z>
- Weigand, K. A., & Hartung, R. (2012). Abduction's role in reverse engineering software. *2012 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON)*, 57–62. <https://doi.org/10.1109/NAECON.2012.6531029>

Apéndice A

Estudio Preliminar Sobre las Implicancias de la Ley de Moore en el Ritmo de la Generación de Desechos Electrónicos a Nivel Global

El avance tecnológico, especialmente en el ámbito de la electrónica, ha seguido una trayectoria de algún modo predecible, manifestada de manera implícita en la versión original de la Ley de Moore. Esta ley, formulada por Gordon Moore en 1965 y que tomó su forma final en su revisión de 1975, da a entender que aproximadamente cada dos años se duplica la cantidad de transistores en un microchip, lo que se traduce, en un aumento exponencial en el rendimiento de los dispositivos electrónicos a lo largo del tiempo (Moore, 1975).

Este fenómeno ha tenido un impacto considerable, en prácticamente todos los aspectos de la vida moderna, catalizando innovaciones, potenciando la productividad laboral, dinamizando el crecimiento económico, revolucionando nuestros métodos de comunicación, prolongando nuestra esperanza de vida, simplificando el acceso a vastos recursos de información y brindando nuevas plataformas para el entretenimiento digital, elemento esencial en el estilo de vida de las generaciones actuales.

Sin embargo, este progreso no viene sin consecuencias. La contrapartida de esta rápida evolución es la generación de una cantidad cada vez mayor de desechos electrónicos o *E-waste*, un problema ambiental creciente a nivel global.

Los desechos electrónicos, que incluyen desde computadoras y teléfonos móviles hasta electrodomésticos de gran tamaño, se han convertido en el flujo de residuos domésticos de más rápido crecimiento en el mundo.

La brevedad de los ciclos de vida de estos productos, ha resultado en una acumulación de "montañas" de tecnología obsoleta (Gallaughier, 2019, p. 136).

La respuesta inmediata a este problema, sería el *reciclaje* de estos desechos, más aún sabiendo que, una tonelada de teléfonos móviles desechados contiene más oro que una tonelada de mineral extraído, además de que su extracción tiene una huella de carbono menor ("International E-Waste Day - Optimize IAS", 2021).

Según el informe del Global E-waste Monitor 2020, en 2019 se generaron 53,6 millones de toneladas métricas de E-waste a nivel mundial, un aumento del 21% en solo cinco años (Forti et al., 2020a). Esta situación se agrava por el hecho de que solo un pequeño porcentaje de estos desechos se recoge y recicla adecuadamente, dejándose la mayoría en vertederos o siendo incinerados, liberando sustancias tóxicas como cadmio, mercurio y plomo al medio ambiente. Un trabajo que puede complementar la visión de cómo este problema empieza a generar conciencia a nivel local se puede ver en Mendoza Villalobos & Parque Merma (2023), *La gestión de bienes calificados como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y el impacto ambiental en el Distrito de San Sebastián – período 2020*.

En este estudio preliminar, se pretende explorar la posible correlación entre el ritmo acelerado de los avances tecnológicos, sintetizados en el enunciado de la Ley de Moore y el ritmo en la generación de desechos electrónicos a nivel global. A través de un análisis, en el conteo real de transistores o *Transistor Count* y las estadísticas de E-waste a nivel mundial. Por último, este estudio busca mostrar evidencia empírica sobre una percepción aparentemente evidente de correlación entre ambos fenómenos; que sirvan de soporte a algunas afirmaciones hechas en el cuerpo de la presente tesis.

A.1 Hipótesis

El ritmo en el avance tecnológico impulsado por la Ley de Moore está correlacionado positivamente con el aumento en la generación de desechos electrónicos a nivel mundial.

A.2 Recopilación de Datos

A.2.1 La Ley de Moore y el Conteo Real de Transistores

Desde su formulación, la Ley de Moore ha llamado mucho la atención por su aparente y cuestionada precisión. Es difícil afirmar si existe una relación verdaderamente intrínseca entre los elementos que componen su formulación, o si en última instancia ésta, jugó el papel de una valla a igualar o superar por la industria. Lo que es un hecho, es que sirvió de faro en la investigación, el desarrollo y las estrategias de inversión en el ámbito tecnológico.

Cabe mencionar que la Ley de Moore en su versión original se basaba en razonamientos económicos más que técnicos. Moore señalaba que el costo de producir un chip depende del gasto de producir y grabar una oblea de silicio, y no de la cantidad de componentes colocados en un chip. Así, *el costo por componente disminuye a medida que aumenta la densidad del chip* (Mollick, 2006, p. 64).

Ciertamente, a corto plazo se puede esperar que esta tasa continúe, si acaso no aumenta. A largo plazo, la tasa de incremento es un poco más incierta, aunque no hay razón para creer que no se mantendrá casi constante durante al menos 10 años. Eso significa que para 1975, el número de componentes por circuito integrado para un costo mínimo será de 65 000 (Moore, 1965).

Se debe tener especial cuidado al hacer referencia a esta ley, dado que existe un mal entendido generalizado sobre cómo aplicarla, de hecho, existe una sátira relacionada a este hecho conocida como La Ley del Morón.

"El número de referencias desinformadas a la Ley de Moore se duplica cada 12 meses" (Halfhill, 2006).

Por tanto, corresponde aclarar que este estudio, tomara como variable de referencia, el conteo real de transistores; empero reconociendo el papel que jugó la Ley de Moore como impulsora de este proceso evolutivo tecnológico. Para culminar nuestras observaciones, cabe recalcar que a la fecha la validez de La ley de Moore es incierta, en septiembre de 2022 el CEO de Nvidia, Jen-Hsun Huang comentó que la ley ya no tenía validez en la actualidad, sin embargo el CEO de Intel, Pat Gelsinger, opinó que aún sigue en vigencia (“Ley de Moore”, 2024).

Para el presente estudio se ha optado por no generar datos primarios de manera independiente, dada la amplia disponibilidad de análisis y estudios previos sobre este tema. En lugar de ello, se utilizó un conjunto de datos detallado y exhaustivo encontrado en Our World in Data (Rupp, 2022), un recurso reconocido por su rigor y fiabilidad en la presentación de estadísticas globales y tendencias históricas. Adoptar esta metodología asegura de algún modo que la investigación llegue a ser eficiente, aprovechando los recursos ya existentes.

En ese entender se procedió a descargar la data necesaria que formara parte del análisis de datos exploratorio (EDA). Estos datos primarios se descargaron en un archivo denominado *transistors-per-microprocessor.csv*, cuyo contenido se muestra en la Tabla A.1.

Para llevar a cabo una exploración preliminar de los datos provistos en el archivo "csv", se implementó un notebook de Python. Este procedimiento inicial es necesario para determinar la estructura y características fundamentales del conjunto de datos.

La Figura A.1, derivada del análisis realizado en el notebook, ilustra la progresión del número de transistores en microprocesadores a lo largo de un periodo de medio siglo. Esta doble visualización comprende una gráfica en escala lineal y otra en escala logarítmica. Mientras que la figura superior en escala normal, resalta el rápido crecimiento en las últimas décadas. La figura inferior presenta los mismos datos en una escala que permite apreciar la tasa de crecimiento exponencial, la cual se alinea con la observación empírica conocida como la Ley de Moore.

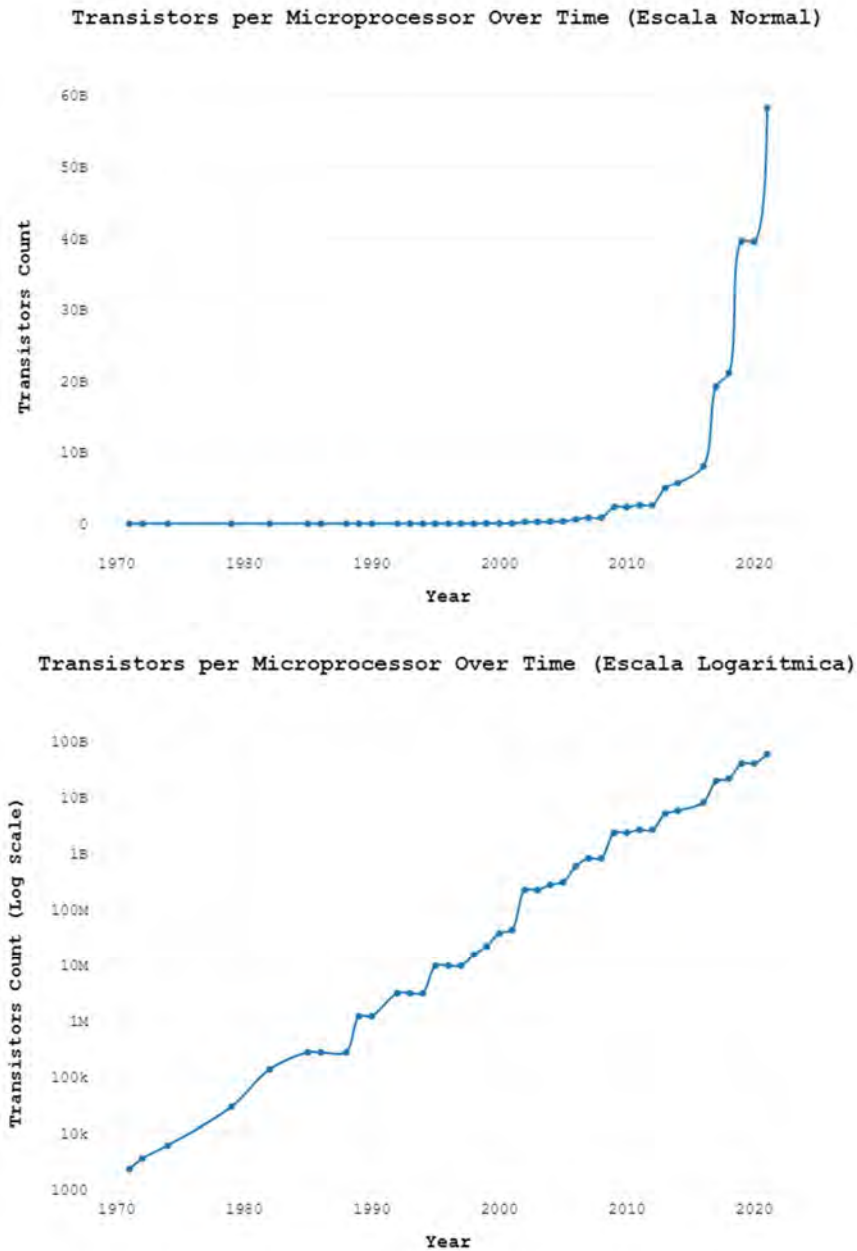
Tabla A.1*Conteo de la Cantidad de Transistores por Microprocesador (1971-2021)*

Year	Transistors per microprocessor
1971	2 308
1972	3 554
1974	6 097
1979	29 163
1982	135 772
1985	273 841
1986	273 841
1988	273 841
1989	1 207 900
1990	1 207 900
1991	3 105 900
1993	3 105 900
1994	3 105 900
1995	9 646 616
1996	9 646 616
1997	9 646 616
1998	15 261 378
1999	21 673 922
2000	37 180 264
2001	42 550 656
2002	220 673 400
2003	220 673 400
2004	273 842 000
2005	305 052 770
2006	582 941 600
2007	805 842 200
2008	805 842 200
2009	2 308 241 400
2010	2 308 241 400
2011	2 600 000 000
2012	2 600 000 000
2013	5 000 000 000
2014	5 700 000 000
2016	8 000 000 000
2017	19 200 000 000
2018	21 100 000 000
2019	39 500 000 000
2020	39 500 000 000
2021	58 200 000 000

Nota: Datos obtenidos de Karl Rupp, Microprocessor Trend Data (2022) – procesado por Our World in Data (Rupp, 2018/2024).

Figura A.1

Evolución de la Densidad de Transistores en los Microprocesadores (1971-2021)



Nota. Tómese con precaución la notación utilizada en el eje de las ordenadas, en la que la abreviación B se refiere al Billón Anglosajón, cantidad que equivale a mil millones (10^9) en el sistema español. Mientras que el billón en el sistema español equivale a millón de millones (10^{12}). Elaboración propia.

A.2.2 El Ritmo en la Generación de Desechos Electrónicos

El informe Global E-Waste Monitor 2020 reveló que en 2019 se generaron 53,6 millones de toneladas métricas de desechos electrónicos a nivel mundial, un aumento del 21% en solo cinco años. Se espera que esta cifra alcance los 74 millones de toneladas para 2030. Solo el 17,4% de los desechos electrónicos de 2019 se recogieron y reciclaron, lo que significa que materiales valiosos por un valor de 57 mil millones de dólares se desecharon mayormente en lugar de reciclarse. Asia fue el mayor productor de desechos electrónicos en 2019, con 24,9 millones de toneladas (Forti et al., 2020a).

“Lo que no se puede medir no se puede controlar; lo que no se puede controlar no se puede gestionar; lo que no se puede gestionar no se puede mejorar”. Frase atribuida a Peter Drucker quien fue un consultor y profesor de negocios. Sin embargo, la frase original corresponde a William Thomson Kelvin (Lord Kelvin). Físico y matemático británico.

Por si no fuera suficiente el problema que representa la generación de desechos electrónicos, a este hecho se le suma la escasez de datos precisos y actualizados sobre su generación y manejo. Uno de los principales problemas es la discrepancia entre los datos oficiales gubernamentales y los datos académicos. Además, los desechos electrónicos a veces se registran como desechos metálicos en lugar de electrónicos, lo que dificulta su evaluación.

Sin una base sólida de datos, es casi imposible desarrollar estrategias adecuadas que permitan mitigar los impactos ambientales negativos de estos desechos. La necesidad de mejorar la recopilación y análisis de datos sobre desechos electrónicos es, por lo tanto, un paso crucial para enfrentar este desafío de manera efectiva, permitiendo así la creación de sistemas de gestión más sostenibles y eficientes.

Un texto de lectura obligatoria resalta en esta área, E-Waste Statistics (Forti et al., 2018), en él, se enfatiza la importancia de contar con un marco de medición sólido y armonizado para recopilar y comparar estadísticas de desechos electrónicos a nivel internacional. Así mismo propone que este marco de medición integre datos estadísticos y no estadísticos disponibles sobre desechos electrónicos.

Profundizar en los fundamentos de los modelos matemáticos expuestos en dicho libro escapan del propósito de este estudio preliminar.

En suma, la data existente sobre la generación de desechos electrónicos a nivel mundial es escasa y las estadísticas más precisas que se pueden obtener, datan del año 2014 al 2019, pudiendo hacerse algunas proyecciones a futuro (Tabla A.2).

Tabla A.2

Volumen Anual de Residuos Electrónicos a Nivel Mundial (2014-2030)

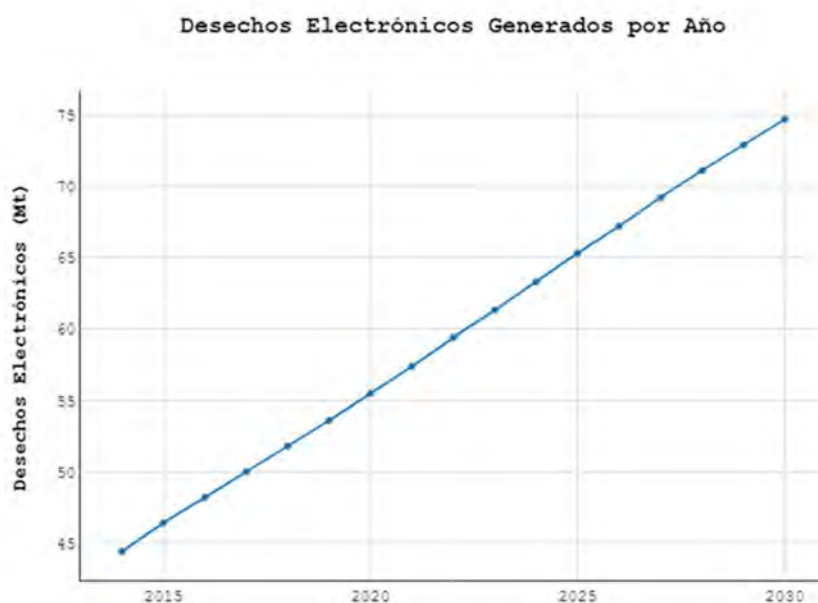
Año	Desechos Electrónicos Generados a Nivel Mundial (Mt)
2014	44,4
2015	46,4
2016	48,2
2017	50,0
2018	51,8
2019	53,6
2020	55,5
2021	57,4
2022	59,4
2023	61,3
2024	63,3
2025	65,3
2026	67,2
2027	69,2
2028	71,1
2029	72,9
2030	74,7

Nota: Datos obtenidos de The Global E-waste Monitor 2020 (Forti et al., 2020a, p. 24). Los datos estimados posteriores al 2019 no tienen en cuenta el impacto económico resultante de la crisis del Covid-19.

Continuando con el análisis preliminar de los datos y siguiendo un esquema similar al usado en el primer notebook, se elaboró la Figura A.2. En ella se puede evidenciar un aumento constante en la cantidad de desechos electrónicos generados cada año. Esto sugiere que la producción de residuos está creciendo de manera sostenida, y nos permite inferir que este hecho, podría estar vinculado con el aumento en el consumo de dispositivos electrónicos y su ciclo de vida cada vez más corto.

Figura A.2

Tendencia de la Generación de Residuos Electrónicos a Nivel Mundial (2014-2030)



Nota. La gráfica muestra la progresión anual de la generación de residuos electrónicos a nivel mundial, expresada en millones de toneladas (Mt). Los datos reflejan una tendencia ascendente consistente, y destaca la urgente necesidad de implementar estrategias de gestión de residuos más robustas y sostenibles. Elaboración propia.

A.2.3 Análisis Exploratorio de Datos (EDA)

Después de una cuidadosa consideración de las diferentes herramientas disponibles para realizar un análisis exploratorio de datos y correlación, se ha optado por utilizar el programa SPSS en lugar de Python o R. En virtud de poder acceder a una amplia variedad de herramientas analíticas automatizadas que aceleren el estudio y la inesperada ventaja de poder generar tablas y gráficas directamente en formato APA.

A.2.3.1 Limpieza de Datos

Para realizar la correlación entre los dos conjuntos de datos, primero debemos generar un nuevo conjunto de datos donde la clave común es el año. Posteriormente, llevamos a cabo una limpieza de los datos, asegurándonos de considerar únicamente aquellos registros que estén completos e imputando algún dato duplicado (Tabla A.3).

Tabla A.3

Comparativa Anual del Conteo de Transistores por Microprocesador y la Generación de Desechos Electrónicos a Nivel Mundial (2014-2021)

Año	Conteo de Transistores	Cantidad Desechos Electrónicos (Mt)
2014	5 700 000 000	44,4
2016	8 000 000 000	48,2
2017	19 200 000 000	50,0
2018	21 100 000 000	51,8
2019	39 500 000 000	53,6
2020	39 500 000 000	55,5
2021	58 200 000 000	57,4

Nota: La tabla representa la relación temporal entre ambos sets de datos, los cuales han sido sincronizados por año para facilitar la comparación y análisis correlativo. Los desechos electrónicos están medidos en millones de toneladas y los transistores por microprocesador se presentan como el número total de transistores. Elaboración propia.

A.2.3.2 Estadísticos Descriptivos

La Tabla A.4 presenta los estadísticos más relevantes para el conteo de transistores por microprocesador y la cantidad de desechos electrónicos generados anualmente entre 2014 y 2021.

La media de transistores por microprocesador evidencia un notable aumento hasta alcanzar los 27,31 mil millones, con una considerable variabilidad indicada por una desviación estándar de 19,13 mil millones. En paralelo, la producción de desechos electrónicos ha seguido una tendencia ascendente más moderada, con un promedio anual de 51,56 millones de toneladas y una desviación estándar de 4,45 millones. Estos datos subrayan la rápida evolución tecnológica y su consecuente impacto ambiental.

Tabla A.4

Resumen Estadístico del Conteo de Transistores por Microprocesador, la Generación de Desechos Electrónicos y el Logaritmo del Conteo de Transistores (2014-2021)

		Conteo de Transistores	Desechos Electrónicos Generados (Mt)	Logaritmo del Conteo de Transistores
N	Válido	7	7	7
	Perdidos	0	0	0
Media		27314285714,29	51,557	10,3178
Desv. Estandar		19129334242,765	4,4504	0,37513

Nota: La columna "Logaritmo del Conteo de Transistores" es el logaritmo decimal de la cantidad de transistores, se ha optado por agregarla, dada su utilidad para normalizar la dispersión de los datos. Se observa que no hay datos perdidos en ninguna de las variables, permitiendo un análisis correlativo completo.

A.2.3.3 Tablas de Frecuencia e Histogramas

La Tabla A.5 ofrece un resumen estadístico de las variables estudiadas, en ellas se reflejan los datos de distribución de frecuencias para cada una de ellas, así mismo en las gráficas de la Figura A.3, se presentan los histogramas y las curvas normales superpuestas que sugieren una *posible distribución normal de los datos*.

- En el caso del conteo de transistores la mayoría de los datos tienen una única observación, excepto para los 39 500 000 000 transistores, que aparecen dos veces, representando el 28,6% de las observaciones.
- Los conteos de transistores abarcan un amplio rango, que van desde 5 700 000 000 hasta 58 200 000 000, indicando una variabilidad significativa en la cantidad de transistores por microprocesador a lo largo del tiempo.
- Cada cantidad de desechos electrónicos listada es única y ocurre exactamente una vez, distribuyéndose uniformemente a lo largo del rango de valores observados (de 44,4 a 57,4 millones de toneladas).
- Cada observación representa el 14,3% del total, lo que refleja una distribución equitativa de los datos sin repeticiones.
- Similar al conteo de transistores, hay seis valores únicos para el logaritmo del conteo de transistores.
- La mayoría de los valores logarítmicos tienen una única observación, excepto el valor 10,60; que se repite dos veces, constituyendo el 28,6% de las observaciones.
- Los valores logarítmicos varían de 9,76 a 10,76; lo que sugiere una distribución menos dispersa en comparación con el conteo bruto de transistores, debido a la normalización que ofrece el logaritmo.

Tabla A.5

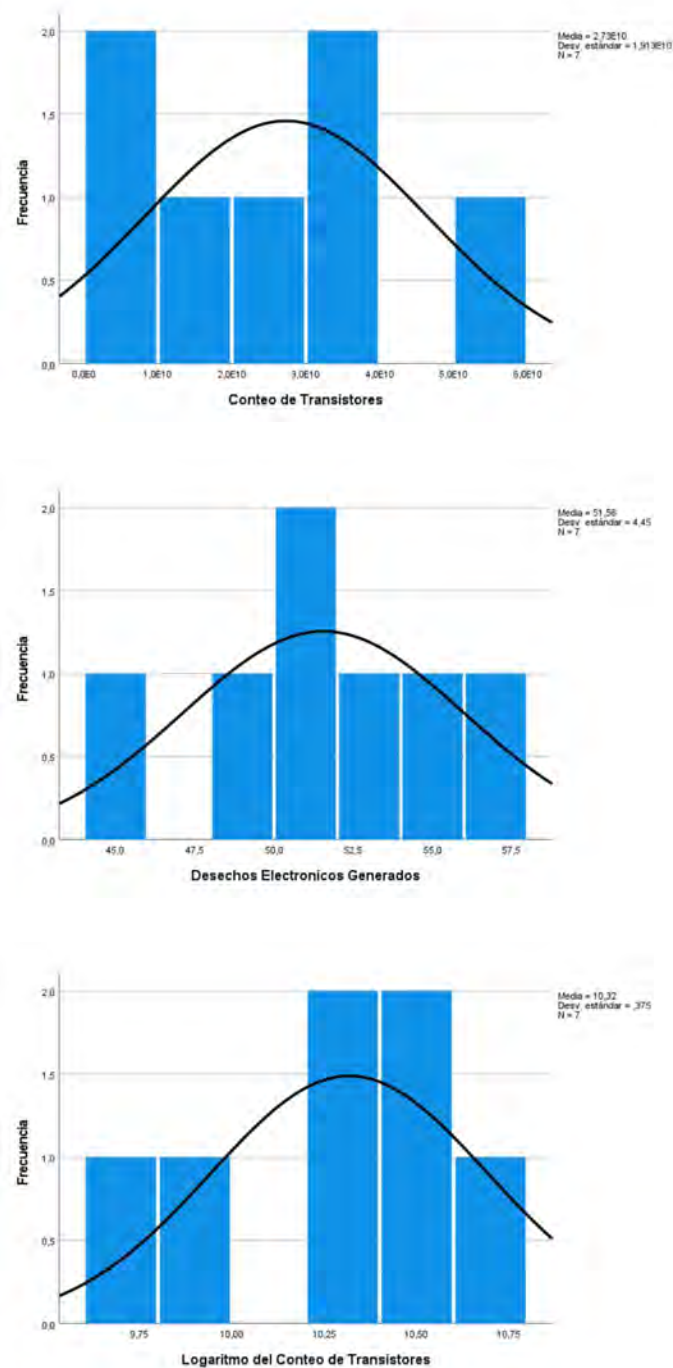
Tablas de Frecuencia para el Conteo Transistores por Microprocesador, la Generación de Desechos Electrónicos y el Logaritmo del Conteo de Transistores (2014-2021)

Conteo de Transistores	N	%
5 700 000 000	1	14,3%
8 000 000 000	1	14,3%
19 200 000 000	1	14,3%
21 100 000 000	1	14,3%
39 500 000 000	2	28,6%
58 200 000 000	1	14,3%
Desechos Electrónicos Generados	N	%
44,4	1	14,3%
48,2	1	14,3%
50,0	1	14,3%
51,8	1	14,3%
53,6	1	14,3%
55,5	1	14,3%
57,4	1	14,3%
Logaritmo del Conteo de Transistores	N	%
9,76	1	14,3%
9,90	1	14,3%
10,28	1	14,3%
10,32	1	14,3%
10,60	2	28,6%
10,76	1	14,3%

Nota: Elaboración propia.

Figura A.3

Distribución de Frecuencias para el Conteo de Transistores, Desechos Electrónicos y el Logaritmo del Conteo de Transistores (2014-2030)



Nota. Los gráficos sugieren que los datos podrían ajustarse a una distribución normal, dado que la mayoría de ellos cae dentro de los límites requeridos. Elaboración propia.

A.2.4 Pruebas de Normalidad

Al analizar conjuntos de datos, una consideración a tener en cuenta es la distribución de los datos, ya que esto influye directamente en la selección de pruebas estadísticas y en la interpretación de los resultados.

Una prueba de normalidad es esencial para determinar si un conjunto de datos se distribuye de manera normal, lo cual es una suposición subyacente en muchas técnicas estadísticas, como la ANOVA (Analysis of Variance), las pruebas t y la regresión lineal. La normalidad de los datos asegura la aplicabilidad de la inferencia estadística que se basa en la distribución normal.

En este contexto, se realizará el test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de la distribución de los conjuntos de datos: el conteo de transistores por microprocesador, los desechos electrónicos generados y el logaritmo del conteo de transistores. Se elige el test de Shapiro-Wilk debido a su eficacia en muestras pequeñas, como es el caso de nuestros datos. Este test evalúa si una muestra proviene de una población distribuida normalmente y es particularmente adecuado para muestras de menos de 50 observaciones, donde otros test de normalidad podrían no ser tan efectivos.

Las hipótesis que planteamos para el test de Shapiro-Wilk son las siguientes:

- **Hipótesis Nula (H0):** Los datos siguen una distribución normal.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Los datos no siguen una distribución normal.

Si la prueba resulta en un p-valor menor que el nivel de significancia establecido (comúnmente 0,05), rechazaremos la hipótesis nula en favor de la alternativa, concluyendo que los datos no se distribuyen normalmente. Esto influirá en nuestra elección de métodos estadísticos para cualquier análisis posterior.

La ?? muestra los resultados arrojados para la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, aplicada a los tres conjuntos de datos.

Tabla A.6*Palabras clave en español e inglés*

Español	English
Problema de Factorización	Factoring Problem
Problema de la Suma de Subconjuntos	Subset-Sum Problem
RSA	RSA
Equivalencia Computacional	Computational Equivalence
Clase de Complejidad	Complexity Class
Reducción de Karp	Karp Reduction
Reducción de Turing	Turing Reduction
Programación Dinámica	Dynamic Programming
Algoritmos de Factorización	Integer Factorization Algorithms

Nota: Elaboración propia.

La interpretación de estos datos concluye:

- **Conteo de Transistores:** El valor del estadístico es 0,927, y el p-valor asociado es 0,529. Dado que el p-valor es mayor que 0,05, no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, no podemos concluir que los datos se desvíen significativamente de una distribución normal.
- **Desechos Electrónicos Generados:** El valor del estadístico es 0,985, y el p-valor es 0,981. Este p-valor es sustancialmente mayor que 0,05, lo que indica que los datos de desechos electrónicos generados se ajustan muy bien a una distribución normal.
- **Logaritmo del Conteo de Transistores:** El valor del estadístico es 0,924, con un p-valor de 0,498. Al igual que con el conteo de transistores, el p-valor excede el umbral de 0,05, lo que sugiere que los datos transformados también se ajustan a una distribución normal.

En resumen, según la prueba de Shapiro-Wilk, todos los conjuntos de datos analizados se ajustan a una distribución normal, ya que los p-valores están por encima del umbral común de 0,05. Esto implica que los supuestos de normalidad para técnicas estadísticas adicionales basadas en la distribución normal serán de carácter paramétrico y la prueba

de correlación que se llevará a cabo sobre estos datos implicará determinar el coeficiente de Pearson.

A.2.5 Correlación Bivariada

Dado que los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk indicaron que no podemos rechazar la hipótesis nula de normalidad para ninguna de las variables analizadas, sería apropiado utilizar la correlación de Pearson. Esta prueba es sensible a la relación lineal entre las variables y, dado que se ha validado la suposición de normalidad, podemos proceder con ella.

Las hipótesis para una prueba de correlación de Pearson son:

- **Hipótesis Nula (H_0):** No hay una relación lineal significativa entre las dos variables. En términos de correlación, esto se traduce en que el coeficiente de correlación de Pearson (ρ) es igual a cero.
- **Hipótesis Alternativa (H_1):** Existe una relación lineal significativa entre las dos variables. Esto significa que el coeficiente de correlación de Pearson (ρ) no es igual a cero.

Si el p-valor asociado con la prueba de correlación es menor que el nivel de significancia (usualmente 0,05), rechazaremos la hipótesis nula en favor de la alternativa, concluyendo que hay evidencia suficiente para afirmar que existe una relación lineal significativa entre las variables en estudio.

Cabe recordar que la correlación lineal se mide en términos de un coeficiente de correlación, como es el coeficiente de correlación de Pearson, que varía entre -1 y +1. Un valor de +1 indica una correlación positiva perfecta, -1 indica una correlación negativa perfecta, y 0 indica que no hay correlación.

Dado que no estamos seguros del tipo de relación que puede existir entre las variables en estudio, optaremos por realizar dos pruebas de correlación distintas. La primera examinará la relación entre el conteo de transistores y la cantidad de desechos electrónicos (Tabla A.7). La segunda evaluará la relación entre el logaritmo del conteo de transistores y la cantidad de desechos electrónicos (Tabla A.8).

Esto nos permitirá determinar si existe una correlación y, en caso afirmativo, cuál de las dos relaciones presenta una correlación más fuerte.

A.2.5.1 Prueba de Correlación para el Conteo de Transistores y la Generación de Desechos Electrónicos

Tabla A.7

Prueba de Correlación de Pearson entre el Conteo de Transistores y la Generación de Desechos Electrónicos

		Conteo de Transistores	Desechos Electrónicos Generados
Conteo de Transistores	Correlación de Pearson	1	0,948**
	Sig. (bilateral)		0,001
	N	7	7
Desechos Electrónicos Generados	Correlación de Pearson	0,948**	1
	Sig. (bilateral)	0,001	
	N	7	7

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Elaboración propia.

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,948, lo cual indica una correlación muy fuerte y positiva entre las dos variables. Esto significa que a medida que aumenta el conteo de transistores, también tiende a aumentar la cantidad de desechos electrónicos generados, y viceversa.

El valor de significancia (bilateral) es de 0,001, que es mucho menor que el umbral estándar de 0,05 para la significancia estadística. Este p-valor bajo sugiere que hay una probabilidad muy baja de que la correlación observada sea resultado de la variabilidad aleatoria en los datos; por lo tanto, podemos rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables.

Hay 7 observaciones ($N = 7$) para cada variable, lo que significa que los resultados de la correlación se basan en 7 pares de datos.

En resumen, hay una fuerte correlación positiva entre el conteo de transistores y los desechos electrónicos generados, y esta relación es estadísticamente significativa.

A.2.5.2 Prueba de Correlación para el Logaritmo del Conteo de Transistores y la Generación de Desechos Electrónicos

Tabla A.8

Prueba de Correlación de Pearson entre el Logaritmo del Conteo de Transistores y la Generación de Desechos Electrónicos

		Conteo de Transistores	Desechos Electrónicos Generados
Conteo de Transistores	Correlación de Pearson	1	0,973**
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	7	7
Desechos Electrónicos Generados	Correlación de Pearson	0,973**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	7	7

Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Elaboración propia.

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,973, lo cual indica una correlación muy fuerte y positiva entre las dos variables. Esto significa que un aumento en el logaritmo del conteo de transistores está asociado con un aumento en la cantidad de desechos electrónicos generados y viceversa.

El valor de significancia (bilateral) es menor que 0,001; lo que sugiere que es extremadamente improbable que esta fuerte correlación sea debido al azar.

Comparando estos resultados con la tabla anterior, donde el coeficiente de correlación entre "Conteo de Transistores" y "Desechos Electrónicos Generados" era de 0,948; observamos

que, la correlación entre "Logaritmo del Conteo de Transistores" y "Desechos Electrónicos Generados" (0,973) es ligeramente superior a la correlación entre "Conteo de Transistores" y "Desechos Electrónicos Generados" (0,948).

En resumen, ambas correlaciones son estadísticamente significativas, pero el coeficiente ligeramente mayor en la segunda tabla sugiere que la relación entre el logaritmo del conteo de transistores y los desechos electrónicos generados es más fuerte.

A.2.6 Análisis de Regresión Lineal

Basándonos en los resultados obtenidos de las pruebas de normalidad y correlación, consideramos justificado trabajar directamente con el conteo bruto de transistores y prescindir de su logaritmo para la modelización de la relación con los desechos electrónicos generados.

Los análisis estadísticos previos, que incluyen la prueba de Shapiro-Wilk y los coeficientes de correlación de Pearson, no han mostrado desviaciones significativas de la normalidad ni han indicado la necesidad de transformaciones para linealizar la relación entre las variables. De hecho, la correlación encontrada entre el conteo de transistores y los desechos electrónicos es fuertemente positiva y significativa, lo que sugiere que la relación lineal ya proporciona un buen ajuste y una interpretación clara y directa.

A continuación, formulamos la hipótesis nula y alternativa en el contexto de la regresión lineal de la siguiente manera:

Usando el *Conteo de Transistores* como variable independiente:

- **Hipótesis Nula (H0):** No existe una relación lineal entre el conteo de transistores y la cantidad de desechos electrónicos generados. Esto se traduciría matemáticamente en que el coeficiente de la variable independiente (conteo de transistores) en la ecuación de regresión es igual a cero.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Existe una relación lineal entre el conteo de transistores y la cantidad de desechos electrónicos generados. En términos matemáticos, esto significa que el coeficiente no es igual a cero.

Para el caso, si el p-valor asociado con el coeficiente es menor que el nivel de significancia elegido (usualmente 0,05), entonces se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, lo que indica que hay suficiente evidencia para afirmar que existe una relación lineal significativa entre las variables en estudio.

A.2.6.1 Regresión Lineal Entre el Conteo de Transistores y la Generación de Desechos Electrónicos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el software estadístico SPSS para el análisis de correlación entre las dos variables (Tabla A.9), (Tabla A.10), (Tabla A.11), (Figura A.4) y (Tabla A.12).

Tabla A.9

Resumen del Modelo

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación
1	0,948 ^a	0,898	1,5566

Nota: a. Predictores: (Constante), Conteo de Transistores. Elaboración propia.

Tabla A.10

Análisis de Varianza (ANOVA ^a)

	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	106,722	1	106,722	44,046	0,001 ^b
	Residuo	12,115	5	2,423		
	Total	118,837	6			

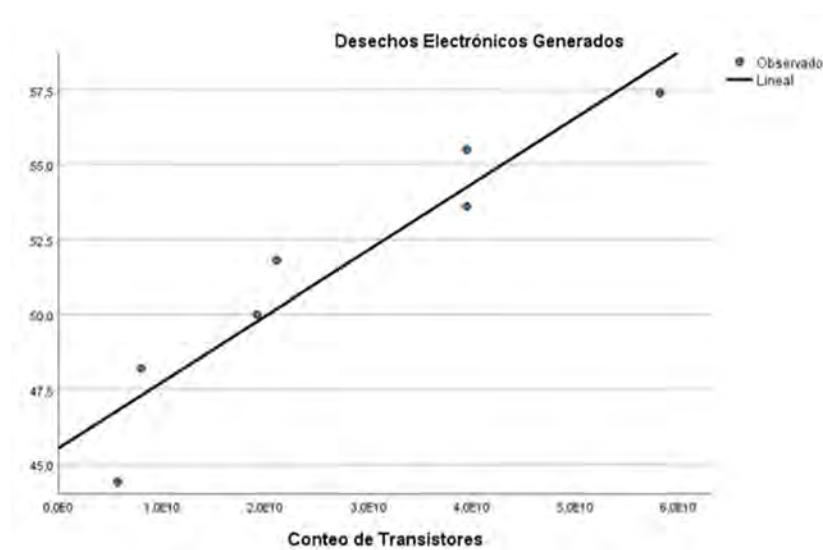
Nota: a. Variable dependiente: Desechos Electrónicos Generados.

b. Predictores: (Constante), Conteo de Transistores. Elaboración propia.

Tabla A.11*Coefficientes de la Regresión ^a*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	45,535	1,081		42,107	0,000	42,755	48,315
Conteo de Transistores	2.205×10^{-10}	0,000	0,948	6,637	0,001	0,000	0,000

Nota: a. Variable dependiente: Desechos Electrónicos Generados. Elaboración propia.

Figura A.4*Relación Lineal entre el Conteo de Transistores y los Desechos Electrónicos Generados*

Nota. Esta gráfica de dispersión con línea de regresión lineal ilustra la relación positiva entre el conteo de transistores y la cantidad de desechos electrónicos generados.

Tabla A.12*Resumen del Modelo y Estimaciones del Parámetro*

Variable dependiente: Desechos Electrónicos Generados							
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro	
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Lineal	0,898	44,046	1	5	0,001	45,535	2,205E-10

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla A.12 deducimos que, la expresión matemática para la recta de regresión sería:

$$y = 2,205 \times 10^{-10} \times x + 45,535 \quad (\text{A.1})$$

Los resultados de la (Tabla A.9) evidencian una fuerte correlación positiva entre el *Conteo de Transistores* y la variable dependiente *Desechos Electrónicos Generados*, en virtud del coeficiente R cercano a 1.

Por otro lado, el R cuadrado indica que aproximadamente el 89.8% de la variabilidad en la Generación de Desechos Electrónicos puede ser explicada por la variabilidad en el Conteo de Transistores.

El análisis de varianza presentado en la Tabla A.10 confirma la existencia de una relación estadísticamente significativa entre el número de transistores y la cantidad de desechos electrónicos generados. Los resultados de la ANOVA, con un valor F notablemente elevado y un p-valor significativamente inferior al umbral estándar de 0,05; respaldan la adecuación de un modelo de regresión lineal para caracterizar esta asociación.

Los resultados para la regresión lineal mostrados en la Tabla A.11, donde el p-valor para el coeficiente del Conteo de Transistores es menor que 0,05; obliga a rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre el Conteo de Transistores y los Desechos Electrónicos Generados.

La Figura A.4 muestra a una recta de regresión que asciende de izquierda a derecha, lo que indica una relación positiva entre las dos variables.

La pendiente de la línea de regresión parece ser relativamente constante, sugiriendo una relación lineal bastante uniforme entre ambas variables.

La mayoría de los puntos parecen estar cercanos a la línea de regresión, lo que indica que el modelo de regresión lineal proporciona un buen ajuste para los datos y puede explicar una parte significativa de la variación en los Desechos Electrónicos Generados.

Podemos concluir que hay suficiente evidencia para afirmar que:

A medida que aumenta el "Conteo de Transistores", también aumenta la cantidad de "Desechos Electrónicos Generados", y esta relación es estadísticamente significativa.

A.2.7 Conclusiones y Consideraciones Éticas

En estadística, la regresión puede identificar relaciones entre variables, pero es importante señalar que la regresión por sí sola generalmente no puede establecer causalidad definitiva. La causalidad implica que un cambio en una variable (la causa) produce un cambio en otra variable (el efecto). Mientras que la correlación y la regresión pueden sugerir que existe una relación entre dos variables, hay requisitos adicionales que deben cumplirse para afirmar causalidad.

Dada la limitada disponibilidad de datos, cualquier afirmación, incluida la relación lineal entre el conteo de transistores y la cantidad de desechos electrónicos generados a largo plazo, sería precipitada. No obstante, este estudio proporciona evidencia empírica suficiente que sugiere la existencia de dicha correlación e incluso puede insinuar una relación causal, dado que se cumplen ciertos criterios como:

- **Cronología:** La causa debe preceder al efecto. En este caso, el incremento en el conteo de transistores debe ocurrir antes de la generación de desechos electrónicos, lo cual se cumple en virtud de la naturaleza del problema.
- **Relación:** Debe existir una asociación estadísticamente significativa entre las variables, lo cual parece ser el caso según los análisis de correlación que se llevaron a cabo.
- **Plausibilidad:** La relación debe ser plausible desde el punto de vista teórico y científico.

Siguiendo la línea que presupone esta relación de causalidad, podemos analizar la expresión matemática para el modelo utilizado en la estimación de la generación de desechos electrónicos (Forti et al., 2018, p. 25).

$$E_{waste\ generated}(n) = \sum_{t=t_0}^n POM(t) \times L^{(p)}(t, n) \quad (A.2)$$

- $E_{waste\ generated}(n)$: Cantidad de desechos electrónicos generados en el año n .
- $POM(t)$: Venta de productos (Puestos en el Mercado) en cualquier año histórico t anterior al año n .
- t_0 : Año inicial en que se vendió un producto.
- $L^{(p)}(t, n)$: Perfil de vida útil basado en el descarte para el lote de productos vendidos en el año histórico t .

En la Ecuación A.2, la expresión $L^{(p)}(t, n)$ refleja la tasa probable de obsolescencia en el año de evaluación n para un determinado producto electrónico.

Debido a los desarrollos sociales y técnicos, la vida útil de un producto podría depender del tiempo. Por ejemplo, el monitor de tubo de rayos catódicos quedó rápidamente obsoleto debido a los avances tecnológicos de los monitores de pantalla plana (Forti et al., 2018, p. 25).

Con todas las evidencias apuntando en una misma dirección, el autor de esta tesis reconoce y asume la responsabilidad inherente al riesgo de afirmar categóricamente, sobre un sector importante de la industria:

Que la innovación tecnológica guarda una relación directa con la tasa de obsolescencia y que ésta última tiene un impacto negativo significativo en el medio ambiente.

Por último, la historia humana ha demostrado consistentemente que el ímpetu hacia la innovación es una de las pocas fuerzas que trasciende las barreras naturales y sociales, demostrando una resiliencia que es tanto admirable como implacable. Este espíritu innovador, arraigado en la esencia misma de la humanidad, ha resistido el embate de incontables desafíos, desde las restricciones impuestas por los caprichos de la naturaleza hasta las complejidades intrincadas de las estructuras sociales. Es una chispa que no sólo perdura, sino que se intensifica ante la adversidad, alimentando la perpetua búsqueda de la humanidad por el progreso y la mejora continua.

Ante este escenario desafiante pero esperanzador a la vez, toca aguardar a que la innovación, dirigida hacia formas de desarrollo más respetuosas con el medio ambiente rinda sus frutos. No obstante, mientras esperamos por ello, las medidas más inmediatas y en virtud de no poder detener la innovación tecnológica, se plantea la posibilidad de redirigir los esfuerzos, tanto de la industria como de los propios consumidores en la búsqueda de estrategias para ralentizar la innovación, de modo que se pueda alcanzar un equilibrio con el ritmo al cual se reciclan y procesan los desechos electrónicos. Y por qué no, nos permita también adaptarnos a los cambios vertiginosos que hoy despiertan en nosotros, los temores sobre nuestra propia “obsolescencia-IA”...

Apéndice B

Instrumentos y Equipos

En este apartado, detallamos los instrumentos y equipos esenciales que se utilizaron a lo largo de nuestra investigación. La selección de estos dispositivos y herramientas no fue aleatoria; cada uno fue elegido por su capacidad para aportar precisión, confiabilidad y claridad a los procesos de diagnóstico y análisis empleados.

Desde los instrumentos complementarios, hasta el software especializado, cada elemento jugó un papel crucial en nuestra capacidad para comprender, analizar y finalmente mejorar el sistema de diagnóstico en medicina funcional VEGA DFM 722.

En las siguientes secciones, se presenta una descripción de cada equipo y software utilizado, incluyendo su propósito específico en el estudio.

Este compendio no sólo sirve como un registro detallado de nuestras herramientas de investigación sino también como una guía para futuros trabajos en campos similares.

Figura B.1
Osciloscopio

ATTEN ADS1152CA



características

- Frecuencia de muestreo: 1 GSa/s y frecuencia de muestreo equivalente 50 GSa/s
- Ancho de Banda: 150 MHz
- Canales: 2
- LCD: 5.7"
- Memoria: 40K y Host USB
- Interfaces: RS-232 y USB
- Funciones de auto medición y ajuste: Si
- Modos de disparo: Edge, Pulse Width, Video, Slope y Alternative
- Función de grabación / reproducción: Ajustes, formas de onda, archivo CSV e imagen
- Software: Easyscope

Función dentro del proyecto

- Observar y medir las señales digitales y analógicas, emitidas por la unidad de control del sistema VEGA DFM 722 durante los procesos de medición.

Nota. Osciloscopio Digital ATTEN ADS1152CA mostrando señales de medición propias de este proyecto de tesis. Elaboración propia.

Figura B.2
Multímetro

Multímetro KT7030



características

- **Tipo** : Analógico – Digital
- **Tamaño de Pantalla** : 3 x 1 cm
- **Máx. Display**: 9999
- **Voltaje DC**: 0 – 600V $\pm 3\%$
- **Voltaje AC**: 0 – 600V $\pm 4\%$
- **Corriente DC**: 0 – 10A $\pm 3\%$
- **Corriente AC**: 0 – 10A $\pm 4\%$
- **Resistencia**: 0 – 20M ohms $\pm 3\%$
- **Protección de Corto Circuito**: Si
- **Dimensiones**: 14 x 8 x 2 cm
- **Peso**: 570g

Función dentro del proyecto

- Medición de Voltaje
- Medición de Corriente
- Medición de Resistencia
- Medición de Continuidad
- Diagnóstico de Fallos
- Documentación y Validación

Nota. La figura muestra un multímetro digital-analógico KT7030 con sus características y funciones.
Elaboración propia.

Figura B.3
Interfaz USB a Serie



características

- **Conectores:** 1 x USB 2.0 Tipo-A macho, 1 x DB9 RS-232 serie macho con tornillos
- **Chipset:** FTDI
- **Velocidad de Transferencia:** 460,8 Kbps
- **Longitud del cable con conectores incluidos:** Aprox. 0,8 m

Función dentro del proyecto

- Permitir la transferencia directa de datos desde la unidad de control del sistema VEGA DFM 722 al ordenador mediante conexión USB.

Nota. El adaptador USB a serie Delock 61425 utiliza un chipset FTDI para permitir la comunicación entre dispositivos con puertos RS-232 y computadoras modernas a través de USB. Los chipsets FTDI son una solución popular en entornos donde se requiere la conexión de dispositivos de legado con sistemas actuales. Elaboración propia.

Figura B.4
Interfaz RS-232/UART/USB



características

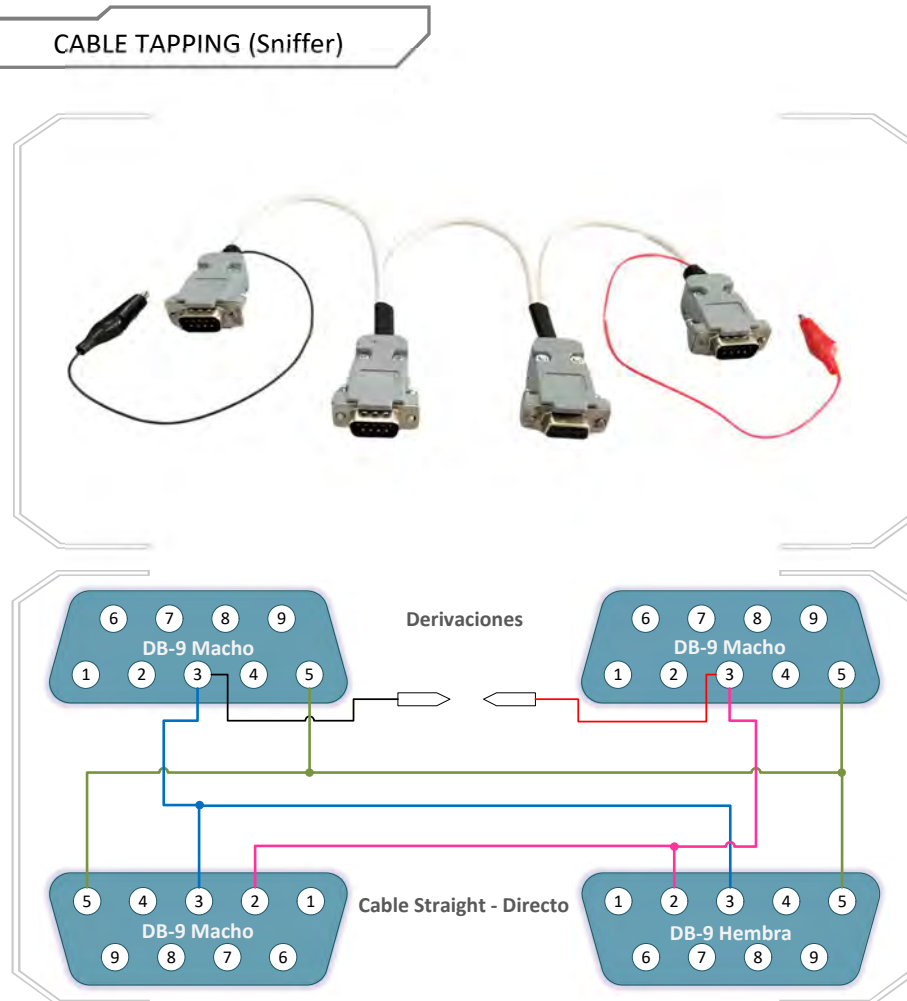
- **Conectores Frontales:** 1 x RJ45 (USB-UART), 1 x RJ45 (RS-232-UART)
- **Conectores Posteriores:** 1 x USB 2.0 Tipo-B hembra, 1 x DB9 RS-232 hembra con fijación
- **Chipset:** FTDI
- **Lector de Smartcard:** E-gate, Schlumberger, JCOP y TOP
- **Pulsadores para Modos de Operación:** 1 x ON/OFF (RS-232-UART), 1 x Selección F-Bus/M-Bus
- **Velocidad de Transferencia:** 460,8 Kbps
- **Configurable como Sniffer**

Función dentro del proyecto

- Interceptar a nivel físico, la comunicación entre la unidad central del sistema VEGA DFM 722 y el periférico de salida (Plotter) para luego derivarla a un software de monitoreo.
- Interceptar a nivel lógico la comunicación entre la unidad central del sistema VEGA DFM 722 y el Ordenador que procesará la información, para luego derivarla a un software de monitoreo.

Nota. La figura muestra una interfaz dual con funciones de conversión de señales del protocolo RS-232 (DB-9 Hembra) al protocolo UART (RJ-45 Derecha) y conversión USB a UART (RJ-45 Izquierda). Elaboración propia.

Figura B.5
Cable Tapping o de Monitoreo



características

- **Elementos de Conexión:** 3 x DB9 macho, 1 x DB9 hembra, 2 x Pinzas cocodrilo

Función dentro del proyecto

- Interceptar a nivel físico la comunicación entre la unidad central del sistema VEGA DFM 722 y el periférico de salida (Plotter) para luego derivarla a dos Interfaces RS-232/UART/USB.
- Interceptar a nivel físico, la comunicación entre la unidad central del sistema VEGA DFM 722 y el ordenador que procesara la información para luego derivarla a dos Interfaces RS-232/UART/USB.

Nota. La figura muestra la implementación de un interceptor de comunicaciones serial y el diagrama correspondiente (vista del lado de la soldadura). Elaboración propia.

Figura B.6
Computadora-Ordenador

Workstation HP Z4 G4



características

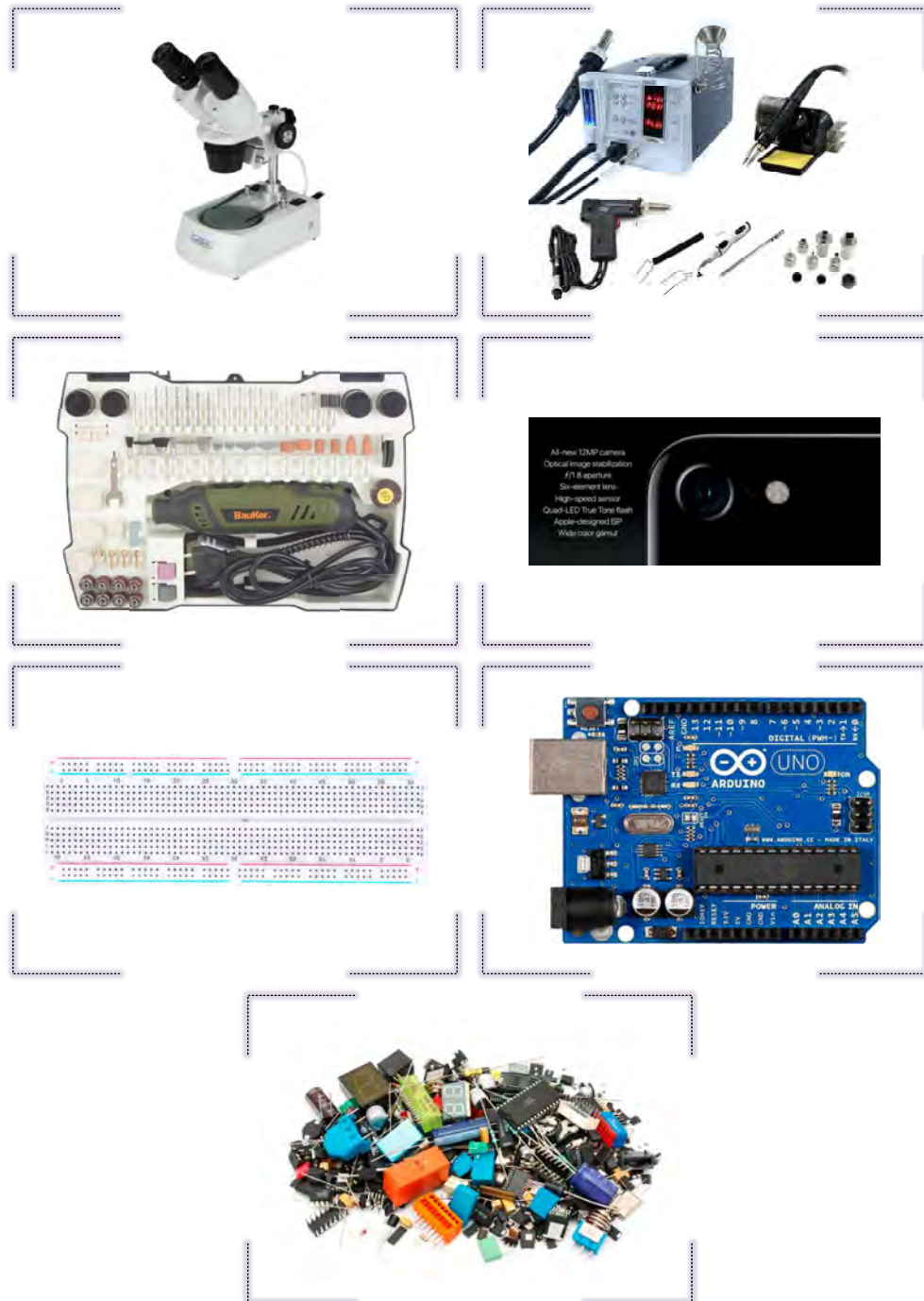
- **Procesador:** Intel Xeon W-2133 6C
- **Memoria:** 32GB DDR4
- **Almacenamiento:** 512GB NVMe
- **Gráficos:** Nvidia Quadro P2000/5GB
- **Pantalla:** Lenovo ThinkVision P24q-10
- **Sistema Operativo:** Windows 10
- **Fuente de Alimentación:** 1000W
- **Dimensiones:** 38,61 x 16,89 x 44,45 cm

Función dentro del proyecto

- Desarrollo de Software
- Simulaciones y Modelado
- Captura de Datos
- Análisis de Datos
- Renderizado y Visualización

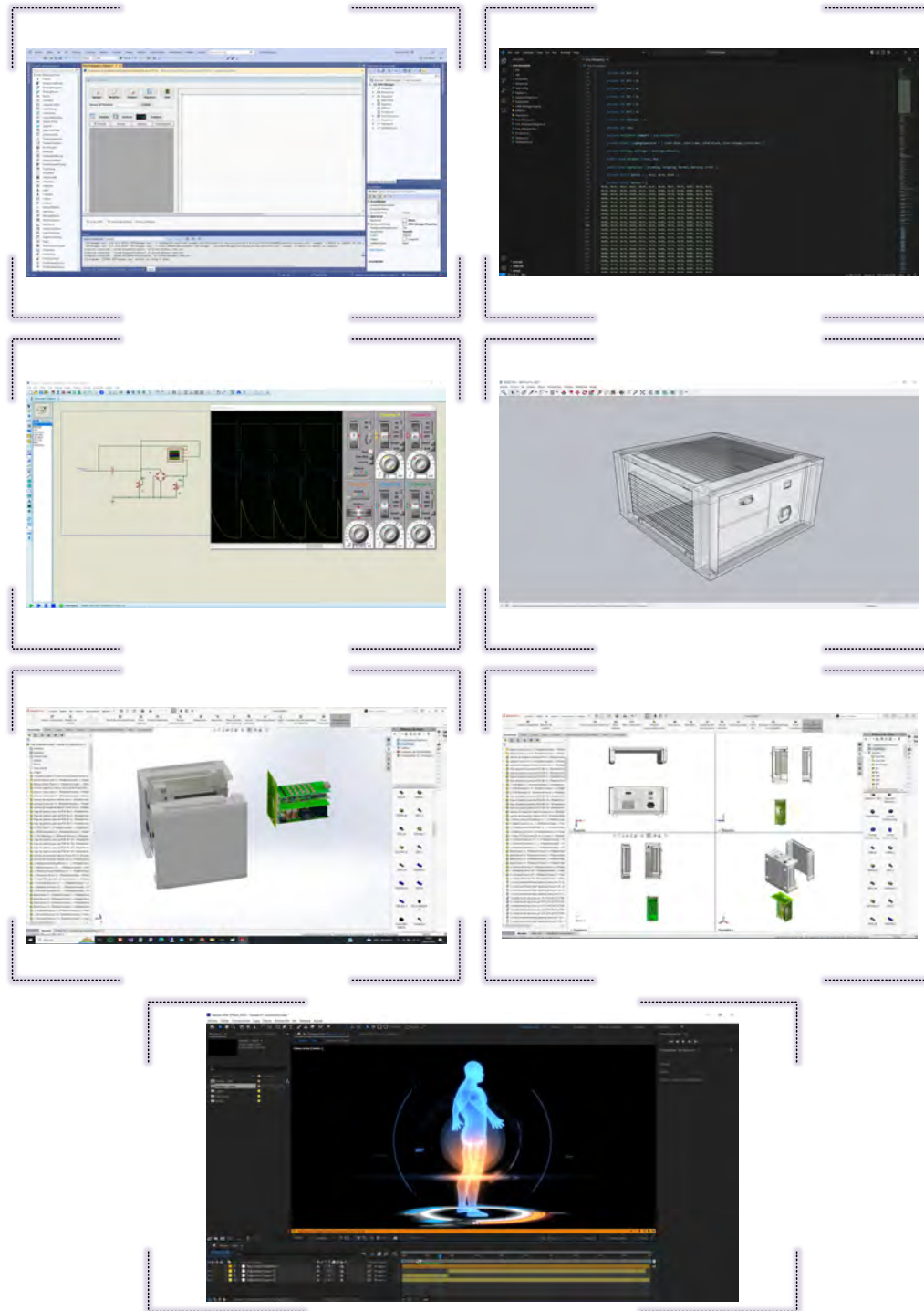
Nota. Características y funciones de la estación de trabajo HP Z4 G4 utilizada en el proyecto de tesis.
Elaboración propia.

Figura B.7
Instrumentos complementarios



Nota. La figura muestra diversos instrumentos y componentes necesarios para la realización del proyecto, incluyendo un microscopio, un kit de soldadura, una herramienta rotativa, un iPhone 7 como cámara, una placa de pruebas, una placa Arduino Uno y una colección de componentes electrónicos. Elaboración propia.

Figura B.8
Software Utilizado



Nota. La figura muestra varios programas empleados en el proyecto para el desarrollo del software, simulación, animación y renderizado. Elaboración propia.

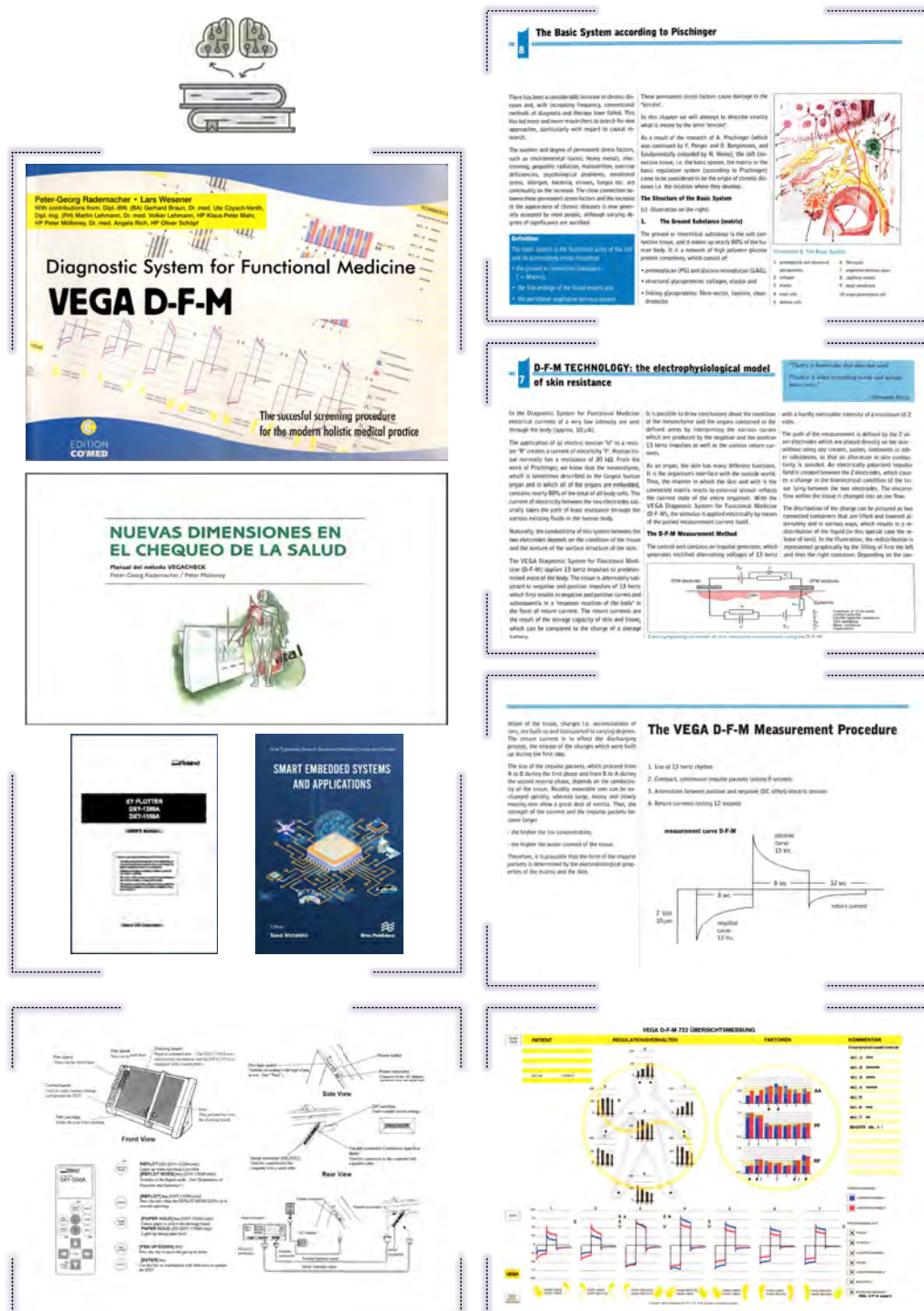
Apéndice C

Fases de la Metodología

Este apéndice complementa la sección de Fases de la Metodología, proporcionando un soporte visual que acompaña cada una de las etapas descritas previamente. Las imágenes incluidas han sido seleccionadas cuidadosamente para ilustrar de manera clara y detallada los procesos y técnicas empleados en la investigación.

Con esto, se busca mejorar la apreciación y el entendimiento de los procedimientos metodológicos, contribuyendo así a una evaluación más completa y profunda del trabajo realizado.

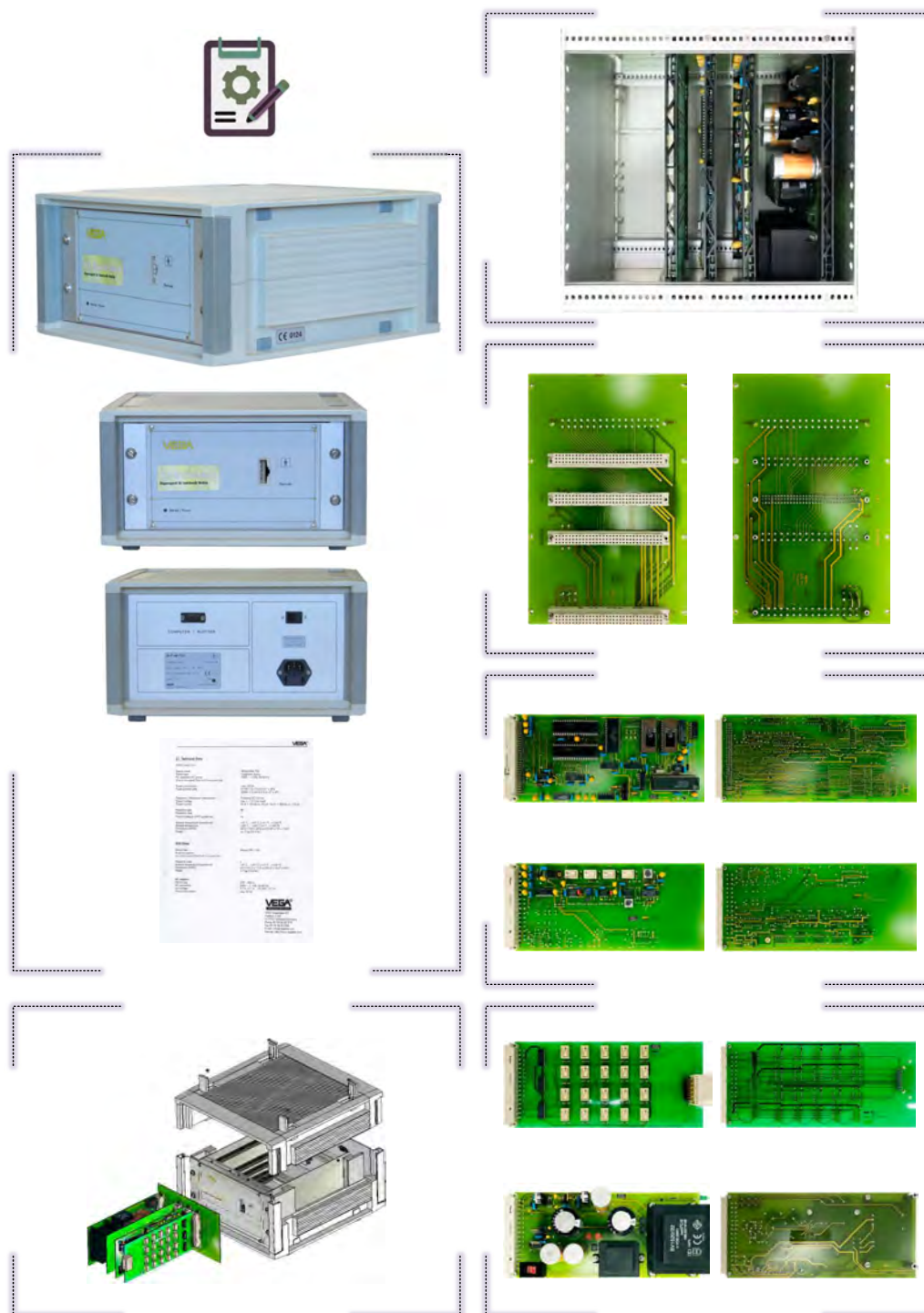
Figura C.1
Determinación del Principio de Funcionamiento



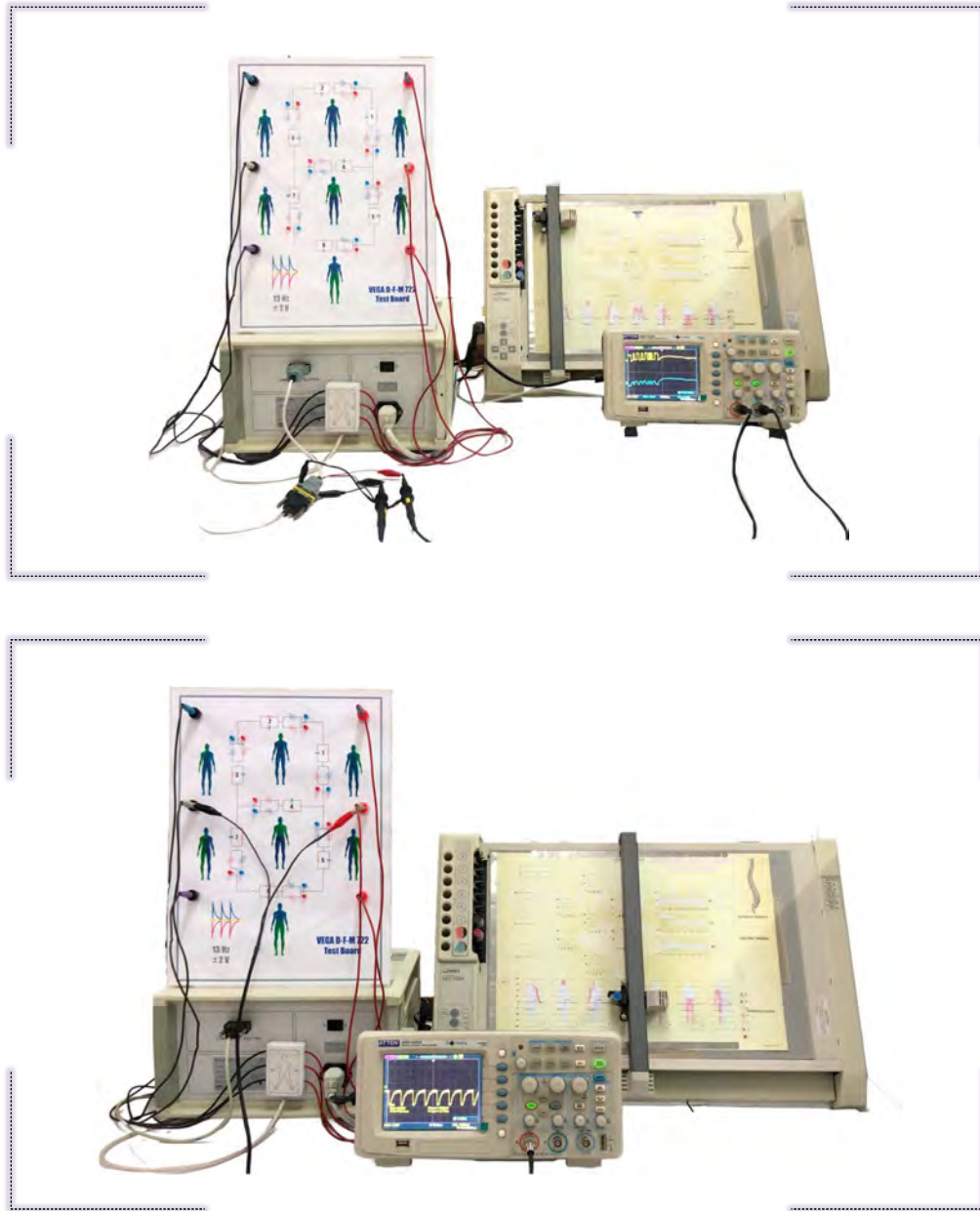
Nota. La figura muestra el material bibliográfico utilizado en la determinación de los principios de funcionamiento del sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Figura C.2*Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722*

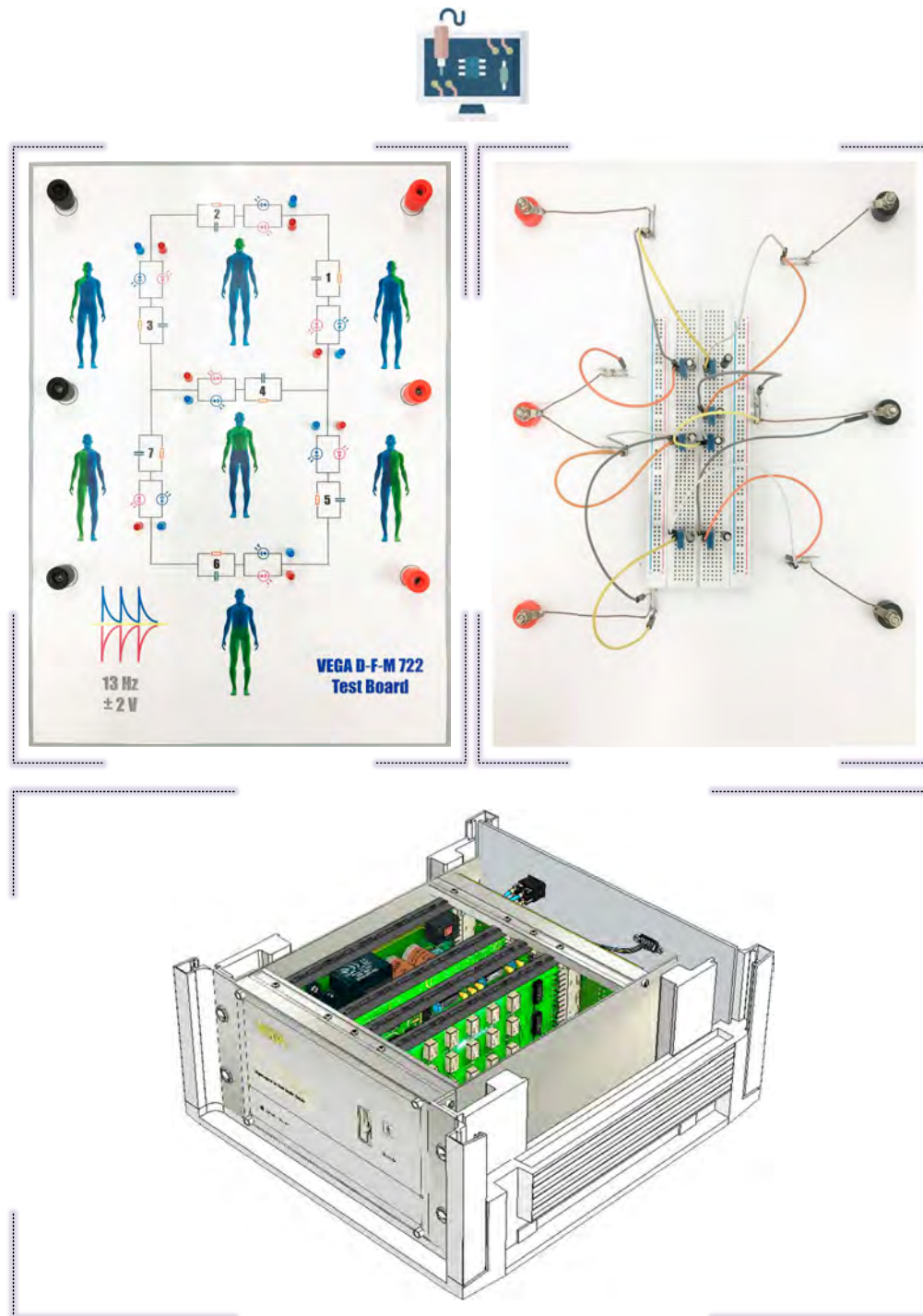
Nota. La figura muestra los elementos que componen el sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Figura C.3*Descripción Técnica del Sistema VEGA DFM 722 - (Continuación)*

Nota. Vista externa e interna de la unidad central (CPU) del sistema VEGA DFM 722 y los elementos electrónicos que lo componen. Elaboración propia.

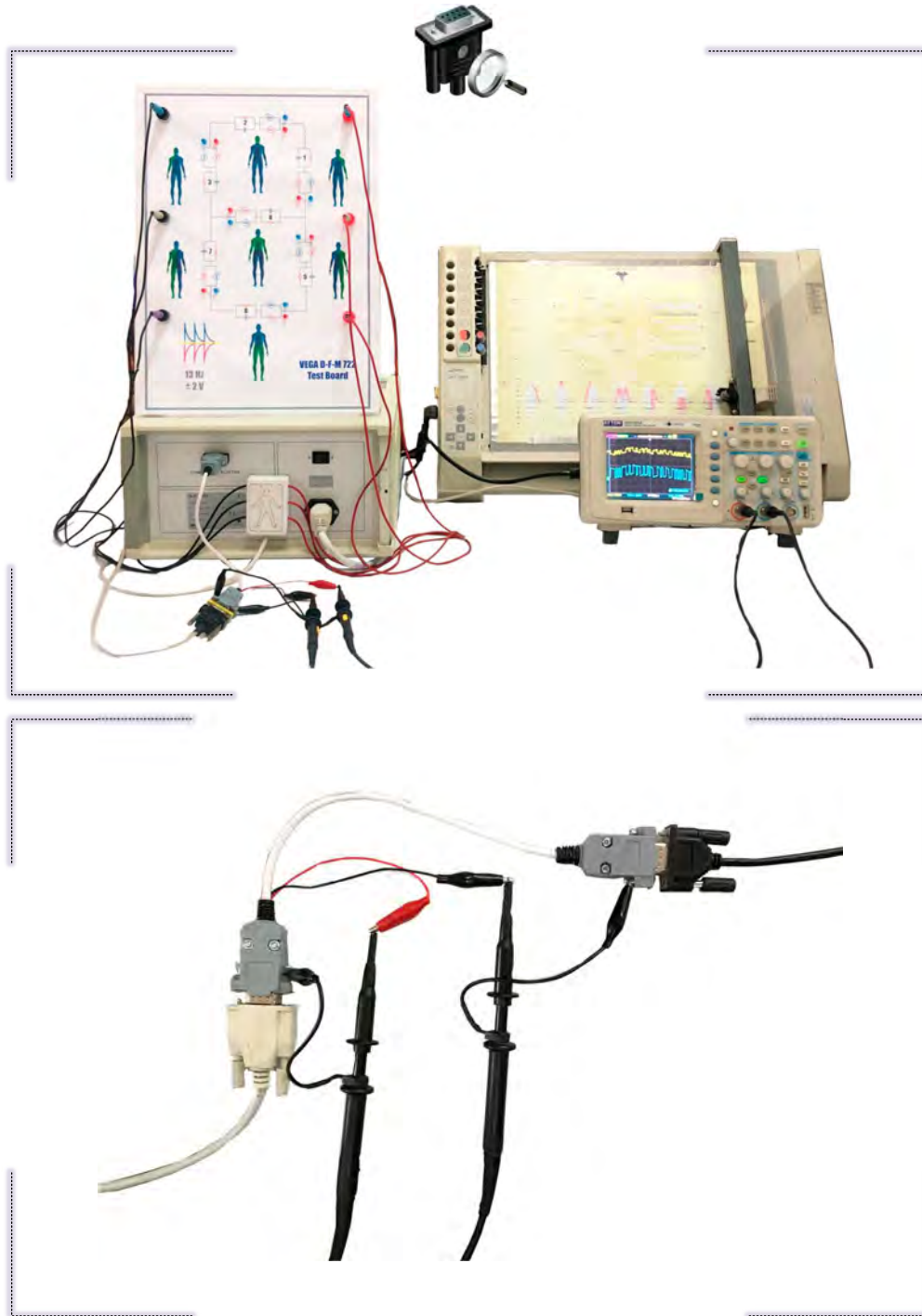
Figura C.4*Observación Directa y Análisis del Proceso de Medición*

Nota. Parte superior, monitoreo de la señal digital intercambiada entre el CPU y el Plotter; parte inferior, monitoreo de las señales analógicas provistas a través de los electrodos de medición. Elaboración propia.

Figura C.5*Circuito Emulador de Sujeto de Prueba y Modelado 3D*

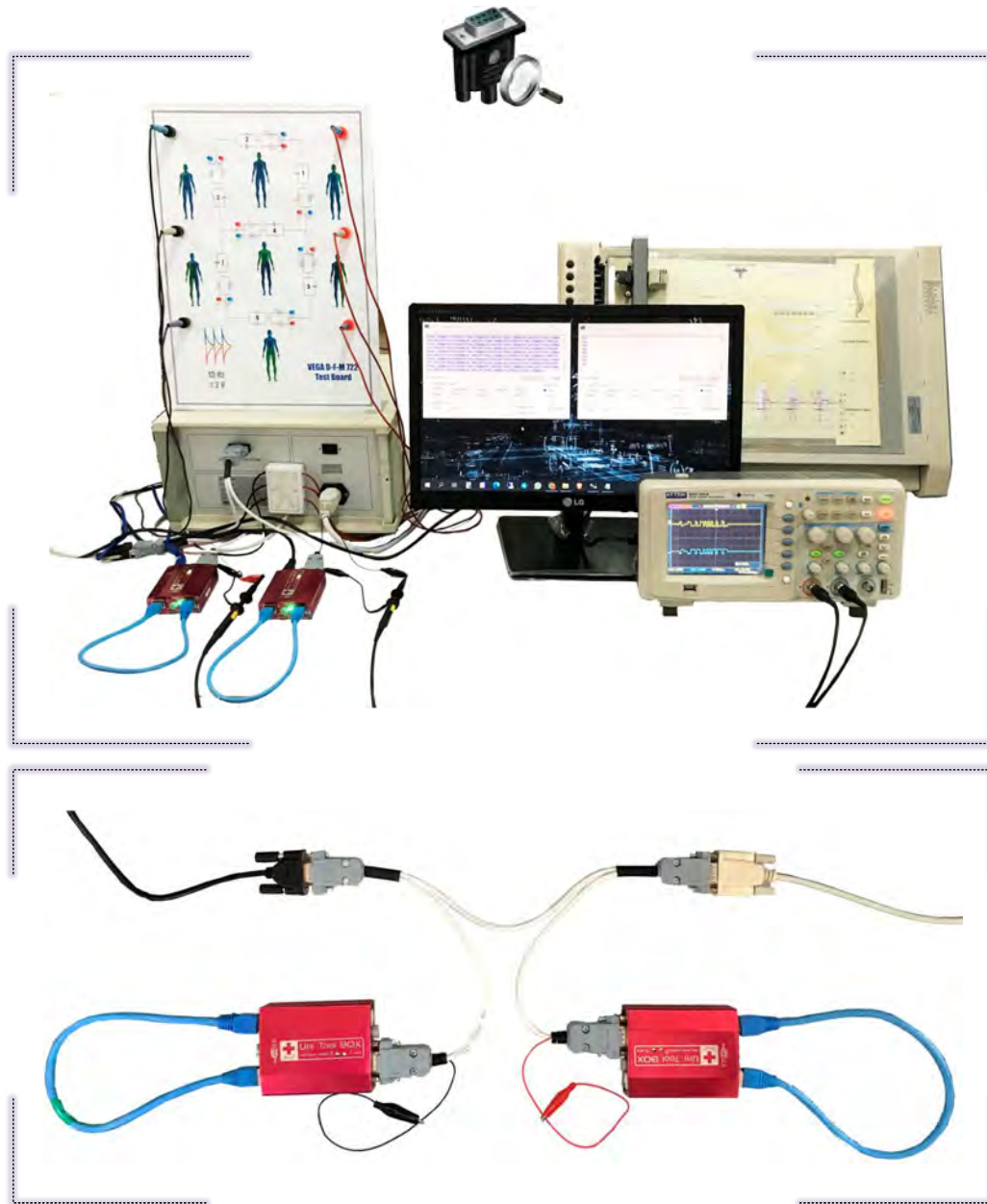
Nota. Parte superior, vista frontal y posterior del emulador de sujeto de prueba; parte inferior, el modelo 3D de la CPU del sistema VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Figura C.6
Análisis del Protocolo de Comunicación



Nota. Parte superior, visualización en el osciloscopio de las señales digitales propias del protocolo de comunicación utilizado por el sistema (RS-232); parte inferior, cable de monitoreo utilizado con sus respectivas derivaciones hacia el osciloscopio. Elaboración propia.

Figura C.7
Captura de Información



Nota. En la parte superior, captura de los datos enviados y recibidos por el CPU del sistema, utilizando el protocolo RS-232; parte inferior, configuración de los sniffers y el cable tapping para la captura. Elaboración propia.

Figura C.9

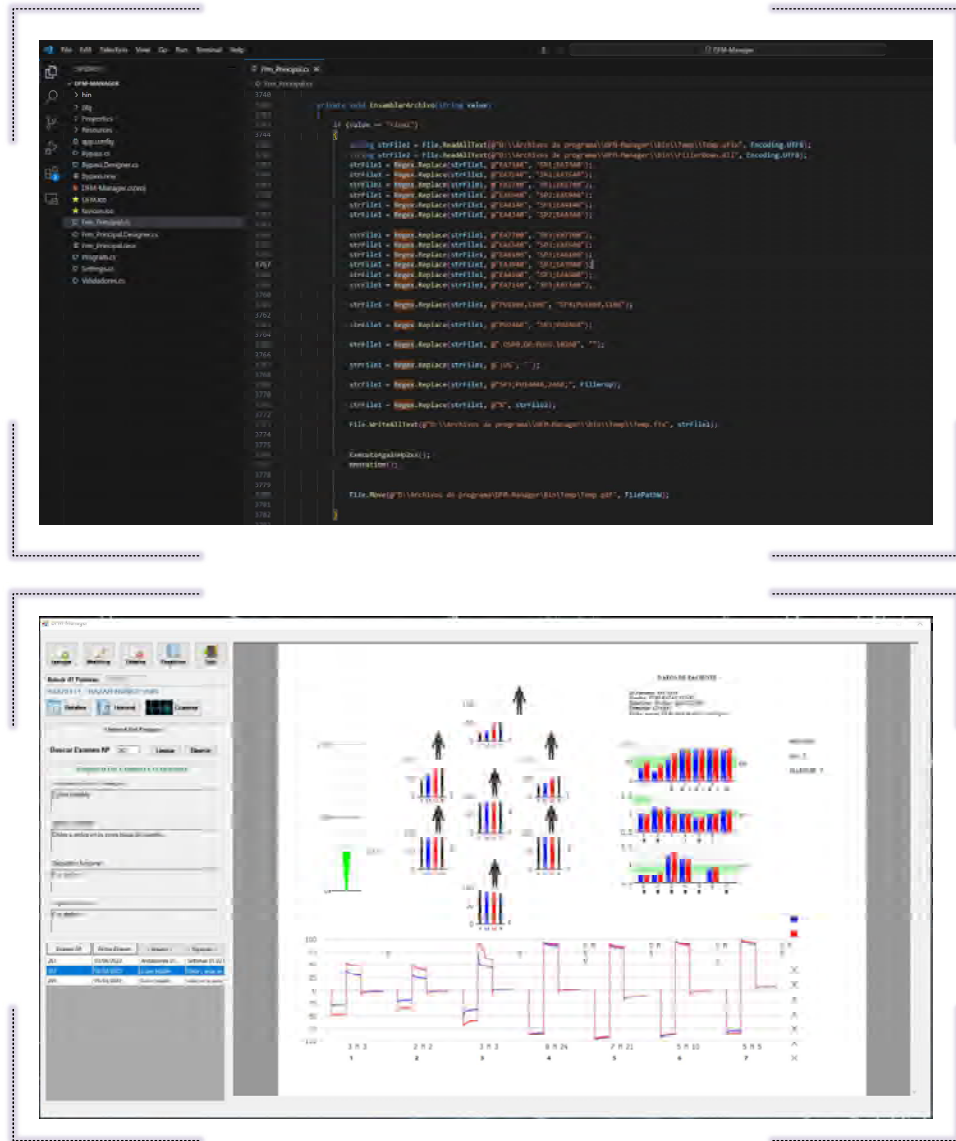
Especificaciones para la Nueva Interfaz de Comunicación



Especificaciones Recomendadas

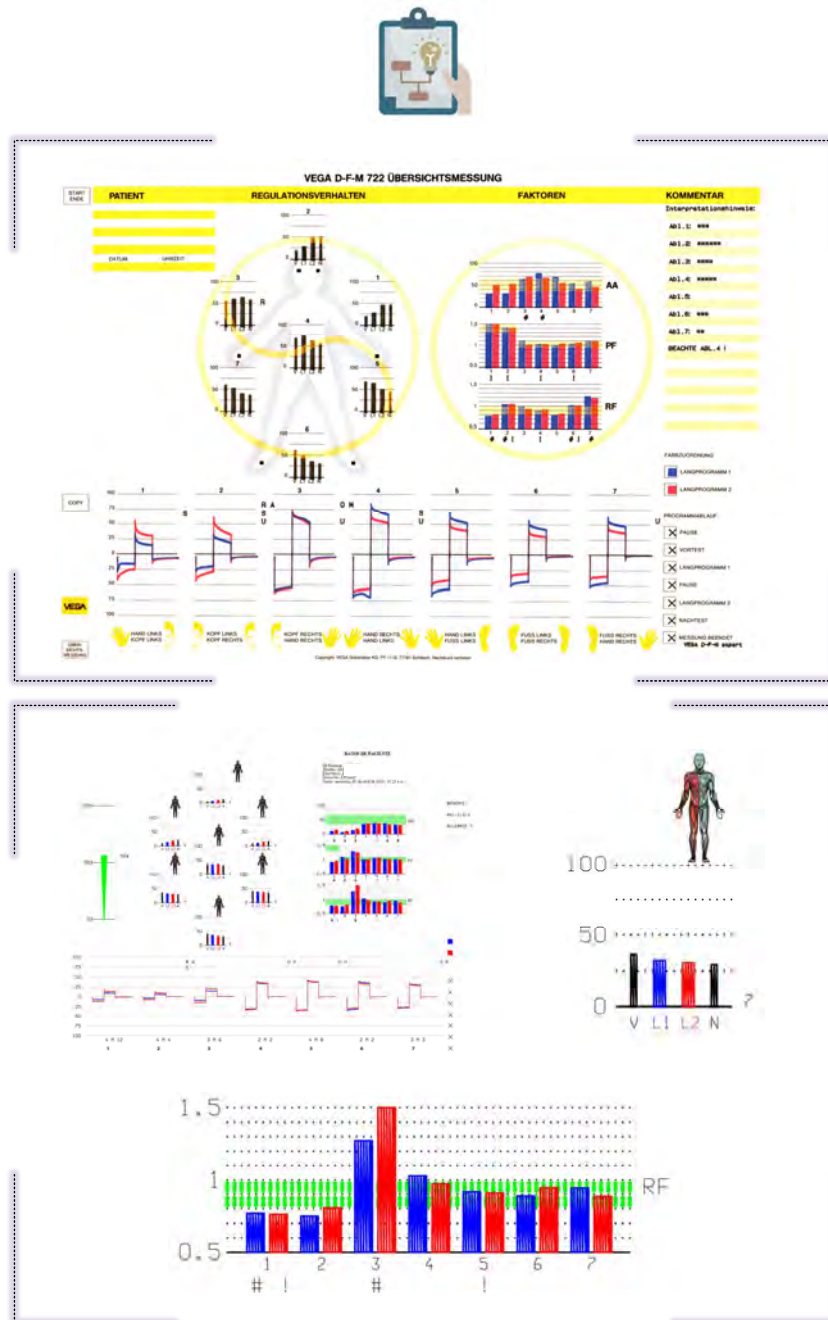
- **Adaptador:** USB a RS-232 DB9 Macho
- **Puerto USB:** USB 2.0
- **Chipset:** Prolific PL2303 / FTDI
- **Velocidad de Transferencia:** 1 Mbps
- **Longitud del cable con conectores incluidos:** Aprox. 1.5 m
- **Compatibilidad:** Windows 11/10

Nota. La figura muestra la interfaz recomendada para la comunicación entre el CPU del sistema VEGA DFM 722 y el Ordenador en el que se ejecutará el software de control. Adaptado de Cable Adaptador USB a Serie RS232 DB9 Serial 1.5 metros NETCOM, Oeschle.pe (<https://www.oechsle.pe/cable-adaptador-usb-a-serie-rs232-db9-serial-1-5-metros-netcom>).



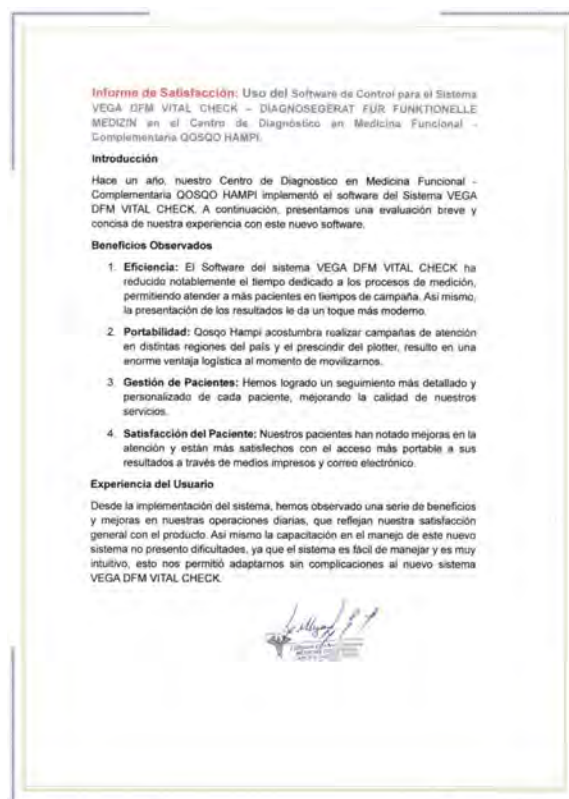
Nota. Parte superior, captura del código que forma parte del software de control; parte inferior, captura de la interfaz de usuario del software de control, mostrando los resultados de una medición efectuada. Elaboración propia.

Figura C.11
Optimización de la Presentación



Nota. Parte superior, resultado de medición graficado en una hoja de tamaño A3 utilizando el Plotter (recreación del sistema original); parte inferior; resultado brindado por el software de control desarrollado, resaltando la capacidad de gráfica vectorial en color y elementos añadidos. Elaboración propia.

Figura C.12
Pruebas unitarias y Validación



Nota. Parte superior, pruebas llevadas a cabo sobre individuos reales, de cada uno de los módulos que componen el software del sistema; parte inferior, informe de satisfacción emitido por el Centro de Diagnóstico en Medicina Funcional – Complementaria, propietario de los dispositivos VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Apéndice D

Misceláneas

En esta sección se agrupan diversos aspectos complementarios y detalles técnicos; aunque algunos de ellos no encajan directamente en las secciones principales del documento, son esenciales para comprender plenamente el alcance y los matices de la investigación.

D.1 Análisis Complementario de las Curvas Originales

Una vez finalizado el desarrollo del software, el circuito emulador de sujeto de prueba permitió realizar una evaluación más completa del comportamiento de las gráficas de las curvas originales.

Esta evaluación consistió en modificar el Circuito Emulador de Sujeto de Prueba (CESP). Específicamente se probaron distintos escenarios para los circuitos RC, que permitieran obtener la mayor cantidad de información relevante con el menor número de pruebas. Pruebas en las que se evaluaron valores bajos y altos de la resistencia, manteniendo constante la capacidad del condensador; así como valores altos y bajos de la capacidad del condensador y las resistencias.

Corresponde aclarar que el objetivo de esta evaluación tuvo un propósito de alcances exclusivamente cualitativos y un carácter preliminar para posteriores estudios. Este objetivo, fue el de tener una idea del papel que juegan la impedancia resistiva y capacitiva en la generación de las curvas originales.

D.1.1 Resultados de Medición para una Configuración de Electrodo Abiertos

Para este propósito se modificó el circuito RC, dejando todos los electrodos sin ninguna carga de impedancia, es decir simplemente abiertos (Tabla D.1), (Figura D.1) y (Figura D.2).

Se puede visualizar en la hoja de resultados, que para esta configuración los valores de la amplitud para el flanco positivo y negativo son prácticamente nulos. Así mismo las curvas originales del primer y segundo programa largos se superponen a la perfección, dejando una aparente inexistencia del primer programa largo, que se evidencia en el color rojo predominante en los resultados de medición.

Resalta particularmente desorientador el valor del nivel de vitalidad de 43% para esta configuración.

Tabla D.1

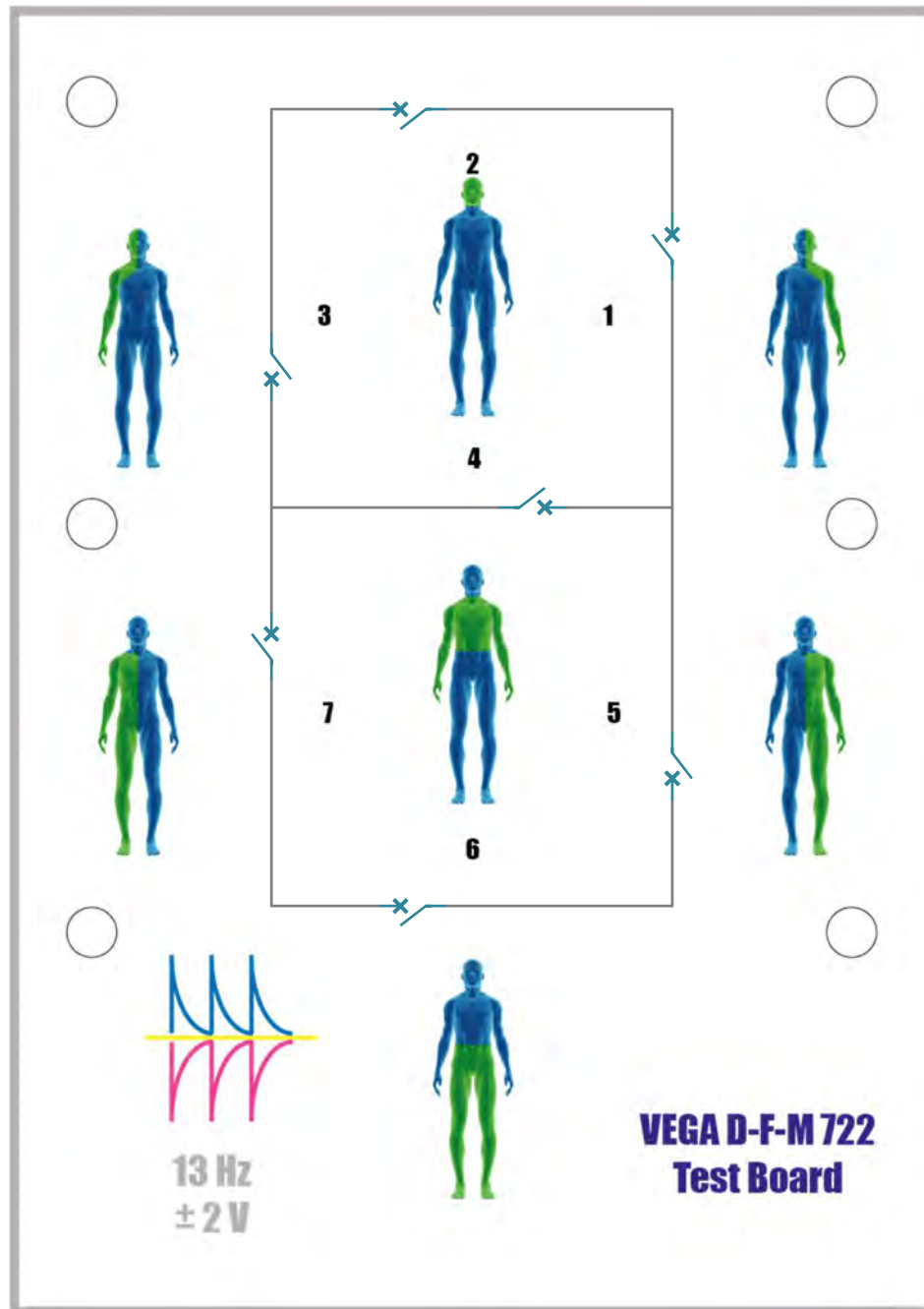
Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Electrodo Abiertos

Tramo	Resistencia	Condensador	Impedancia Total
Derivación 1	—	—	—
Derivación 2	—	—	—
Derivación 3	—	—	—
Derivación 4	—	—	—
Derivación 5	—	—	—
Derivación 6	—	—	—
Derivación 7	—	—	—

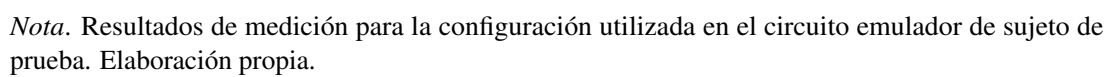
Nota: Elaboración propia.

Figura D.1

Configuración del CESP para una Configuración de Electrodo Abiertos



Nota. Configuración del circuito emulador de sujeto de prueba para el caso estudiado. Elaboración propia.



D.1.2 Resultados de Medición para una Configuración de Electrodos en Corto Circuito

Para este propósito se modificó el circuito RC, dejando todos los electrodos con una carga de impedancia nula, es decir en corto circuito (Tabla D.2), (Figura D.3) y (Figura D.4).

Se puede visualizar en la hoja de resultados, que para esta configuración los valores de la amplitud para el flanco positivo y negativo alcanzan unos valores máximos que terminan por rebasar la escala pre establecida. Las curvas propias de las corrientes de retorno son prácticamente horizontales, y al igual que en el caso anterior las curvas originales del primer y segundo programa largos también se superponen.

El valor del nivel de vitalidad 20% y el nivel de los factores para esta configuración, en contraste con el resultado anterior podría dar una idea de cómo es que el software del VEGA DFM 722 determina estos valores.

Tabla D.2

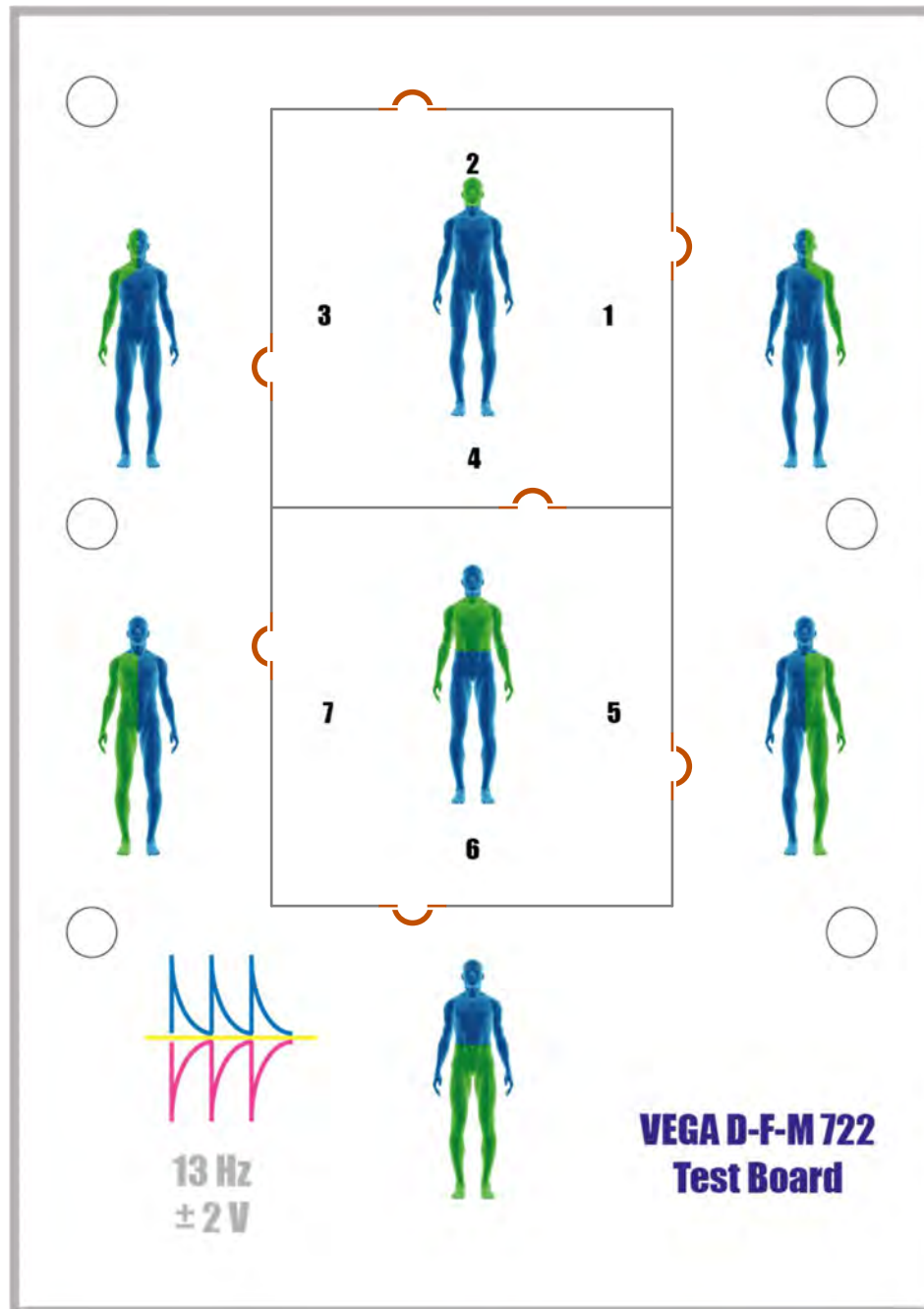
Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Electrodos en Corto Circuito

Tramo	Resistencia	Condensador	Impedancia Total
Derivación 1	0	—	0
Derivación 2	0	—	0
Derivación 3	0	—	0
Derivación 4	0	—	0
Derivación 5	0	—	0
Derivación 6	0	—	0
Derivación 7	0	—	0

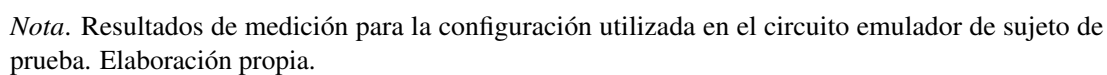
Nota: Elaboración propia.

Figura D.3

Configuración del CESP para una Configuración de Electrodo en Corto Circuito



Nota. Configuración del circuito emulador de sujeto de prueba para el caso estudiado. Elaboración propia.



D.1.3 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva

Para este propósito se retiraron los condensadores del circuito RC y se establecieron para las resistencias valores en incrementos de 35 k Ω a lo largo de los siete tramos de medición (Tabla D.3), (Figura D.5) y (Figura D.6). Se debe tomar en cuenta también aquí y en adelante la caída de voltaje que pudiera ocasionar el puente de diodos LED.

Se puede visualizar en la hoja de resultados, que para esta configuración los valores de la amplitud tanto en el flanco positivo y negativo empiezan a decrecer a medida que aumenta el valor de la resistencia. Así mismo las curvas de las corrientes de retorno tienen una pendiente nula.

El valor del nivel de vitalidad permanece en un 20% y el nivel de los factores comienza a presentar valores distintivos. Al igual que en los otros casos las curvas de ambos programas largos se superponen.

Tabla D.3

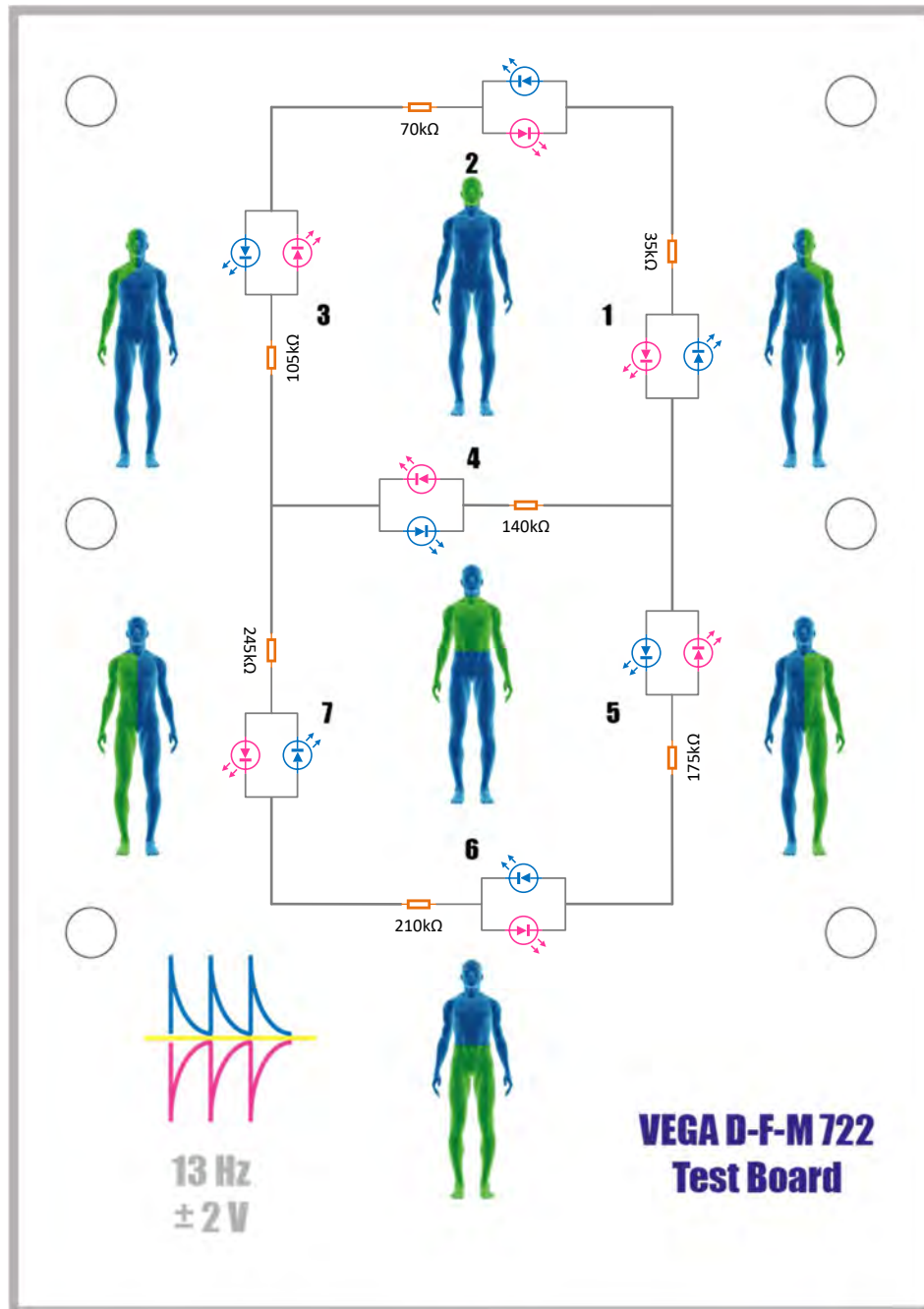
Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva

Tramo	Resistencia	Condensador	Impedancia Total
Derivación 1	35 k Ω	0	31 k Ω
Derivación 2	70 k Ω	0	55 k Ω
Derivación 3	105 k Ω	0	71 k Ω
Derivación 4	140 k Ω	0	74 k Ω
Derivación 5	175 k Ω	0	132 k Ω
Derivación 6	210 k Ω	0	148 k Ω
Derivación 7	245 k Ω	0	161 k Ω

Nota: Elaboración propia.

Figura D.5

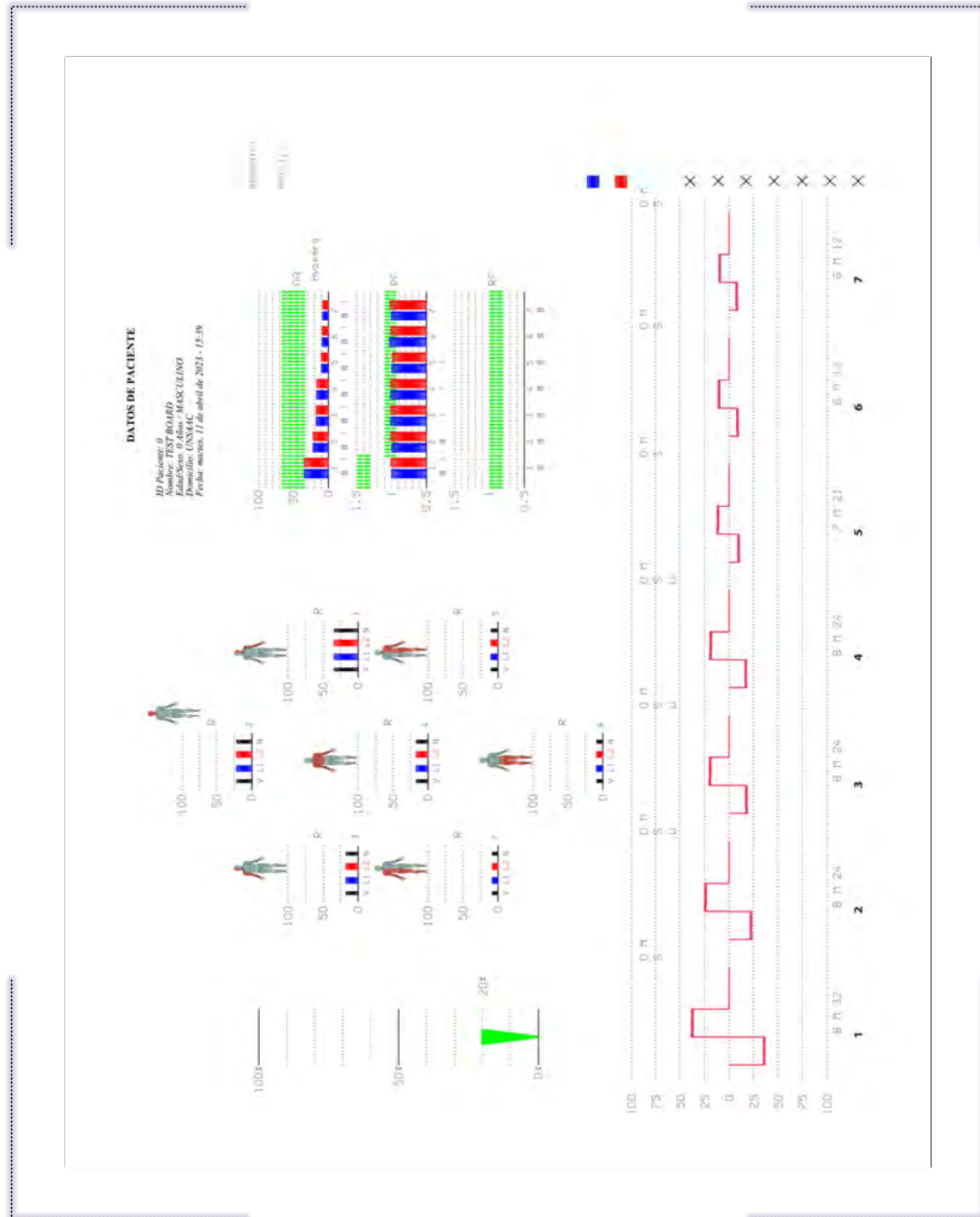
Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva



Nota. Configuración del circuito emulador de sujeto de prueba para el caso estudiado. Elaboración propia.

Figura D.6

Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva



Nota. Resultados de medición para la configuración utilizada en el circuito emulador de sujeto de prueba. Elaboración propia.

D.1.4 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante

Para este propósito se modificó el circuito RC, estableciéndose para las resistencias valores en incrementos de 35 k Ω y condensadores cerámicos con un valor de 100 pF a lo largo de los siete tramos de medición (Tabla D.4), (Figura D.7) y (Figura D.8).

Se puede visualizar en la hoja de resultados, que de existir alguna variación de estos resultados frente al anterior que solo incluyo impedancia resistiva, esta debe ser apenas perceptible, debido posiblemente al valor bajo elegido para los condensadores.

Tabla D.4

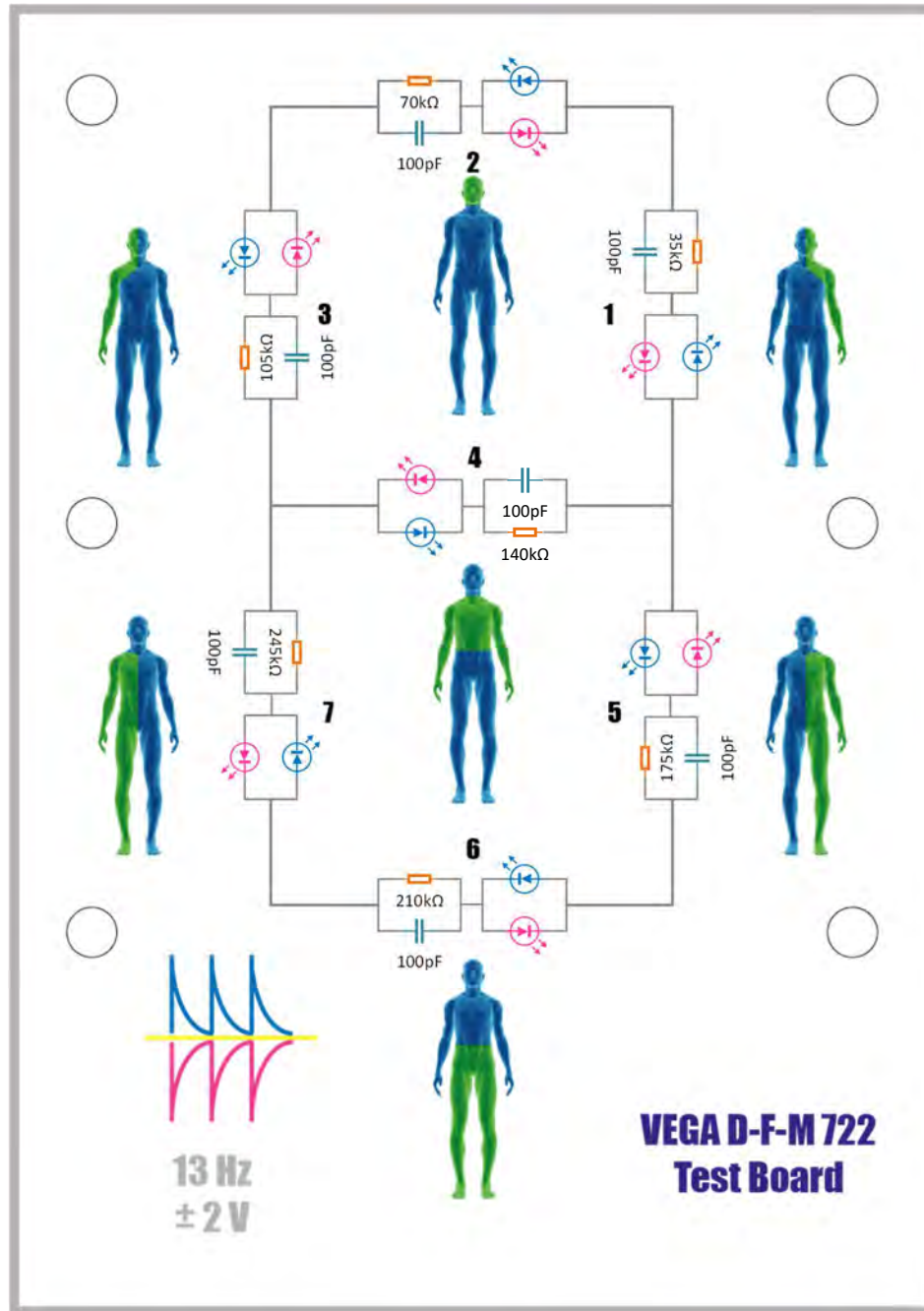
Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante

Tramo	Resistencia	Condensador	Impedancia Total
Derivación 1	35 k Ω	100 pF	31 k Ω
Derivación 2	70 k Ω	100 pF	55 k Ω
Derivación 3	105 k Ω	100 pF	71 k Ω
Derivación 4	140 k Ω	100 pF	74 k Ω
Derivación 5	175 k Ω	100 pF	132 k Ω
Derivación 6	210 k Ω	100 pF	148 k Ω
Derivación 7	245 k Ω	100 pF	161 k Ω

Nota: Elaboración propia.

Figura D.7

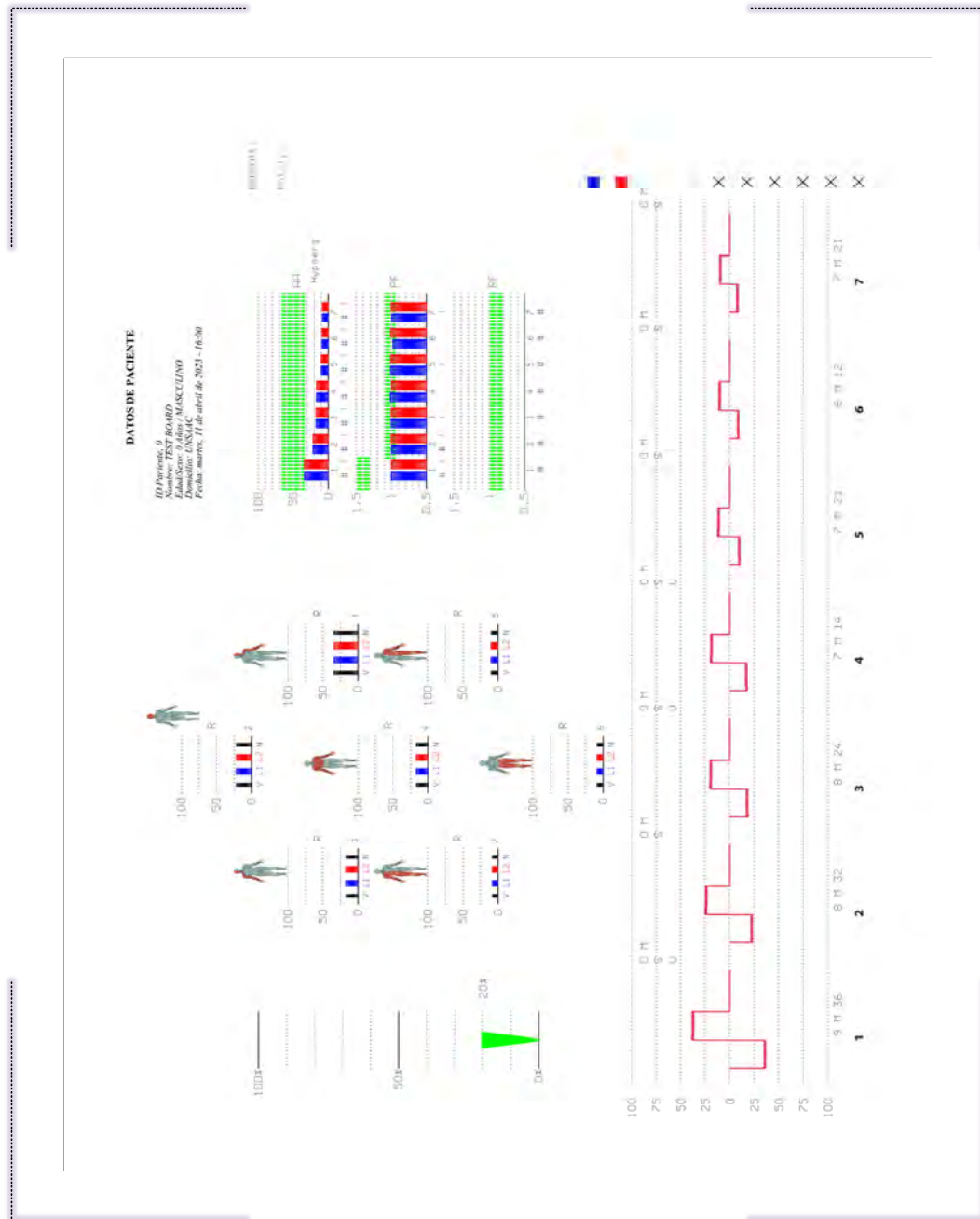
Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante



Nota. Configuración del circuito emulador de sujeto de prueba para el caso estudiado. Elaboración propia.

Figura D.8

Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Constante



Nota. Resultados de medición para la configuración utilizada en el circuito emulador de sujeto de prueba. Elaboración propia.

D.1.5 Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada

Para este propósito se modificó el circuito RC, estableciéndose para las resistencias valores en incrementos de 35 k Ω y condensadores electrolíticos de 0.1 μ F, 1 μ F, 10 μ F y 100 μ F; en polarización directa y de acuerdo a la Tabla D.5, (Figura D.9) y (Figura D.10).

Se puede visualizar en la hoja de resultados, que la capacidad de los condensadores juegan un papel importante en la amplitud y cuan pronunciadas son las pendientes en las curvas originales.

Se probó también la misma configuración para una polarización inversa de los condensadores (Figura D.11) y (Figura D.12). Obteniéndose prácticamente los mismos resultados, de donde podemos inferir que la polaridad de los condensadores no parece ser relevante para el proceso de medición.

Tabla D.5

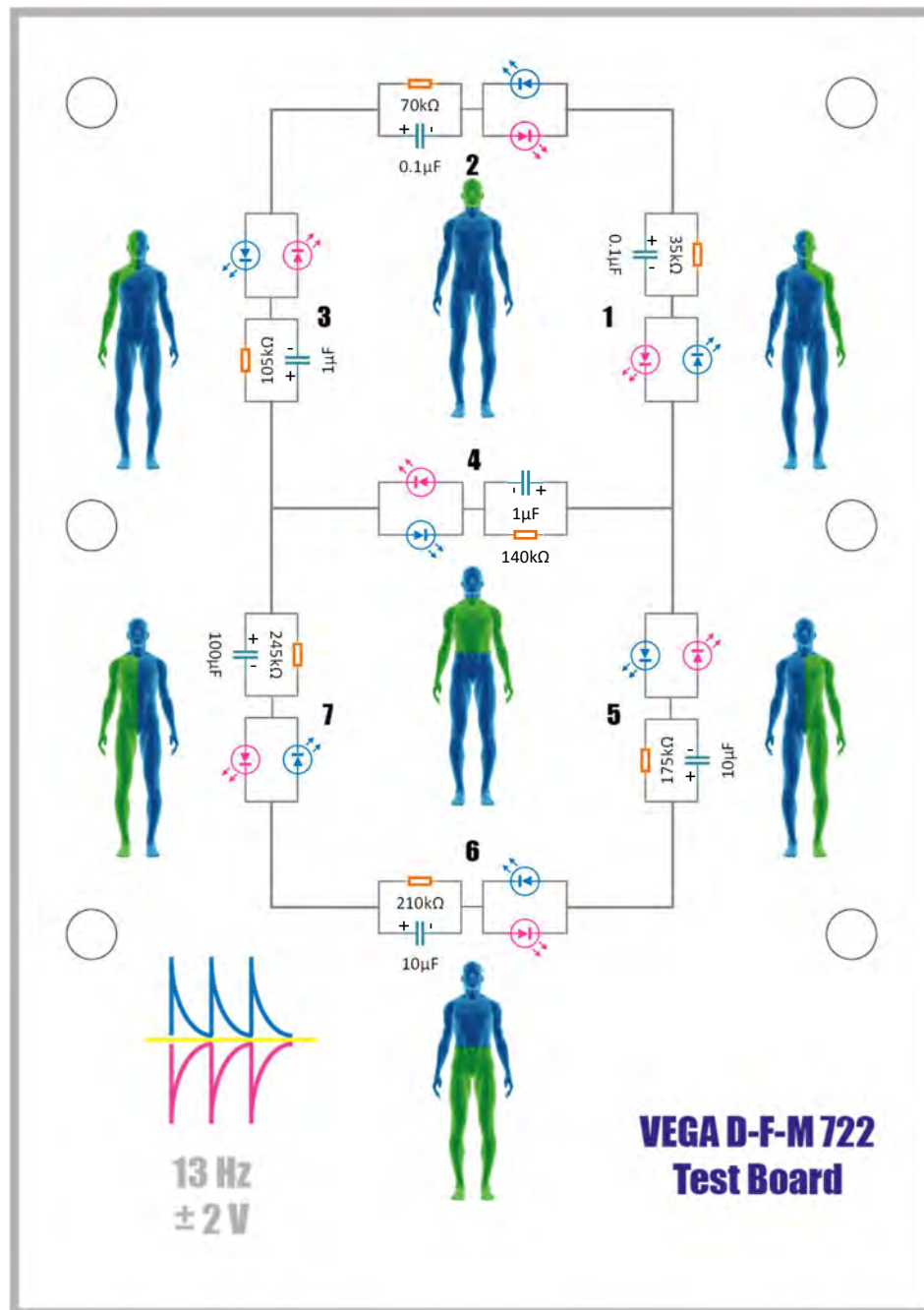
Configuración del circuito RC del Emulador de Sujeto de Prueba para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada

Tramo	Resistencia	Condensador	Impedancia Total
Derivación 1	35 k Ω	0,1 μ F	31 k Ω
Derivación 2	70 k Ω	0,1 μ F	54 k Ω
Derivación 3	105 k Ω	1 μ F	70 k Ω
Derivación 4	140 k Ω	1 μ F	71 k Ω
Derivación 5	175 k Ω	10 μ F	> 120 k Ω
Derivación 6	210 k Ω	10 μ F	> 130 k Ω
Derivación 7	245 k Ω	100 μ F	> 83 k Ω

Nota: Elaboración propia.

Figura D.9

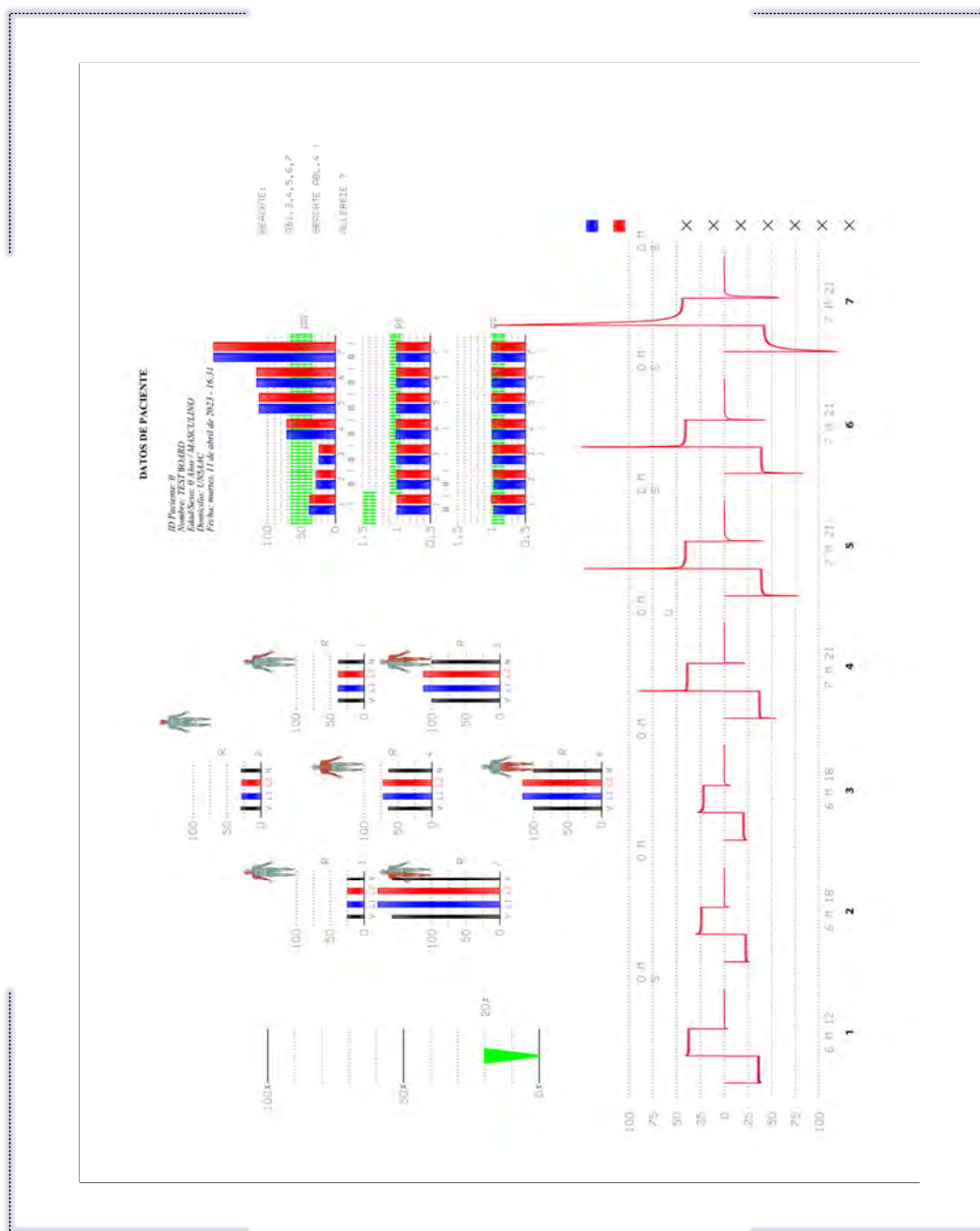
Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Directa)



Nota. Configuración del circuito emulador de sujeto de prueba para el caso estudiado. Elaboración propia.

Figura D.10

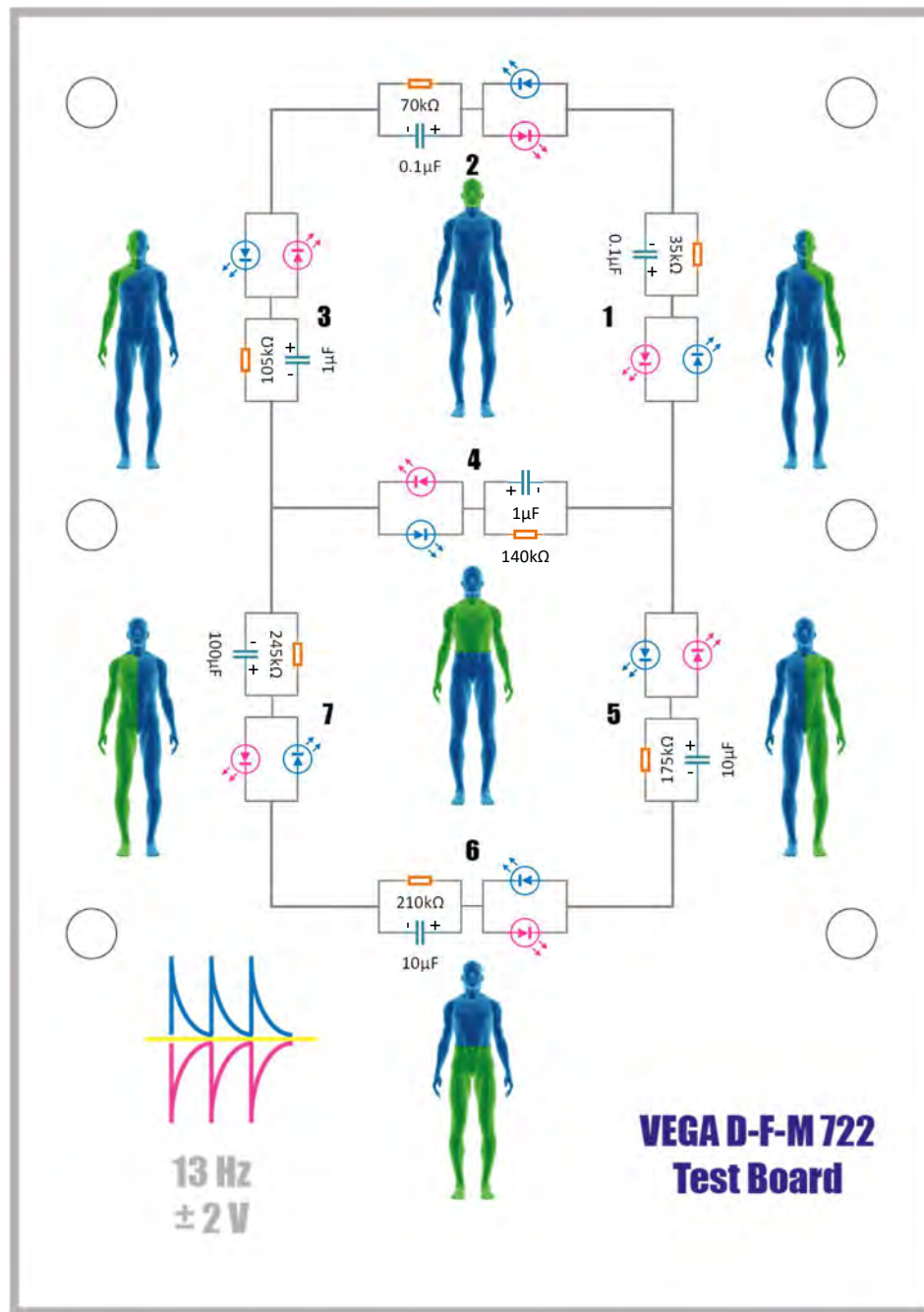
Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Directa)



Nota. Resultados de medición para la configuración utilizada en el circuito emulador de sujeto de prueba. Elaboración propia.

Figura D.11

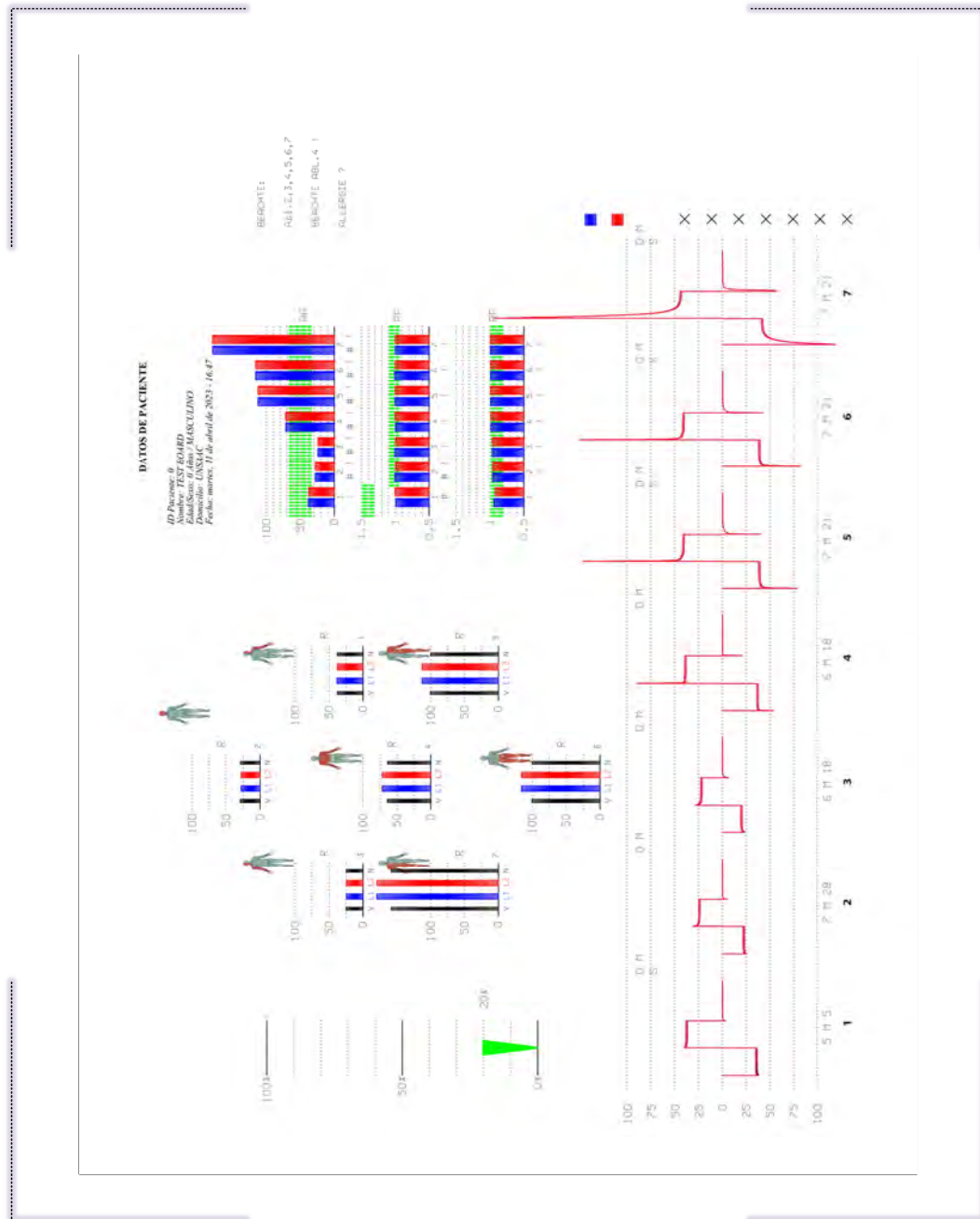
Configuración del CESP para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Inversa)



Nota. Configuración del circuito emulador de sujeto de prueba para el caso estudiado. Elaboración propia.

Figura D.12

Resultados de Medición para una Configuración de Carga de Impedancia Resistiva y Capacitiva Diferenciada (Polarización Inversa)



Nota. Resultados de medición para la configuración utilizada en el circuito emulador de sujeto de prueba. Elaboración propia.

Los resultados anteriores permiten formar una idea de como el sistema VEGA DFM 722 procesa e interpreta las señales procedentes de los electrodos de medición.

En la Figura D.13 se muestra una curva original donde se identifican el flanco anterior (FA) y el flanco posterior (FP). En función a esta se presentan dos curvas adicionales:

- Curva A: Aquí los flancos anterior y posterior son aproximadamente iguales en magnitud y pendiente, lo cual indica una simetría en la señal.
- Curva B: En esta curva, se observa que el flanco anterior es mayor que el flanco posterior y la curva posee una pendiente más pronunciada, lo cual sugiere una asimetría en la señal.

Al analizar detalladamente los resultados de medición bajo las distintas configuraciones utilizadas, estamos en condiciones de inferir que:

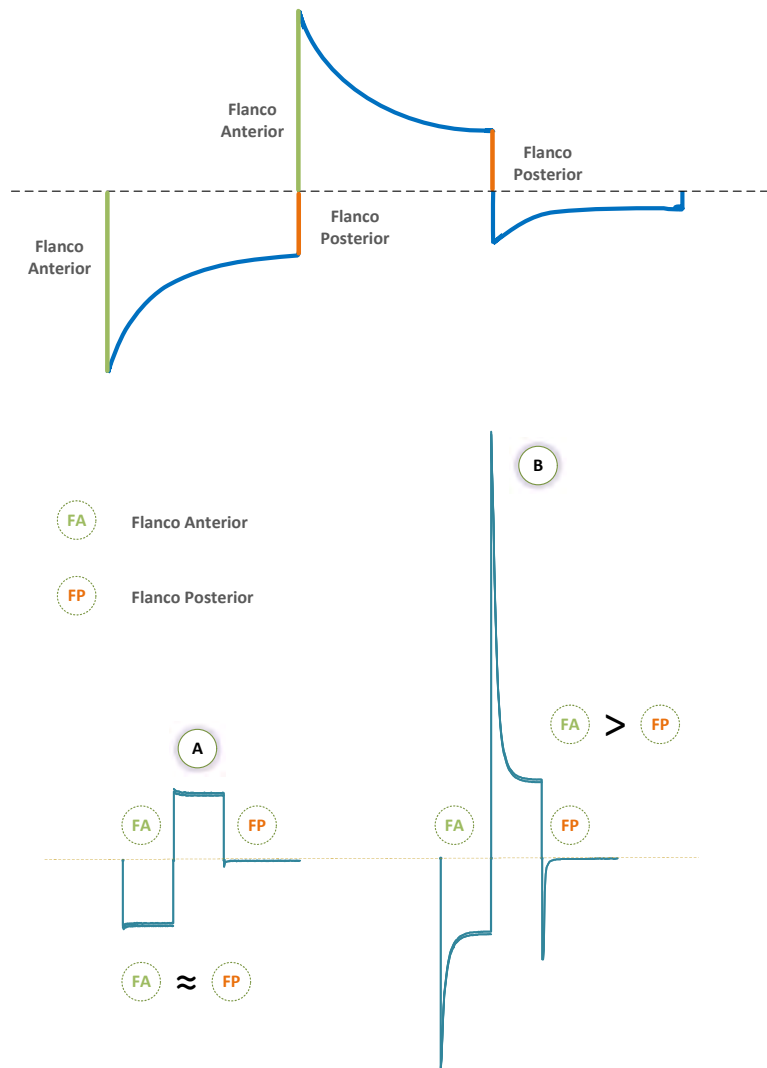
- La impedancia resistiva parece jugar un papel importante en que la curva original tenga un comportamiento equilibrado respecto de la magnitud de los flancos anterior y posterior.
- La impedancia capacitiva parece responsable de producir un incremento en la magnitud de cada flanco, observándose un incremento más pronunciado en el flanco anterior.

Estos resultados dicen mucho sobre el comportamiento dinámico de la electrodinámica de los seres humanos, en virtud de los resultados de medición que se obtienen en ellos.

Así también, en función del valor para el nivel de vitalidad de 20% mostrado en todas las configuraciones con carga de impedancia, se puede afirmar que el sistema es capaz de identificar de alguna forma, un sistema biológicamente inerte conectado a sus electrodos. Si acaso corresponde tentar una posible hipótesis al respecto: Sería que lo hace tomando también en cuenta la diferencia de altura en las amplitudes de los dos programas largos L1 y L2 (Figura D.14).

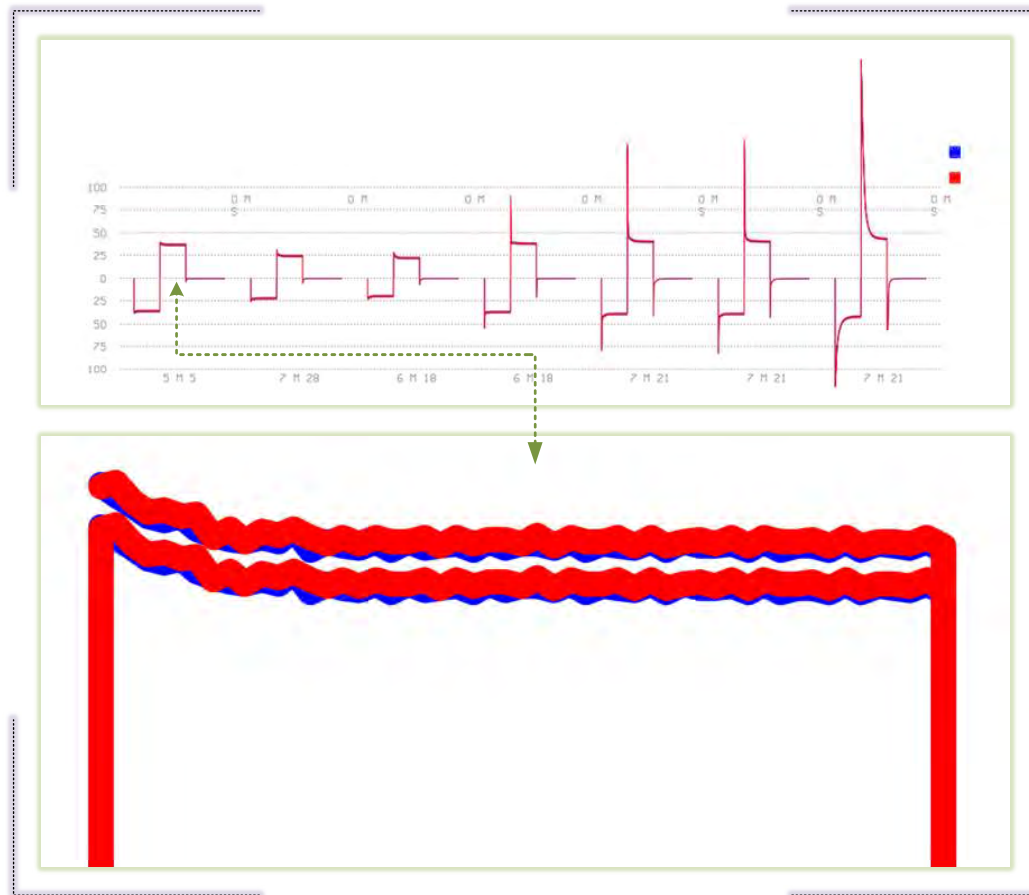
Figura D.13

Rol de las Impedancias Resistiva y Capacitiva en la Generación de las Curvas Originales



Nota. Parte superior, curva original presentando la ubicación de los flancos anterior y posterior; parte inferior, comportamiento de las curvas originales en respuesta a los componentes de impedancia resistiva y capacitiva. Elaboración propia.

Figura D.14
Superposición Relativa de las Curvas originales



Nota. Parte superior, superposición aparente de las curvas originales de los dos programas L1 (azul) y L2 (rojo); parte inferior, vista ampliada de las curvas originales en el primer tramo de medición, obsérvese la existencia de una mínima variación entre ambas que podría estar relacionada a un valor mínimo del nivel de vitalidad. Elaboración propia.

Se sugiere un estudio más completo, de los alcances y limitaciones detrás del método VEGA y los dispositivos de diagnóstico basados en él.

D.2 Fragmentos Esenciales del Código Fuente del Software de Control

En esta sección, se presentan los fragmentos más críticos del código fuente desarrollado para el software de control. Estos segmentos fueron seleccionados por su relevancia en la implementación de las funcionalidades clave del sistema, como son:

- Implementación de los comandos de inicio de medición.
- Sincronización de los procesos de medición.

A continuación, se detalla cada fragmento con explicaciones sobre su propósito y cómo contribuye al funcionamiento integral del software.

D.2.1 Implementación de los Comandos de inicio de Medición

Definición de los comandos de inicio de medición como arreglos de bytes

```

1
2 private byte[] bytes1 = { 0x32, 0x30, 0x0d };
3 private byte[] bytes2 = {
4     0x30, 0x2C, 0x31, 0x2C, 0x30, 0x2C, 0x30, 0x2C, 0x31, 0x2C,
5     0x30, 0x2C, 0x30, 0x2C, 0x30, 0x0D, 0x35, 0x36, 0x0D, 0x34,
6     0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38,
7     0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D,
8     0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34,
9     0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38,
10    0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D,
11    0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34,
12    0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38,
13    0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D,
14    0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34,
15    0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38,
16    0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D,
17    0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34, 0x38, 0x0D, 0x34,

```

```

18 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
19 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
20 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
21 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
22 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
23 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x35 , 0x32 , 0x0D , 0x35 ,
24 0x35 , 0x2C , 0x31 , 0x30 , 0x32 , 0x36 , 0x38 , 0x2C , 0x30 , 0x0D ,
25 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
26 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
27 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
28 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
29 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
30 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
31 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
32 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
33 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
34 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
35 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
36 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
37 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
38 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
39 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
40 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
41 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
42 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D ,
43 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 ,
44 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 , 0x0D , 0x34 , 0x38 ,
45 0x0D , 0x35 , 0x32 , 0x0D , 0x30 , 0x2C , 0x32 , 0x36 , 0x38 , 0x2C ,
46 0x30 , 0x0D , 0x30 , 0x0D } ;

```

Listing D.1

Definición de los comandos de inicio de medición (bytes1 y bytes2), originalmente provistos a la unidad de control por parte del plotter. Elaboración propia.

Implementación del envío de los comandos de medición

```
1
2 private void Cmb_Iniciar_Click(object sender, EventArgs e)
3 {
4     // Muestra el grupo principal con un estado "Incompleto"
5     ShowGroupMain("Incompleto");
6
7     // Verifica si el permiso ha sido concedido
8     if (Permiso == true)
9     {
10        // Escribe el contenido de 'bytes1' en el puerto serie
11        comport.Write(bytes1, 0, bytes1.Length);
12        Thread.Sleep(1000); // Espera 1 segundo
13
14        // Repite la escritura del contenido de 'bytes1'
15        comport.Write(bytes1, 0, bytes1.Length);
16
17        Thread.Sleep(1000); // Espera 1 segundo más
18
19        // Escribe el contenido de 'bytes2' en el puerto serie
20        comport.Write(bytes2, 0, bytes2.Length);
21
22        Thread.Sleep(1000); // Espera 1 segundo
23
24        // Escribe 'bytes1' nuevamente en el puerto serie
25        comport.Write(bytes1, 0, bytes1.Length);
26
27        Thread.Sleep(1000); // Espera 1 segundo
28
29        // Escribe 'bytes2' una última vez en el puerto serie
30        comport.Write(bytes2, 0, bytes2.Length);
31
32        // Habilita la señal RTS (Request to Send)
33        comport.RtsEnable = true;
34
```

```

35     // Descarta los datos en los buffers de entrada y salida
36     comport.DiscardInBuffer();
37     comport.DiscardOutBuffer();
38
39     // Limpia la terminal
40     ClearTerminal();
41
42     // Reinicia el contador DfmCounter
43     DfmCounter = 0;
44 }
45 else
46 {
47     // Si no se tiene permiso, muestra un mensaje de verificación
48     Lbl_GlobalProcess.Text = "Please Verify First";
49 }
50 }
51

```

Listing D.2

Definición de los comandos de inicio de medición, originalmente provistos a la unidad de control por parte del plotter. Elaboración propia.

D.2.2 Sincronización de los Procesos de Medición

Algoritmo de búsqueda para las marcas de control [X] de los subestados del proceso de medición

```

1
2 private void WordCountMain(String input)
3 {
4     try
5     {
6         /* Crea una expresión regular (Regex) que busca el patrón "SP3"
7            en el texto de entrada, el cual es el comando que cambiara
8            al lapiz negro para colocar la marca de control [X] */
9         Regex rgx = new Regex(@"SP3");

```

```

10
11     /* Encuentra todas las coincidencias del patrón "SP3"
12        en el texto de entrada */
13     MatchCollection mcMatches = rgx.Matches(input);
14
15     /* Cuenta cuántas coincidencias del patrón "SP3" se encontraron
16        y asigna el valor a DfmWordCounterMain */
17     DfmWordCounterMain = mcMatches.Count;
18 }
19 finally
20 {
21 }
22 }

```

Listing D.3

Definición de los comandos de inicio de medición, originalmente provistos a la unidad de control por parte del plotter. Elaboración propia.

Implementación de la sincronía entre las marcas de control, el panel de tramos de medición y los mensajes de estado

```

1
2  /*
3  * Este método 'DFM_MessageProcess' actualiza la interfaz de usuario
4  * basándose en el valor del contador 'count'.
5  * Dependiendo del valor se cambia el texto de 'Lbl_GlobalProcess' y
6  * en un caso específico, también se actualiza la imagen de 'PB_Gif'.
7  *
8  * Parámetro:
9  * - count: Un entero que indica el estado actual del proceso.
10 *
11 * Estados manejados:
12 * - 0: Indica que la interfaz PC / VEGA-DFM fue exitosa y la medición
13 *     puede comenzar
14 * - 1: Neutraliza todos los electrodos
15 * - 2: Indica que un test previo está en ejecución

```

```

16 * - 3: Indica que el primer programa extendido está en ejecución
17 * - 4: Neutraliza todos los electrodos nuevamente
18 * - 5: Indica que el segundo programa extendido está en ejecución
19 * - 6: Indica que el test final está en ejecución
20 * - 7: Indica que el proceso de medición está por concluir
21 */
22 private void DFM_MessageProcess(int count)
23 {
24     if (count == 0)
25     {
26         /* Estado 0: Interfaz PC / VEGA-DFM exitosa, listo para iniciar
27            la medición. */
28         Lbl_GlobalProcess.Text = "INTERFACE PC / VEGA-DFM EXITOSA" +
29             Environment.NewLine +
30             "PUEDE DAR INICIO" +
31             Environment.NewLine +
32             "A LA MEDICIÓN";
33     }
34
35     if (count == 1)
36     {
37         /* Estado 1: Neutralizando todos los electrodos, se muestra una
38            imagen en blanco. */
39         PB_Gif.Image =
40             Image.FromFile("D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\" +
41                 "Resources\\Blank.dfm");
42         Lbl_GlobalProcess.Text = "NEUTRALIZANDO" +
43             Environment.NewLine +
44             " TODOS LOS " +
45             Environment.NewLine +
46             "ELECTRODOS";
47     }
48
49     if (count == 2)
50     {

```

```

51     // Estado 2: Test previo en ejecución.
52     Lbl_GlobalProcess.Text = "TEST PREVIO" +
53     Environment.NewLine +
54     " EN " +
55     Environment.NewLine +
56     "EJECUCIÓN";
57 }
58
59 if (count == 3)
60 {
61     // Estado 3: Primer programa extendido en ejecución.
62     Lbl_GlobalProcess.Text = "PRIMER PROGRAMA" +
63     Environment.NewLine +
64     " EXTENDIDO " +
65     Environment.NewLine +
66     "EN EJECUCIÓN";
67 }
68
69 if (count == 4)
70 {
71     // Estado 4: Neutralizando todos los electrodos nuevamente.
72     Lbl_GlobalProcess.Text = "NEUTRALIZANDO" +
73     Environment.NewLine +
74     " TODOS LOS " +
75     Environment.NewLine +
76     "ELECTRODOS";
77 }
78
79 if (count == 5)
80 {
81     // Estado 5: Segundo programa extendido en ejecución.
82     Lbl_GlobalProcess.Text = "SEGUNDO PROGRAMA" +
83     Environment.NewLine +
84     " EXTENDIDO " +
85     Environment.NewLine +

```

```

86     "EN EJECUCIÓN";
87 }
88
89 if (count == 6)
90 {
91     // Estado 6: Test final en ejecución.
92     Lbl_GlobalProcess.Text = "TEST FINAL" +
93     Environment.NewLine +
94     " EN " +
95     Environment.NewLine +
96     "EJECUCIÓN";
97 }
98
99 if (count == 7)
100 {
101     // Estado 7: Proceso de medición por concluir.
102     Lbl_GlobalProcess.Text = "PROCESO" +
103     Environment.NewLine +
104     " DE MEDICIÓN " +
105     Environment.NewLine +
106     "POR CONCLUIR";
107 }
108 }

```

Listing D.4

Definición de los comandos de inicio de medición, originalmente provistos a la unidad de control por parte del plotter. Elaboración propia.

Implementación de las mejoras adicionales a la presentación de resultados

```

1
2 /*
3 * El método 'EnsamblarArchivo' se encarga de realizar operaciones
4 * sobre archivos en función del valor de entrada ('value'). Este
5 * método lee, modifica, y escribe archivos específicos utilizados
6 * en el manejo de datos dentro del sistema DFM-Manager.

```

```

7 *
8 * Funcionalidades principales:
9 * - Si el valor de 'value' es "Final":
10 *   - Lee dos archivos, realiza múltiples reemplazos de patrones
11 *     en el contenido de uno de los archivos (Temp.ufix), y luego
12 *     escribe los resultados en un nuevo archivo (Temp.fix).
13 *   - Posteriormente, ejecuta dos funciones ('ExecuteAgainHp2xx'
14 *     y 'Anotation'), y mueve un archivo PDF generado a su
15 *     ubicación final.
16 *
17 * - Si el valor de 'value' es "Temp":
18 *   - Realiza un proceso similar al descrito para "Final", pero
19 *     sin mover el archivo PDF final.
20 *
21 * Este método es clave para ensamblar y preparar archivos
22 * temporales y finales necesarios para la correcta operación del
23 * sistema DFM-Manager, asegurando que los datos sean procesados y
24 * organizados correctamente antes de ser utilizados o almacenados.
25 */
26
27 private void EnsamblarArchivo(string value)
28 {
29     private void EnsamblarArchivo(string value)
30     {
31         if (value == "Final")
32         {
33             // Lee el contenido del archivo Temp.ufix y FillerDown.dll.
34             string strFile1 = File.ReadAllText(
35                 @"D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\Bin\\Temp\\Temp.ufix",
36                 Encoding.UTF8);
37             string strFile2 = File.ReadAllText(
38                 @"D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\Bin\\FillerDown.dll",
39                 Encoding.UTF8);
40
41             /* Reemplaza patrones específicos en strFile1, es la rutina

```

```

42     encargada de cambiar de color negro a azul y rojo
43     en las graficas del Comportamiento de Regulación.
44     Así como el trazado de las lineas de referencia*/
45     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7340", "SP1;EA7340");
46     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7540", "SP2;EA7540");
47     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA5740", "SP1;EA5740");
48     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA5940", "SP2;EA5940");
49     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA4140", "SP1;EA4140");
50     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA4340", "SP2;EA4340");
51     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7700", "SP3;EA7700");
52     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA5540", "SP3;EA5540");
53     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA6100", "SP3;EA6100");
54     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA3940", "SP3;EA3940");
55     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA4500", "SP3;EA4500");
56     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7140", "SP3;EA7140");
57     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"PU1860,5108",
58     "SP4;PU1860,5108");
59     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"PU2460",
60     "SP3;PU2460");
61     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @".OSP0;DP;PU55,10268",
62     "");
63     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @";OS",
64     "");
65     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"SP3;PU14048,2468;",
66     FillerUp);
67     // Reemplaza el símbolo "%" con el contenido de strFile2.
68     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"%",
69     strFile2);
70     // Escribe el contenido modificado a un nuevo archivo Temp.fix.
71     File.WriteAllText(
72     @"D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\Bin\\Temp\\Temp.fix",
73     strFile1);
74     /* Ejecuta la utilidad hp2xx para su conversion después de la
75     escritura.*/
76     ExecuteAgainHp2xx();

```



```

77 // Agrega las anotaciones en la hoja de resultados.
78 Anotation();
79 // Mueve el archivo resultante a la ruta final.
80 File.Move(
81 @"D:\Archivos de programa\DFM-Manager\Bin\Temp\Temp.pdf",
82 FilePathW);
83 }
84
85 if (value == "Temp")
86 {
87     /* Repite el mismo proceso que en "Final" pero sin mover el
88     archivo.*/
89     string strFile1 = File.ReadAllText(
90     @"D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\Bin\\Temp\\Temp.ufix",
91     Encoding.UTF8);
92     string strFile2 = File.ReadAllText(
93     @"D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\Bin\\FillerDown.dll",
94     Encoding.UTF8);
95     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7340",
96     "SP1;EA7340");
97     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7540",
98     "SP2;EA7540");
99     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA5740",
100    "SP1;EA5740");
101    strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA5940",
102    "SP2;EA5940");
103    strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA4140",
104    "SP1;EA4140");
105    strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA4340",
106    "SP2;EA4340");
107    strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7700",
108    "SP3;EA7700");
109    strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA5540",
110    "SP3;EA5540");
111    strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA6100",

```

```

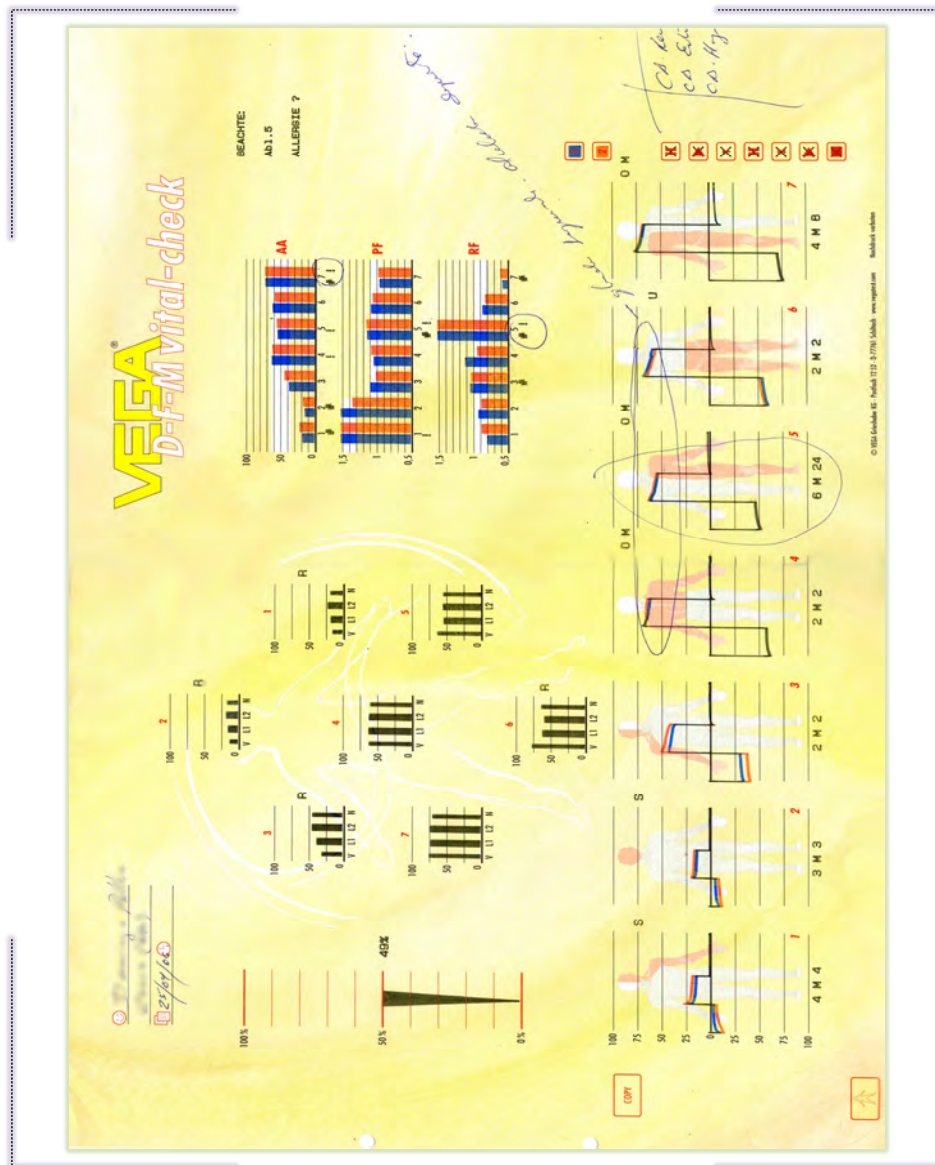
112     "SP3;EA6100");
113     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA3940",
114     "SP3;EA3940");
115     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA4500",
116     "SP3;EA4500");
117     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"EA7140",
118     "SP3;EA7140");
119     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"PU1860,5108",
120     "SP4;PU1860,5108");
121     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"PU2460",
122     "SP3;PU2460");
123     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @".OSP0;DP;PU55,10268",
124     "");
125     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @";OS",
126     "");
127     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"SP3;PU14048,2468;",
128     FillerUp);
129     strFile1 = Regex.Replace(strFile1, @"%",
130     strFile2);
131     File.WriteAllText(
132     @"D:\\Archivos de programa\\DFM-Manager\\Bin\\Temp\\Temp.fix",
133     strFile1);
134     /* Ejecuta la utilidad hp2xx para su conversion después de la
135     escritura.*/
136     ExecuteAgainHp2xx();
137     // Agrega las anotaciones en la hoja de resultados.
138     Anotation();
139 }
140 }

```

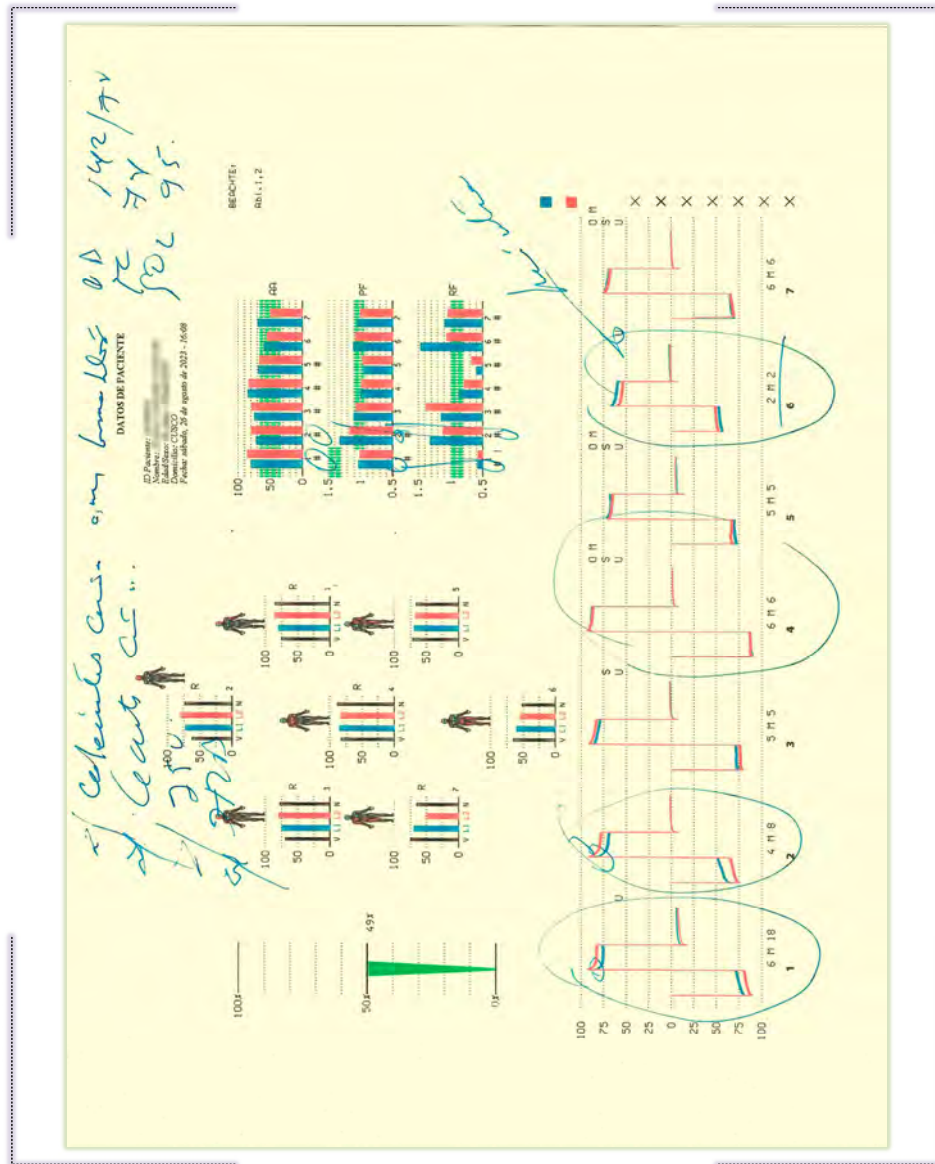
Listing D.5

Implementación en código de las mejoras adicionales a partir del mapeo de instrucciones HP-GL (Figura 52). Elaboración propia.

Presentación de los Resultados de Medición en Formato A3



Nota. Hoja de impresión de resultados original a fecha setiembre del 2006. En este entonces el Plotter Roland DXY-1150A aún era enteramente funcional. Elaboración propia.

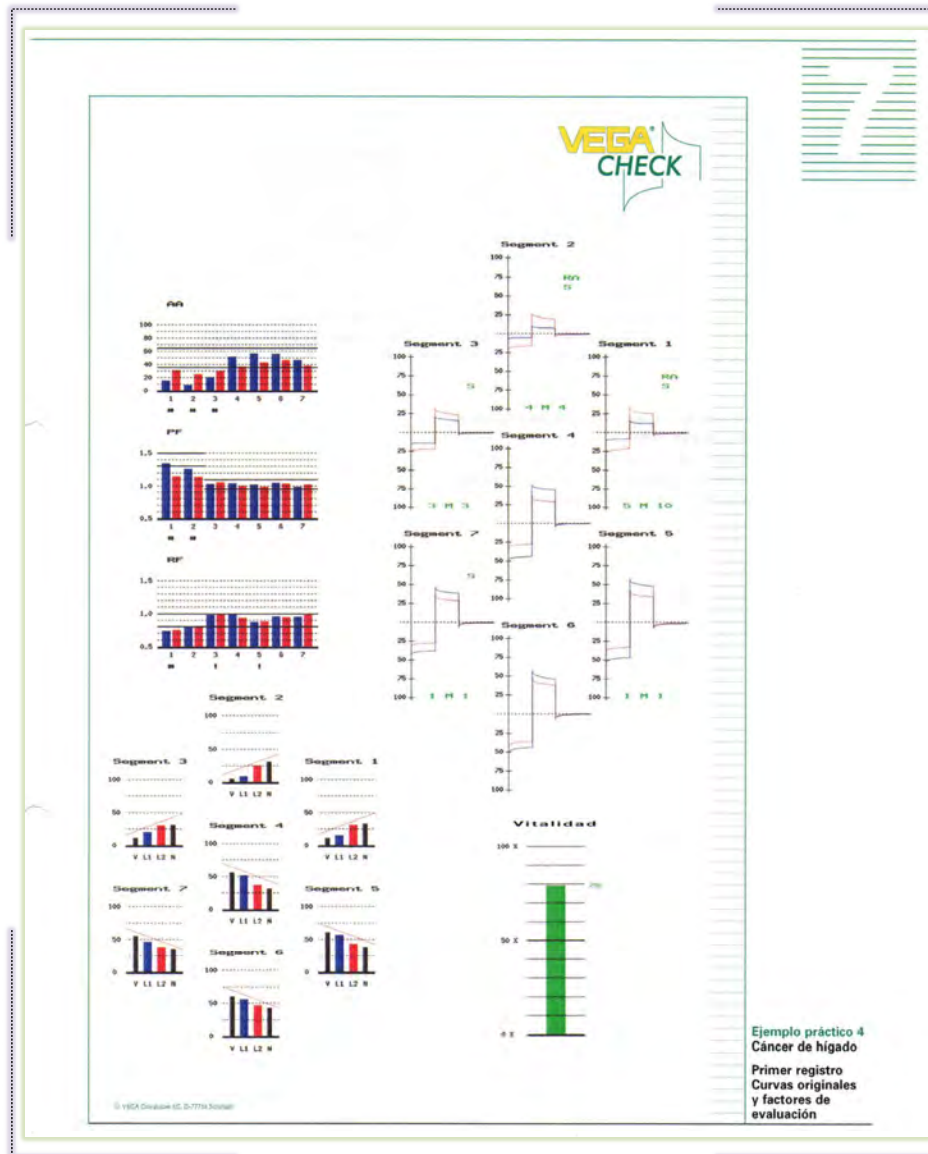
Figura D.16*Presentación de los Resultados de Medición en Formato A4*

Nota. Hoja de impresión de resultados con el nuevo sistema a fecha agosto 2023. Elaboración propia.

A primera vista e irónicamente los resultados presentados por el plotter en la Figura D.15 parecen más profesionales, sin embargo el escaneo realizado a ambos hace más justicia a uno que otro y claro esta, que en su formato digital los resultados actuales Figura D.16 usan gráficos vectoriales que pueden ampliarse sin perder resolución.

Figura D.17

Presentación de los Resultados de Medición con el VEGACHECK



Nota. Hoja de impresión de resultados para un proceso de medición utilizando el sistema VEGACHECK. Adaptado de *Manual del Metodo VEGACHECK* (Rademacher & Mölleney, 2003, p. 133).

D.4 Replica de la Señal de Medición Generada por la Unidad de Control Utilizando Arduino Uno

En fase inicial del proyecto se armó un circuito capaz de replicar la señal de medición de la unidad de control, vale decir la señal DC alternada de frecuencia 13 Hz, con el propósito de no depender de este componente del sistema para ensayos de medición y análisis de comportamiento de la señal sobre sistemas y circuitos que pudieran dañar la unidad central del VEGA DFM 722. Para esto, se armó un circuito generador de señales utilizando Arduino Uno. No obstante, a la fecha de elaborar el informe ya no se tenía armado el circuito en físico. Por tanto en este apartado se adjunta únicamente la simulación y código que se utilizó para su fabricación Figura D.18.

En el circuito se pueden visualizar tres etapas:

- Señal de onda cuadrada de 13 Hz proporcionada por el Arduino Uno a través del pin D9 (A).
- Etapa de transformación de la forma de onda utilizando un circuito derivador RC (B).
- Etapa de rectificación, compuesta por un puente de diodos para una rectificación de onda completa (C).

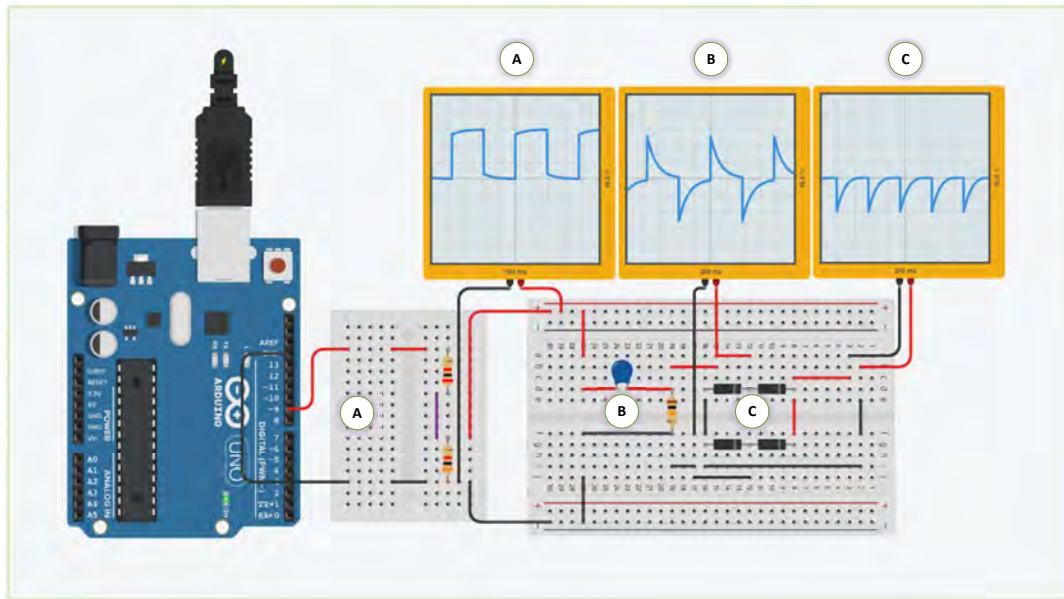
```

1 int squareWavePin = 9; // Pin donde se genera la onda cuadrada
2 void setup() {
3   pinMode(squareWavePin, OUTPUT); // Configura el pin 9 como salida
4 }
5 void loop() {
6   digitalWrite(squareWavePin, HIGH); // Establece el pin en alto (5V)
7   delay(38);                          // Espera 38 ms (medio ciclo)
8   digitalWrite(squareWavePin, LOW);  // Establece el pin en bajo (0V)
9   delay(38);                          // Espera 38 ms (medio ciclo)
10 }

```

Listing D.6

Código en C++ utilizado para generar la señal de onda cuadrada con Arduino Uno. Elaboración propia.

Figura D.18*Simulación del Circuito Generador de Señales de Medición*

Nota. Simulación del circuito que replica la señal de medición utilizando la plataforma Tinkercad. Elaboración propia.

D.5 Manual de Usuario del Software de Control – VEGA DFM 722

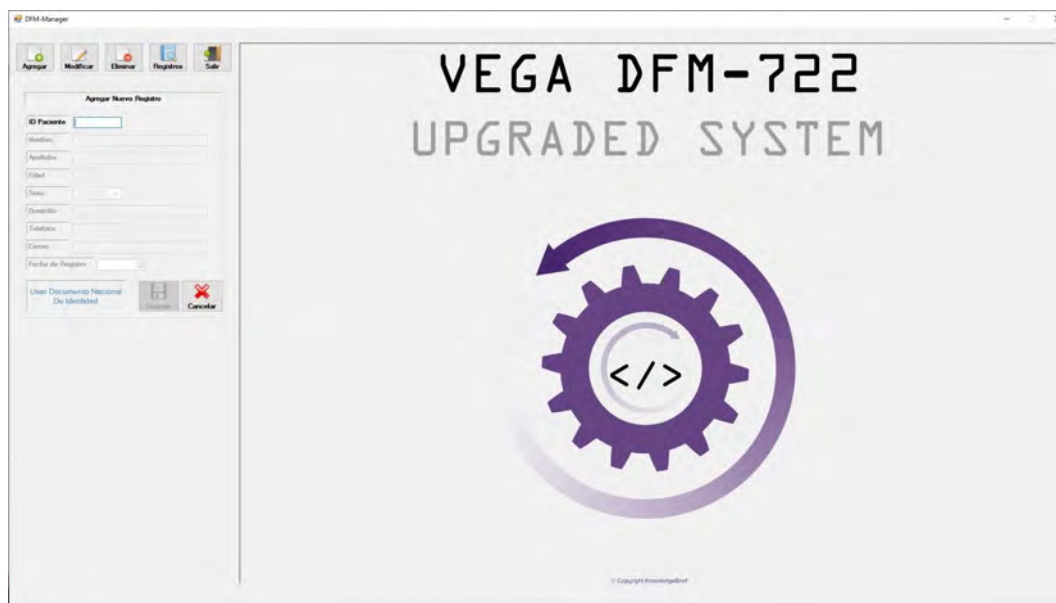
Introducción

El presente manual está diseñado para guiar al usuario en el uso adecuado del software desarrollado para el control del sistema VEGA DFM 722, un dispositivo de diagnóstico utilizado en medicina funcional. Este software permite la interacción directa con el equipo a través de una interfaz gráfica intuitiva, facilitando la adquisición de datos, su visualización y el almacenamiento automatizado de los resultados (Figura D.19).

Está dirigido principalmente a operadores de centros de diagnóstico, técnicos biomédicos y profesionales de la salud que empleen el equipo VEGA DFM 722 como parte de sus rutinas clínicas.

Figura D.19

Software de Control – VEGA DFM 722



Nota. Pantalla de inicio del Software de Control – VEGA DFM 722. Elaboración propia.

Objetivos del software

- Permitir el control directo del equipo VEGA DFM 722 desde una computadora.
- Automatizar el proceso de medición y presentación de resultados.
- Almacenar y consultar historiales clínicos de los pacientes.

Instalación y Configuración

Requisitos del sistema

- Sistema operativo: Windows 10 o superior.
- Procesador: Intel Core i3 o equivalente.
- Memoria RAM: 4 GB mínimo.
- Puerto USB disponible (para adaptador USB-Serial).
- Microsoft .NET Framework instalado.

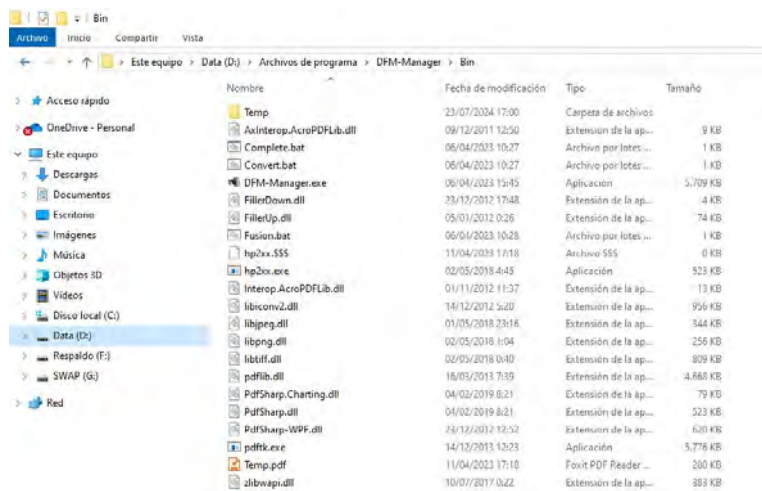
Instalación del software

1. Insertar el medio de instalación (USB o descarga).
2. Copiar la carpeta del programa **DFM-Manager** a una unidad con permisos de escritura, de preferencia distinta a la unidad del sistema (Figura D.20).
3. Generar un acceso directo al programa.

Configuración inicial del sistema y el puerto de comunicación

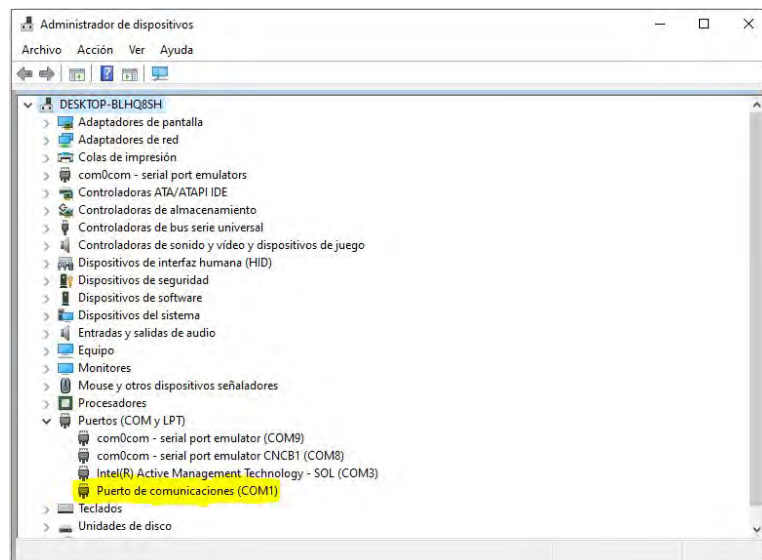
1. Conectar el adaptador USB-Serial al equipo VEGA DFM 722 y al puerto usb del ordenador.
2. Encender la Unidad de Control.
3. Abrir el Administrador de dispositivos de Windows y verificar la numeración asignada al puerto de comunicación. Este debe estar configurado como el puerto **COM1**. La configuración de los parametros para la comunicación serial es efectuada de manera automática por el software de control (Figura D.21).

Figura D.20
Instalación del Software



Nota. El proceso de instalación únicamente requiere de al copia de la carpeta del programa en una unidad con permisos de escritura. Elaboración propia.

Figura D.21
Configuración del Puerto de Comunicación



Nota. El proceso de instalación únicamente requiere de al copia de la carpeta del programa en una unidad con permisos de escritura. Elaboración propia.

Interfaz de Usuario

El software cuenta con una interfaz gráfica de usuario (GUI) diseñada para facilitar su uso por personal médico. La disposición de los elementos permite un acceso intuitivo a todas las funciones principales del sistema (Figura D.22).

Panel de control

Este panel centraliza las acciones básicas de operación y está dividido en:

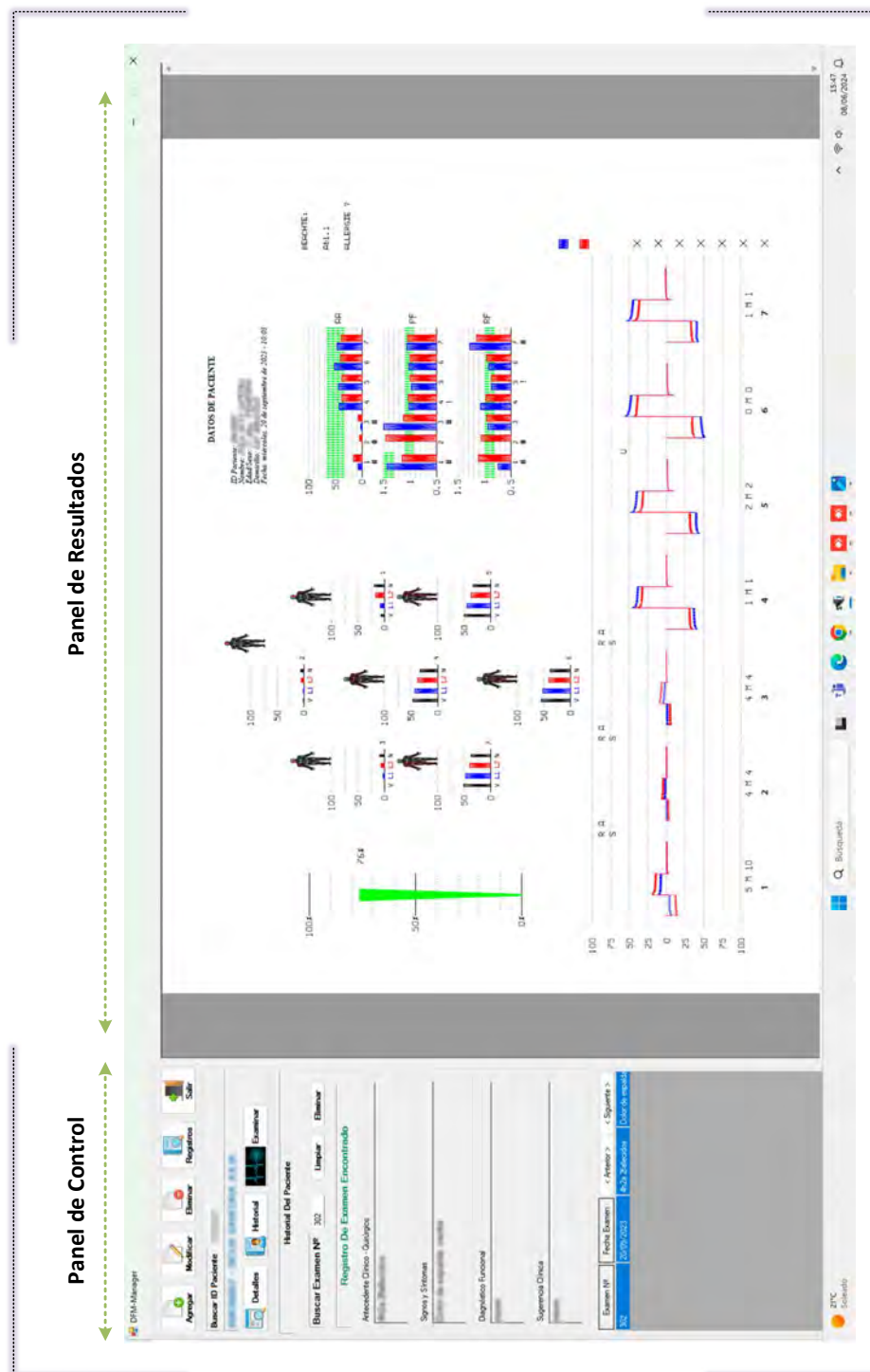
- **Gestión de pacientes:** Permite registrar nuevos pacientes, modificar datos existentes o eliminar registros. El buscador incorporado agiliza la localización de historiales previos.
- **Iniciar nueva medición:** Permite dar inicio a los proceso de medición.
- **Acceder al historial completo de un paciente:** Permite la gestión del historial clínico y exámenes realizados al paciente.

Panel de resultados

Es el área donde se visualizan los datos recogidos durante la medición:

- **Vista gráfica del proceso de medición:** Presenta los tramos registrados por el sistema durante el proceso de medición, permitiendo una lectura en tiempo real de los resultados por parte del operador.
- **Vista gráfica de los resultados de medición:** Presenta una versión digital del los resultados del proceso de medición, el cual puede ser ampliado para su mejor interpretación y así mismo poder imprimirlo.
- **Impresión de resultados:** Permite la impresión de los resultados para su entrega al paciente en un formato portable de tamaño A4.
- **Datos de entrada:** Se muestran el flujo de datos proveniente de la Unidad de Control al software del sistema a través del puerto de comunicaciones.
- **Mensajes de notificación:** Se muestran los mensajes de estado del sistema durante las distintas etapas del proceso de medición.

Figura D.22
Interfaz Gráfica del Programa DFM-Manager



Nota. La interfaz gráfica integra las vistas del proceso y de los resultados de medición, junto con opciones de impresión, flujo de datos de entrada y notificaciones del sistema, facilitando la interpretación y seguimiento en tiempo real. Elaboración propia.

Procedimiento de Medición

Esta sección describe el flujo de trabajo recomendado para realizar una medición completa utilizando el sistema VEGA DFM 722. El proceso está diseñado para ser simple, seguro y eficiente, permitiendo al operador obtener resultados confiables con mínima intervención.

Preparación del paciente

- Verifique que el paciente se encuentre en una posición cómoda y estable.
- Asegúrese de que las zonas de contacto estén limpias y secas para evitar interferencias.
- Coloque correctamente los electrodos según el protocolo establecido para el dispositivo VEGA DFM 722.

Inicialización del sistema

- Inicie el software desde el acceso directo del escritorio.
- Verifique la conexión con el equipo. Si es necesario, acceda a la sección de *Configuración* para seleccionar el puerto COM correcto.
- Cargue el perfil del paciente o registre uno nuevo si se trata de una primera visita.

Inicio de la medición

- Una vez verificado el montaje y los datos del paciente, haga clic en el botón **Iniciar Medición**.
- El sistema iniciará la adquisición automática de datos a través de los canales activos.
- Durante la medición, los tramos se visualizarán en tiempo real en el panel de resultados.

Finalización y análisis

- Al finalizar el recorrido, el sistema detendrá automáticamente la medición.
- Los resultados se mostrarán en el panel de resultados. El operador puede añadir observaciones clínicas y guardar el informe.

Almacenamiento y respaldo

- Todos los datos de la medición se almacenan automáticamente en la base de datos del sistema. Es recomendable realizar respaldos periódicos para evitar la pérdida de información.
- El informe puede exportarse o imprimirse desde el panel de resultados.

D.6 Reflexión Filosófica a la Obsolescencia Programada

Proemio

El desarrollo de esta tesis se ha ejecutado bajo un estricto rigor científico y metodológico, garantizando un análisis libre de sesgos ideológicos en la búsqueda de soluciones. Sin embargo, en la comprensión de los sistemas de conocimiento complejos, la ciencia por sí sola es insuficiente; se hace indispensable el diálogo con la Filosofía. Por ello, se incorpora la reflexión de Ricardo A. Cáceres Sáenz (Físico y Filósofo), cuya crítica expone las antinomias del productivismo irracional y la obsolescencia programada, fungiendo como un contrapunto esencial para la comprensión ética y estructural de las problemáticas abordadas.

Esta integración de una perspectiva crítica a las fallas del sistema no debe interpretarse como una adscripción a las ideologías tradicionales. El autor de esta tesis se ubica intencionalmente fuera del cuadrante político clásico (ni izquierda ni derecha), gravitando en torno a las ideas que se alinean con el pensamiento libertario y anarquista. El objetivo es mantener una crítica, pero exclusivamente metodológica y académica, enfocada en la construcción de sistemas éticos y racionales, desprovista de partidismos y dedicada únicamente a desvelar y confrontar las irracionalidades estructurales.

Díálogo Epistémico y Crítica del Modelo Tecnocientífico

Apuntes críticos relativos a la tesis de mi querido amigo Yuri Bazán

La *obsolescencia programada* en su génesis y apetito de carácter capitalista irracional atenta contra las dos fuentes de producción y reproducción de la vida al agotar y destruirlos sistemáticamente: al *hombre* y la *naturaleza*.

- La *ingeniería inversa* no solo es un mecanismo de recuperación de la producción humana intencionalmente sometida a una economía irracional de lo desechable, sino mas bien, contiene una filosofía de liberación y confrontación con los paradigmas tecnocientificistas de un productivismo irracional justificado en la falacia del mito del progreso infinito.

Crítica al Dualismo Epistemológico:

- En algún momento, Descartes y su histórica responsabilidad *falseó con su dualismo cartesiano*, la unidad inextricable, que por su propia naturaleza dialéctica existe entre *ciencia y filosofía*. Al corromper la unidad dialógica entre estas dos fuentes fundamentales del saber humano se fetichiza uno de los extremos: *la ciencia*, en demerito del otro necesario extremo: *la filosofía*. Encubriendo, en este proceso, la *fetichización del carácter interpretativo y/o hermenéutico* de todo tipo de sistema de conocimientos humano, como la ciencia. Induciendo a una *objetividad absoluta*, hoy mismo, puesta en duda desde la lógica de la *teoría cuántica*.
- En alguna parte de su trabajo, que además de tener un gran aporte tecnocientífico cuestiona críticamente la ingenua postura científicista de la idea de una producción "*del conocimiento por el conocimiento*", como se entendiera al proceso de generación de conocimientos como un proceso prístino y/o puro, me parece pertinente introducir las frases de dos grandes pensadores que brillan con luz propia:

Karl Marx:

- *La desvalorización del mundo humano crece en razón directa de la valorización del mundo de las cosas.*
- *La producción de demasiadas cosas útiles deviene en demasiadas personas inútiles.*

Enrique Dussel:

- *Se argumenta para vivir, no se vive para argumentar.*

Ricardo A. Cáceres Sáenz