

MAXIMIZACIÓN DE LA PERSONALIZACIÓN EN LA GENERACIÓN Y
ACTUALIZACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO
(PAF)

JOHN EDISSON CASTILLO HERNÁNDEZ
Cód. 2006135655

MANUEL DEL CRISTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
Cód. 2006135692

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Facultad de Ingeniería
Electrónica
Neiva – Huila
2012

MAXIMIZACIÓN DE LA PERSONALIZACIÓN EN LA GENERACIÓN Y
ACTUALIZACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO
(PAF)

Autores:

JHON EDISSON CASTILLO HERNÁNDEZ
Cód. 2006135655

MANUEL DEL CRISTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
Cód. 2006135692

Trabajo de Grado

Director:

Msc. en Ing. Electrónica y Sistemas
JOSÉ DE JESÚS SALGADO PATRÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Facultad de Ingeniería
Electrónica
Neiva – Huila
2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 19 de Julio del 2012

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos a todas las personas que luchan y creen que otro mundo es posible, por que desde cualquier área del conocimiento se aporta hacia la construcción de ese mundo de amor y de utopía. Por último pero no menos importante dedicarlo para todos los locos, perdón, para quienes no están cuerdos, no así no, para quienes no se encuentran de acuerdo con muchas injusticias de la sociedad y con amor se las ingenian buscando soluciones que permitan construir un mundo mejor.

También a todas las personas que nos apoyaron y que de una u otra manera han contribuido para que seamos quienes somos, en especial a la nuestra Alma Mater, al programa de ingeniería electrónica, amigos, compañeros y principalmente a nuestra familia por su confianza y apoyo.

Déjenme decirles, a riesgo de parecer ridículo, que el revolucionario verdadero está guiado por grandes sentimientos de amor. Hay que tener una gran dosis de humanidad, una gran dosis de sentido de la justicia y de la verdad. Todos los días hay que luchar por que ese amor a la humanidad viviente se transforme en hechos concretos, en actos que sirvan de ejemplo. "Ernesto Che Guevara"

AGRADECIMIENTOS

De los agradecimientos no se escapa nadie, pues hasta la más minúscula partícula en el universo hace su aporte para el desarrollo de las metas de cada persona.

Un agradecimiento especial para quienes nos colaboraron en el trabajo, a nuestras familias con su apoyo y confianza incondicional, nuestro director y los jurados del proyecto, los coordinadores del LEDRF-Altius, a nuestros amigos, a los profesores de la facultad y a los cantantes de música social, que con sus canciones no nos permiten dormir en los laureles del capitalismo salvaje, buscando alternativas que nos permitan llegar a la utopía colectiva

"Somos naturaleza, somos sol, somos árbol, somos río, somos tierra, somos aire, somos animales... y por ende no debemos destruirnos a nosotros mismos". Indio Toba.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO PERSONALIZADO (PAFP)	17
1.1.1 Anamnesis	17
1.1.1.1 Información personal	17
1.1.1.2 Valoración antropométrica	17
1.1.1.3 Historial Deportivo	19
1.1.1.4 Historial Médico	19
1.1.1.5 Estilo de vida	19
1.1.1.6 Test de fuerza	20
1.1.1.7 Evaluación postural	20
1.1.2 Diagnóstico	20
1.1.3 Creación del PAFP	20
1.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	21
1.2.1 Perceptrones Multicapas (MLP)	23
1.2.2 Redes con Funciones Basadas en Radios	25
2. PROCEDIMIENTO	28
2.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA INTELIGENTE	28

	pág.
2.2 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL GIMNASIO	29
2.3 OBTENCIÓN DE LOS TEST DE FUERZA	30
2.3.1 Factores que afectan el test de fuerza	31
2.3.2 Test de fuerza adecuados	32
2.4 VALIDACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES	36
2.4.1 Pruebas con la red RBF	36
2.4.2 Pruebas con la red MLP	42
2.4.3 Pruebas finales con las RNA	43
2.5 SELECCIÓN DE SOFTWARE Y DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA	59
2.5.1 Creación del Gimnasio Inteligente	59
2.5.2 Diferentes tipos de sesiones	60
2.5.3 Monitoreo de Disponibilidad	60
2.5.4 Creación de rutinas	61
2.5.5 Estadísticas de gimnasio y usuarios	61
2.5.6 Seguridad	62
3. CONCLUSIONES	63
4. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	66

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación de la fuerza según Tudor Bompa.	20
Cuadro 2. Error en los resultados debido al cansancio.	32
Cuadro 3. Pruebas de repetitividad del test de fuerza.	32
Cuadro 4. Errores de los entrenamientos con 27 muestras (no filtradas).	38
Cuadro 5. Errores de los entrenamientos con 19 muestras (filtradas).	38
Cuadro 6. Pruebas con los 39 muestras (sin filtrar).	39
Cuadro 7. Pruebas con las muestras filtradas.	39
Cuadro 8. Relación de entradas con su correlación.	40
Cuadro 9. Pruebas realizadas para diferentes entradas.	41
Cuadro 10. Entrenamientos realizados con entradas 1-2-3-5.	42
Cuadro 11 Entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.	42
Cuadro 12. Entrenamientos empleando los 39 muestras sin filtrar.	43
Cuadro 13. Relación de entradas con su correlación.	44
Cuadro 14. Entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.	44
Cuadro 15. Entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.	48
Cuadro 16. Entrenamientos para conocer las mejores entradas para las RNA.	52
Cuadro 17. Entrenamientos empleando los 70 muestras sin filtrar.	55
Cuadro 18. Entrenamientos variando el filtrado de las muestras.	56

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Criterios de evaluación de proyectos.	16
Figura 2. Diferencias fisiológicas en el ser humano y su clasificación.	18
Figura 3. Medición de los pliegues cutáneos.	18
Figura 4. Vicios y dietas.	19
Figura 5. Evaluación Postural.	20
Figura 6. Clasificación de la fuerza según LEDRF.	21
Figura 7. Partes de una neurona natural.	22
Figura 8. RNA con una capa de entrada de dos neuronas, una capa oculta de dos neuronas y la capa de salida con una neurona.	22
Figura 9. MLP con una capa de entrada de cuatro neuronas, una capa oculta de tres neuronas y la capa de salida con dos neuronas.	23
Figura 10. Red Neuronal con Funciones Basadas en Radios (RBF).	25
Figura 11. Superficie generada por una RBF para mimetizar una XOR.	27
Figura 12. Registro de los test de fuerza, con los calentamientos y estiramientos corporales.	30
Figura 13. Variación del error muestral para una población de 210 personas con una desviación estándar de 1.41 y un nivel de confianza de 95%.	35
Figura 14. Tamaño de la muestra necesaria para un error de 14%.	35
Figura 15. Tamaño de la muestra necesaria para un error de 5%.	36
Figura 16. Coeficientes de correlación de las medidas antropométricas con las fuerzas máximas.	37
Figura 17. Coeficientes de correlación absoluta de las medidas antropométricas con las fuerzas máximas.	37

	pág.
Figura 18. Gráfica de convergencia de los errores para 20 muestras de entrenamiento.	39
Figura 19. Mediana del Error para las pruebas realizadas para diferentes entradas.	41
Figura 20. Correlación absoluta de las entradas con la fuerza máxima.	43
Figura 21. Gráfica de los entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.	46
Figura 22. Seguimiento de la redes con capa ocultas de [50], [1 1], [3], [100], [50 30].	47
Figura 23. Gráfica de los entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.	49
Figura 24. Superficie generada por la RBF con las entradas 1 y 7.	54
Figura 25. Resultados de las redes MLP y RBF para las muestras filtradas.	58
Figura 26. Diagrama de bloques del Gimnasio Inteligente	59
Figura 27. Ventana de configuración del Gimnasio Virtual y perfil del administrador	60
Figura 28. Funciones del administrador y el entrenador	60
Figura 29. Ventana del gestor de rutinas mostrando el uso de los ejercicios.	61
Figura 30. Gráficas de seguimiento de la valoración antropométrica del usuario.	62
Figura 31. Solicitando contraseña para eliminar recursos	62

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. MANUAL DE USUARIO	65
ANEXO B. ANAMNESIS	90
ANEXO C. RUTINA DE EJERCICIOS DEL LEDRF-ALTIUS ANTES Y DESPUÉS	100
ANEXO D. AGRADECIMIENTOS	103
ANEXO E. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS	104

RESUMEN

La salud del ser humano moderno es fundamental para la estabilidad emocional y física cada individuo; hoy se sabe que el entrenamiento físico en los gimnasios ayuda en gran medida a solucionar a esta necesidad, sin embargo el gimnasio moderno no ha logrado ser suficientemente efectivo ya que los usuarios no logran alcanzar rápidamente sus objetivos, haciendo que muchos dejen de asistir. Dicha situación ocurre fundamentalmente porque la gran mayoría de los Programas de Acondicionamientos Físico (PAF) que se realizan son muy generalizados, olvidando las particularidades fisiológicas y psicológicas que hacen necesario un entrenamiento especializado para cada individuo. La identificación de dichas características, es un paso base para brindar una solución a este problema, una vez identificadas se procede a hacer un diagnóstico de estas.

Este trabajo busca contrarrestar dicha situación mediante el uso de Redes Neuronales Artificiales (RNA), sistemas capaces de relacionar dichas características particulares con la fuerza máxima, permitiendo realizar PAF que incluyen los objetivos del entrenamiento de fuerza¹ tales como la fuerza hipertrofia (Incremento del volumen muscular), fuerza resistencia (ejercer la fuerza aplicada por mayor tiempo), fuerza explosiva (ejercer una mayor cantidad de fuerza en un tiempo pequeño), entre otros. De esta manera los PAF pueden ser hechos a las medidas de cada persona, creando Programas de Acondicionamiento Físico Personalizados (PAFP).

El trabajo se desarrolló en la Universidad Surcolombiana para del programa de Educación Física en las instalaciones del Laboratorio de Evaluación y Desarrollo del Rendimiento Físico (LEDRF-Altius), sin embargo el sistema se puede adaptar a cualquier gimnasio, convirtiéndose en un avance innovador en el desarrollo de los campos de la Inteligencia Artificial y la Educación Física.

1. Periodización del Entrenamiento deportivo, Tudor Bompa. Editorial Paidotribo, Primera Edición, 2006. p. 14.

ABSTRACT

The health of the modern human is fundamental for both the emotional and physical stability of everyone; today is known that the physical training in the workout center is a great help to solve this need, however the modern workout center has not achieved to be enough effective it is sight that the users do not reach their goals quickly, and therefore this they stop attending. Such a situation occurs mainly because most of the Fitness Program (FP) are too much generalized, forgetting the physiological and physiological particularities which require a specialized training to each individual. The characteristic identification, is a basic step to bring a solution to this problem, once identified, the following is to diagnostic them.

This work want to counter this situation using the Artificial Neural Networks (ANN), they are systems capable to relate those particular characteristics with the maximum force, it allows to make FP that takes into account the goals of the force training² such as the hypertrophy (muscular volume increasing), resistance force (perform more force in more time), explosive force (perform more force in a little time), among others. Thus the FP can be fitted each person, creating Personalized Fitness Programs (PFP).

This work was made at the Surcolombian University in collaboration of the Physical Education program in the installations of the Laboratory of Evaluation and Development of the Physical Performance (LEDPP-Altius), however the system can be adapted to any workout center, becoming an innovative breakthrough in the development of the fields of Artificial Intelligence and Physical Education.

2. Periodización del Entrenamiento deportivo, Tudor Bompá. Editorial Paidotribo, First Edition, 2006. p. 14.

INTRODUCCIÓN

La cultura del deporte es fundamental para tener un buen estado de salud, formando parte importante en el desarrollo de la sociedad, pues entre otras cosas ayuda a disminuir los riesgos de enfermedades cardiovasculares, además otro incentivo para ejercitarse, es cumplir estándares de belleza física infundados por el consumismo, haciendo que en muchas ocasiones los niveles de autoestima de una persona dependan en gran medida de cómo se ven físicamente. “A finales de la década de los 60’, el sedentarismo comenzó a manifestarse como consecuencia de algunos desarrollos tecnológicos que lo promovieron”.³

Imagine que un sastre le realizara un traje sin tener en cuenta sus medidas corporales, basándose únicamente en su experiencia en modistería y una revisión visual de su estado físico; seguramente podría encontrarse con ciertas dificultades para lograr que en el primer intento sus resultados sean satisfactorios por no tomar las medidas necesarias. De igual forma si un entrenador asigna los valores de pesos, series y repeticiones de las rutinas de ejercicios (programas de acondicionamiento físico), basándose solamente en su experiencia, un resumen de la composición corporal y en ocasiones una revisión visual de la persona, sin tener en cuenta las características individuales de cada persona (por ejemplo los pliegues, diámetros musculares y el historial deportivo) muchos usuarios resultarían desilusionados por no alcanzar sus objetivos, ya que las rutinas no fueron hechas a “sus medidas”. La generalización en la elaboración de los PAF crea un alejamiento entre las cargas asignadas a los ejercicios y las características de cada persona, así como también de sus necesidades particulares y sus ritmos de evolución; además el seguimiento hecho por parte de los instructores no puede ser lo suficientemente personalizado, debido a la gran cantidad de personas que asisten a estos espacios deportivos. Un caso más crítico se encuentra en los deportistas, quienes necesitan un PAF mucho más especializado.

Debido a lo anterior al implementar un software que maximice la personalización de los programas de acondicionamiento físico en relación con los objetivos propuestos por el instructor en conjunto con la persona, se realiza un aporte significativo en pro del desarrollo de la sociedad. Para asignar correctamente los pesos, series y repeticiones a los ejercicios de un Programa de Acondicionamiento Físico (PAF), es necesario tener en cuenta la fuerza máxima de la persona para cada ejercicio, la cual puede obtenerse a partir de la realización de test de fuerza máxima, sin embargo normalmente no hay suficiente tiempo y personal para realizar dichos test a todos los usuarios del gimnasio.

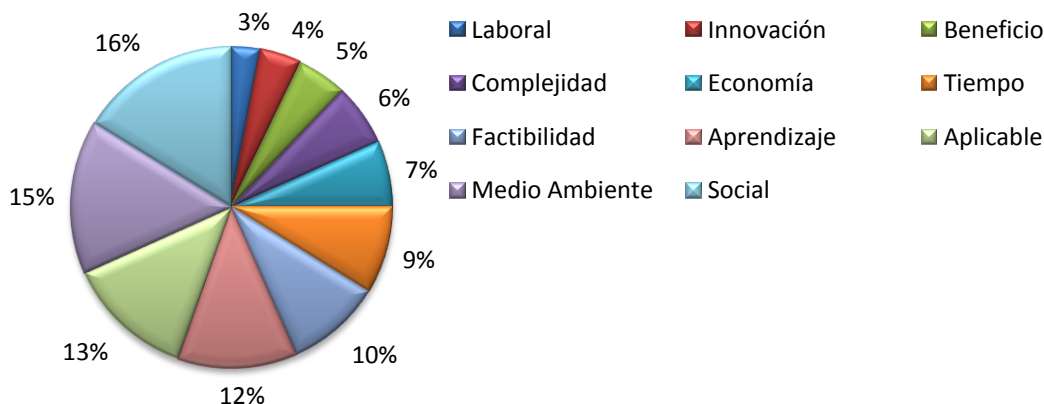
3. Entrenamiento para la salud y la estética, Prof. Cristian Iriarte. Grupo Sobre entrenamiento. Segunda edición, 2004. p. 7

En este trabajo se pretende principalmente realizar un sistema que permita obtener la fuerza máxima de una persona a partir de las características particulares, lo cual permitirá hacer más personalizados los PAF, empleando para ello el desarrollo del interesante campo (hasta el momento poco explorado) de la Inteligencia Artificial (IA) y más específicamente de las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Además de ello se han planteado otros objetivos como:

- Entrenar un sistema para generar y actualizar los Programas de Acondicionamiento Físico Personalizados (PAFP), que tenga en cuenta variables de entrada como: las medidas físicas de las personas, edad, enfermedades, sexo, etc.; arrojando como resultados: los pesos adecuados, el número de series y repeticiones a realizar, teniendo en cuenta las características físicas deseadas por la persona y el instructor.
- Lograr que el sistema sea flexible y seguro, en cuanto que permita modificar los perfiles de usuarios, horarios, agregar/eliminar máquinas, entre otras cosas, todas respaldadas bajo contraseñas de acceso.
- Implementar el programa en el Software desarrollador matemático Matlab.
- Lograr que el software tenga una interfaz agradable al usuario y fácil de manejar.
- Implementar una sección de análisis estadístico, que permita conocer datos de interés, como la cantidad de estudiantes vinculados por facultad y programa, los horarios utilizados y otros, con el fin de mejorar la calidad del servicio.
- Implementar una visualización del uso de las máquinas, para evitar que sean sobreutilizadas y/o subutilizadas por los usuarios del gimnasio.
- Permitir visualizar los horarios de las personas que asisten al gimnasio con el fin de evitar congestiones por falta de disponibilidad de máquinas y espacio en el gimnasio.
- Crear ayudas didácticas con el fin de garantizar el buen uso del programa.

La selección de este trabajo nace como fruto de un proceso de evaluación de ideas, basado en criterios sugeridos por los autores (como una propuesta de evaluación y selección de proyectos...Para mayor información dirijase al Anexo E...). Los criterios se ponderaron de la siguiente manera:

Figura 1. Criterios de evaluación de proyectos.



Este proyecto ha sido desarrollado en el laboratorio de Evaluación y Desarrollo del Rendimiento Físico (LEDRF-Altius) del programa de Educación Física en la Universidad Surcolombiana, por lo cual son directamente beneficiados los estudiantes actualmente matriculados (9000 personas), docentes, administrativos, trabajadores en general, equipos deportivos de la universidad (baloncesto, fútbol, voleibol, rugby, natación, fútbol sala, grupos de investigación) todas las instituciones externas que asisten (Selección Huila futbol sala, Huila voleibol menores, Selección Huila Sub-20 "Talentos del Huila", atletismo, canotaje). Además, el sistema está diseñado para poder implementarse en cualquier gimnasio, permitiendo llevar sus beneficios a cualquier parte del mundo.

1. MARCO TEÓRICO

Este es un trabajo interdisciplinario conformado por la unión de dos áreas del conocimiento: la Educación Física y las Inteligencia Artificial, que brindan información sobre el proceso de elaboración de un Programa de Acondicionamiento Físico (PAF) y el uso de las Redes Neuronales Artificiales (RNA).

1.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO PERSONALIZADO (PAFP)

1.1.1 Anamnesis. Es la primera etapa del proceso, consiste en un informe con las características personales de interés, en este caso contiene lo necesario para realizar un PAFP, como las características físicas, estilo de vida, historial médico, deportivo, entre otras cosas; “debe actualizarse de manera periódica ó cuando se considere necesario”⁴...Puede ver el formulario original usado en LEDRF-Altius en el Anexo B... A continuación se detallan las secciones que conforman el anamnesis:

1.1.1.1 Información personal. Esta recoge información básica de la persona, algunas de estas son fundamentales para el desarrollo del PAFP, mientras otras sirven para ubicar a la persona y estar en contacto con esta en caso de ser necesario, también se pregunta por personas a quien acudir en caso de emergencia.

- **Edad.** La diferencia entre el joven, adulto y adulto mayor, establecen variaciones y limitaciones en cuanto a los pesos y ejercicios que se asignen. También ayuda a determinar medidas ideales de los signos vitales.

- **Género.** Generalmente existen algunas preferencias de zonas musculares a trabajar, los hombres por su fisiología tienden a desarrollar más el tronco superior, mientras las mujeres el inferior; además estas preferencias son afectadas por estándares de belleza.

1.1.1.2 Valoración antropométrica. Contiene la composición corporal, signos vitales, pliegues cutáneos, diámetros óseos y medidas corporales, este conjunto de características brindan un mapa específico del estado físico de la persona⁵.

Composición corporal.

- **Peso.** Se encuentra estrechamente relacionado con la salud, la resistencia cardiaca y es proporcional a la cantidad de ejercicios cardiovasculares a realizar.

4. Iriarte. Op Cit., p. 157

5. Ibíd., p. 161

- **Talla.** Esta medida es base para las estimaciones ideales de peso, pliegues, diámetros, etc.

Figura 2. Diferencias fisiológicas en el ser humano y su clasificación.



Fuente:

<http://educacionfisicamaruxamallo.wikispaces.com/file/view/somatotipos.jpg/173641783/somatotipos.jpg>

- **Índice Cintura Cadera (ICC).** Está muy relacionado con riesgos cardiovasculares y diabetes, si se encuentra fuera de los rangos aceptables establece límites en el entrenamiento.

- **Índice de Masa Corporal (IMC).** Relación entre el peso y la talla, es empleado por los nutricionistas la usan para redefinir la dieta diaria.

Signos vitales. Son indicadores del estado físico de la persona, se miden durante la realización un ejercicio y en estado de reposo, establecen los límites de los ejercicios físicos para lesiones por sobreesfuerzo. Cabe destacar que el monitoreo de estos signos vitales puede ser bastante complejo y costoso. Estos son: la Frecuencia Cardíaca (FC), Frecuencia Respiratoria (FR), Tensión Arterial (TA) y la Temperatura (T).

Pliegues cutáneos. Características puntuales de las zonas del cuerpo de la persona que ayudan a evaluar porcentaje de grasa⁶. Algunos pliegues son el subescapular, tricipital, bicipital, abdominal, suprailíaco, supraespinoso, medioaxilar, muslo, pierna, pectoral.

Figura 3. Medición de los pliegues cutáneos.



Fuente: <http://www.linksalud.com/images/image/Obesity-facts%20by%20photobucket.jpg>

6. Iriarte. Op. Cit., p.163

○ **Medidas corporales.** Diámetros de zonas puntuales en el cuerpo que junto con los pliegues sirven para determinar la cantidad de músculo y de grasa de la persona.

1.1.1.3 Historial deportivo. Determina el nivel de sedentarismo, arroja fortalezas y debilidades físicas que en la mayoría de casos establecen los objetivos a los cuales se aspiran alcanzar.

○ **Deporte que práctica.** Este marca la diferencia a la hora de realizar ejercicios, ya que la cantidad de peso que pueden manejar las personas varía de acuerdo a la suma de ejercicio que realicen y también con el tiempo que llevan como deportistas.

▪ **Prácticas Semanales.** Determinan el nivel de fatiga que maneja la persona, las horas y los días en que la persona se ejercita deben ser tenidas en cuenta por quien elabore el PAF para evitar sobreesfuerzos de los músculos.

▪ **Objetivos.** Tanto los deportistas como los sedentarios, tienen objetivos para modelar su cuerpo, ya sea mejorar su resistencia, aumentar masa muscular o simplemente cumplir con estándares de belleza.

1.1.1.4 Historial Médico. Es uno de los elementos más importantes para la asignación de un PAF, a pesar de que se sabe de su importancia se tiende a obviar y puede ser muy problemático si se desconoce los antecedentes o riesgos que tiene una persona.

○ **Patología.** Enfermedad que posee la persona tal que al hacer un esfuerzo esta afecte sus signos vitales de manera no deseada.

○ **Lesión.** Limita el trabajo en algunas zonas musculares, estas son mayoritariamente temporales.

1.1.1.5 Estilo de Vida. De esta sección hacen parte la dieta diaria, nivel de estrés, actividades físicas como correr, trotar y caminar que afectan de manera directa el desempeño de la persona en el gimnasio.⁷

Figura 4. Vicios y dietas.



Fuente: <http://www.vidanutrida.com/wp-content/uploads/2009/08/dejar-fumar-460x345-la.jpg>

Fuente: <http://cieloalatierra.files.wordpress.com/2012/04/dieta-herbalife-fakty-i-mity.jpg>

7. Iriarte. Op. Cit., p.132.

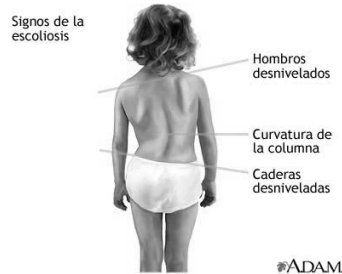
○ **Dieta.** La salud mental y digestiva deben estar acorde con el PAF, teniendo en cuenta proteínas, grasas y vitaminas, que la persona consume típicamente junto con sus las cantidades.⁸

○ **Vicios.** La cantidad de alcohol, cigarrillos, entre otros malos hábitos.

1.1.1.6 Test de fuerza. Se consideran el principal aporte para este trabajo, estos indican el 1RM (El peso máximo alcanzado en una repetición), es el 100% de trabajo que puede realizar la persona.⁹

1.1.1.7 Evaluación postural. La evaluación y tratamiento de los problemas posturales exige el conocimiento de una serie de principios generales relacionados con el alineamiento, las articulaciones y los músculos.

Figura 5. Evaluación postural.



Fuente:

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Imagenes/shml/MedicinaLaboral/medicina32/image009.jpg>

1.1.2 Diagnóstico. Idealmente debería realizarse por expertos con base a las características del anamnesis, un médico encargado de revisar el historial médico e indicar los respectivos cuidados, un nutricionista que evalúe la dieta a seguir y un entrenador que asigne un PAF según las limitaciones impuestas en el anamnesis y orientados por los objetivos del entrenamiento.

1.1.3 Creación del PAFP. Se establece con base a las preferencias de las personas y las limitaciones físicas impuestas por el gimnasio, así como la intensidad del entrenamiento representada en las zonas a trabajar, con sus respectivos pesos, series y repeticiones, escogidas acorde con los objetivos y las relaciones de Tudor Bompa que se presenta a continuación:

Cuadro 1. Clasificación de la fuerza según Tudor Bompa.

Tipo de Fuerza	Porcentaje a trabajar del 1RM
<i>Hipertrofia: se refiere al incremento de perímetros musculares.</i>	70% al 80%
<i>Explosiva: se refiere a la capacidad de aceleración de la fuerza en el menor tiempo posible.</i>	

9. Iriarte. Op. Cit., p. 114

8. Bompa. Op Cit., p. 46.

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de Fuerza	Porcentaje a trabajar del 1RM
<i>Máxima:</i> máxima carga que puede soportar una persona	85% al 100% Isométrico 80% al 100% Isocinético 100% Excéntrico 110% al 160%
<i>Resistencia:</i> capacidad para soportar la misma carga o esfuerzo por largo tiempo.	Corta duración 50% al 70% Media duración 40% al 50% Larga duración 30% al 40%

Según el LEDRF-Altius tienen también una clasificación de las fuerzas:

Figura 6. Clasificación de la fuerza según LEDRF.

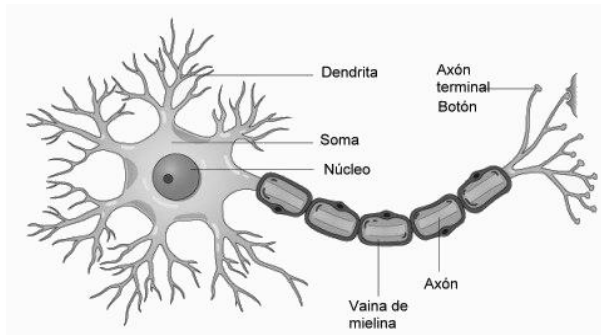
TRABAJO DE FUERZA	TIPOS	SERIES	REPET	%CARGA
	Adaptación	3	10	PESO MAQUINAS
	Hipertrofia	4,6,8	6 a 12	70 a 80%
	Fuerza Máx	6,10,12	1 a 4	90 a 100%
	Fuerza Exp.	4 a 8	3 a 5	30 a 40%
	Fuerza Res.	2 a 4	15 a 20	30 a 50%
	Fuerza Mus.	3 a 6	15 a 20	50 a 60%

1.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Es un área del conocimiento científico que busca emular la inteligencia de los seres vivos empleando el avance de los estudios psico-biológicos del sistema nervioso, análisis del comportamiento de las especies y los desarrollos tecnológicos de los equipos de cómputo. Se ha dividido en algunos sub-campos como la lógica difusa, los sistemas expertos, algoritmos genéticos y las redes neuronales artificiales (RNA); éstas últimas tienen como base los conocimientos sobre las unidades fundamentales del sistema nervioso, las neuronas, y su forma de organización en redes, que permiten elaborar sistemas robustos capaces de adaptarse a ambientes dinámicos (al igual que los seres vivos), de predecir el estado de un fenómeno, de encontrar relaciones entre dos o más variables, entre otras cosas.

Redes Neuronales Artificiales (RNA). Las Redes de Neuronas Naturales son un conjunto de células nerviosas encargadas de la transmisión y procesamiento de toda la información que recibida y transmitida (percepciones de dolor, frío, presión, colores, olores, entre otras), conformadas básicamente por un cuerpo, un axón y unas ramificaciones llamadas dendritas que les permiten conectarse entre ellas (sinapsis), construyendo redes que dieron paso para la creación de las Redes Neuronales Artificiales (RNA).

Figura 7. Partes de una neurona natural.

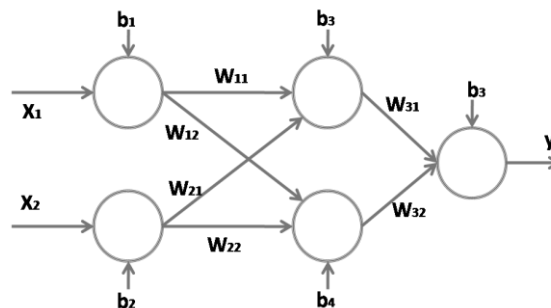


Fuente:

<http://ies.rayuela.mostoles.educa.madrid.org/Publicaciones/ApuntesAnatomiaAplicada/imagenes/celtej/Neurona.jpg>

Las RNA también poseen neuronas como unidades fundamentales, estas son sistemas compuestos por un conjunto de entradas ponderadas, que luego son sumadas o multiplicadas para convertirse en la entrada de la función de activación que arroja los valores de las salidas, la función escogida depende de la aplicación para la que se requiera la neurona, entre las que se encuentran funciones escalón, rampa, tangenciales, exponenciales, etc. Los valores con que son ponderadas las entradas se denominan pesos y además se emplea una entrada unitaria con un peso que se llama bias.

Figura 8. RNA con una capa de entrada de dos neuronas, una capa oculta de dos neuronas y la capa de salida con una neurona.



Las RNA pueden tener diferentes formas de configuración, por ejemplo existen las redes de Boltzmann, los perceptrones de simple capa y multicapa, mapas auto-organizados, redes con funciones basadas en radios, entre otras.

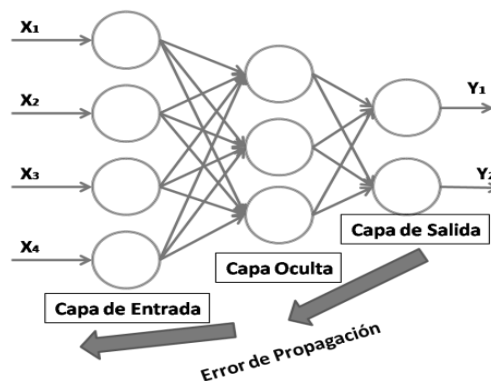
Para el aprendizaje de las redes se han diseñado métodos que pueden requerir el uso de muestras de entrenamiento, que son valores deseados de entradas y salidas (aprendizaje supervisado), o un conjunto de datos que se desea clasificar (aprendizaje no supervisado). Los métodos supervisados buscan principalmente minimizar el error con respecto a los valores de salida deseados, modificando para ello parámetros de la red, por ejemplo en el algoritmo de gradiente descendiente se modifican los pesos de las neuronas para lograr que las salidas vayan

disminuyendo el error cuadrático medio. Para el aprendizaje supervisado de una red, se suele emplear un porcentaje de las muestras en el entrenamiento y otro para realizar la validación del sistema, esta última consiste en comprobar que las redes son capaces de arrojar salidas similares a las deseadas con entradas diferentes a las empleadas en el entrenamiento. Cuando se tienen muchos datos, se pueden dividir en tres grupos: uno de entrenamiento, validación y prueba. En donde el grupo de validación se encarga de probar la red en cada entrenamiento con el fin de probar cual fue la mejor red (y así evitar sobre-entrenamiento), mientras que el de prueba es el encargado de evaluar la capacidad de generalización de la red con mejor validación. “Es difícil dar una regla general de cómo escoger el número de muestras en cada una de las tres partes, ya que esto depende de la relación señal a ruido en la información y del tamaño de la muestra de entrenamiento. Una distribución típica podría ser 50% para el entrenamiento, 25% para validación y 25% prueba.”¹⁰

Las RNA tienen una gran gama de aplicaciones: “en sistemas de piloto automático, predicción de secuencias de códigos, análisis de fallas, visión artificial, reconocimiento de voz, asesoría de préstamos, identificación de falsificaciones, interpretación y reconocimiento de firmas, análisis de células portadoras de cáncer mamario, reconocimientos de infartos mediante ECG, análisis de electroencefalograma y de electrocardiograma, controladores, sistemas ópticos, compresión de datos e imágenes, robots elevadores, códigos de seguridad adaptativos, criptografía, reconocimiento de huellas digitales, compresión de datos e imágenes, traducción en tiempo real de lenguaje hablado, diagnóstico de frenos en camiones, compresión de voz, clasificación de vocales, transformación de texto escrito a voz, etc.”¹¹

1.2.1 Perceptrones Multicapas (MLP).

Figura 9. MLP con una capa de entrada de cuatro neuronas, una capa oculta de tres neuronas y la capa de salida con dos neuronas.



10. *Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería*, Pedro Ponce Cruz, Editorial AlfaOmega, 2010. p. XXV.

11. Ponce. *Op Cit.*, pág. XXV.

Esta red emplea la configuración multicapa con el algoritmo de retro-propagación (*back-propagation*), que se basa en el error de las salidas de la red con respecto a las muestras de entrenamiento (parejas de entradas/salidas deseadas)¹²:

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n)$$

Donde $e_j(n)$ es el error, $d_j(n)$ es el valor deseado de la salida de la neurona j y $y_j(n)$ es la salida de la neurona j . Se emplea el error promedio cuadrático dado por:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2$$

La ecuación de actualización de los pesos está basada en el algoritmo del gradiente descendiente, el cual básicamente modifica los pesos de tal forma que varíen en dirección contraria al gradiente de la superficie del error. Esto se aprecia en la siguiente ecuación:

$$\Delta w_{ij}(n) = - \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}(n)}$$

Con este algoritmo existe una probabilidad de que la red caiga en mínimos locales, (puntos en los que la red converge pero no son mínimos absolutos y por lo tanto el error puede no ser el mínimo deseado). Desarrollando las ecuaciones para el MLP se tiene que:

$$\Delta w_{ij}(n) = -\eta \delta_j(n) y_j(n)$$

$$\delta_j(n) = e_j(n) \varphi'_j(v_j(n))$$

$$v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji} y_i(n)$$

Donde $\varphi_j(\cdot)$ es la función de activación, $\delta_j(n)$ es llamado gradiente local, $y_i(n)$ son las salidas de las redes de la capa siguiente, $v_j(n)$ es el campo local inducido, η es un valor denominado tasa de aprendizaje.

Las funciones de activación $\varphi_j(\cdot)$, establecen los estados de la neurona según las entradas aplicadas ponderadas, que en algunos casos pueden emplear el estado anterior de esa neurona, estas funciones pueden ser lineales ó no lineales, ejemplo de estas son: el escalón, gaussiana, exponencial, entre otras.

12. Neural Network a comprehensive foundation, Simon Haykin, second edition, Prentice Hall, 1999. p. 183.

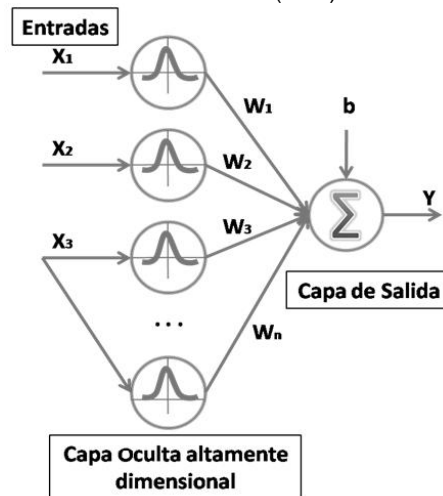
Como en las capas intermedias no se conocen los valores deseados para cada neurona, entonces a partir del error de la capa de salida, se calcula el valor de los pesos para la capa inmediatamente anterior; este proceso se sigue por todas las capas hasta llegar a la primera capa, una vez allí, se introduce un nuevo conjunto de muestras para continuar con el entrenamiento de la red. En este caso la ecuación empleada para hallar el campo local inducido es:

$$\delta_j(n) = \varphi'_j(v_j(n)) \sum_k \delta_k w_{kj}(n)$$

Donde $\delta_k(n)$ es llamado gradiente local de las neuronas de la capa siguiente. Y $w_{kj}(n)$ son los pesos que unen la neurona j con la capa siguiente.

1.2.2 Redes con Funciones Basadas en Radios (RBF). En este caso consisten en neuronas con funciones de activación cuya entrada son las distancias que hay entre los valores de las entradas a unos puntos denominados centros, para el cálculo de dichas distancias se emplea generalmente la distancia Euclidiana o la de Mahalanobis; los algoritmos de aprendizaje trabajan básicamente con tres parámetros libres: los centros, las matrices de covarianza inversa de las entradas y los pesos, estos últimos son los factores que multiplican las salidas, las funciones de activación que ingresan en un sumador, para generar los valores de salida.

Figura 10. Red Neuronal con funciones basadas en radios (RBF).



La función de salida para las RBF se escribe así:

$$F(x_j) = \sum_{i=1}^M w_i G(\|x_j - t_i\|_{c_i})$$

Donde $G(\cdot)$ es la función de Green, x_j son los valores entrada, y \mathbf{t}_i son los centros de las funciones.

Algunos ejemplos de funciones de Green son:¹³

- Multiquadrics: $G(r) = (r^2 + c^2)^{\frac{1}{2}}$
- Multiquadrics inversos: $G(r) = (r^2 + c^2)^{-\frac{1}{2}}$
- Funciones gaussianas: $G(r) = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$

Para algún $c > 0$, $\sigma > 0$ y $r \in \mathbb{R}$

El error para las RBF, sería:

$$e_j = d_j - F(\mathbf{x}_j) = d_j - \sum_{i=1}^M w_i G(\|\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i\|_{c_i})$$

Donde e_j es la señal del error de la neurona j , d_j son los valores deseados w_i son los pesos de la capa de salida. A continuación las ecuaciones para cada uno de los parámetros manejados:

- Pesos lineales (capa de salida):

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_i(n)} = - \sum_{j=1}^N e_j G(\|\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i\|_{c_i})$$

$$w_i(n+1) = w_i(n) - \eta_1 \frac{\partial E(n)}{\partial w_i(n)} \quad i = 1, 2, \dots, m_1$$

- Posiciones de los centros (capa oculta)

$$\frac{\partial E(n)}{\partial \mathbf{t}_i(n)} = 2w_i(n) \sum_{j=1}^N e_j(n) G'(\|\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i(n)\|_{c_i}) \sum_i^{-1} [\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i(n)]$$

$$\mathbf{t}_i(n+1) = \mathbf{t}_i(n) - \eta_2 \frac{\partial E(n)}{\partial \mathbf{t}_i(n)} \quad i = 1, 2, \dots, m_1$$

- Varianza de los centros (capa oculta)

$$\frac{\partial E(n)}{\partial \Sigma_i^{-1}(n)} = -w_i(n) \sum_{j=1}^N e_j(n) G'(\|\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i(n)\|_{c_i}) \mathbf{Q}_{ij}(n)$$

$$\mathbf{Q}_{ij}(n) = [\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i(n)][\mathbf{x}_j - \mathbf{t}_i(n)]^T$$

$$\Sigma_i^{-1}(n+1) = \Sigma_i^{-1}(n) - \eta_3 \frac{\partial E(n)}{\partial \Sigma_i^{-1}(n)} \quad i = 1, 2, \dots, m_1$$

$$G(\|x - t_i\|_c) = \exp \left[-\frac{1}{2} (x - t_i)^T \Sigma^{-1} (x - t_i) \right]$$

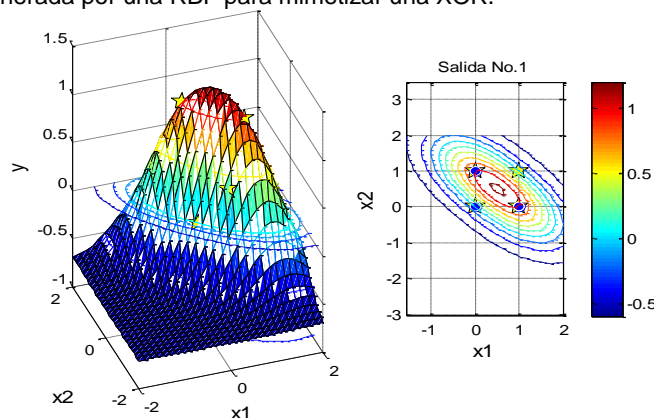
Donde el término $e_j(n)$ es la señal del error de la unidad de salida j en el tiempo n . El término $G'(\cdot)$ es la primera derivada de la función de Green $G(\cdot)$ con respecto a su argumento, m_1 es el número de centros existentes.¹⁴

“Las RBF contienen básicamente tres capas: la capa de entrada, compuesta por los nodos sensores que conectan la red con el ambiente; la segunda capa que es la única capa oculta en donde se aplica una transformación no lineal del espacio de las variables de entrada a un espacio oculto altamente dimensional, y la capa de salida que es lineal, que entrega la respuesta de la red ante las muestras de activación (señales) aplicados en la entrada.”¹⁵

Con estas redes se busca encontrar una relación matemática entre unos valores de entradas y las salidas deseadas creando superficies que permiten inferir los valores de la salida ante entradas diferentes a las empleadas en el entrenamiento, “estas redes pueden ser vistas como sistemas que solucionan problemas de curvas de ajuste en un espacio altamente dimensional, diferenciándose de los perceptrones multicapa que emplean el método del retro-propagación conocido como una aproximación estocástica”.¹⁶

Se graficó la superficie generada por una RBF para simular la función de una compuerta lógica XOR, para ello la red empleó tres centros (representados como puntos azules), que los ubicó en tres de las cuatro muestras (estrellas amarillas), y modificó su matriz de varianzas de tal manera que pudiese tocar los cuatro puntos simultáneamente...ver Figura 11...

Figura 11. Superficie generada por una RBF para mimetizar una XOR.



14. Haykin. Op. Cit., p. 325

15. Ibíd., p. 278

16. Ibíd., p. 278

2. PROCEDIMIENTO

El desarrollo del trabajo se puede dividir en cinco fases: I) Selección del sistema inteligente. II) Análisis del funcionamiento del gimnasio. III) Selección de software y desarrollo de la interfaz gráfica. IV) Obtención de los test de Fuerza. V) Entrenamiento y Validación de las Redes Neuronales Artificiales.

2.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA INTELIGENTE

En esta etapa se profundizaron aquellos conocimientos considerados necesarios para el desarrollo del trabajo, tales como el manejo de redes neuronales; recopilando información de fuentes virtuales y físicas que dieron mayores luces para la comprensión de estos sistemas, de las cuales se destacan: las video-clases de NPTEL (National Program of Technology Enchanced Learning), un trabajo con fines de mejorar la educación en la India, que pueden verse completamente gratis en Youtube; la video-clase “Neural Networks and Applications” basada en el libro de Simon Haykin Artificial Neural Networks a comprehensive foundation, permitió comprender principalmente la teoría sobre Perceptrones Multicapa (MLP), las redes con Funciones Basadas en Radios (RBF) y los Mapas Auto-organizativos (SOM); se emplearon las dos primeras estructuras, debido a que su aprendizaje es de tipo supervisado, lo cual permite enseñarles a través de los test de fuerza obtenidos (muestras de entrenamiento).

Descripción de los algoritmos realizados. Se desarrolló la estructura del MLP con el algoritmo de retro-propagación (back-propagation), creando un algoritmo cuya entrada es un vector, en el que cada posición representa las neuronas de las capas ocultas; este algoritmo se reinicia en caso de encontrar un mínimo local y frena al encontrar el error deseado o hasta un número máximo de iteraciones.

También se realizaron trabajos con las RBF empleando funciones de Green gaussianas...véase sección 1.2.2..., cuya entrada es la distancia de Mahalanobis entre los valores de entrada y los centros asignados automáticamente; itera inicialmente con dos centros que se incrementan en caso de que no alcance el error deseado, los nuevos centros se asignan de tal forma que compensen las muestras con el mayor error; finalmente al terminar el entrenamiento, el algoritmo arroja los valores de los parámetros para los cuales tuvo el menor error.

2.2 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL GIMNASIO

Se realizó un estudio sobre el Laboratorio de Evaluación y Desarrollo del Rendimiento Físico del programa de Educación Física (LEDRF-Altius) de la Universidad Surcolombiana, en lo concerniente al funcionamiento, manejo de recursos y horarios, el personal, sus funciones y permisos; conocimientos bases para el diseño del programa deseado, lo cual fue posible gracias a la atención y valiosa colaboración por parte de los encargados del funcionamiento del laboratorio...véanse los Anexo D..., quienes brindaron la información suficiente y clara para la comprensión de este sistema. Con ellos se modificó la estructura del formato de la rutina de ejercicios, organizando principalmente los ejercicios y dividiendo las zonas musculares...Los cambios del formato se encuentran en el Anexo C...

Del estudio se resume que un gimnasio básicamente requiere de un administrador, encargado de la asignación de la disponibilidad horaria, distribución de los recursos y la reglamentación, entrenadores, encargados de la elaboración de los Programas de Acondicionamiento Físico (PAF) y el acompañamiento de los usuarios, quienes son los que emplean el gimnasio.

Cada usuario que desee ingresar debe realizarse un estudio llamado anamnesis (hecho por un personal capacitado), este es archivado y se actualiza anualmente. Cuando un entrenador realiza el PAF, tiene en cuenta algunas características importantes que se encuentran resumidas en el formato de la rutina, como el género, las enfermedades, lesiones, problemas osteomusculares, edad y composición corporal; además debe tener en cuenta la disponibilidad horaria del usuario, del gimnasio y de los recursos que asigne. Los objetivos del usuario son registrados en una parte del anamnesis llamada historial deportivo, aunque en el LEDRF-Altius se tiene como objetivo principal mejorar la calidad de vida del usuario (mejorando la salud en general, resistencia muscular, niveles de autoestima, etc.). Los pesos de los ejercicios son asignados de acuerdo a una revisión visual de la apariencia física del usuario y la experiencia del entrenador, estos pueden ser modificados en caso de exceder o subestimar las capacidades del usuario. Los PAF se actualizan mensualmente, modificando los pesos de acuerdo a la evolución física del usuario.

2.3 OBTENCIÓN DE LOS TEST DE FUERZA

Figura 12. Registro de los test de fuerza, con los calentamientos y estiramientos corporales.



Las pruebas se realizaron en las instalaciones del LEDRF-Altius, con la colaboración de la docente asistente del laboratorio Lady Andrea Otero Devia, 70 hombres y 4 mujeres...mencionados en el Anexo D... empleando el equipo deportivo Peck Deck (Presión Pecho Lateral). Se decidió que la población fuese de un solo género, debido a que las mujeres presentan una menor fuerza máxima, tal que si se combinan en una sola red con los hombres puede hacer mucho más difícil el entrenamiento de las redes. Por otra parte los hombres presentan una mayor variación de las fuerzas máximas en este ejercicio, por ello se escoge especializar la red en este género en busca de realizar un entrenamiento más exigente. Y por último, teniendo en cuenta que en el LEDRF generalmente la población masculina es mayor que la femenina (actualmente hay 121 mujeres y 241 hombres), se facilitaría más la realización de las pruebas. El test de fuerza realizado se puede resumir en 5 pasos:

Paso 1: el entrenador verifica que el equipo deportivo se encuentre en buenas condiciones (poleas, asiento, tapizado, etc.). El nivel de dificultad del equipo (si es posible graduarlo) debe dejarse fijo para todas las pruebas; en este caso, por tratarse de una población mayoritariamente sedentaria, se optó por dejar el equipo con el rango de movimiento más corto posible. La altura del asiento debe ajustarse

tal que el tronco y las piernas de la persona formen un ángulo de 90 grados y la persona se sienta cómoda.

Paso 2: luego de que el usuario haya hecho un calentamiento con ejercicios cardiovasculares y una serie de estiramientos de su cuerpo (principalmente de las zonas musculares comprometidas en la prueba), el entrenador explica al usuario el movimiento biomecánico a realizar.

Paso 3: se solicita al usuario que realice una serie de 5 repeticiones con un peso que consideren adecuado (con el entrenador) para hacer un calentamiento y preparación muscular para las siguientes etapas.

Paso 4: una vez la persona descansa de las series de preparación, se acuerda con el entrenador cuanto incrementar la carga, y se solicita que ejecute una sola repetición con la nueva carga. Este paso se repite hasta llegar a la carga en donde el usuario dañe la posición biomecánica del ejercicio, sin embargo, no debe repetirse más de 5 o 6 veces, ya que el cansancio de la persona hará efecto en la fuerza máxima que puede realizar.

Paso 5: en caso de ser excedido el incremento de la carga, se prueba con una carga inferior a esta, y se busca el peso máximo que puede levantar en una sola repetición (1RM).

2.4.1 Factores que afectan el test de fuerza. Existen muchos factores que pueden alterar los resultados y que deben ser controlados para obtener resultados más exactos en el cálculo del 1RM. Entre los factores se encuentran:

- **Estado de ánimo de la persona:** un usuario con un buen estado de ánimo, es capaz de levantar mayor cantidad de carga; este factor puede ser controlado preguntando a las personas por su estado de ánimo.

- **Motivación del usuario:** la motivación por parte de entrenador, tiene un efecto psicológico que permite a las personas ejercer más fuerza. También hay motivaciones como la presión de los amigos y aquellos que observen, que infunden deseos de superar el 1RM que levantaron los demás; por lo cual se sugiere que la persona no se entere de los resultados obtenidos, hasta que no haya finalizado la prueba.

- **Alimentación previa:** se sugiere que entre una hora y dos horas antes de realizar la prueba la persona haya ingerido alimentos. Hay que tener en cuenta no consumir alimentos difíciles de digerir (por ejemplo aquellos que tienen alto contenido de grasas), ya que al estar haciendo los procesos metabólicos, se cansa el cuerpo, afectando la máxima fuerza que la persona podría ejercer.

- **Descanso previo:** un día antes de hacer la prueba la persona no debería realizar ejercicios extenuantes, lo cual es muy importante ya que una persona cansada ejerce menos fuerza; esto se constata en pruebas hechas a tres personas antes y después de realizar su rutina de ejercicios, obteniéndose errores hasta de 20%...véase Cuadro 2...

Cuadro 2. Error en los resultados debido al cansancio.

No.	Prueba 1 (lb)	Prueba 2 (lb)	Error (%)
1	150	120	20
2	180	150	17
3	170	120	18
Promedio			18

- **Repetitividad:** se realizó dos veces el test de fuerza a 10 personas en un lapso de 2 semanas de diferencia. Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 3. Pruebas de repetitividad del test de fuerza.

No.	Prueba 1 (lb)	Prueba 2 (lb)	Error (%)
1	160	150	6
2	150	150	0
3	140	150	7
4	170	180	6
5	140	150	7
6	120	140	14
7	170	170	0
8	120	130	8
9	190	200	5
10	160	160	0
Promedio			5

Obteniendo un error promedio de 5% (que es el error deseado por algunos entrenadores), sin embargo se encuentran también errores preocupantes de 14%.

2.3.3 Test de fuerza adecuados. Al momento de crear un PAFP el programa debe calcular los pesos series y repeticiones para cada ejercicio, haciéndolo gracias a sistemas inteligentes que aprenden a estimar la fuerza máxima de una persona (1RM) basándose en los test de fuerzas que sirven como muestras de entrenamiento; las personas con que se realizan los test, deberían ser escogidas de tal forma que sus características físicas representen a la población a la que se pretende calcular el 1RM, con el fin de que la red cuente con una buena capacidad de generalización; es muy importante que el entrenador escoja las personas de ejemplo que brindarán las muestras de entrenamiento, pensando en aquellos que se les predecirá la fuerza máxima. Estos pueden ser grupos tan específicos como

el entrenador lo desee, mientras las características del grupo varíen menos, el cálculo del 1RM tendrá mayor exactitud, así bien este podría organizar una red solo para mujeres con edades entre 20 y 30 años y pesos entre 50 y 70Kg que practiquen natación; esa red debe emplearse para calcular el 1RM a quienes tengan dichas características, ya que esta aprendió en base a ellas; en caso de que la persona tenga características muy diferentes, es muy probable que los datos no sean lo suficientemente exactos. Las características que hacen específica una red, deben ser aquellas que se consideren que tendrán influencia en la variación de la fuerza máxima, como el género, edad, peso, ya que por ejemplo sería un gasto innecesario entrenar dos redes, una para los hombres del barrio Cándido y otra para los del barrio Chicalá.

Para las redes RBF, el número de muestras debe ser mayor al número de las entradas escogidas; además las muestras de entrada no deben ser proporcionales entre sí, es decir ser linealmente independientes lo cual se demostró a continuación:

Teniendo en cuenta que se empleó la distancia de Mahalanobis, y suponiendo una red con solamente dos entradas y con centros ubicados en el origen, se tiene que la matriz de covarianzas inversa es:

$$\Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} v_1 & v_3 \\ v_3 & v_2 \end{bmatrix}^{-1}$$

Donde:

$$v_1 = \sum_{j=1}^n (x_{1j})^2 \quad v_2 = \sum_{j=1}^n (x_{2j})^2 \quad v_3 = v_4 = \sum_{j=1}^n x_{1j}x_{2j}$$

Ahora si se evalúa la matriz de covarianza inversa, se tiene:

$$\Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} v_1 & v_3 \\ v_3 & v_2 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{v_1v_3 - v_3^2} \begin{bmatrix} v_2 & -v_3 \\ -v_3 & v_1 \end{bmatrix}$$

Como el denominador no debe ser cero:

$$v_1v_3 - v_3^2 \neq 0 \rightarrow v_1v_3 \neq v_3^2$$

Por lo tanto:

$$\sum_{j=1}^n (x_{1j})^2 \sum_{j=1}^n (x_{2j})^2 \neq \left(\sum_{j=1}^n x_{1j}x_{2j} \right)^2$$

Si ahora se emplearan dos muestras es para el entrenamiento (n=2), se tendría que:

$$(x_{11}^2 + x_{12}^2)(x_{21}^2 + x_{22}^2) \neq (x_{11}x_{21} + x_{12}x_{22})^2$$

$$(x_{21}x_{12})^2 - x_{21}x_{12}x_{11}x_{22} + (x_{11}x_{22})^2 \neq 0$$

$$(x_{21}x_{12} - x_{11}x_{22})^2 \neq 0$$

$$\frac{x_{21}}{x_{22}} \neq \frac{x_{11}}{x_{12}}$$

Lo cual indica que al emplear la distancia de Mahalanobis no se permite una proporción entre las muestras empleadas para el entrenamiento, es decir deben ser linealmente independientes. (Nota: esta demostración hecha con dos entradas y dos muestras se puede extender a una mayor cantidad y se llegará a las mismas conclusiones).

Además de esto se debe tener en cuenta que el número adecuado de muestras es directamente proporcional a la varianza de las características físicas de la población a la que se desea calcular el 1RM, es decir, mientras en la población sean más parecidos entre sí, se requerirán menos muestras para representarlos; la varianza de las características de los usuarios puede ser vista en la sección de estadísticas del programa, que a su vez estima el número de personas que se requiere como muestra representativa de la población por cada entrada, teniendo en cuenta la ecuación del cálculo de una muestra para una población conocida:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Donde:

n : tamaño de la muestra.

N : tamaño de la población.

σ : desviación estándar. Si no se conoce entonces se recomienda 1.41

Z : valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se toma su relación al 95% de confianza que equivale a 1.96 (como más usual).

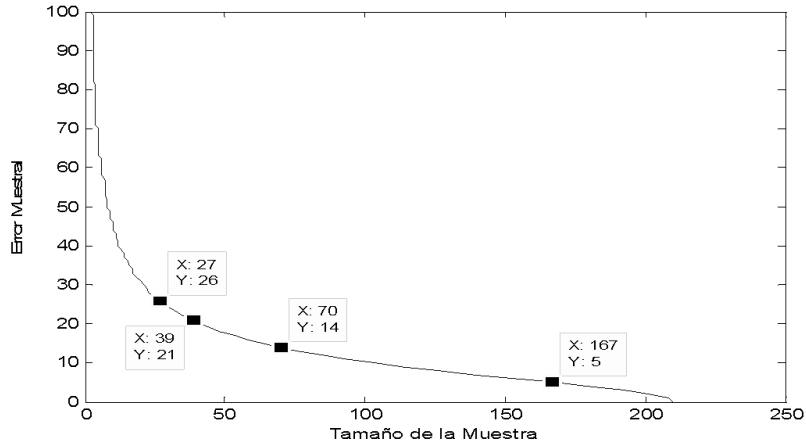
e : límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

n puede ser un buen punto de partida para encontrar el número de muestras requeridas para que la red tenga una buena generalización. Si se despeja el error muestral se tiene:

$$e = \frac{N\sigma^2Z^2 - \sigma^2 - Z^2}{(N-1)}$$

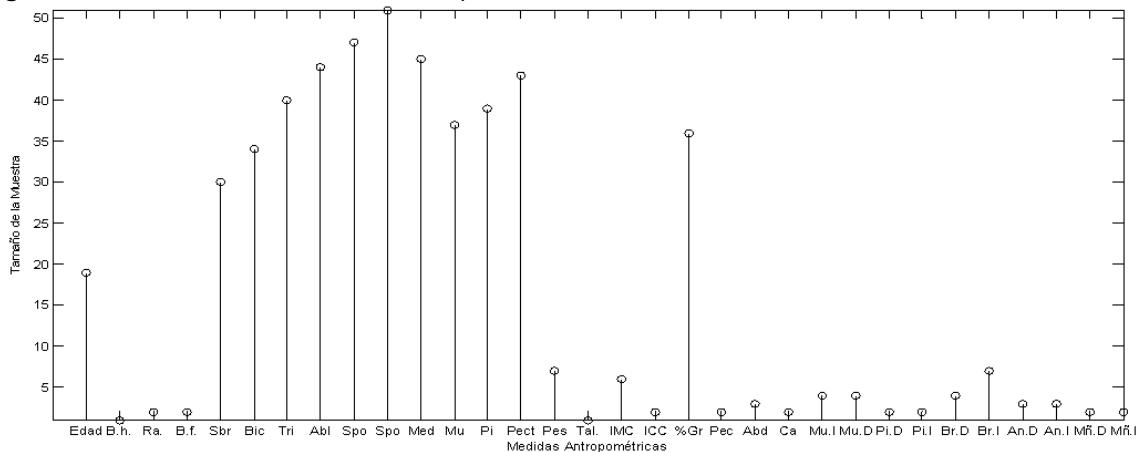
Con la anterior ecuación se puede calcular el error que se obtiene con una desviación estándar de 1.41, como se tiene una población de 210 estudiantes y se tomó una muestra de 70 personas, esto indica un error de 14%. A continuación se grafican los errores para diferentes tamaños de muestras:

Figura 13. Variación del error muestral para una población de 210 personas con una desviación estándar de 1.41 y un nivel de confianza de 95%.



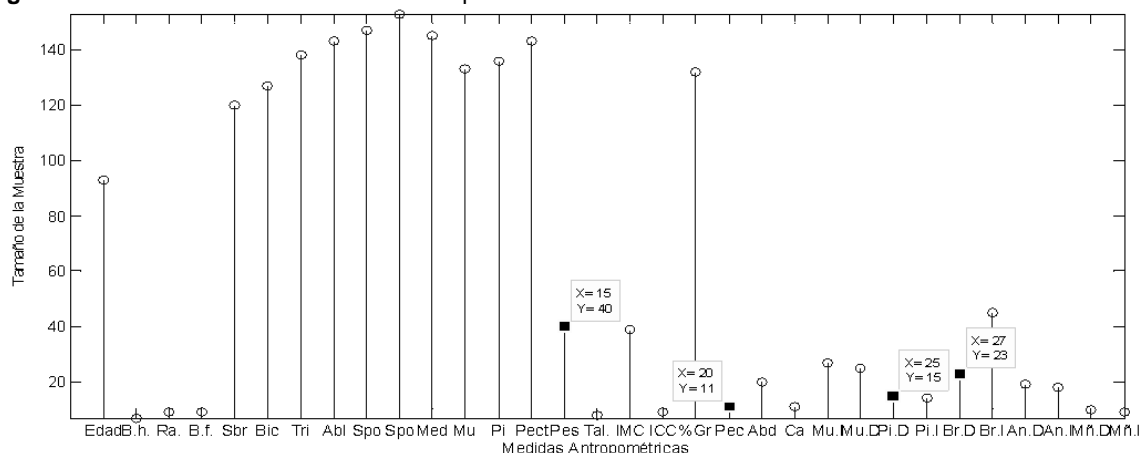
En la gráfica se observa que para 27 personas el error muestral es de 26%, para 39 personas es de 21% y para los 70 es de 14%, para el error de 5% se necesitarían 167 personas; por lo cual se decidió digitalizar los datos de las medidas antropométricas de los usuarios inscritos en el LEDRF-Altius con el fin de tener las desviaciones de cada una de las entradas, así se realizó el cálculo del tamaño de la población necesaria, mostrando a continuación los resultados para un error de 14%:

Figura 14. Tamaño de la muestra necesaria para un error de 14%.



Se observa que la máxima población necesaria según las desviaciones de las entradas es de 51 personas.

Figura 15. Tamaño de la muestra necesaria para un error de 5%.



En esta gráfica se observa el número de la población requerida de acuerdo a las entradas para un error deseado de 5%, donde se han destacado las entradas escogidas como las que se obtuvieron el menor error con las RNA...véase sección 2.4.3..., dando como resultado un número necesario de muestras para representar la población, 40 para peso, 23 para brazo derecho, 11 para diámetro de pectoral y 15 para pierna derecha.

2.4 VALIDACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

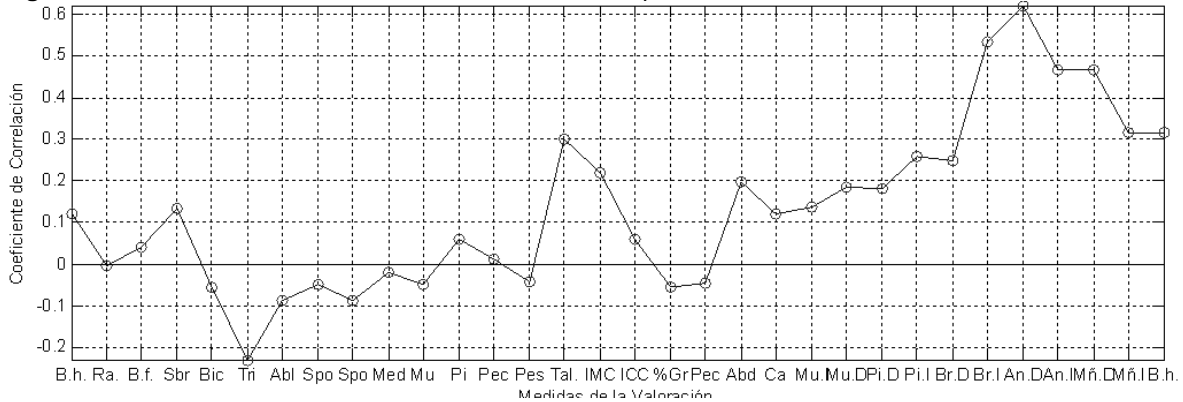
Las pruebas realizadas se pueden dividir básicamente en buscar: las mejores entradas para las redes, la adecuada cantidad de muestras para el entrenamiento y la validación, y el filtrado necesario de los datos para llegar al mínimo error posible. Además, para el MLP existe una fase inicial que consiste en escoger la mejor estructura. A continuación se enuncia cronológicamente las pruebas realizadas.

2.4.1 Pruebas con red RBF. Las primeras pruebas se realizaron con 27 muestras, de las cuales se tomaron aleatoriamente parte para el entrenamiento y la validación. Inicialmente se midió el error en libras, obteniendo en la validación un error promedio de 20 libras, sin embargo, el error disminuye para las fuerzas máximas que más se repiten, en este caso se trata de las personas que tenían una fuerza máxima (1RM) de 140lb con errores alrededor de 1lb; para 1RM mayores que 160lb el error podía aumentar hasta 40lb, esto debido a que se tenían solamente dos muestras con dicha fuerza máxima, de igual forma pasa con las personas que tenían 70 u 80lb, ya que tan solo se tenían una muestra de cada uno, por lo que se consideró realizar más test de fuerza.

Para escoger las entradas adecuadas, se evaluó la correlación que estas tenían con respecto a las fuerzas máximas observadas; luego se seleccionaron aquellas que fuesen más correlacionadas, resultaron ser: brazo izquierdo (Br. I.), antebrazo

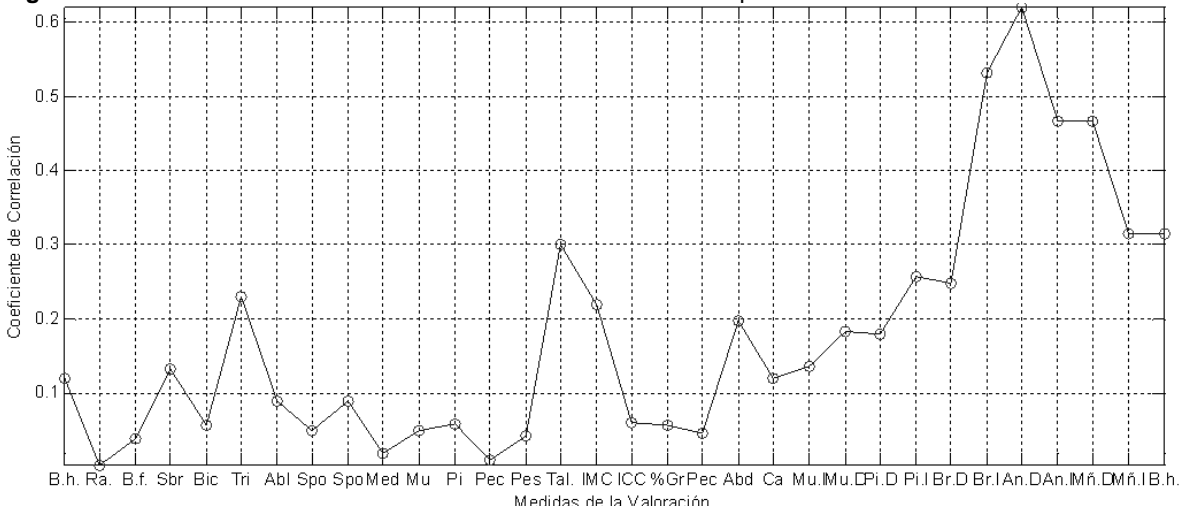
derecho (An. D.) y muñeca derecha (Mñ. D.). A continuación se muestra la gráfica de correlaciones:

Figura 16. Coeficientes de correlación de las medidas antropométricas con las fuerzas máximas.



Un valor positivo implica que la medida es directamente proporcional a la fuerza máxima, negativo que es inversamente proporcional y si es nulo indica que se trata de una entrada que no tiene relación con la fuerza máxima; una vista del valor absoluto de la correlación brinda una mejor idea de la relación existente:

Figura 17. Coeficientes de correlación absoluta de las medidas antropométricas con las fuerzas máximas.



En esta figura se observa mejor la relación del pliegue bicipital (Bic.) con la fuerza máxima, sin embargo hay que tener en cuenta que esta relación es negativa, entonces a un menor pliegue bicipital (una piel más tensionada en los bíceps) se tendrá una mayor fuerza máxima en el ejercicio de Peck Deck. Además se ve como el Biecondilar Humeral (No. 2) no tiene relación alguna en dicho ejercicio.

Para calcular el error promedio se realizaron 30 entrenamientos; en los primeros 15, se emplearon un 75% de los datos para el entrenamiento y en los otros un 95%. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos, donde

los errores calculados fueron un promedio de los errores absolutos de cada entrenamiento, es decir, el promedio del promedio de los errores de cada entrenamiento, las medianas, los errores mínimos y máximos.

Cuadro 4. Errores de los entrenamientos con 27 muestras (no filtradas)

No.	Datos		Error							
	Entr.	Val.	Promedio		Mediana		Mínimo		Máximo	
			(lb)	(%)	(lb)	(%)	(lb)	(%)	(lb)	(%)
1	20	7	31,75	22,75	21,53	15,94	5,67	4,63	84,73	58,83
2	26	1	25,93	20,98	27,00	22,86	3,00	2,14	50,00	41,67

Cuando se incluyen en los datos de entrenamiento las muestras cuya fuerza máxima estaban muy lejos de la media (y que se repetían muy poco), se tiene un incremento del error, por lo tanto para el entrenamiento y la validación se realizó un filtrado, empleando los datos que se encontraran cercanos a la media en un rango de una desviación estándar; ya que se tenía una fuerza media de 140lb con desviación de 30lb, se tomaron los datos entre 110lb y 170lb.

Cuadro 5. Errores de los entrenamientos con 19 muestras (filtradas)

No.	Datos		Error							
	Ent.	Val.	Promedio		Mediana		Mínimo		Máximo	
			(lb)	(%)	(lb)	(%)	(lb)	(%)	(lb)	(%)
1	14	5	13.91	9.96	11.67	8.21	3.47	2.49	27.00	19.64
2	18	1	9.07	6.98	7.00	5.83	0.00	0.00	27.00	19.09

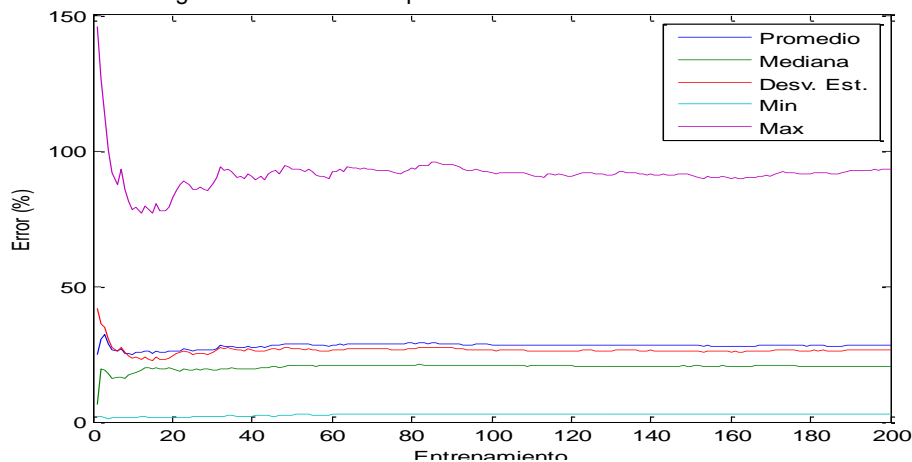
Con el fin de realizar un buen entrenamiento se debería tomar una mayor cantidad de datos, de tal forma que representen el rango de las fuerzas máximas para los que se entrena la red. Se realizaron entonces nuevos test de fuerza y ahora con 39 muestras se efectuaron nuevamente las pruebas, para las que se dejó una cantidad fija de 10 datos de validación y se varió el número de datos de entrenamiento, con el fin de encontrar el número de datos de entrenamientos adecuados para este ejercicio.

En cada prueba se tomaron aleatoriamente una parte de las 39 muestras para el entrenamiento y otra para la validación; luego de que se entrena la red, se toman las diez muestras de validación y se calcula el valor del 1RM para esos datos de entrada, se hallan los errores y se registra su promedio (Pro.), mediana (Med.), desviación estándar (Dev. Est.), mínimo (Min.) y máximo (Max.); los resultados de cada prueba se promedian con los anteriores con el fin de observar la convergencia del error; en las gráficas de convergencia del error se observó que al realizar 200 entrenamientos estas dejaban de oscilar...véase Figura 18..., debido a esto se escoge esa cantidad de entrenamientos para realizar las pruebas.

Estas pruebas se realizaron en computadores con 2Gb de memoria RAM, con procesador de doble núcleo ambos con 2.2GHz. Debido al calentamiento

producido por el entrenamiento, se emplea un tiempo de recuperación por entrenamiento (Rec.), que se midió realizando un entrenamiento y tomando el tiempo en que la temperatura del computador se acercaba a su valor antes del realizar la prueba. A continuación se presenta una gráfica de las pruebas realizadas para 20 datos de entrenamiento y 10 de validación:

Figura 18. Gráfica de convergencia de los errores para 20 muestras de entrenamiento.



Cuadro 6. Resumen de las pruebas con las 39 muestras (sin filtrar)

Prueba	Datos		Error (%)					Tiempo (seg.)		Fallas
	Ent.	Val.	Pro.	Med.	Des. Est.	Min.	Max.	Ent ./Rec.		
1	5	10	31.90	27.84	21.98	6.00	79.13	3/7	13	
2	10		27.73	21.05	24.09	3.70	83.68	7/13	36	
3	12		27.41	20.57	24.21	2.93	84.40	7/13	26	
4	15		28.36	20.42	26.36	2.98	90.36	10/20	45	
5	20		28.22	20.36	26.74	2.95	93.21	18/36	35	

Debido a que existen errores muy altos que afectan el error promedio se consideró que la mejor representación del error era su mediana, pues no se ve afectada por los errores muy atípicos. Se procedió nuevamente a filtrar las muestras con el fin de obtener el error deseado.

Cuadro 7. Resumen de las pruebas con las muestras filtradas

Prueba	Des. Est. (33lb)	Datos		Error (%)					Tiempo (seg.)		Fallas
		Ent.	Val.	Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.	Ent./Rec.		
1	0.5(15lb)	4	10	-	-	-	-	-	-	-	
2	0.6(20lb)	7		7.11	7.39	4.86	0.86	15.81	4/10	0	

Cuadro 7. (Continuación)

Prueba	Des. Est. (33lb)	Datos		Error (%)					Tiempo (seg.)	Fallas
		Ent.	Val.	Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.	Ent./Rec.	
3	0.9(30lb)	12		9.76	10.89	7.65	1.35	25.33	6/15	2
4	1(33lb)	16		11.82	13.97	10.77	1.57	36.80	12/30	11
5	1.5(50lb)	19		12.56	16.61	14.50	1.76	49.35	15/30	16
6	2(65lb)	26		19.32	26.89	25.25	2.71	96.79	21/30	25

En el Cuadro 7 se observa una disminución sustancial del error que se acerca mucho al deseado por los entrenadores del LEDRF-Altius (5%). Esto indica que con el fin de disminuir el error se debería disminuir la desviación estándar, sin embargo, al emplear 0.5 desviaciones resultan 14 muestras, que son muy pocas para representar la población; así una solución posible es realizar otros test de fuerza de personas con características similares a quienes tuvieron fuerzas máximas cercanas a la media (140lb). Sin embargo, antes de proceder a dicha solución se realizaron pruebas con otras entradas...véase Cuadro 8..., con el fin de conocer el comportamiento de la red; se tuvo en cuenta el tiempo de entrenamiento y se consideraron las fallas en las redes, definidas como errores mayores que 250 por ciento, los cuales serán muy notables por lo que no son de mucha preocupación, (un error más pequeño no se notaría y podría tomarse el resultado como verdadero); se tomaron las muestras cuyas fuerzas máximas estuvieran a no más de 30 libras de la fuerza máxima media (filtro con 0.9 desviaciones), resultando en 12 muestras de entrenamiento y se mantuvieron 10 para la validación. Las entradas tenidas en cuenta se relacionan en el Cuadro 8 con su coeficiente de correlación y una clasificación por nivel, donde se optó tomar tres entradas por cada nivel. En este caso debido a que se notó una más rápida convergencia del error se realizaron solamente 100 entrenamientos y se emplearon para todas las pruebas 15 segundos de recuperación...Los resultados se resumen en el Cuadro 9...

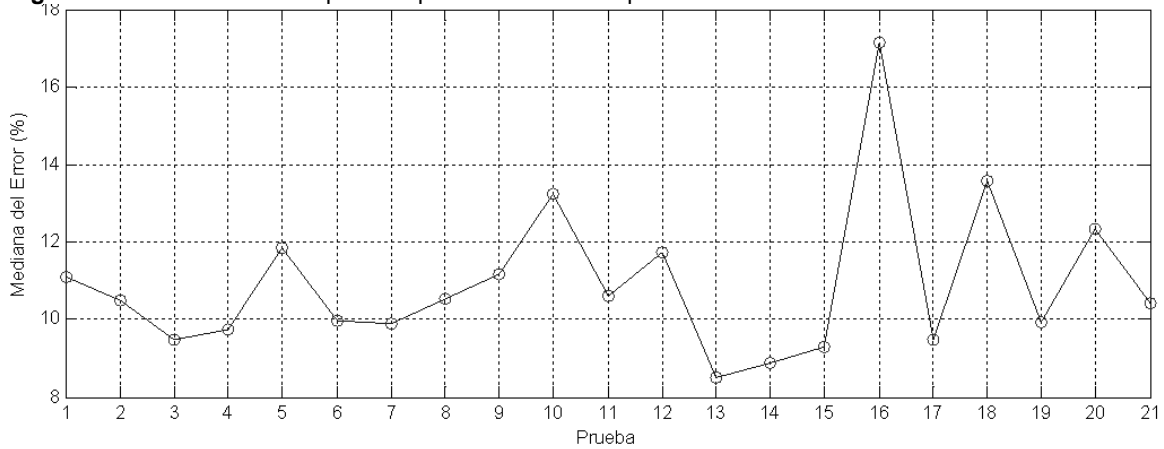
Cuadro 8. Relación de Entradas con su correlación.

Entrada	Nombre	Siglas	Correlación	Nivel
1	Brazo Izquierdo	Br. I.	0.62	Alto
2	Antebrazo Derecho	An. D.	0.47	
3	Muñeca Derecha	Mñ. D.	0.32	
4	Peso	Pe.	0.3	Medio
5	Bicipital	Bi.	-0.23	
6	Diámetro de Pectoral	Pec.	0.2	
7	Supraespinoso	Sos.	0.02	Bajo
8	Pliegue de Pierna	Pi.	0.01	
9	Biepicondilar Humeral	B. H.	0	

Cuadro 9. Pruebas realizadas para diferentes entradas.

Prueba	Entradas	Error (%)					Tiempo (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.		
1	1-2-3-4	11.09	13.98	11.84	1.58	39.74	6	14
2	1-2-3-8	10.50	13.34	11.08	1.50	26.79	10	4
3	1-2-3-9	9.47	10.33	6.45	1.75	21.59	5	0
4	1-2-3	9.76	10.89	7.65	1.35	25.33	14	7
5	1-2-8	11.86	14.49	11.84	2.13	41.09	5	13
6	1-2-9	9.97	11.26	8.12	1.35	26.84	6	0
7	1-2	9.88	11.28	6.84	3.30	24.75	4	180
8	1-3	10.53	12.95	9.57	1.77	31.88	4	30
9	1-6	11.18	14.65	12.39	2.74	43.47	7	83
10	1-8	13.26	17.77	16.43	2.56	56.53	4	26
11	1-9	10.63	12.74	9.61	1.98	33.35	6	0
12	2-3	11.73	12.50	7.30	2.48	25.87	6	20
13	1	8.52	10.60	7.32	2.31	25.21	6	332
14	2	8.90	10.60	6.67	2.97	24.04	6	170
15	3	9.30	10.00	5.99	2.18	21.01	6	40
16	4	17.15	23.06	18.55	4.45	63.00	7	106
17	5	9.47	11.02	7.05	3.19	24.40	7	202
18	6	13.60	17.00	12.97	3.43	43.03	7	96
19	7	9.94	11.19	6.95	2.77	24.64	7	151
20	8	12.36	13.54	6.53	6.10	27.17	7	364
21	9	10.42	10.65	4.15	4.66	17.87	7	330

Figura 19. Mediana del Error para las pruebas realizadas para diferentes entradas.



Una de las razones por la que ocurren errores muy grandes se debe a que pueden existir muestras con entradas iguales (o muy similares) que tienen salidas diferentes, por ejemplo, un mismo diámetro de pierna puede tener diferentes fuerzas máximas para Peck Deck (pues no existe mucha relación entre las dos variables), y lo cual la red no sabe qué valor asignar a dicho diámetro de pierna. Sin embargo, al incluir la entrada no correlacionada del biepicondilar humeral con las otras entradas correlacionadas, tienen un efecto benéfico de disminuir el número de fallas, posiblemente esto se debe a que con esta entrada se incrementa la varianza de las otras entradas evitando así las entradas muy similares.

Debido al efecto benéfico de incluir la entrada no correlacionada se realiza nuevamente la prueba con 0.6 desviaciones estándares (20lb), obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 10. Entrenamientos realizados con entradas 1-2-3-5

Prueba	Desv. Est.	Error (%)					Tiempo (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.	Ent./15seg	
1	0.6(20lb)	7.09	7.17	4.42	1.15	14.90	5	0

2.4.2 Pruebas con la red MLP. Se realizaron pruebas similares a las hechas con las redes RBF ...véase sección 2.4.1..., pero primero se escogió la estructura con la que se haría la comparación para ello se emplearon las tres entradas más correlacionadas, y se calcularon nuevamente el promedio de los errores, su mediana, su desviación estándar, mínimo y máximo, empleando para esta prueba un filtrado de 0.9 desviaciones estándar, que permitían 12 datos de entrenamiento y 10 de validación; en este caso se variaron el número de capas ocultas y el número de neuronas por capa oculta de forma aleatoria, el cual se representa en un vector a continuación en el resumen de los resultados:

Cuadro 11. Entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta

Prueba	Vector de capas ocultas	Error (%)					Tiempo (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.	Ent./10seg	Total: 500
1	[15 12 9 12 15]	5.55	5.96	3.55	1.34	12.27	3	0
2	[1 2 3]	5.01	5.93	3.68	1.75	12.31	2	
3	[3 2 1]	5.08	5.78	3.56	1.95	12.17	2	
4	[2 3 4]	5.00	5.78	3.40	1.80	11.87	2	
5	[3 5 10]	5.12	5.68	3.37	1.41	11.86	2	
6	[10 5 3]	5.04	5.77	3.31	1.57	11.52	2	
7	[10 9 8 7 6 5 4 3 2 1]	4.98	5.87	3.61	1.94	12.37	5	
8	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]	5.55	5.96	3.55	1.34	12.27	3	

Cabe destacar que en este caso no existen fallas (errores superiores al 250 por ciento), además se observa, que un cambio grande en el número de capas ocultas y neuronas por capa oculta no tiene un efecto mayor en el error. La prueba numero 4 aparentemente es la mejor ya que se obtuvo una mediana promedio del error de 5%; la estructura contiene tres capas ocultas una con dos, otra con tres y una con cuatro neuronas ([2 3 4]).

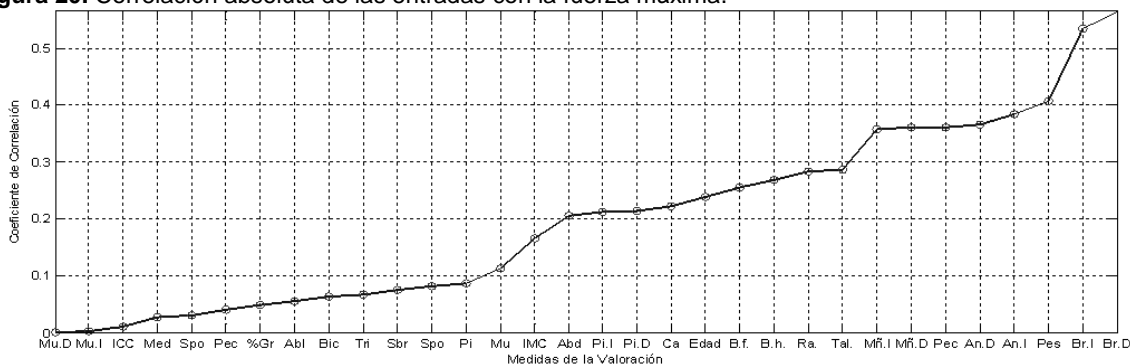
Se realizaron las pruebas para las tres entradas más correlacionadas correspondientes a: brazo izquierdo (Br. I.), antebrazo derecho (An. D.) y muñeca derecha (Mñ. D.). Así los resultados son:

Cuadro 12. Entrenamientos empleando las 39 muestras sin filtrar.

Prueba	Datos		Error (%)					Tiempo (seg.)	Fallas de 2000
	Ent.	Val.	Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.	Ent./Rec.	
1	5	10	5.55	5.96	19.10	2.79	65.68	2	0
2	10		5.01	5.93	20.32	2.50	69.72	3	
3	12		5.08	5.78	19.41	2.46	67.33	3	
4	15		5.00	5.78	20.03	2.56	69.07	4	
5	20		5.12	5.68	20.59	2.80	72.34	5	
6	25		5.04	5.77	18.68	2.56	64.28	7	
7	29		4.98	5.87	18.61	2.40	64.32	8	

2.4.3 Pruebas finales con las RNA. Debido a los altos porcentajes de error, se decidió tomar nuevas muestras en busca de representar mejor la población y así permitir a la red mejorar las capacidades de generalización. Se realizaron las pruebas de correlación de las entradas con respecto a la salida, cuyos resultados se muestran a continuación:

Figura 20. Correlación absoluta de las entradas con la fuerza máxima.



En la Figura 20 las entradas fueron organizadas en orden ascendente de su coeficiente de correlación. Se procedió a realizar una nueva selección de entradas para las RNA:

Cuadro 13. Relación de entradas con su correlación.

Entrada	Medida Antropométrica	Siglas	Correlación	Nivel
1	Brazo Derecho	Br. D.	0.56	Alto
2	Peso	Pes.	0.41	
3	Diámetro Pectoral	Pec.	0.36	
4	Edad	Edad	0.24	Medio
5	Cadera	Ca.	0.22	
6	Pierna Derecha	Pi. D.	0.21	
7	Medioaxilar	Med.	0.03	Bajo
8	ICC	ICC	-0.01	
9	Muslo Derecho	Mu. D.	0.00	

Selección de la estructura del MLP. Para este experimento se emplearon las entradas 1-2-3-6 (estas son las entradas con los mejores resultados para las redes RBF...véase la primera prueba de el Cuadro 16...), que corresponden al brazo derecho, peso, diámetro de pectoral y la pierna derecha...véase en el Cuadro 13...Para organizarlos se tomó como principal criterio la mediana del error luego el promedio, la desviación estándar, el valor máximo y finalmente el mínimo; además, se tuvo en cuenta el seguimiento gráfico que realiza la red a los valores de validación. Para cada estructura se realizaron 50 pruebas, en cada una se tomaron aleatoriamente 20 muestras para el entrenamiento y 20 para la validación, resultando en un total de 1000 validaciones. A continuación se presentan los cuadros de los resultados obtenidos:

Cuadro 14. Entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.

Prueba	Vector de Capas ocultas	Error (%)					Tiempo de ent. (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.		
1	[50]	14.00	19.35	18.44	0.37	75.17	4	0
2	[40]	14.50	20.13	19.61	0.69	80.26	5	
3	[60]	14.65	18.62	17.34	0.41	70.65	5	
4	[80]	14.67	18.85	16.50	0.43	65.33	5	
5	[20 30]	15.02	19.92	17.81	0.46	72.17	10	
6	[30 10]	15.04	19.12	16.85	0.28	67.42	14	
7	[30]	15.10	19.61	18.24	0.63	77.84	4	
8	[30 30]	15.12	19.59	18.49	0.45	77.15	8	
9	[20 10]	15.22	19.08	17.15	0.50	71.96	7	
10	[25]	15.42	19.90	18.67	0.27	77.20	8	
11	[25 25 25]	15.44	20.31	19.21	0.21	81.17	6	
12	[50 50]	15.46	20.19	19.73	0.38	84.56	5	
13	[100 25]	15.47	20.22	18.87	0.25	76.61	10	
14	[30 50]	15.47	21.25	21.70	0.31	91.81	5	

Cuadro 14. (Continuación)

Prueba	Vector de Capas ocultas	Error (%)					Tiempo de ent. (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.		
15	[10 20]	15.56	19.44	18.47	0.24	75.98	7	0
16	[20]	15.57	20.47	19.48	0.81	81.02	3	
17	[20 20]	15.73	20.45	18.79	0.58	78.22	5	
18	[15]	15.77	20.69	19.55	0.69	83.94	3	
19	[100 25 10]	15.81	20.21	18.36	0.14	75.76	12	
20	[100 10]	16.07	21.10	20.29	0.60	86.12	8	
21	[100 10 1]	16.08	21.29	19.80	0.41	77.72	12	
22	[30 20]	16.09	20.78	18.88	0.67	79.88	5	
23	[10 30]	16.14	20.35	18.16	0.27	74.48	9	
24	[10]	16.29	20.13	18.86	0.23	79.19	5	
25	[25 100]	16.37	22.27	20.37	1.08	84.31	9	
26	[25 100 25]	16.45	20.75	18.83	0.88	79.97	9	
27	[10 100 10]	16.67	20.71	18.58	0.83	76.33	7	
28	[100]	16.82	22.14	22.44	0.13	96.06	5	
29	[10 10]	16.84	20.84	18.35	0.77	76.55	7	
30	[10 10 10]	16.87	20.47	17.61	0.28	71.82	12	
31	[100 100]	17.00	22.75	22.61	0.23	91.64	15	
32	[200]	17.08	21.85	19.31	0.86	79.56	4	
33	[5]	17.09	21.12	19.03	0.25	78.89	5	
34	[100 1]	17.47	21.80	18.20	0.53	69.60	8	
35	[1]	17.49	23.52	20.76	0.70	80.44	6	
36	[5 10 5]	17.99	22.10	19.05	0.28	75.08	5	
37	[10 1]	18.06	22.24	19.54	0.51	77.61	8	
38	[3]	18.43	20.81	17.47	0.00	68.59	5	
39	[10 5 2 1 2 5 10]	18.79	23.16	19.34	0.29	72.20	27	
40	[5 2 1]	18.83	23.11	19.90	0.12	76.73	6	
41	[1 10]	18.86	21.69	17.93	0.17	70.47	9	
42	[3 3]	19.00	22.60	18.51	0.13	73.06	10	
43	[1 1]	19.00	23.92	19.74	0.40	73.49	7	
44	[1 10 1]	19.16	23.26	19.72	0.00	74.85	5	
45	[1 10 100 10 1]	19.21	23.54	18.92	0.58	70.99	10	
46	[1 2]	19.22	23.22	19.45	0.25	75.45	7	
47	[1 1 1]	19.27	23.73	20.18	0.38	74.85	13	
48	[1 2 5 10]	19.43	23.48	18.88	0.55	70.15	15	
49	[1 2 3]	19.48	23.27	18.52	0.72	69.35	6	
50	[1 10 100]	19.51	25.50	21.69	1.41	84.51	6	
51	[1 1 1 1]	19.66	24.26	20.75	0.25	78.13	16	

Cuadro 14. (Continuación)

Prueba	Vector de Capas ocultas	Error (%)					Tiempo de ent. (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.		
52	[3 2 1]	19.72	24.50	20.35	0.52	78.12	6	0
53	[1 2 5]	20.01	24.69	20.61	0.12	78.08	6	
54	[100 10 1 10 100]	20.17	26.71	22.11	0.60	82.13	16	
55	[2 1]	20.38	24.94	20.93	0.58	78.74	8	
56	[1 100]	22.01	26.68	18.51	3.64	72.00	8	

Figura 21. Gráfica de los entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.

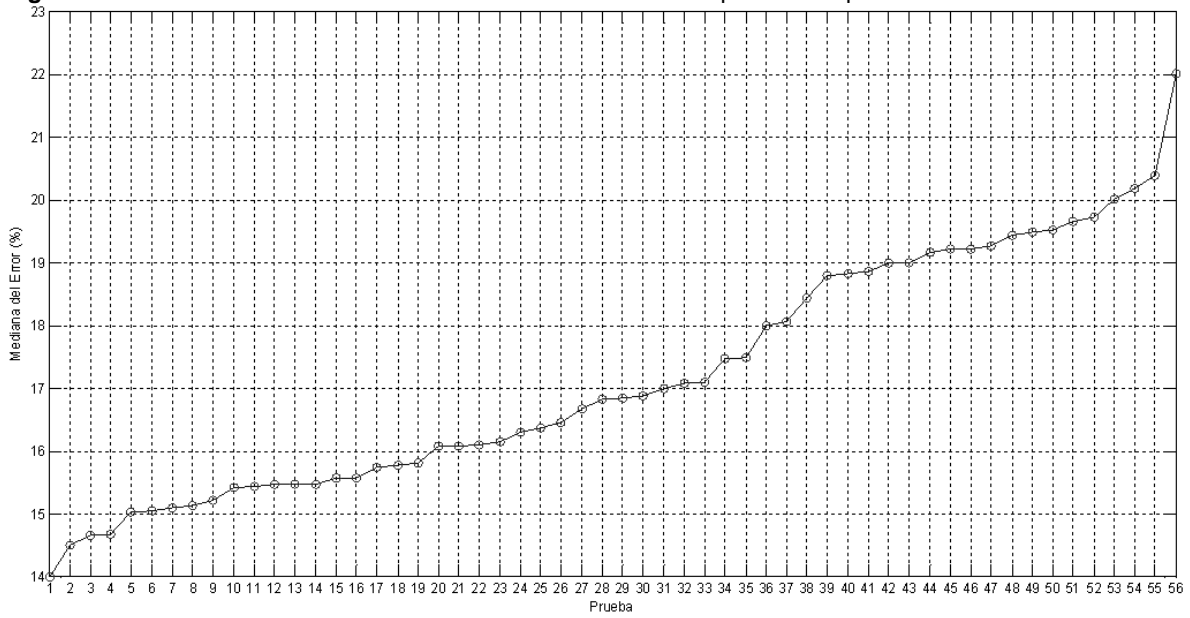
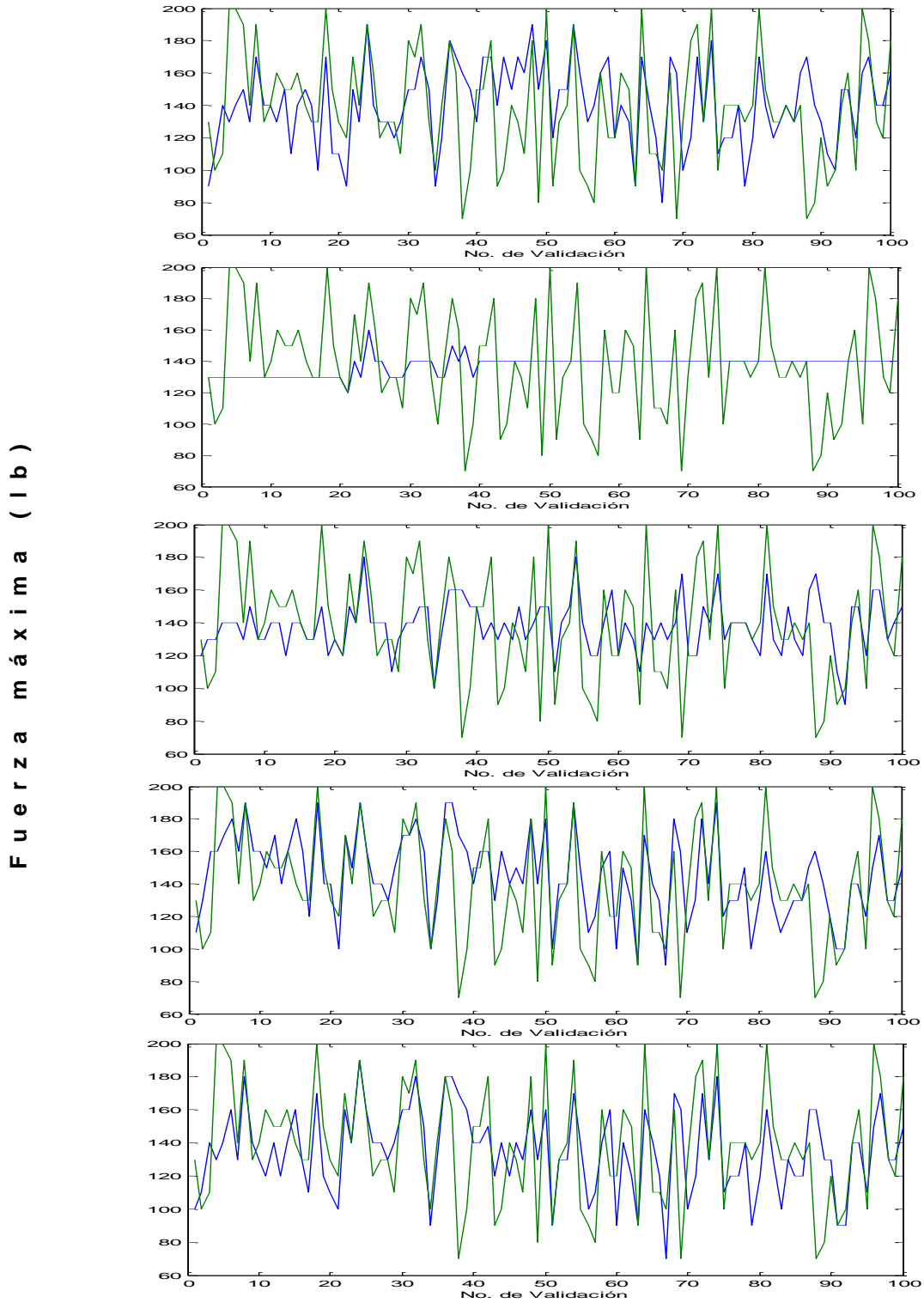


Figura 22. Seguimiento de la Red con capa ocultas de [50], [1 1], [3], [100], [50 30].



Nota: las líneas de color verde representan los valores deseados y las de color azul los valores calculados por las redes.

Según los resultados la mejor red MLP es aquella que tiene una sola capa oculta con cincuenta neuronas ([50]), esto debido a su buen seguimiento gráfico de las salidas...véase Figura 22..., posee el menor error de mediana igual a 14.00%, promedio de 19.35%, con una desviación estándar de 18.44%, error máximo de 75.17% y mínimo de 0.37%. Sin embargo, debido a que los resultados tenían una variación debido al muestreo aleatorio que se realiza en cada entrenamiento, se decidió crear un vector aleatorio de 1000 valores y usar ese vector para todas las pruebas. Además de ello los resultados no fueron promediados sino que se empleó la mediana de los resultados para evitar que fuesen alterados por los valores de errores muy altos, es decir, se empleó la mediana de las medianas de los entrenamientos, la mediana de los promedios, de las desviaciones, los mínimos y los máximos. A continuación los resultados:

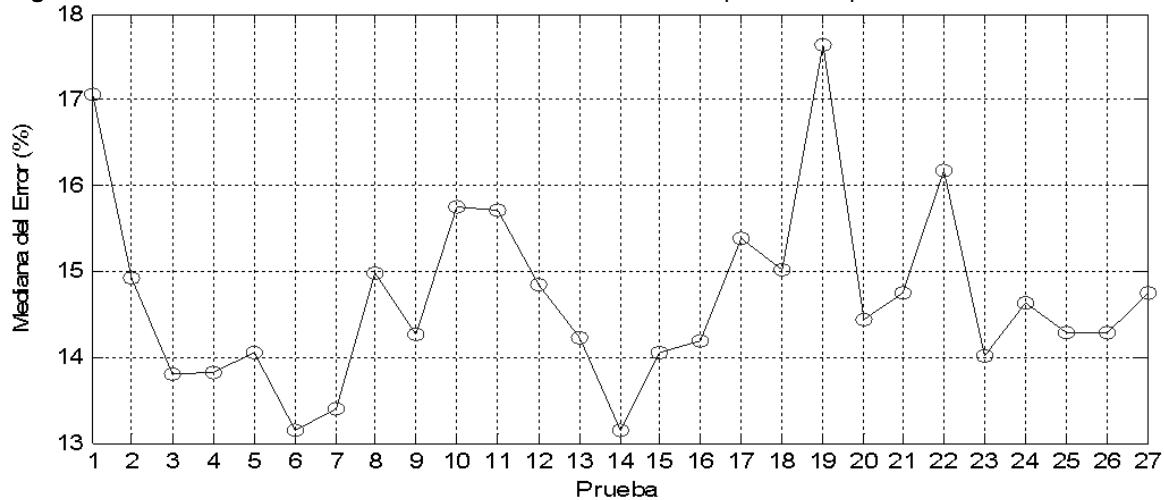
Cuadro 15. Entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.

Prueba	Vector de Capas ocultas	Error (%)					Tiempo de ent. (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.		
1	[1]	17.06	19.78	17.77	0.00	75.00	6	0
2	[3]	14.92	18.58	16.88	0.00	62.50	7	
3	[10]	13.81	18.32	15.55	0.00	59.03	7	
4	[20]	13.82	17.63	16.09	0.00	62.50	7	
5	[30]	14.05	18.63	17.29	0.00	62.50	7	
6	[50]	13.15	18.02	15.55	0.00	62.50	7	
7	[60]	13.39	18.32	17.70	0.00	66.25	7	
8	[70]	14.97	20.47	15.37	0.00	62.50	8	
9	[100]	14.26	18.62	16.98	0.00	62.50	8	
10	[50 1]	15.76	19.79	17.07	0.00	68.75	11	
11	[50 3]	15.71	19.15	15.69	0.00	62.50	11	
12	[50 10]	14.84	18.68	16.11	0.00	62.50	12	
13	[50 20]	14.23	18.27	14.89	0.00	61.25	12	
16	[50 30]	13.14	18.5	16.69	0.00	62.50	13	
14	[50 40]	14.05	18.37	14.67	0.00	62.02	14	
15	[50 50]	14.19	18.64	15.91	0.00	61.25	15	
17	[50 80]	15.38	19.61	15.18	0.00	62.50	16	
18	[50 100]	15.02	20.2	15.94	0.00	62.50	17	
19	[1 50]	17.65	20.74	17.17	0.00	75.00	11	
20	[3 50]	14.43	19.78	18.12	0.00	68.75	11	
21	[10 50]	14.74	19.32	14.68	0.00	62.50	12	
22	[20 50]	16.17	19.25	14.09	0.00	50.00	12	
23	[30 50]	14.01	18.6	15.02	0.00	62.50	12	

Cuadro 15. (Continuación)

Prueba	Vector de Capas ocultas	Error (%)					Tiempo de ent. (seg.)	Fallas
		Med.	Pro.	Des. Est.	Min.	Max.		
24	[100 50]	14.64	18.63	18.31	0.00	72.50	16	
25	[50 30 10]	14.29	18.03	13.72	0.00	55.00	16	
26	[50 30 30]	14.29	18.89	16.24	0.00	62.50	17	
27	[50 30 50]	14.74	18.8	15.28	0.00	62.50	17	

Figura 23. Gráfica de los entrenamientos cambiando las neuronas por cada capa oculta.



A partir de los resultados obtenidos se concluye que:

- Al medir el error por el promedio y por la mediana de los resultados, estos no variaron en más de un 1% y por esta razón no existen errores muy altos que estén alterando los resultados.
- Los mejores resultados se obtienen con redes de una sola capa oculta con 50 neuronas, es curioso que este número es muy cercano al número de muestras necesarias para representar la población por el peso...véase la Figura 15... Esto podría dar indicios para pensar en una relación entre el número de neuronas necesarias y el tamaño adecuado de la muestra.
- La red que obtuvo la menor mediana del error fue [50 30], sin embargo la diferencia son décimas, que en comparación con el tiempo necesario para el entrenamiento, resulta más eficiente la red con una capa oculta de 50 neuronas.
- A medida que las capas poseen menos neuronas el error se incrementa y cuando se aumentan las neuronas más allá de 50 el error también comienza a

incrementarse. El número de neuronas mínimo necesario para generar buenos errores ha de estar relacionado con la complejidad del sistema, ya que para una XOR una red con 2 neuronas en la capa oculta es más que suficiente para obtener un error cero.

- El error es mayor en las redes con menos de 50 neuronas comparado en aquellas que superan esta cantidad.
- A medida que se disminuyen el número de neuronas en la capa oculta, el valor que ellas arrojan parece acercarse a la media de las fuerzas máximas. Esto se constata en las gráficas de seguimiento...véase Figura 22....
- Cuando se disminuye el número de neuronas en la capa oculta esta comienza a arrojar solamente un valor, lo cual indica una pérdida de capacidades de generalización de la red.
- El incremento de capas también lleva a una pérdida de generalización si se realiza con muy pocas neuronas, pero al incrementar las neuronas por cada capa, se obtienen mejores resultados, aunque el tiempo de entrenamiento también se incrementa.

Con la estructura del MLP con una capa oculta de 50 neuronas (MLP) se realizaron nuevamente las pruebas, seleccionando diferentes combinaciones de las entradas, de igual manera se hace con las redes RBF, y la comparación de los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 16, el cual fue organizado teniendo en cuenta la mediana del error. En los resultados se aprecia como en los primeros lugares están las entradas más correlacionadas, debido a ello se decide tomar como mejor entrada la 1-2-3-6, que contiene las entradas más correlacionadas y una entrada medianamente correlacionada, que corresponden a: brazo derecho, peso, diámetro de pectoral, pierna derecha.

Se decidió realizar una visualización gráfica de la superficie realizada por la RBF después de ser entrenada con las entradas 1-7, la cual se muestra en la Figura 24. En esta figura las estrellas amarillas son las muestras de entrenamiento, las verdes son las de validación y los puntos azules son los centros de las RBF. Esta superficie fue generada normalizando las entradas y las salidas, por esto sus valores se encuentran entre 0 y 1.

Con las entradas 1-2-3-6 se realizaron las pruebas variando el número de muestras de entrenamiento y de validación, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 17. En este cuadro se observa como el mejor número de muestras para el entrenamiento es de 40 muestras y 30 para la validación. Lo cual se acerca a los valores sugeridos en las bibliografía...véase sección 1.2.1... en donde sugieren que sea un 50% de las muestras para el entrenamiento y el otro para la validación.

El tiempo de entrenamiento de las redes RBF se redujo notablemente, debido a que el error deseado para el algoritmo estaba en 0.0001% y se cambió por 0.1%, que es suficiente para el sistema en cuestión; con ello la red convergía en un tiempo más rápido y arrojaba mejores resultados, esto debido a que cuando tenía un error mucho menor que el necesario, la red se sobre-entrenaba para las muestras que se le entregaban y perdía capacidades de generalización.

Se realizaron además nuevas pruebas filtrando los datos, con lo cual se obtuvieron los resultados escritos en el Cuadro 18. Las gráficas del seguimiento se muestran en la Figura 25, donde la primera y la tercera gráfica corresponden a los resultados de una RBF con filtrado de 1.7 y 0.5 respectivamente, la segunda y la cuarta corresponden a los resultados arrojados por la MLP para los mismos filtrados. En las gráficas se nota como el filtrado suave (1,7 desviaciones estándar) ayuda a eliminar datos que incrementan el error, sin embargo cuando el filtrado ya es muy fuerte (0,5 desviaciones) reduce las capacidades de generalización de las redes.

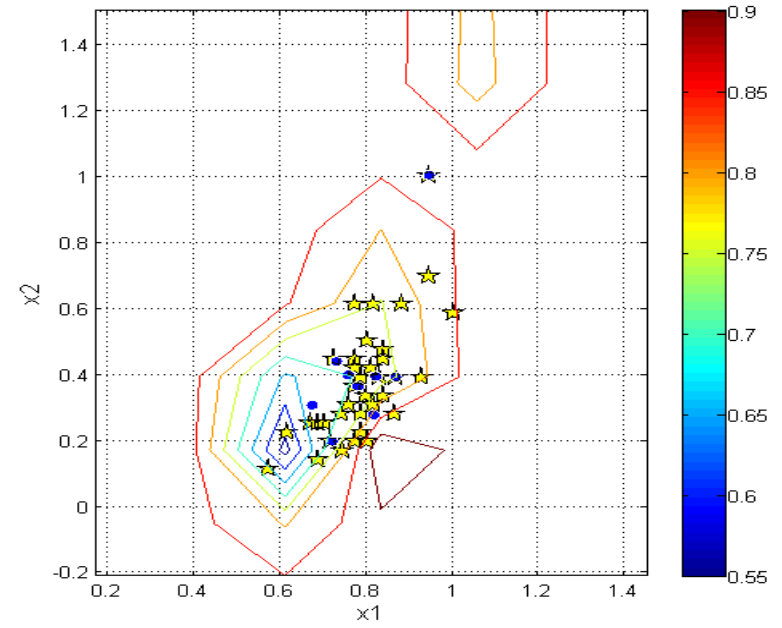
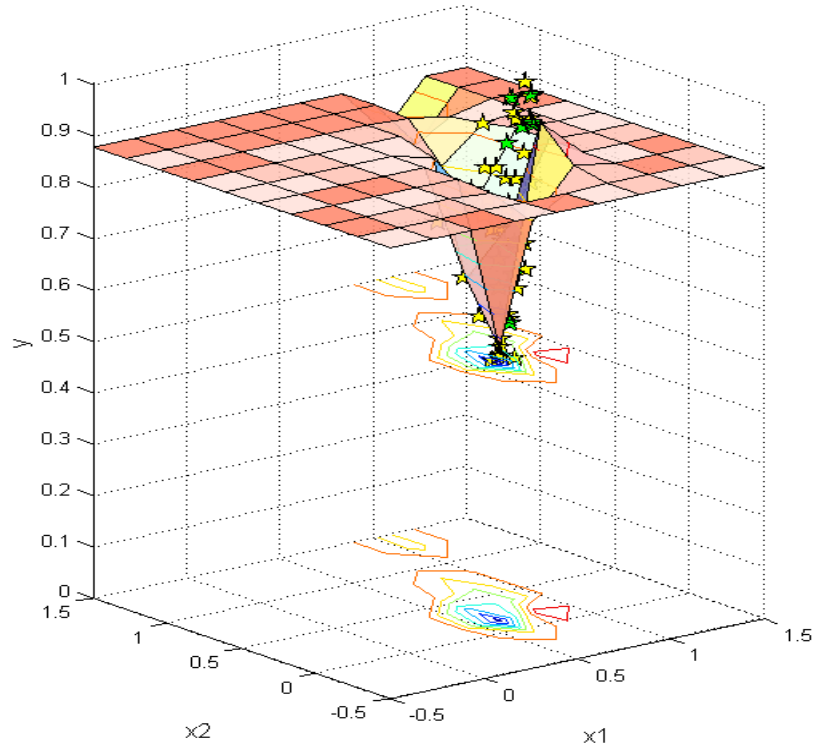
Cuadro 16. Entrenamientos para conocer las mejores entradas para las RNA.

Prueba	Entradas		Error (%)										Tiempo de Ent. (seg)		Fallas	
	RBF	MLP	Mediana		Promedio		Desv. Est.		Mínimo		Máximo		RBF	MLP	RBF	MLP
			RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP				
1	1-2-3-6	1-2-3-7	16.43	13.93	21.46	19.26	19.10	17.73	0.66	1.95	73.60	61.66	1	3	0	0
2	1-7-8-9	1-7	17.11	14.42	21.67	19.14	18.58	17.73	0.38	0.12	74.10	70.27	1	5	0	
3	1-2-6	1-2-6	17.33	14.89	22.78	19.04	21.09	17.69	0.26	1.12	84.90	60.72	1	3	0	
4	1-5-9	1-2-7	17.59	15.35	23.35	20.08	19.53	18.10	0.70	0.49	77.02	75.29	1	6	0	
5	1-4-5-6	1-2-3-6	18.62	15.81	22.81	20.35	19.03	17.92	0.24	1.47	75.38	61.84	1	5	0	
6	1-2-3-7	1-2-3-8	19.03	15.82	23.86	20.54	19.26	17.56	0.90	1.54	75.68	59.51	30	5	0	
7	1-6	1-6	18.55	15.87	23.51	20.54	18.97	17.28	2.61	2.76	76.31	61.01	16	5	100	
8	1-2-3-4	1	18.97	16.08	23.93	21.32	19.63	18.64	0.64	2.37	77.36	65.37	1	3	0	
9	1-2-7	1-2-9	18.59	16.38	23.91	21.40	20.95	19.46	0.78	1.18	82.44	67.78	15	3	0	
10	1-2-3-8	1-7-8-9	18.81	15.65	24.29	21.39	21.08	19.51	0.90	0.83	83.72	79.89	1	3	0	
11	1-7	1-3	18.81	16.30	24.13	21.67	20.38	19.96	2.86	0.29	85.56	84.21	26	6	101	
12	1-5	1-9	18.85	16.15	24.26	22.53	21.97	23.09	1.30	0.34	90.26	99.24	12	6	20	
13	1-2-3	1-4	19.04	17.11	24.63	21.54	20.64	16.90	0.78	2.44	80.82	57.26	1	5	0	
14	1-2-3-9	1-2-5	19.22	17.42	24.57	21.87	20.99	18.36	0.26	0.87	82.14	74.90	1	6	0	
15	1-9	1-2-3-5	19.09	17.17	25.00	22.30	23.15	19.79	0.61	0.91	112.23	81.73	34	6	42	
16	1-2-9	1-4-5-6	20.02	16.85	23.37	22.14	24.97	21.37	0.70	0.97	95.76	89.41	20	5	1	
17	1-2-3-5	1-5-9	19.69	16.72	24.27	23.04	19.60	22.60	0.92	0.67	76.74	95.97	1	5	0	
18	1-3	1-2-3-9	20.08	16.88	25.88	23.01	23.92	23.11	0.00	0.82	113.28	99.89	24	6	2	
19	1-4	1-2-3	20.70	18.01	26.39	21.33	21.30	16.63	2.78	2.85	87.00	58.15	20	3	82	
20	1-2-5	1-5	21.40	17.96	25.97	21.78	22.31	18.21	0.62	1.76	89.26	62.45	20	3	0	
21	1-8	1-2-8	20.95	17.79	26.75	22.55	22.43	19.08	3.71	2.78	93.92	66.14	20	5	120	
22	1-2-8	1-2-4	20.75	18.23	27.37	23.11	24.21	19.99	0.12	1.83	112.52	70.59	20	5	0	
23	2-3	1-2-3-4	21.70	18.57	27.48	22.15	24.45	16.29	0.14	3.17	115.32	56.37	12	3	4	
24	1-2	2-4	21.73	19.38	28.27	22.55	25.21	17.31	0.98	1.96	102.80	59.31	20	3	1	

Cuadro 16. (Continuación).

Prueba	Entradas		Error (%)										Tiempo de Ent. (seg)		Fallas	
	RBF	MLP	Mediana		Promedio		Desv. Est.		Mínimo		Máximo		RBF	MLP	RBF	MLP
			RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP				
25	1-2-4	1-8	22.05	19.29	28.11	23.31	25.20	17.74	0.12	4.07	118.28	62.53	30	3	0	
26	4-5	2	23.08	18.97	20.07	23.23	25.36	18.57	1.42	2.20	102.88	63.56	1	5	3	
27	2-4	1-2	23.43	18.72	28.76	22.81	24.85	18.71	0.24	2.28	119.02	64.93	26	3	2	
28	7-9	4-5	24.24	19.36	30.15	22.56	26.31	20.30	0.26	2.76	124.40	69.96	26	3	0	
29	4-6	2-3	25.97	19.50	30.97	23.68	23.69	18.95	2.64	3.01	92.98	66.22	20	5	21	
30	7-8	4	26.01	20.16	33.15	24.71	27.57	19.46	3.73	0.66	111.21	71.58	20	6	43	
31	9	5	28.71	20.12	32.50	25.58	14.18	21.35	18.75	3.38	76.45	73.66	20	5	580	
32	2	6	33.47	21.43	39.40	25.73	28.48	19.38	7.34	3.37	135.83	66.98	20	3	415	
33	8	7	NaN	20.51	NaN	26.03	NaN	19.98	NaN	3.47	NaN	67.07	-	5	-	
34	3	3	NaN	20.52	NaN	25.61	NaN	22.02	NaN	2.48	NaN	77.09	-	3	-	
35	5	4-6	NaN	21.37	NaN	25.94	NaN	20.36	NaN	1.37	NaN	80.42	-	5	-	
36	7	7-9	NaN	20.54	NaN	27.52	NaN	26.27	NaN	0.80	NaN	108.25	-	5	-	
37	1	7-8	NaN	22.09	NaN	20.56	NaN	19.77	NaN	3.37	NaN	66.40	-	5		
38	4	9	NaN	21.66	NaN	26.58	NaN	20.98	NaN	1.14	NaN	79.34	-	6		
39	6	8	NaN	22.84	NaN	27.87	NaN	20.96	NaN	3.47	NaN	71.44	-	5		

Figura 24. Superficie generada por la RBF con las entradas 1 y 7.



Cuadro 17. Entrenamientos empleando las 70 muestras sin filtrar.

Prueba	Datos		Error (%)										Tiempo de Entr. (seg.)		Fallas	
	Ent.	Val.	Mediana		Promedio		Desv. Est.		Mínimo		Máximo		RBF	MLP	RBF	MLP
			RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP				
1	5	10	-	20.49	-	24.49	-	19.14	-	1.74	-	63.86	-	1	-	0
2	10		21.83	19.43	25.36	22.17	17.52	15.74	3.96	2.53	61.04	53.80	1	3	0	
3	20		18.23	15.08	22.36	19.43	18.30	17.29	1.52	1.61	62.84	58.84	1	3	0	
4	30		15.06	17.08	19.75	21.59	17.33	17.15	1.78	2.00	57.24	29.75	1	9	0	
5	40		15.62	14.50	19.03	19.08	14.94	16.88	1.46	1.69	50.64	57.76	2	9	1	
6	50		16.20	14.39	19.47	18.89	14.98	16.62	1.76	1.98	51.34	57.31	2	7	0	
7	60		15.01	14.35	18.38	19.00	14.80	16.54	1.04	1.53	48.52	57.15	2	14	0	
8	5	20	-	22.25	-	27.26	-	21.92	-	0.70	-	85.78	-	2	-	
9	10		21.72	16.70	24.67	21.77	18.29	20.85	1.22	0.62	70.32	87.45	1	2	0	
10	20		17.85	14.87	22.56	19.29	18.97	18.32	0.84	0.22	73.69	76.79	1	3	2	
11	30		15.79	14.98	20.62	19.42	18.22	18.76	0.00	0.35	69.98	79.28	1	5	0	
12	40		15.51	14.62	20.25	18.89	18.14	17.56	0.22	0.46	73.12	73.51	2	9	0	
13	50		15.08	14.40	19.70	19.25	16.95	17.58	0.24	0.62	64.84	72.99	2	7	0	
14	5	30	-	19.71	-	24.92	-	22.96	-	0.13	-	101.77	-	1	-	
15	10		20.43	18.59	24.65	23.49	19.09	20.63	0.76	0.11	79.80	90.93	1	3	0	
16	20		17.65	14.93	22.39	19.85	20.02	18.99	0.14	0.10	87.10	87.26	1	3	0	
17	30		16.55	16.82	20.95	21.21	18.40	18.30	0.26	0.53	80.40	82.96	1	5	1	
18	40		15.34	13.95	20.05	18.69	18.49	18.69	0.00	0.00	80.58	88.37	1	6	1	
19	5	40	-	23.21	-	29.17	-	24.97	-	0.12	-	113.18	-	1	-	
20	10		18.72	16.00	23.77	20.80	19.86	19.87	0.12	0.00	86.92	96.27	1	2	0	
21	20		17.07	16.98	21.97	21.66	19.27	20.12	0.00	0.00	85.70	100.04	1	3	1	
22	30		15.56	14.41	20.78	20.52	20.05	19.25	0.00	0.00	91.54	97.78	1	8	2	
23	5	50	-	19.58	-	24.83	-	22.97	-	0.00	-	120.15	-	1	-	
24	10		19.32	18.38	23.57	23.64	19.09	22.09	0.14	0.11	88.58	115.27	1	2	1	
25	20		17.05	16.84	21.51	21.17	19.06	19.54	0.00	0.10	91.56	107.46	1	6	0	
26	5	60	-	18.66	-	23.89	-	21.59	-	0.17	-	116.43	-	1	-	
27	10		20.31	18.57	24.34	23.72	19.53	21.89	0.00	0.00	92.94	121.72	1	2	0	

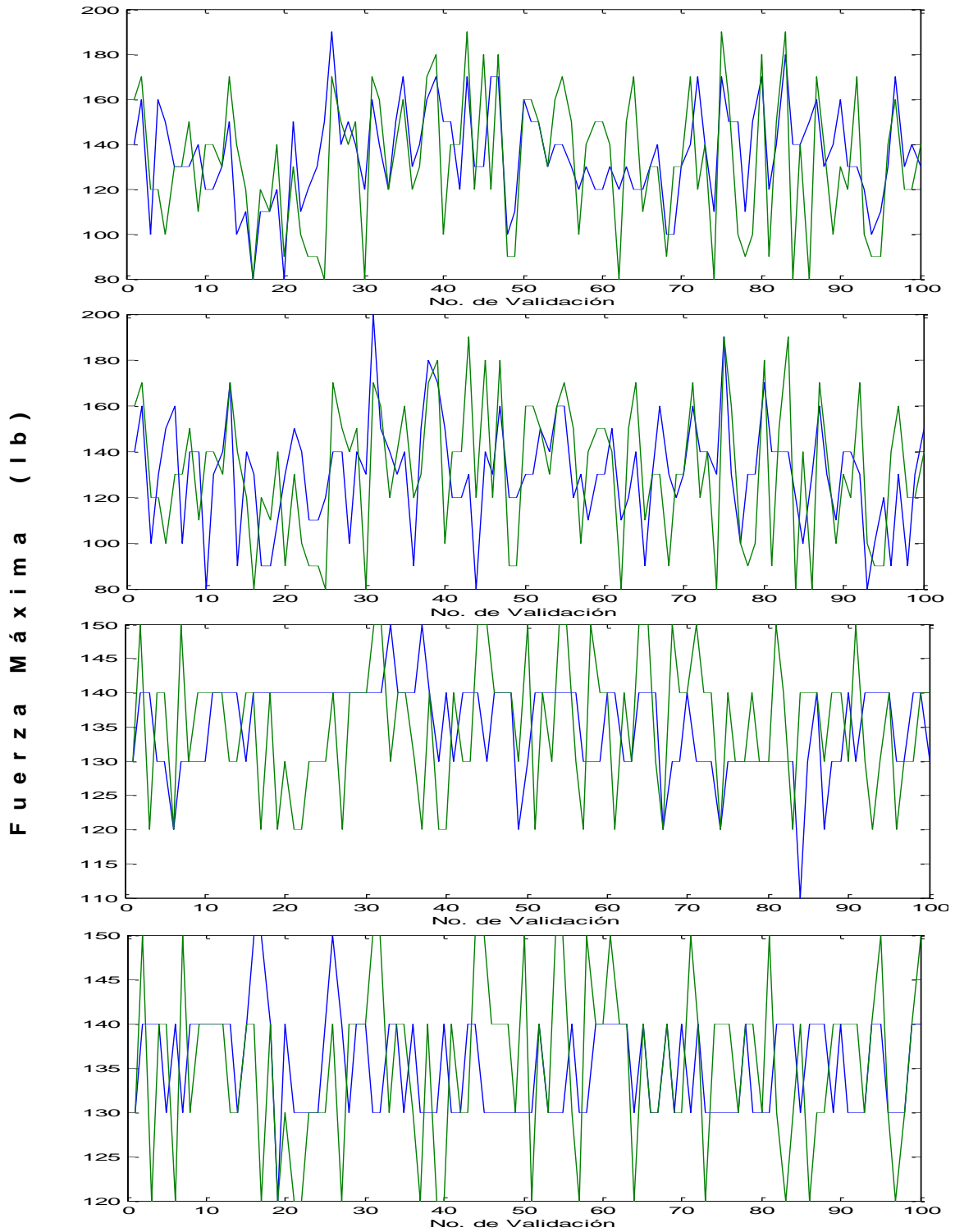
Cuadro 18. Entrenamientos variando el filtrado de las muestras.

Prueba	Filtrado por Desv. Est.	Datos		Error (%)										Tiempo de entr. (seg)		Fallas
		Ent.	Val.	Mediana		Promedio		Desv. Est.		Mínimo		Máximo		RBF	MLP	
				RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP			
1	0.5(17lb)	18	10	6.66	7.18	7.00	7.72	5.38	5.56	0.28	0.42	15.68	17.43	1	6	0
2	0.7(24lb)	22		7.12	6.68	7.66	7.32	5.82	6.62	0.14	0.00	17.36	20.49	1	3	
3	0.9(30lb)	25		8.32	7.92	9.72	9.54	6.79	7.80	1.18	0.15	22.36	24.56	1	8	
4	1(33lb)	32		10.10	10.39	11.03	12.18	8.18	8.90	0.00	1.25	25.90	29.14	1	5	
5	1.1(40lb)	37		13.71	11.52	15.40	14.21	10.47	10.91	1.76	0.86	35.64	35.14	2	13	
6	1.3(44lb)	44		13.53	12.26	15.08	15.06	11.04	10.92	1.06	1.85	37.54	36.92	2	7	
7	1.5(51lb)	50		14.65	15.19	17.08	20.25	12.04	18.42	1.78	1.82	40.00	63.20	3	10	
8	1.7(58lb)	55		14.95	14.10	18.19	17.56	13.03	14.81	2.60	0.81	44.18	49.64	3	17	
9	2(70lb)	60		17.56	14.32	20.56	19.17	16.07	18.32	2.12	1.28	54.66	62.55	3	9	
10	0.5(17lb)	8	20	7.43	8.17	7.10	9.16	5.56	7.68	0.00	0.14	17.42	29.07	1	1	
11	0.7(24lb)	12		7.79	7.47	8.71	8.33	6.47	7.10	0.00	0.00	21.50	25.19	1	2	
12	0.9(30lb)	15		8.33	8.94	9.64	10.95	7.34	9.03	0.00	0.00	24.44	33.66	1	5	
13	1(33lb)	22		9.78	8.91	11.10	11.18	8.31	9.03	0.00	0.00	29.94	32.11	1	3	
14	1.1(40lb)	27		12.70	11.54	14.93	14.46	11.76	11.47	0.38	0.12	43.18	40.46	1	5	
15	1.3(44lb)	34		12.04	11.84	14.63	14.60	11.56	11.75	0.12	0.13	43.16	42.81	2	5	
16	1.5(51lb)	40		13.99	13.91	16.82	17.17	12.98	13.01	0.38	0.50	48.08	46.36	2	12	
17	1.7(58lb)	45		14.83	13.22	18.20	16.22	14.20	12.76	0.14	0.13	53.68	46.91	2	7	
18	2(70lb)	50		16.21	13.64	20.48	19.38	17.97	20.17	0.56	0.22	71.58	85.59	1	7	
19	0.9(30lb)	5	30	-	9.36	-	11.67	-	9.01	-	0.14	-	32.86	-	1	
20	1(33lb)	12		10.18	9.17	11.90	11.00	8.81	8.89	0.00	0.00	31.56	32.50	1	7	
21	1.1(40lb)	17		12.94	12.74	15.18	15.29	11.78	11.67	0.14	0.12	45.80	42.41	1	4	
22	1.3(44lb)	24		13.29	11.93	15.92	15.09	12.85	12.40	0.00	0.00	51.04	47.11	1	4	
23	1.5(51lb)	30		13.76	13.79	17.10	16.46	13.70	12.47	0.00	0.37	53.60	46.09	2	13	
24	1.7(58lb)	35		14.68	14.87	18.24	18.70	15.06	15.32	0.00	0.10	59.60	62.35	2	6	
25	2(70lb)	40		15.15	13.89	20.07	19.63	18.07	20.54	0.26	0.00	78.56	98.81	2	6	
26	1.1(40lb)	7	40	14.19	15.38	16.74	17.52	12.83	13.35	0.00	0.14	49.82	52.35	1	3	
27	1.3(44lb)	14		14.34	13.74	16.26	16.72	12.20	13.18	0.00	0.00	49.70	49.89	1	5	

Cuadro 18. (Continuación)

Prueba	Filtrado por Desv. Est.	Datos		Error (%)										Tiempo de entr. (seg)		Fallas
		Ent.	Val.	Mediana		Promedio		Desviación Estándar		Mínimo		Máximo		RBF	MLP	
				RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP	RBF	MLP			
28	1.5(51lb)	20	50	14.82	13.38	17.88	16.55	14.11	12.95	0.12	0.00	55.04	49.03	1	3	0
29	1.7(58lb)	25		14.99	15.18	19.48	19.01	16.73	15.56	0.00	0.00	70.42	65.00	1	8	
30	2(70lb)	30		15.39	15.09	20.53	19.40	19.39	18.53	0.00	0.00	88.72	93.61	1	4	
31	1.3(44lb)	4		-	15.46	-	18.10	-	13.98	-	0.00	-	55.22	-	1	
32	1.5(51lb)	10		17.17	14.31	19.46	17.53	14.53	13.97	0.00	0.00	56.83	52.55	1	2	
33	1.7(58lb)	15		16.79	16.75	20.16	19.48	16.40	15.38	0.00	0.14	72.06	67.16	1	5	
34	2(70lb)	20		16.79	14.90	22.04	20.14	20.23	21.43	0.00	0.00	96.04	122.08	1	3	
35	1.7(58lb)	5	60	-	17.13	-	21.14	-	17.09	-	0.00	-	76.69	-	1	
36	2(70lb)	10		19.50	18.02	23.22	23.71	18.61	21.98	0.00	0.00	90.80	121.42	1	3	

Figura 25. Seguimiento MLP y RBF filtrados.

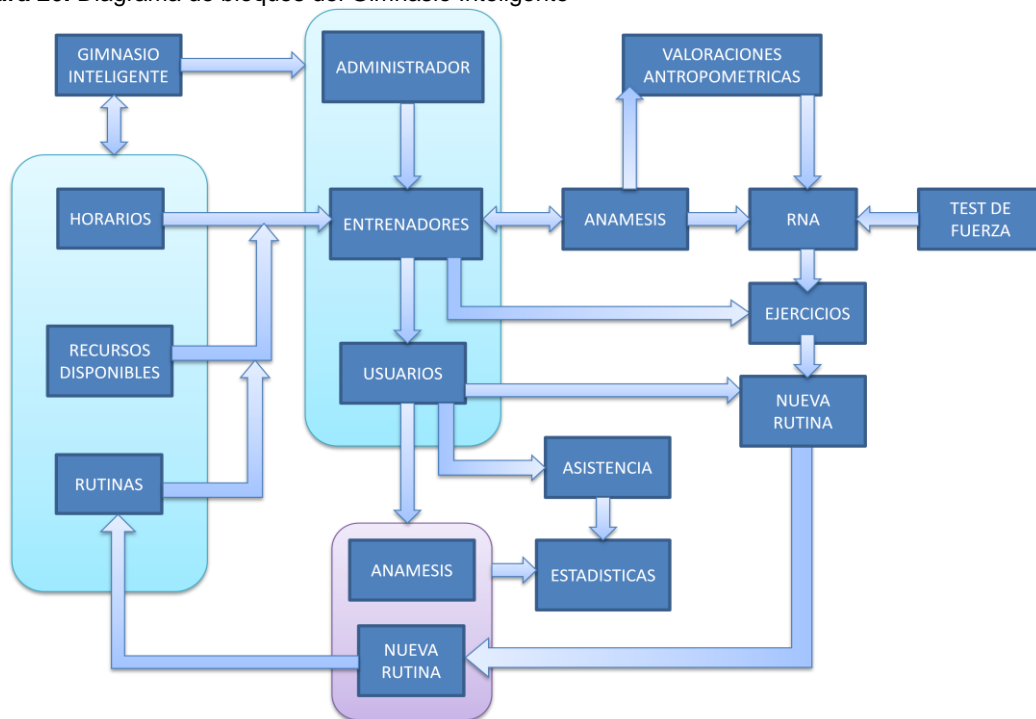


2.5 SELECCIÓN DE SOFTWARE Y DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

Para la elaboración del trabajo se empleó Matlab, un software de desarrollo especializado en operaciones matriciales; se estudió la programación orientada a objetos de una poderosa herramienta para la realización de interfaces gráficas de Matlab llamado GUIDE; y se profundizó sobre desarrollo de códigos vectorizados matriciales y celulares (con variables llamadas celdas), que consisten en realizar algoritmos cambiando las funciones cíclicas (como for y los while) por operaciones matriciales, lo que permitió realizar algoritmos que trabajan a velocidades sorprendentes... para mayor información de la interfaz véase el Anexo A...

Con base a la información sobre el funcionamiento del LEDRF...véase sección 2.2..., se desarrolló una herramienta virtual útil para todos los aspectos del gimnasio (no solo en la creación de PAF); En la Figura 26, se aprecia un diagrama de bloques del funcionamiento del software denominado “Gimnasio Inteligente”, que a continuación se detallarán:

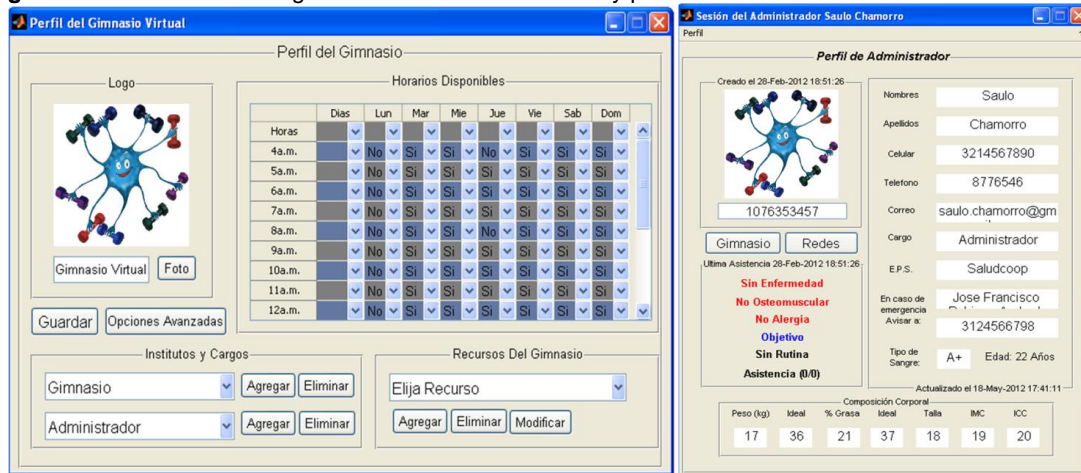
Figura 26. Diagrama de bloques del Gimnasio Inteligente



2.5.1 Creación del Gimnasio Inteligente. Un gimnasio cuenta con horarios de trabajo, recursos físicos y humano (personal con diferentes autorizaciones y deberes), usuarios y evaluación del rendimiento debido a ser prestador de un

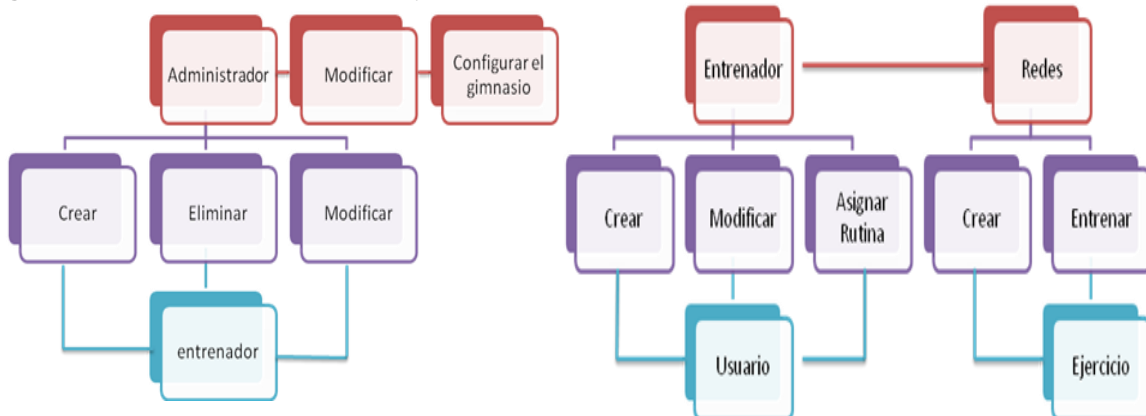
servicio, así el Gimnasio Inteligente brinda una sección para establecer horarios de trabajo, recursos disponibles y almacenamiento de bases de datos para los usuarios.

Figura 27. Ventana de Configuración del Gimnasio Virtual y perfil del administrador



2.5.2 Diferentes tipos de sesiones. Dentro de un gimnasio se manejan diferentes niveles de permisos, por la jerarquía entre el administrador, los entrenadores y usuarios. Este software permitirá:

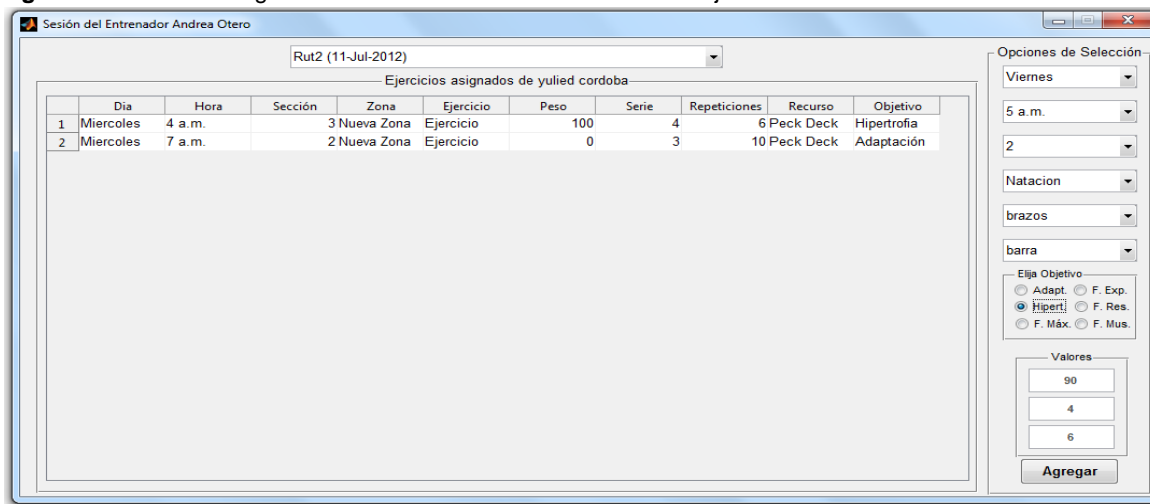
Figura 28. Funciones del administrador y el entrenador



Crear un administrador...véase Figura 28..., con permiso para modificar sus propios datos, crear, modificar y eliminar los entrenadores, eliminar usuarios, modificar el perfil del gimnasio (horarios disponibles, recursos, instituciones y carreras inscritas, configuraciones de los registros, asistencia y opciones avanzadas); cada entrenador cuenta con permiso para modificar sus propios datos, crear y modificar datos de usuarios (Anamnesis y rutinas), crear y entrenar redes.

2.5.3 Monitoreo de disponibilidad. Además el software permite monitorear la disponibilidad del gimnasio y los recursos, por días, horas y recursos, a través de tablas donde se observa las cantidades de inscritos y asistentes, a un horario o ejercicio.

Figura 29. Ventana del gestor de rutinas mostrando el uso de los ejercicios.



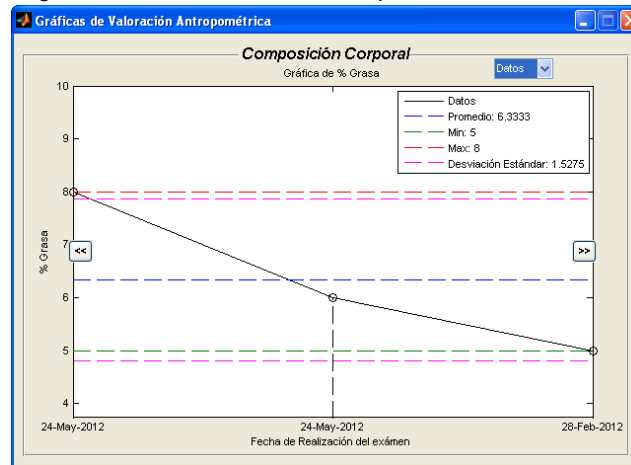
2.5.4 Creación de rutinas. Función desarrollada por los entrenadores, que se basan en su experiencia y conocimientos, para asignar ejercicios y pesos correspondientes a estos para ser ejecutados por los usuarios, se permitirá la creación de rutinas y su modificación ante eventualidades.

En esta sección los entrenadores pueden elaborar rutinas eligiendo los ejercicios creados; si las redes del ejercicio se encuentran entrenadas, el programa mostrará los valores recomendados de acuerdo a los objetivos, de lo contrario, permitirá al entrenador asignar el peso manualmente; las rutinas también son registradas y actualizadas (en el LEDRF-Altius se actualiza bimensualmente) con ejercicios diferentes a los anteriores para que exista variedad.

Entrenamiento de ejercicios usando MLP y RBF: para mejorar la interacción del entrenador con el entrenamiento de las RNA, se permite una cantidad de parámetros ajustables (elección entre dos RNA MLP o RBF, entradas seleccionables, creación de zonas específicas, entre otros), esto con el fin de que el entrenador aprenda más sobre el funcionamiento de la red para que sea más eficiente, como también se permite la visualización de graficas como son convergencia del error, correlación entre entradas y 1RM y tabla de varias redes entrenadas con cada estimación individual, mediana general y error. De tal manera que el entrenador pueda evaluar si las fuerzas calculadas están muy en desacuerdo entre sí, lo cual no necesariamente asegura que los resultados sean exactos, pero brinda mayor confianza a la hora de tomar una decisión.

2.5.5 Estadísticas de gimnasio y usuarios. Contiene una sección de estadísticas que entre otras cosas permite crear y visualizar base de datos de la asistencia de los usuarios, empleo de recursos, disponibilidad, posibilitando evaluar al gimnasio en cuanto a su cobertura, progreso y eficiencia que ha alcanzado, dejando ver la demanda de los recursos, mediante el uso de filtros y diagramas, clasificando los usuarios como los inscritos y asistentes (quienes asisten actualmente), esto facilita la elaboración de informes en caso de ser necesario. También el software permite visualizar un historial gráfico de las valoraciones antropométricas de los usuarios, como una herramienta de visualización del progreso del estado físico a través del tiempo.

Figura 30. Gráficas de seguimiento de la valoración antropométrica del usuario.



2.5.6 Seguridad. Se emplean contraseñas que brindan seguridad a la información que contiene el programa; también se solicita un permiso del administrador para eliminar una red, ya que ello significaría perder gran cantidad de trabajo e información, se eliminarían los test de fuerza con los que fue entrenado ó bien podría modificarse información de un usuario de forma accidental. Tanto el administrador como los entrenadores cuentan con contraseñas, además cada acción queda registrada (bien sea crear, eliminar o modificar), por ejemplo se almacena cuál entrenador modificó determinada información de un usuario y en qué momento.

Figura 31. Solicitando contraseña para eliminar recursos



3. CONCLUSIONES

- Se cumplieron a cabalidad los objetivos, demostrando que mediante la Inteligencia Artificial es posible personalizar los Programas de Acondicionamiento Físico (PAF) empleando de sistemas inteligentes que relacionan las características particulares de las personas con la fuerza máxima ejercida en un determinado ejercicio, creando así PAF basándose en sus medidas.
- Con el fin de obtener menores errores, debe seguirse un procedimiento más estricto de obtención de los test de fuerza, ya que en este caso se elevaron algunos errores debido al desconocimiento de ciertas precauciones que afectaron los resultados.
- Los resultados obtenidos pueden mejorarse si se trabajan con personas cuyas características sean menos diversas, ya que para estos entrenamientos se tomaron muestras de hombres sin tener distinción de edad ni nivel deportivo; dichas características ejercen una gran variación en la fuerza máxima, que dificultan que las redes tengan los errores deseados.
- Las herramientas brindadas por el software Matlab, como el GUIDE, las operaciones matriciales y celulares (con celdas), facilitaron en gran medida la creación de la interfaz gráfica y permitieron desarrollar los algoritmos muy eficientes en cuanto a las velocidades de procesamiento.
- Se elaboró el software con la flexibilidad y seguridad propuesta en los objetivos, ya que es posible adaptarlo a cualquier gimnasio y mediante contraseñas protege la información de una modificación o eliminación accidental.
- Se realizó una ayuda didáctica en forma de un manual escrito que brinda la información suficiente para el aprendizaje sobre el funcionamiento del sistema, el cual fue validado por los entrenadores del LEDRF-Altius.
- Tanto la estructura MLP como la RBF, brindaron buenos resultados en cuanto al error deseado, además cada una tiene ciertas características interesantes, como la gran velocidad de procesamiento de las RBF y el bajo costo computacional del MLP.

4. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Emplear RNA de Mapas Auto-Organizativos con el fin de clasificar los estudiantes en grupos según algunas características físicas; y emplear dichos grupos como muestras de entrenamiento para las redes MLP o RBF, con lo que podrían disminuirse los errores en los resultados.
- Este programa puede ser empleado por el laboratorio de Evaluación y Desarrollo del Rendimiento Físico (LEDRF-Altius), como una herramienta virtual que permita predecir capacidades físicas de una persona a partir de sus características físicas, por ejemplo, estimar los resultados para test de velocidad o de salto.
- Emplear el sistema como herramienta virtual de aprendizaje de sistemas inteligentes para los grupos de investigación de ingeniería electrónica, realizando trabajos interdisciplinarios con el programa de educación física. Y teniendo en cuenta que las RNA pueden establecer relaciones entre múltiples variables, pueden encontrarse aplicaciones en muchos programas como economía, medicina, psicología, administración, acuicultura, pedagogía, lenguas, etc.
- Por cuestiones de tiempo, no se pudo hacer mucho énfasis en los parámetros de velocidad de aprendizaje, ni en los algoritmos que evitan caer en mínimos locales, así se podrían dar pasos importantes para el desarrollo de las RNA.
- El código vectorizado brinda altas velocidades de procesamiento, pero es más costoso computacionalmente que el código cíclico; y cuando el número de muestras y el número de entradas van incrementando, se necesitan computadores con capacidades muy grandes para poder ejecutar los códigos; en busca de aliviar ello, se podría realizar una codificación híbrida de los algoritmos que tenga las potencialidades ambos.
- Realizar un sistema inteligente que combine las capacidades de las redes RBF y el MLP, lo cual podría ser una red RBF con múltiples capas, o un MLP con funciones basadas en radios.
- Realizar un estudio más profundo, sobre la cantidad de neuronas necesarias, el tamaño de la muestra adecuado necesario para que una red pueda tener buenas capacidades de generalización y si existe una relación alguna entre ellos.
- En busca de implementar del software, se gestionó con los encargados de la venta de Matlab en Colombia, quienes recomendaron la compra de la licencia del compilador por parte de la Universidad, con el que podrían crear ejecutables de forma ilimitada para ser instalados en cualquier computador dentro del campus universitario. Con un costo de 2 millones para las instituciones educativas, lo cual resulta ser una adquisición muy beneficiosa en pro del desarrollo académico y tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

BOMPA, Tudor. Periodización del Entrenamiento deportivo, Editorial Paidotribo, Segunda Edición 2005. 205 p.

HAYKIN, Simon. Neural Network a comprehensive foundation, second edition, Prentice Hall, 1999. 790 p.

IRIARTE, Cristian. Entrenamiento para la salud y la estética. GrupoSobrentrenamiento. 216 p.

PONCE CRUZ, *Pedro. Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería, Editorial AlfaOmega, 2010. 376 p.*

RODRIGO FARINHA. Introducción a la Estadística. Conceptos básicos teórico y práctico. Primera Edición, 2010. 30 p.

TREVOR HASTIE, et al. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Segunda Edición, 2009. 700 p.

ANEXO A. MANUAL DE USUARIO

ANEXO B. ANAMNESIS

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESAROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
 DEPARTAMENTO DE EDUCACION FISICA
 AREA ENTRENAMIENTO DEPORTIVO
 2010



ANAMNESIS

ALTIUS

I. INFORMACION PERSONAL FECHA:

CODIGO	CARRERA	SEMESTRE
--------	---------	----------

	APELLIDOS	NOMBRES	
	No. IDENTIFICACION	FECHA DE NACIMIENTO	EDAD
	LUGAR DE NACIMIENTO	M	F
	DIRECCION RESIDENCIA		TELÉFONO CASA
	CELULAR	E-MAIL	
	EMPRESA DONDE LABORA	CARGO	TELÉFONO
	EPS	N° DE DOCUMENTO	
	EN CASO DE EMERGENCIA AVISAR A:	TELÉFONO / CELULAR	

II. HISTORIAL DEPORTIVO

DEPORTE - CATEGORIA	TIEMPO DE PRACTICA - AÑOS	ENTRENADOR
---------------------	---------------------------	------------

NIVEL DE COMPETICION (local - regional - nacional)

DIAS DE PRACTICA DE SU DEPORTE:

L	M	Mi	J	V	S	D
---	---	----	---	---	---	---

HORARIOS DE PRACTICA:

--	--	--	--	--	--	--	--

DURACION DIARIA: _____ Min DURACION SEMANAL: _____ Min

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESAROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

OTROS DEPORTES O PRACTICAS FISICAS				
MODALIDAD	TIEMPO DE PRACTICA	DIAS DE PRACTICA	HORARIO	ENTRENADOR

DIAS DE PRACTICA EN GIMNASIO - HORARIO:

L M MI J V S D

HORARIO DE ENTRENAMIENTO EN GIMNASIO:

--	--	--	--	--	--	--

DURACION DIARIA: _____ Min DURACION SEMANAL: _____ Min

OBJETIVOS - EXPECTATIVAS DE SU PRATICA EN EL GIMNASIO?

III. HISTORIAL MEDICO

1. Fecha del último examen médico _____
 Fecha de la última prueba de acondicionamiento físico _____
2. Indique la última operación a la que haya sido sometido.

Tipo de operación	
Mes y año de la hospitalización	
Nombre del hospital o clínica.	

3. Si usted es alérgico a algún medicamento, alimento u otras sustancias, indíquelo:

4. Señale que enfermedad le ha sido diagnosticada o está siendo tratada por un médico:

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESARROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

5. ¿Le han recetado actualmente algún tipo de medicamento? SI NO
 ¿Cual? _____

6. ¿Padece algún problema osteomuscular que pudiera empeorar con el ejercicio? SI NO
 ¿Cual? _____

7. ¿Ha sido tratado algún miembro de su familia de alguna de las enfermedades siguientes, o se ha sospechado que padecía alguna de ellas? Indique por favor, su grado de parentesco con usted (padres, hermanos, etc.)

A. Diabetes _____

B. Enfermedad del corazón _____

C. Apoplejía _____

D. Tensión arterial alta _____

IV ESTILO DE VIDA

1. ¿Ha fumado alguna vez cigarrillos, puros o pipa? SI NO
 ¿Fuma usted actualmente? SI NO

Cigarrillos al día. ¿A qué edad comenzó usted a fumar? _____ años.

Puros al día. Si ha dejado de fumar, ¿Cuándo lo hizo? _____

Pipa al día. _____

2. Durante el mes pasado, ¿Cuántos días tomó usted bebidas alcohólicas? _____ días.
 Durante el mes pasado, ¿Cuántas veces tomó usted 5 o más bebidas por ocasión? _____ veces.
 En promedio, ¿Cuántas cervezas, vino o licor consume usted a la semana?

Cerveza _____ Botellas o latas.

Aguardiente _____ copas

Vino _____ copas

Otros _____

3. Fuera de su práctica deportiva, ¿Se ejercita usted vigorosamente de forma regular? SI NO
 ¿En que actividades participa usted de forma regular? _____

4. ¿Qué come ud regularmente?

<input type="checkbox"/> Desayuno.	<input type="checkbox"/> Onces.
<input type="checkbox"/> Medias nueves.	<input type="checkbox"/> Cena.
<input type="checkbox"/> Almuerzo.	<input type="checkbox"/> Algo después de la cena.

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESARROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

5. ¿En que lugar consume sus alimentos?
- Casa
 Amigos
 Restaurante Universidad
 otros _____
 Familiar
6. ¿Cuál es el tamaño de las raciones que toma ud normalmente?
- Pequeño
 Moderado
 Grande
 Muy grande
 Incierto
7. ¿Con cuanta frecuencia repite ud los platos?
- Siempre
 Normalmente
 Algunas veces
 Nunca
8. ¿Cuánto tiempo demora en consumir una comida?----- min-----
9. ¿Come ud mientras ve television, lee, trabaja, Etc....? SI NO
10. Señale los alimentos que regularmente consume en el día
- | ALIMENTOS CONSTRUCTORES | | ALIMENTOS ENERGETICOS | |
|--|-------------------------------------|---|--|
| Frutas <input type="checkbox"/> | Hortalizas <input type="checkbox"/> | Cereales y productos derivados <input type="checkbox"/> | |
| Leche y sus derivados <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Tubérculos y plátanos, almidones y azucars <input type="checkbox"/> | |
| Carnes <input type="checkbox"/> | Huevos <input type="checkbox"/> | Aceitres y grasas <input type="checkbox"/> | |
| Leguminosas y mezclas vegetales <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <u>OTROS</u> | |
| <u>ALIMENTOS REGULADORES</u> | | Pasteles, empanadas <input type="checkbox"/> | |
| Hortalizas <input type="checkbox"/> | Verduras <input type="checkbox"/> | Comida chatarra <input type="checkbox"/> | |
| Frutas <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Gaseosas <input type="checkbox"/> | |
| | | Café <input type="checkbox"/> | |
11. ¿Con que frecuencia consume alimentos fritos? _____ Veces a la semana
12. ¿Sala ud su comida en la mesa? SI NO
- Antes de probarla
 Despues de probarla

DECLARO QUE MIS RESPUESTAS SON COMPLETAS Y VERDADERAS

NOMBRE	
DOC. DE IDENTIDAD.	
FIRMA	

	ELABORACION	REVISADO Y APROBADO POR
Nombre y apellidos		Saulo Andres Chamorro Burbano
Cargo		Coordinador
Fecha		
Firma		

**LABORATORIO DE EVALUACION Y DESAROLLO DEL
RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)**

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
DEPARTAMENTO DE EDUCACION FISICA
AREA ENTRENAMIENTO DEPORTIVO
2010



ALTIUS

VALORACION ANTROPOMETRICA

SIGNOS VITALES

FECHA			
F. C. (lat / min)			
F. R. (Res. / min)			
T. A. (mm / hg)			
T. (°c)			

DIAMETROS OSEOS (cms)

FECHA			
Biepicondilar humeral			
Radiocubital			
Biepicondilar femoral			

PLIEGUES CUTANEOS (cms)

FECHA			
Subescapular			
Tricipital			
Bicipital			
Abdominal			
Suprailiaco			
Supraespinoso			
Medioaxilar			
Muslo			
Pierna			
Pectoral			

COMPOSICION CORPORAL

FECHA			
PESO (kg)			
TALLA (m)			
IMC			
ICC			
% GRASA			
SOMATOTIPO			

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESAROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

MEDIDAS CORPORALES

FECHA				
Pectoral				
Abdomen				
Cadera				
Muslo	D			
	I			
Pierna	D			
	I			
Brazo	D			
	I			
Antebrazo	D			
	I			
Muñeca	D			
	I			

FECHA: _____

FECHA: _____

FECHA: _____

FECHA: _____

VALORADO POR:

	ELABORACION	REVISADO Y APROBADO POR
Nombre y apellidos	José Hernando Roa	Saulo Andres Chamorro Burbano
Cargo	Estudiante VII semestre Educación Física	Coordinador
Fecha	Abril del 2008	
Firma		

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESARROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
DEPARTAMENTO DE EDUCACION FISICA
AREA ENTRENAMIENTO DEPORTIVO
LABORATORIO DE FISILOGIA DEL EJERCICIO
2010



EVALUACION POSTURAL

ALTIUS

FECHA									
VISTA ANTERIOR		D	I	D	I	D	I	D	I
1.	Inclinación de la cabeza								
2.	Rotación de cabeza								
3.	Hombro ascendido								
4.	Hombro descendido								
5.	Flanco aumentado								
6.	Flanco disminuido								
7.	Espina Iliaca Ascendida								
8.	Espina iliaca descendida								
9.	Genu valgo								
10.	Genu varo								
11.	Rótulas altas								
12.	Rótulas bajas								
13.	Rótulas convergentes								
14.	Rótulas divergentes								
15.	Tibia con torsión interna								
16.	Tibia con torsión externa								
17.	Pies apuntan hacia fuera								
VISTA LATERAL		D	I	D	I	D	I	D	I
1.	Antepulsión de la cabeza								
2.	Retropulsión de la cabeza								
3.	Hombros en protrucción								
4.	Hombros en retracción								
5.	Aplanamiento cervical								
6.	Hipercifosis dorsal								
7.	Hiperlordosis lumbar								
8.	Abdomen prominente								
9.	Pelvis en anteversión								
10.	Pelvis en retroversión								
11.	Rodillas en hiperextensión								
12.	Rodillas en semiflexión								
VISTA POSTERIOR		D	I	D	I	D	I	D	I
1.	Inclinación de la cabeza								
2.	Rotación de cabeza								
3.	Hombro ascendido								
4.	Hombro descendido								

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESAROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

5.	Escapula alada								
6.	Escoliosis								
7.	Tronco inclinado								
8.	Tronco rotado								
9.	Flanco aumentado								
10.	Flanco disminuido								
11.	Pliegue gluteo ascendido								
12.	Pliegue gluteo descendido								
13.	Genu valgo								
14.	Genu varo								
15.	Pliegues poplíteos ascendido								
16.	Pliegues poplíteos descendido								
17.	Talón Valgo								
18.	Talón Varo								

FECHA: _____

FECHA: _____

FECHA: _____

FECHA: _____

VALORADO POR: _____

	ELABORACION	REVISADO Y APROBADO POR
Nombre y apellidos	José Hernando Roa	Saulo Andres Chamorro Burbano
Cargo	Estudiante VII semestre Educación Física	Coordinador
Fecha	Abril del 2008	
Firma		

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESAROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRF)

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
DEPARTAMENTO DE EDUCACION FISICA
AREA ENTRENAMIENTO DEPORTIVO
2010



EVALUACION CONDICIONAL BASICA

ALTIUS

RESISTENCIA CARDIOVASCULAR (TEST DE RUFFIER)				
FECHA	F.C. 1	F.C. 2	F.C. 3	CONCEPTO

RESISTENCIA ABDOMINAL		
FECHA	CANTIDAD	CONCEPTO

FLEX - WELLS y DILLON		
FECHA	CMS	CONCEPTO

LABORATORIO DE EVALUACION Y DESARROLLO DEL RENDIMIENTO FISICO (LEDRE)

FLEX - EXT. DE CODOS - Fuerza Tren Superior		
FECHA	CANTIDAD	CONCEPTO

ABALAKOB -				
FECHA -	ALC	ABK	CMJ	CONCEPTO

FUERZA ISOMETRICA MAXIMA = Test Fuerza			
FECHA	DER	IZQ	CONCEPTO

VALORADO POR:

--

--

	ELABORACION	REVISADO Y APROBADO POR
Nombre y apellidos	Practicantes 2010 A	Saulo Andres Chamorro Burbano
Cargo		Coordinador General
Fecha		Luis Fernando Salamanca
Firma		Asistente

ANEXO C. RUTINA DE EJERCICIOS ANTES Y DESPUÉS

ANTERIOR RUTINA DE EJERCICIOS

Esta es la anterior rutina de ejercicios, que se encontraba dividida en cuatro zonas musculares.

Página posterior:

Hombro y Brazo

PRESA MANCUERNA SR RP KG	VUELOS INCLINADOS SR RP KG	CURL BARRA SR RP KG	PULSO GYM SR RP KG
PRESA FRONTAL SR RP KG	PRESA MANCUERNA SR RP KG	CURL MANCUERNA SR RP KG	PRESA FRANCESA SR RP KG
VUELOS LATERALES SR RP KG	REMO AL CUELLO SR RP KG	CURL PESADADOR SR RP KG	COPA SR RP KG
VUELOS FRONTALES SR RP KG	ELEVACION DE HOMBROS SR RP KG	CONCENTRADO SR RP KG	FONDOS EN BANCOS SR RP KG

Observaciones y Recomendaciones

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA
ÁREA ENTRENAMIENTO DEPORTIVO
Laboratorio de Evaluación y Desarrollo del Rendimiento Físico (LEDRF)
GIMNASIO

NOMBRES: _____ APELLIDOS: _____
 CÓDIGO: _____ EDAD: _____ FECHA DE INGRESO: / / FECHA DE VALORACIÓN: / /
 ENTRENADOR PRAC: _____ FECHA DE LA PRÓXIMA VALORACIÓN: _____

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
H: _____	H: _____	H: _____	H: _____	H: _____	H: _____

DATOS ACTUALES
 PESO Kg _____
 % GRASA _____
 IMC _____
 ICC _____
 TALLA Cm _____

DATOS IDEALES
 PESO Kg _____
 % GRASA _____
 IMC _____
 ICC _____
 TALLA Cm _____

	SERIES	REPET	%CARGA PESO MÁXIMO	SEMANAS	PESO
ADAPTACION	4 a 6	6 a 12	70 a 80%		
HIPERTROFIA	6, 10, 12	1 a 4	90 a 100%		
FUERZA EXP	4 a 8	3 a 5	30 a 40%		
FUERZA RES	2 a 4	15 a 20	30 a 50%		
FUERZA MUS	3 a 6	15 a 20	50 a 60%		

Grupo Muscular	Cardio Vascular	Otros
LUNES		
MARTES		
MIÉRCOLES		
JUEVES		
VIERNES		
SÁBADO		

Estiramientos

Pierna, Glúteo y Cadera

SENTADILLA SR RP KG	PRESA SR RP KG	FEMORAL SR RP KG	EXTENSIONES SR RP KG
PANTORILLA SR RP KG	PANTORILLA MANCUERNA SR RP KG	MULTI HIP CADERA SR RP KG	ELEVACION DE RODILLA SR RP KG
ABDUCTOR POLEA SR RP KG	ADUCTOR CON POLEA SR RP KG	FEMORAL DE PIE SR RP KG	POLEA SR RP KG
FLEXIÓN DE PELVIS SR RP KG	MANCUERNA SR RP KG	TUERCA SR RP KG	TUERCA BARRA SR RP KG
MULTI HIP GLÚTEO SR RP KG	TUERCA MANCUERNA SR RP KG	PESO MUERTO SR RP KG	ABDUCTOR SR RP KG
ADUCTOR SR RP KG	PANTORILLA SR RP KG	PRESA INVERTIDA SR RP KG	JACK COMBINADA SR RP KG

Pectoral

PRESA PLANO SR RP KG	PECK DECK SR RP KG	FONDOS SR RP KG
PRESA INCLINADO SR RP KG	APERTURAS SR RP KG	CROSS OVER SR RP KG
PRESA DECLINADO SR RP KG	PULL OVER SR RP KG	PRESA PLANO MANCUERNA SR RP KG

Espalda

HALON SR RP KG	REMO MANCUERNA SR RP KG	HALON AGARRE CERRADO SR RP KG
DOMINADAS SR RP KG	DORSAL POLEA SR RP KG	BARRA "T" SR RP KG
REMO POLEA SR RP KG	REMO BARRA SR RP KG	

Nuevo formato de rutina de ejercicios del LEDRF:

HOMBRO				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
BICEPS				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
TRICEPS				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
ANTEBRAZO				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
ABDOMINALES				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
LUMBARES				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG

IMPORTANTE: Antes de realizar la rutina de ejercicios realizar un estiramiento general (10 seg. por grupo muscular). Y al finalizar realizar un estiramiento específico del músculo ejercitado (15 seg. por grupo muscular).

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN FÍSICA
 ÁREA ENTRENAMIENTO DEPORTIVO
 Laboratorio de Evaluación y Desarrollo
 de Rendimiento Físico (LEDRF)

NOMBRES: _____ APELLIDOS: _____
 CARRERA / CARGO: _____ CODIGO C.C.: _____ EDAD: _____
 FECHAS: INGRESO: / / VALORACIÓN: / / PRÓXIMA VALORACIÓN: / /
 CAMBIO DE RUTINA: / / ENTRENADOR PRÁCTICANTE: _____

DATOS ACTUALES	TALLA, m	PESO Kg	DATOS IDEALES	PESO Kg
	% GRASA	% GRASA		% GRASA
	IMC	IMC		Normal
	ICC	ICC		Bajo

RECOMENDACIONES	TIPOS	SERIES	REPET	%CARGA
	Adaptación	3	10	70 a 80%
	Hipertrofia	4,6,8	6 a 12	70 a 80%
	Fuerza Máx	6,10,12	1 a 4	90 a 100%
	Fuerza Exp.	4 a 8	3 a 5	30 a 40%
	Fuerza Res.	2 a 4	15 a 20	30 a 50%
	Fuerza Mus.	3 a 6	15 a 20	50 a 60%

Autoriza: _____

	Días	Horas	Grupos Musculares	Cardio Vascular
HORARIO	Lunes			
	Martes			
	Miércoles			
	Jueves			
	Viernes			
	Sábado			

IMPORTANTE: Antes de realizar la rutina de ejercicios realizar un estiramiento general (10 seg. por grupo muscular). Y al finalizar realizar un estiramiento específico del músculo ejercitado (15 seg. por grupo muscular).

PIERNA				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
GLÚTEO				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
CADERA				
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG
	SR	SR	SR	SR
	RP	RP	RP	RP
	KG	KG	KG	KG

PECORAL			
	SR	SR	SR
	RP	RP	RP
	KG	KG	KG
	SR	SR	SR
	RP	RP	RP
	KG	KG	KG
	SR	SR	SR
	RP	RP	RP
	KG	KG	KG
ESPAHALDA			
	SR	SR	SR
	RP	RP	RP
	KG	KG	KG
	SR	SR	SR
	RP	RP	RP
	KG	KG	KG
	SR	SR	SR
	RP	RP	RP
	KG	KG	KG

ANEXO D. AGRADECIMIENTOS

A continuación se relacionan los nombres de los estudiantes que realizaron los test de fuerza bases para el entrenamiento de las redes:

Muchas gracias a los estudiantes de:

Administración: Anderson Muñoz, Ángel Rodríguez, Felipe Vargas, Francisco Esquivel, Jhonatan Sierra, Jose Jair Silva Masas, Jose Muñoz; **Ingeniería Agrícola:** Alex Andrelly Vásquez León, Jhon Alexander Vallejo, José Alcides, Juan Antonio Otero Barreiro; **Ciencias:** Andrés Leivano, Jaime Fierro, Jonny Romero; **Comunicación:** Leidy Vargas; **Contaduría:** Andrés Trujillo, Cristian Marines, Paula Díaz; **Derecho:** Andrés Sánchez, Jesús Mosquera, Leonardo Osorio; **Economía:** Jhonatan Quintero, Josep Trazan y Omar Sneider; **Educación Física:** Andrés Cortés, Andrés Urbano, Boris Losada, Cristian Cabrera, Cristian Muñoz, Fabricio Rueda, Germán Tique, Henry Guzmán, Jhorman Chávez, Sheila Morales, Stevan Garrido; **Electrónica:** Boris Angulo, Javier Molina, Vicente Pérez; **Enfermería:** Gentil Varón; **Futbol Sala:** Reinaldo Murcia, Sergio Vega; **Gestión Financiera:** Sergio Yasnó; **Investigación:** Ferney Sánchez, José Martínez, Nadia Pérez; **Lenguas Extranjeras:** Andrés Trujillo; **Licenciatura en Matemáticas:** Willian Casagua; **Matemática Aplicada:** Frainer Neira, Gabriel Arguello, Germán Hueje, Jhonatan Chantre, Jorge Murcia, Rubén Camacho; **Obras Civiles:** Álvaro Torrente, Ismael Herrera; **Petróleos:** Andrés Trujillo, Carlos Sierra, Daniel Ordoñez, Diego Chamorro, Luis Guanacas, Santiago Ávila, Sebastián Campos, Willian Quiñones, Yeison Silva; **Software:** Miguel Arias, Sebastián Pabon, Yeison Andrés; **Voleibol:** Carlos Cardozo, Carlos Rodríguez, Cristian Bayamón, Duban Losada, José Zapata, Sabas Medina, Sergio Bolaños.

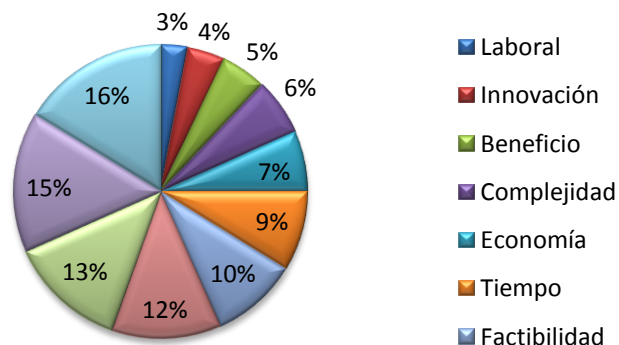
Además se brinda un agradecimiento agradece la especial atención brindada por los encargados del LEDRF-Altius los docentes Saulo Andrés Chamorro, Lady Andrea Otero Devia y Luis Fernando Salamanca Hernández; Los entrenadores Julián Guiza y Oscar Meneses, quienes brindaron una muy valiosa y especial atención en todo el desarrollo del trabajo.

ANEXO E. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Para la selección y evaluación de la tesis se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- **Laboral:** el proyecto motivará a otras empresas a que nos contraten.
- **Innovación:** no se ha realizado antes. No se deriva de otra aplicación.
- **Beneficio:** se obtendrán ganancias económicas para los autores.
- **Complejidad:** no se visualizan claramente las etapas de realización del proyecto.
- **Economía:** solo se requiere transporte y alimentación.
- **Tiempo:** realizable en 6 (seis) meses.
- **Factibilidad:** se tiene total seguridad de cumplir con los objetivos propuestos.
- **Aprendizaje:** profundización de conocimientos cercanos a la carrera.
- **Aplicable:** los resultados son útiles, se utilizan.
- **Medio Ambiente:** contribuye a la preservación y mejoramiento de la naturaleza.
- **Social:** contribuye a la preservación y mejoramiento de la sociedad humana.

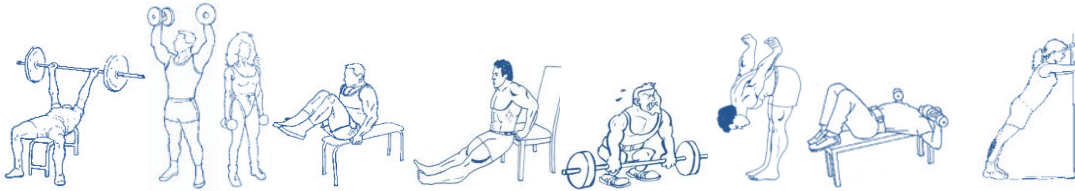
Ponderados de la siguiente manera:



Mediante una calificación de 0-100 se cada miembro asignaba un valor a cada criterio, evaluando proyecto a proyecto, este valor es compartido a los demás para justificando la respectiva valoración, para hacer ajustes y comparar criterios de evaluación que cada se hacen de forma individual y metal, con esto se logra ver diferentes puntos de vista, luego de esto se recalifica el criterio del respectivo proyecto y se promedia.

Una vez evaluados todos los proyectos se pasa se organizan filtrándose de forma descendente según la ponderación de todos criterios.

ANEXO A



MANUAL DEL USUARIO

Gimnasio Inteligente



Presentado a:

Msc. Ing. Jose de Jesús Salgado Patrón

Realizado por:

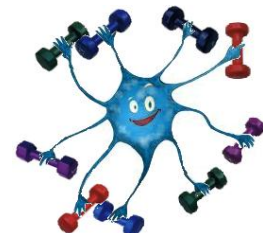
Jhon Edison Castillo Hernandez
Manuel del Cristo González Rodríguez

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA
NEIVA- HUILA
2012



CONTENIDO

1. *Iniciando por primera vez en el Gimnasio Inteligente*
2. **Crear y modificar Administrador**
 - 2.1 *Crear Administrador*
 - 2.2 *Modificar sus Datos*
3. **Configurando el Gimnasio**
 - 3.1 *Nombre y Logo*
 - 3.2 *Horarios Disponibles*
 - 3.3 *Recursos Disponibles*
 - 3.4 *Institutos y cargos*
 - 3.5 *Opciones avanzadas*
 - 3.5.1 *Reiniciar el programa*
 - 3.5.2 *Máximo número de registros.*
 - 3.5.3 *Numero de ejercicios por hora.*
 - 3.5.4 *Numero de redes por ejercicio.*
4. **Crear, editar y eliminar entrenadores**
 - 4.1 *Crear Entrenadores*
 - 4.2 *Modificando la información del Entrenador*
 - 4.3 *Eliminar cuenta de Entrenador*
5. **Crear y modificar redes**
 - 5.1 *Crear redes neuronales, zonas musculares, ejercicios y test de fuerza*
 - 5.2 *Eliminando redes*
6. **Entrenando Redes Neuronales**
 - 6.1 *Observaciones de Entrenamiento adecuadas*
 - 6.2 **Selección de la Red (RBF o MLP)**
 - 6.2.1 *Estructura para MLP*
 - 6.3 *Selección de las Entradas para el entrenamiento*
 - 6.4 *Validando la Red.*
 - 6.5 *Tiempo de Recuperación del Entrenamiento, Características del Equipo.*
7. **Crear, Modificar, Eliminar Usuarios.**
 - 7.1 *Crear Usuario*
 - 7.2 *Modificar sus datos*
 - 7.3 *Eliminar su cuenta*
8. **Crear Rutinas**





8.1 Agregar Rutina

8.2 Modificar Rutina

8.3 Asistencia

9. Informes Estadísticos

9.1 Visualizar inscritos o asistentes

9.2 Filtros

10. Información de Referencia

10.1 Anamnesis

10.1.1 Historial Deportivo

10.1.2 Historial Médico

10.1.3 Estilo de Vida

10.1.4 Valoración Antropométrica

10.1.5 Valoración corporal

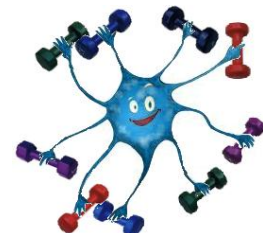
10.1.6 Valoración postural

10.2 Número de observaciones de entrenamiento adecuadas

10.3 Tiempo de Recuperación de los computadores

10.4 Grupos de Redes Neuronales Especializados

10.5 Número de Observaciones Adecuadas

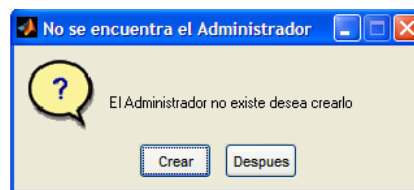




1. Iniciando por primera vez en el Gimnasio Inteligente

Bienvenido al Gimnasio Inteligente, un programa que mediante el empleo de la Inteligencia Artificial le permitirá personalizar su gimnasio, al punto de dejar los usuarios satisfechos por la eficacia de su trabajo y a los entrenadores contentos con las herramientas que les permiten realizar las rutinas de una manera más eficiente.

Al abrir el programa por primera vez se despliega una ventana, que indica que el Administrador no existe y pregunta si desea crearlo:



2. Crear y modificar Administrador

Las funciones de un Administrador son:

- ❏ Configurar gimnasio (Sección 3)
- ❏ Crear, editar eliminar entrenadores (Sección 4)
- ❏ Eliminar Redes (Sección 5)
- ❏ Eliminar usuarios (Sección 7)

2.1 Crear Administrador

Ahora debe estar en la ventana **Información Personal** del Administrador, donde puede escribir los datos de la persona que adquirirá ese cargo.

La información personal de una persona se clasifica en sus *Datos Básicos*, *Datos Laborales*, la *Información para Emergencia* y su *Foto*. Los datos laborales, se pueden agregar siempre que las instituciones y los cargos se encuentren inscritos dentro del gimnasio (más adelante en la sección 3.4 verá como se hace esto); el código y el semestre son campos especiales para las instituciones educativas. Para

Información Personal

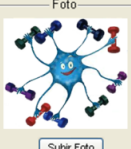
Información Personal

Datos Básicos

Nombres: Apellidos: Identificación:

Celular: Telefono casa: Correo Electrónico:

Fecha de Nacimiento: 1 Enero 1998 Edad: 14 Genero: M Dirección de Residencia:

Foto:  Subir Foto

Datos Laborales

Institucion: Gimnasio

Cargo/Carrera: Administrador

Codiqo: Semestre:

Información para Emergencias

EPS: No. de Documento: Tipo de Sangre:

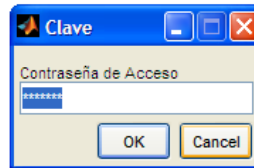
En caso de Emergencia avisar a: Telefono/Celular:

Finalizar



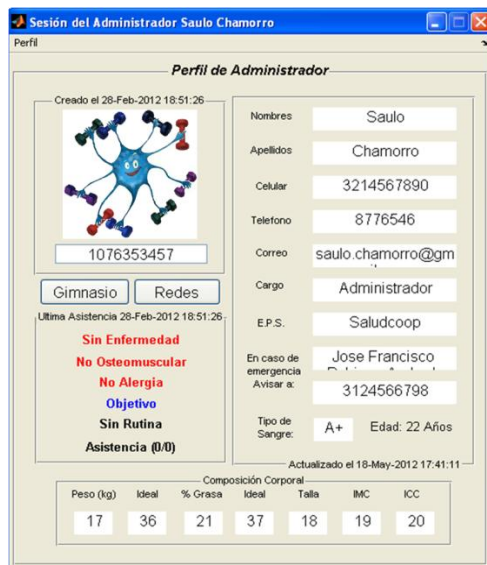


terminar debe dar clic en el botón **Finalizar**. Seguido de lo cual el programa solicitará una contraseña de acceso.



La identificación puede contener cualquier carácter alfanumérico y espacios, aunque se recomienda que sea la cédula de ciudadanía. Esta cuenta tiene permisos superiores a las demás, por lo cual asegúrese de guardar muy bien la contraseña y no revelarla a menos de ser necesario. Luego de escribir la contraseña se despliega la **Ventana de Perfil**, en la cual se encuentran los datos importantes que el personal del gimnasio necesita con mayor frecuencia:

Esta ventana contiene:



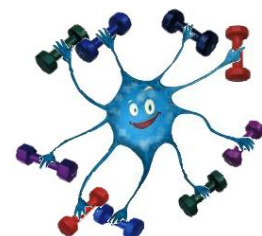
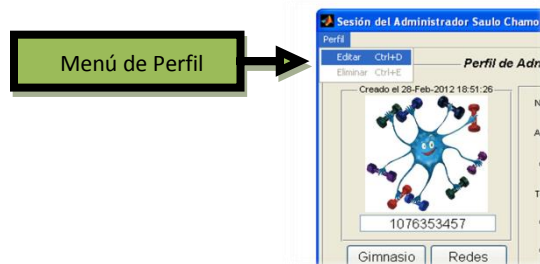
Datos Básicos: Los datos básicos contienen la información necesaria para localizar la a persona (o un acudiente en caso de emergencia), su tipo de sangre y su edad.

Datos Importantes: Son datos que el entrenador debe ver constantemente, como un resumen de la composición corporal, asistencia, objetivos del usuario, asistencia, patologías, alergias y lesiones.

2.2 Modificando los Datos

En caso de que desee cambiar la información, debe:

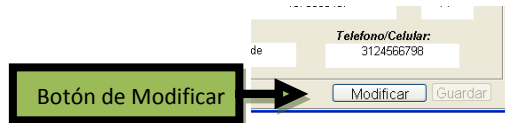
Ir al menú **Perfil** y luego en el sub-menú **Editar** (también puede teclear **Ctrl+D**).



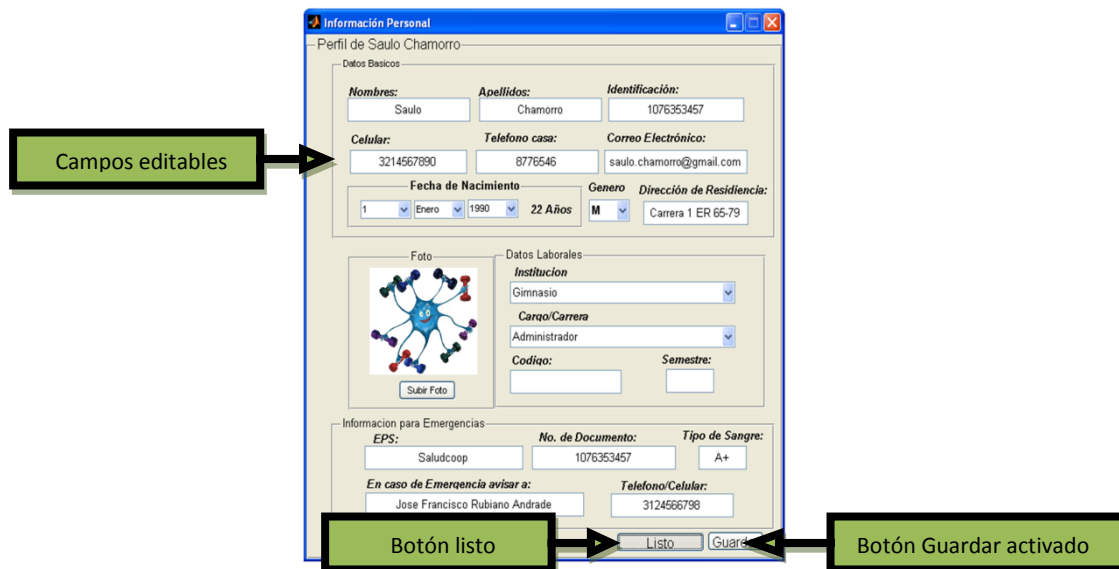


Se despliega entonces la ventana de la **Información Personal**, en la que no se puede editar los datos, por lo que si desea cambiar algo debe:

- Hacer clic en el botón **Modificar**.



- Cuando se hace clic sobre este, se cambia automáticamente por **Listo**, y ahora todo se puede editar. Además el botón **Guardar** se activa.

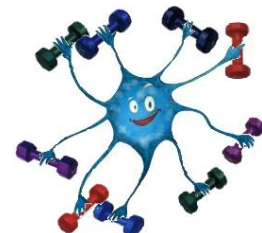


- Cambiar lo que desee (la identificación se puede cambiar siempre y cuando no exista otra igual inscrita).
- Dar clic en el botón **Listo**.
- Luego damos clic en el botón **Guardar**.

3. Configurando el Gimnasio

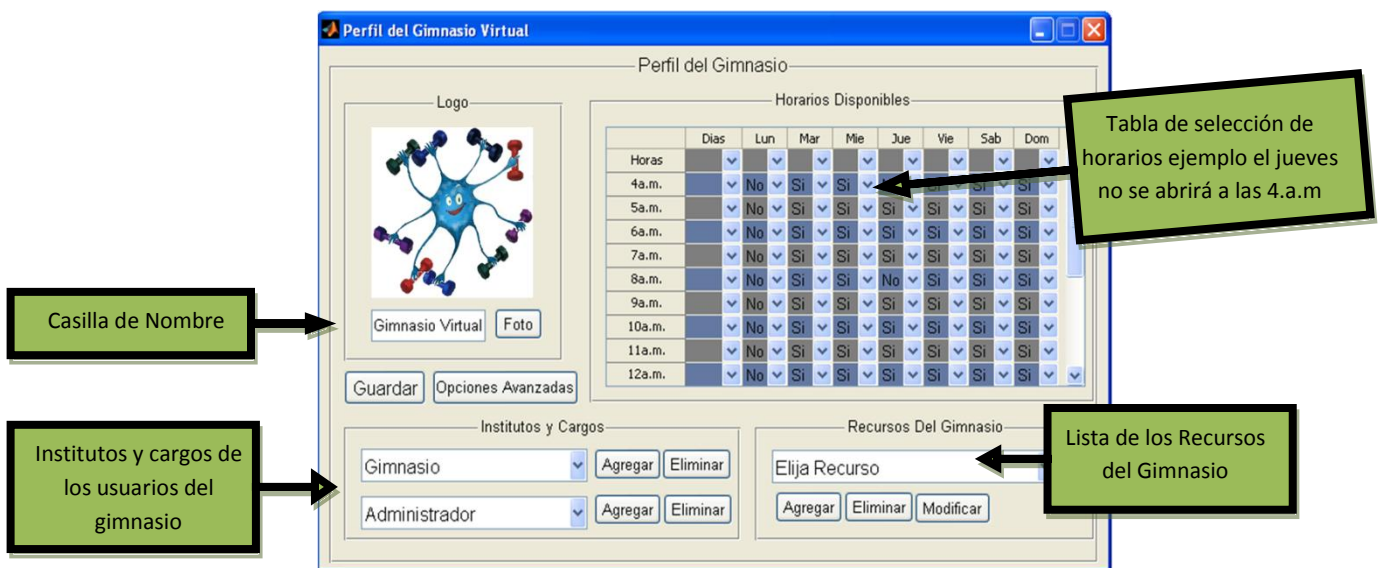
Al salir de la ventana de **Información Personal**, el Gimnasio Inteligente lo devolverá a la ventana del **perfil del Administrador**; Desde esta ventana es posible configurar el gimnasio, para lo cual debe:

- Presionar el botón de **Gimnasio**.





Para poder ayudarle a organizar su gimnasio, el programa requiere conocer cuáles son los horarios, los recursos, las instituciones que asisten y los cargos que en ellas se encuentran. Lo cual se puede configurar en la ventana de **Perfil del Gimnasio**.

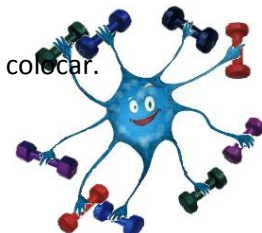


3.1 Nombre y Logo: Estos dos cambian el nombre de la ventana de entrada y la imagen que allí se muestra. Para cambiar el Nombre:


- 👤 Escriba el nombre en la **casilla de nombre** y presione **Enter**.
- 👤 Haga clic en el botón **Guardar**.

Si desea cambiar el logo:




- 👤 Presione el botón **Foto**.
- 👤 En la ventana que se despliega busque la imagen que desea colocar.
- 👤 Presione **Abrir**.







 Haga clic en el botón **Guardar**.




3.2 Horarios Disponibles: Consiste en una tabla con los días y las horas donde puede escribir cuales son las horas en las que abre el gimnasio, para ello:

-  Seleccione **“No”** en las horas que el gimnasio se encuentra cerrado.
-  Seleccione **“Si”** en las se encuentra abierto.
-  Presione **Guardar**.


Recomendación: Si se selecciona en las celdas de la primera fila o la primera columna de la tabla, estas cambiarán toda la columna o toda la fila por la opción seleccionada (La primera celda cambia todas las demás). En este paso debe tenerse cuidado con seleccionar “No”, pues si guarda los cambios, entonces los recursos asignados en esa hora no se tendrán en cuenta, y si se vuelve a activar, estos reiniciarán sus valores desde cero.

3.3 Recursos Disponibles: Son los equipos deportivos existentes para realizar los ejercicios de las rutinas, con esto el programa permite realizar un control sobre su uso. Para agregar un recurso debe:

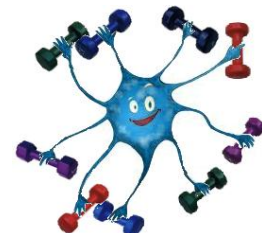
-  Hacer clic en el botón **Agregar** del panel **Recursos del Gimnasio**.
-  Aparece la siguiente ventana:

-  Escribir el nombre y la cantidad de este con los que cuenta el gimnasio.
-  Dar clic en **OK**.
-  Hacer clic en **Guardar**.

El Gimnasio Inteligente permite modificar el nombre de los recursos, para lo cual:

-  Seleccione el recurso que desea eliminar de la lista de los recursos.

-  Haga clic en el botón **Modificar** del panel **Recursos del Gimnasio**.





👤 Escriba la nueva cantidad del recurso.

👤 Dar clic en **OK**.

👤 Hacer clic en **Guardar**.

El Gimnasio Inteligente permite eliminar los recursos para lo cual:

👤 Haga clic en **Eliminar**.

👤 Escriba el nombre del recurso que desea eliminar

👤 Le solicitará la contraseña del Administrador.

👤 Hacer clic en **OK**.

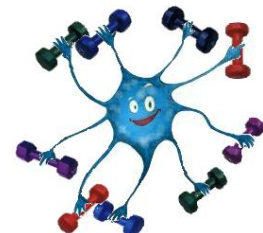
👤 Hacer clic en **Guardar**.

3.4 Institutos y Cargos: Este campo se creó con el fin de evitar los problemas de inscribir las instituciones con de diferentes formas (mayúsculas, minúsculas, espacios, tildes), ya que esto facilita la realización de los datos estadísticos. Para agregar un instituto:

👤 Haga clic en el botón **Agregar** superior del panel **Institutos y Cargos**.

👤 Escriba el nombre de la Institución y debe escribir al menos un cargo.






👤 Haga clic en **OK**.



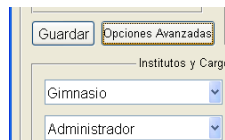


 Haga clic en **Guardar**.

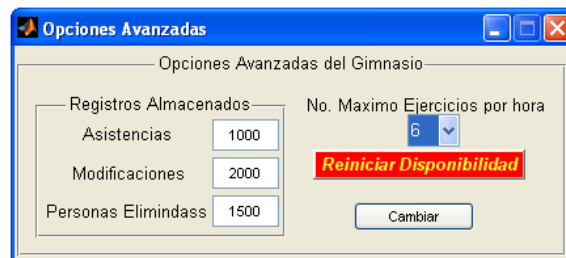
Para agregar otro cargo a una institución:

-  Seleccione la Institución a la que desea agregar el cargo.
-  Haga clic en el botón **Agregar** inferior del panel **Institutos y Cargos**.
-  Escriba el nombre del cargo.
-  Haga clic en **OK**.
-  Hacer clic en **Guardar**.




3.5 Opciones Avanzadas: Son configuraciones especiales del gimnasio que no cambian con mucha frecuencia y por se han decidido agrupar en este botón.



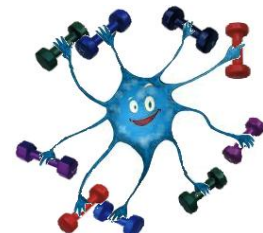
En esta encontramos las siguientes opciones:



3.5.1 Reiniciar el programa: En algunas instituciones se requiere reiniciar el conteo de los usuarios y la disponibilidad de las rutinas para lo cual se creó el botón **Reiniciar**; este se puso en rojo, pues hay que tener mucho cuidado con presionarlo porque no hay reversa, lo único que queda es un breve registro de algunos datos. Para reiniciar el programa debe:

-  Hacer clic en **Reiniciar**.
-  Escribir la Contraseña del Administrador.
-  Hacer clic en **Guardar**.

3.5.2 Máximo número de registros: El número de actividades registradas (Agregar, Modificar o Eliminar Información) puede ser limitado a una cantidad para no ocupar espacio innecesariamente en el disco duro.









3.5.3 Número de ejercicios por hora: Es la cantidad de ejercicios que se establecen como máximo para que un usuario trabaje en una hora, (por defecto se deja en 5 ejercicios, para que puedan tener 10 minutos por ejercicio y 10 minutos para el calentamiento y estiramiento).

3.5.4 Número de redes por ejercicio: Este se refiere a la cantidad de redes que serán entrenadas por cada ejercicio con el fin de contar con una buena repetitividad.

Importante: Para finalizar la configuración del gimnasio debe dar en el botón **Guardar**, en caso de no realizar este paso no quedará guardado ningún cambio.




4. Crear, editar y eliminar Entrenadores

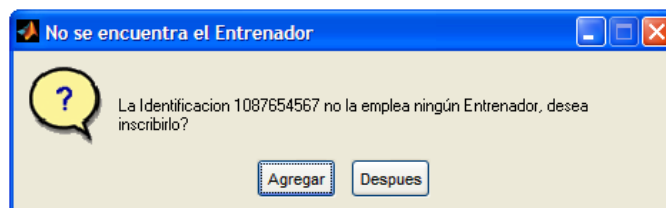
Los entrenadores en un Gimnasio tienen las siguientes funciones (sección 3):


-  Crear entrenar y modificar redes.
-  Crear modificar eliminar Usuarios.
-  Programar rutinas.
-  Informes Estadísticos.

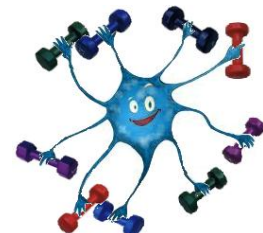
4.1 Creando un Entrenador

Un gimnasio requiere de Entrenadores, encargados entre otras cosas del cuidado de los usuarios, la creación y manejo de las rutinas y (en el Gimnasio Inteligente) del entrenamiento las Redes Neuronales Artificiales. Estos pueden ser registrados únicamente desde la sesión del Administrador, para ello:

-  Debe iniciar sesión como Administrador.
-  Se escribe la identificación del entrenador que deseamos ingresar en la **casilla de identificación**.
-  Seguido de lo cual se despliega la ventana que pregunta si desea crearlo:



-  Se asigna la contraseña.





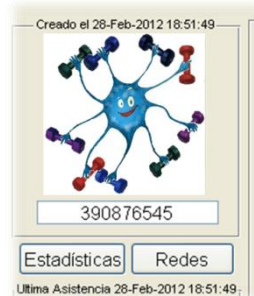
Entonces al igual que con el Administrador, se abre la ventana de **Información Personal** del Entrenador, sin embargo, el botón **Finalizar** ahora se llama **Siguiente**, pues hay que seguir con otros datos del Anamnesis (Sesión 6.1)

Formulario con los siguientes campos:

- Nombre:
- Tipo de Sangre:
- Telefono/Celular:
- Botón: Siguiente

En cada ventana ahora existe otro botón que dice **Anterior**, creado en caso de que desee cambiar una ventana anterior. Cuando se haya completado el registro de la información debe dar clic en **Finalizar**.

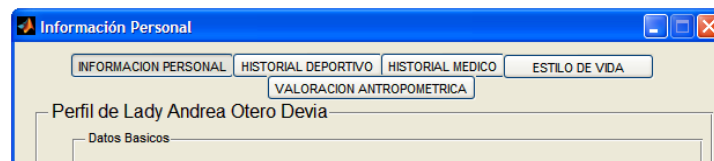
El programa nos lleva a la ventana de perfil del Entrenador. En esta ventana puede apreciar que el botón Gimnasio, ha cambiado por Estadísticas que veremos más adelante.



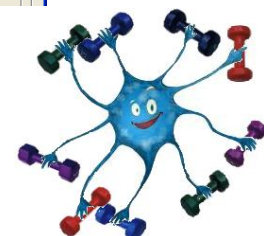
4.2 Modificando la información del Entrenador

Para modificar la información del entrenador debe:

- Iniciar sesión como Administrador.
- Digitar la identificación de entrenador, para acceder a la **Ventana Perfil**.
- Hacer clic en el sub-menú **Perfil**.
- Seleccionar la opción **Editar**.
- Se abrirá la ventana de Información Personal, y puede acceder a las demás ventanas a través de las pestañas que se encuentran en la pestaña superior.



- Hacer clic en el botón **Modificar**.
- Modificar la información deseada.





- Hacer clic en el botón **Listo**.
- Hacer clic en el botón **Guardar**.

En algunos casos no se puede modificar la información sino que debe ser agregada, como es el caso de la **Valoración Antropométrica**, para lo cual debe:

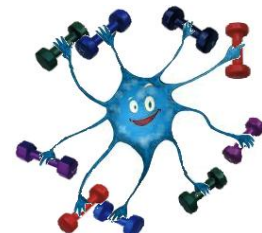
- Hacer clic en pestaña **Valoración Antropométrica**.

- Hacer clic en el botón **Agregar**.
- Escribir los nuevos datos.
- Hacer clic en **Listo**.
- Hacer clic en el botón **Guardar**.

4.3 Eliminar cuenta de Entrenador

- Iniciar sesión como Administrador.
- Digitar la identificación de entrenador, para acceder a la **Ventana Perfil**.
- Hacer clic en el menú **Perfil**.
- Seleccionamos el sub-menú **Eliminar**.

- El programa le pide la contraseña.
- Escribir la contraseña.
- Hacer clic en **Listo**.





5. Crear, Modificar y Eliminar Redes Neuronales

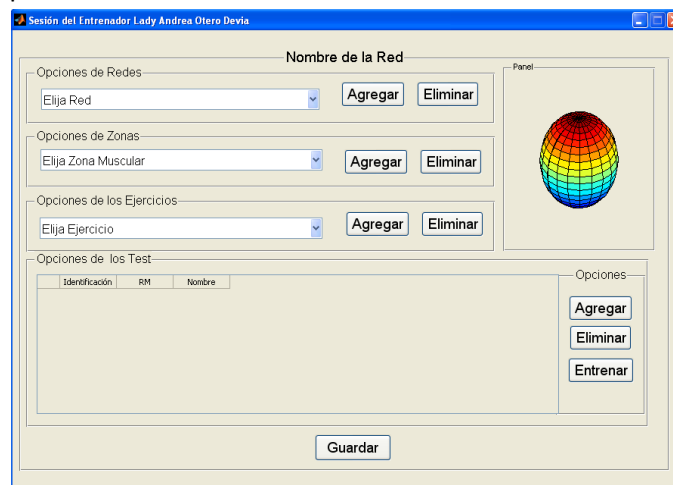
5.1 Crear grupos de redes neuronales, zonas musculares y ejercicios

Una de las tareas de los entrenadores es la de “entrenar” las redes neuronales de tal forma que sean capaces de calcular la fuerza máxima para cualquier persona que ingrese al gimnasio. Para ello el entrenador debe:

- 👤 Iniciando sesión como entrenadores
- 👤 Ingresar al creador de redes, dando clic en el botón **Redes**.



- 👤 Seguido de ello aparece la ventana de Creación de Redes:



Para agregar un grupo neuronal usted debe:

- 👤 Pulsar en el botón **Agregar** en el panel de **Opciones de Redes**. Y debe ingresar un nombre para la red, por ejemplo: “Deportistas”.





- ✎ Escribir el nombre del grupo de redes neuronales.
- ✎ Hacer clic en **Agregar**.

Ahora vamos a agregar una nueva zona muscular para lo cual:

- ✎ Seleccionar el grupo al que se desea agregar la zona muscular.
- ✎ Dar clic en el botón **Agregar** en el panel **Opciones de Zonas**.

- ✎ Escribimos el nombre de la zona por ejemplo "Pecho"
- ✎ Puede seguir agregando cuantas zonas musculares quiera.

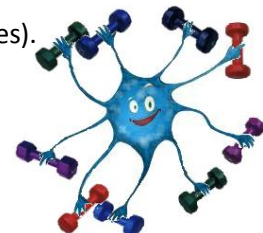
A continuación crearemos un ejercicio en una zona muscular, para ello:

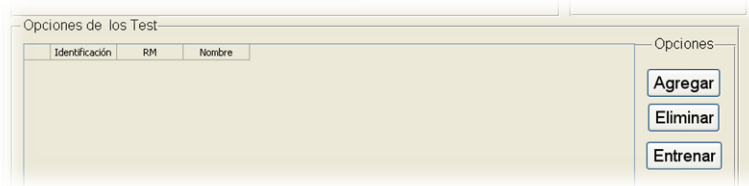
- ✎ Seleccione la zona muscular a la que se desea agregar el ejercicio.
- ✎ En el panel **Opciones de Ejercicios** damos clic en **Agregar**.

- ✎ Escribimos el nombre del ejercicio por ejemplo "Presión Pecho Lateral".
- ✎ Asignamos los recursos para este ejercicio. Estos aparecen si fueron creados en la configuración del gimnasio, por ejemplo "PeckDeck".

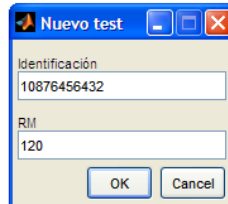
Continuamos ahora agregando las observaciones para el aprendizaje de las redes, para lo cual:

- ✎ Seleccionamos el Ejercicio para el que deseamos entrenar la(s) red(es).
- ✎ En el panel **Opciones de Test** damos clic en **Agregar**.





👤 Aparece la siguiente ventana.



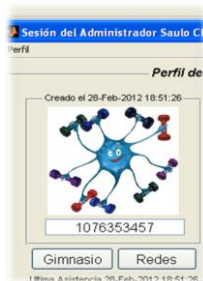
👤 Ingresamos a la id. de los usuarios que servirán de observación. Los cuales deben tener una valoración antropométrica que haya sido tomada en fechas similares con el test de fuerza, ya que si esta se tomaron en tiempos muy diferentes puede que las características físicas de la persona hayan cambiado mucho y provocará errores en el aprendizaje.

👤 Ingresamos el valor obtenido en del test de fuerza.

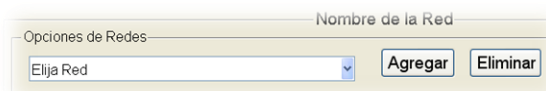
5.2 Eliminando redes

👤 Debe para ello iniciar sesión como Administrador. (Es el único con permiso para eliminar una red, pues se considera que la información almacenada en esta es muy valiosa para el gimnasio y la pérdida de esta implica pérdida de trabajo y tiempo)

👤 Estando en la sesión del Administrador este debe presionar el botón **Redes**, que lo llevará a la ventana de redes:



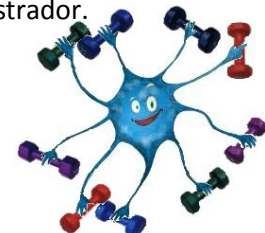
👤 Seleccione la red que desea eliminar en el panel **Opciones de Redes**.



👤 Haga clic en el botón **Eliminar**.

👤 Automáticamente aparecerá que se digite la contraseña del administrador.

👤 luego se debe confirmar la decisión de eliminar.



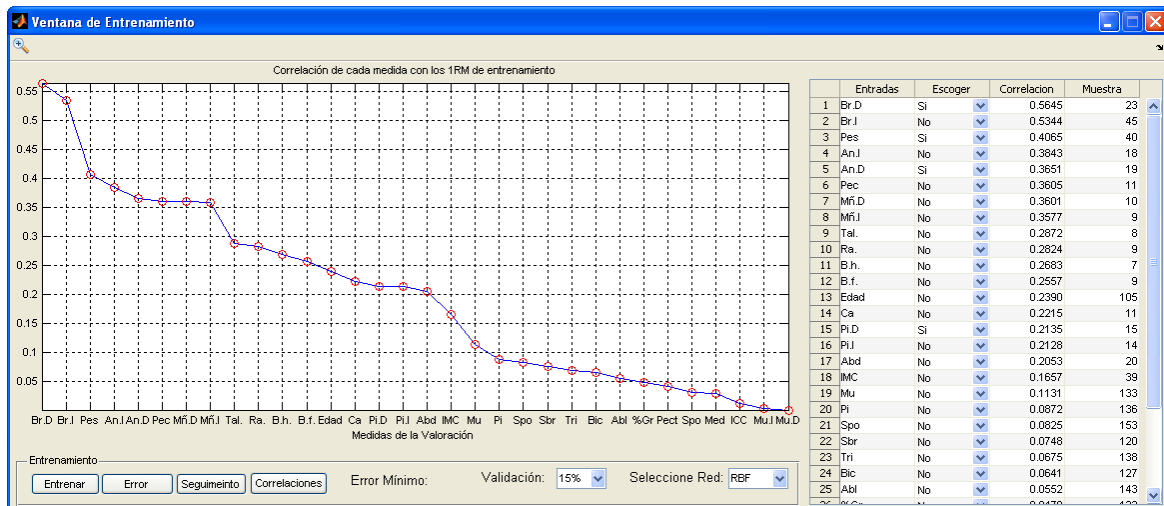


6. Entrenando las Redes Neuronales

6.1 Observaciones de entrenamiento adecuados

Para entrenar una red lo primero es tener un número de test de fuerza adecuados para que la red sea entrenada y permita una buena generalización. Luego de lo cual:

Haga clic en el botón **Entrenar** que nos llevará a la ventana de entrenamiento:



6.2 Selección de la Red (RBF o MLP)

Ahora debe seleccionar que tipo de red queremos entrenar si **RBF** ó **MLP**:

Seleccione Red:

6.2.1 Estructura para el MLP.

En caso de seleccionar RBF la estructura no requiere de otros valores, sin embargo en caso de seleccionar MLP, se abrirá una ventana en la que debe introducir el vector de neuronas que usara esta red (por defecto será una red con una capa oculta y 50 neuronas, que fue la mejor red para el trabajo de grado). Un ejemplo de vector sería [1 5], que sería un vector con dos capas ocultas la primera con una neurona y la segunda con 5.

Recomendación: Para buscar la mejor estructura se recomienda iniciar con una sola capa e incrementar el número de neuronas, luego probar con dos capas y variar sus valores hasta encontrar el mejor.

6.3 Selección de las entradas para el entrenamiento

Una vez ha escogido el tipo de red, debe seleccionar las entradas para el entrenamiento, las entradas son los datos de los usuarios en la valoración antropométrica (por defecto se escogerán



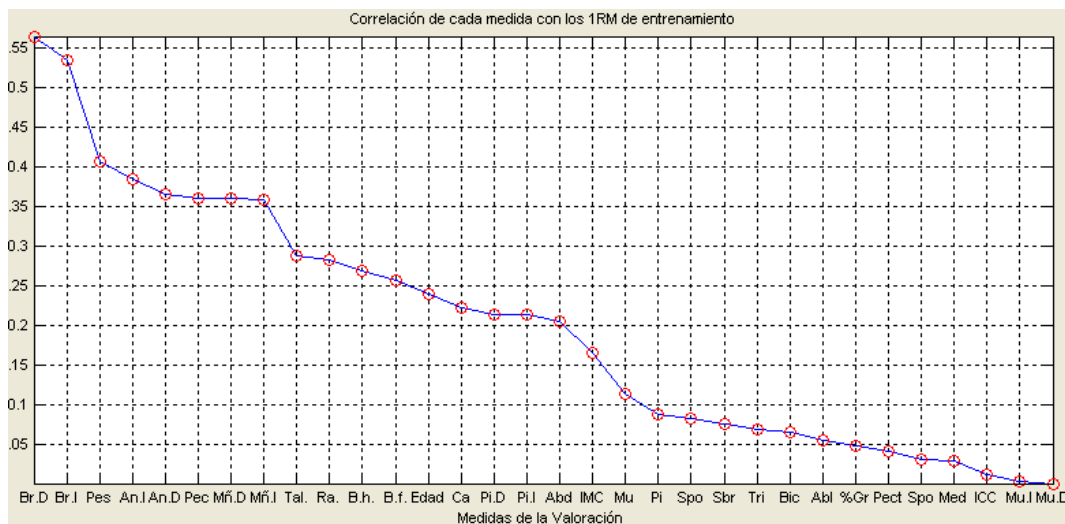


la entrada No. 1, 3, 5 y 15) también se cuenta con la ayuda de una grafica que muestra la relación de cada entrada con la fuerza máxima y se observa la muestra necesaria de acuerdo a la población actual inscritos en el gimnasio.

🐼 Seleccione las entradas en la tabla de entradas, escogiendo la opción “Si”.

	Entradas	Escoger	Correlacion	Muestra
1	Br.D	Si	0.5645	23
2	Br.I	No	0.5344	45
3	Pes	Si	0.4065	40
4	An.I	No	0.3843	18
5	An.D	Si	0.3651	19
6	Pec	No	0.3605	11
7	Mfí.D	No	0.3601	10

En la grafica, estas se encuentran organizadas de forma descendente de acuerdo a la relación con la Fuerza máxima como muestra:



6.4 Validando la red.

Ahora es necesario validar la red, para comprobar que sus predicciones son correctas, si los resultados no son satisfactorios puede que aún falta un número mayor de observaciones o que estas sean más representativas.

🐼 Escoja el porcentaje de validación deseado.

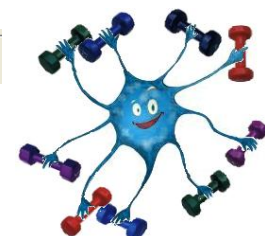
Validación:

🐼 Para observar la convergencia del error el error damos clic en el botón de **Error**.

🐼 Si queremos observar el seguimiento hecho por la red a las observaciones de validación damos clic en **Seguimiento**.

Entrenamiento

Error Mínimo:





Como una herramienta extra se mostrara la Gráfica del Error y Seguimiento la mediana de la red. Para que el entrenador observe si esta está sobre entrenada o si realmente está haciendo un seguimiento.

 Para ver la grafica de las correlaciones de las entrdas, presione **Correlaciones**.

6.5 Tiempo de Recuperación después del entrenamiento y Características del Equipo.





Se sugiere que se deje recuperar el computador un tiempo igual o mayor al que demoró realizando el entrenamiento, para que no exista un sobrecalentamiento del equipo.

Recomendación: cuando se entrena la red sobretodo con la estructura de RBF, esta tiene una velocidad mayor que el MLP sin embargo, el costo computacional es bastante alto, por ende se sugiere que se tengan equipos por lo menos con memoria RAM de 2Gb y procesadores de 2.8GHz, que permitirán tiempos de procesamiento adecuados. Luego de realizar un entrenamiento.

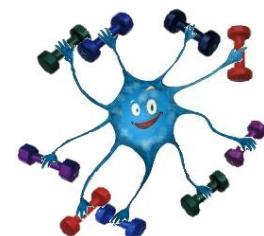
7. Creando, modificando y eliminando usuarios

7.1 Crear usuario

Como ya se había dicho, del registro de los usuarios se encargan los entrenadores, para lo cual deben:

-  Entrar a la sesión de un entrenador, con su identificación y contraseña en la ventana principal. (En caso de que se encuentre en la sesión de Administrador debe salir de ella cerrando la ventana).
-  Digitamos en la **casilla de identificación**, la id. del usuario que deseemos crear.
-  Luego de ello sigue completar la información personal, que es igual a la del entrenador, sin embargo, ahora vienen otros pasos, que son: Valoración Postural y Evaluación Condicional (sesión 10.1).
-  Luego de terminar de introducir la información requería, damos en el botón **Finalizar**.

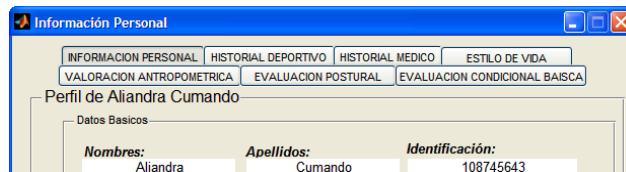
En esta ventana encontraremos que los botones han cambiado por **Asistencia** (véase sección 8.3) y **Rutina** (véase sección 8).





7.2 Modificar usuario

- Iniciar sesión como entrenador.
- Digitar la identificación de usuario, para acceder a la **Ventana Perfil**.
- Hacer clic en el sub-menú **Perfil**.
- Seleccionar la opción **Editar**.
- Se abrirá la ventana de Información Personal, y puede acceder a las demás ventanas a través de las pestañas que se encuentran en la pestaña superior.



- Hacer clic en el botón **Modificar**.
- Modificar la información deseada.
- Hacer clic en el botón **Listo**.
- Hacer clic en el botón **Guardar**.

7.3 Eliminar usuario

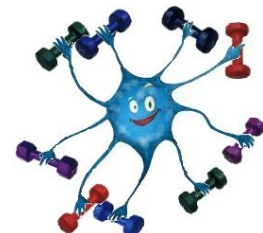
El administrador es el único que puede eliminar la cuenta de un usuario, para ello:

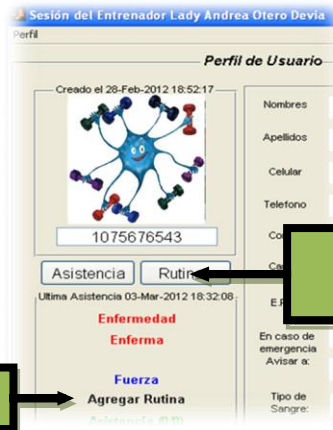
- Debe iniciarse sesión como Administrador.
- Entrar en el perfil del usuario ingresando su id. en la **casilla de identificación**.
- Hacer clic en la pestaña **Perfil**.
- Seleccionamos la opción **Eliminar**.
- Luego introducimos la contraseña.

8. Creando y modificando Rutinas

Y ahora con las redes entrenadas, tenemos la posibilidad de emplearla para calcular la fuerza máxima de un ejercicio. Para ello vamos a generar una rutina para el usuario creado.

- Ingresamos desde la sesión de un entrenador a la sesión del usuario.
- Una vez allí damos clic en el botón **Rutina**, si el usuario no tiene rutina esto debe visualizarse en la ventana de perfil. Apareciendo la venta de Rutinas





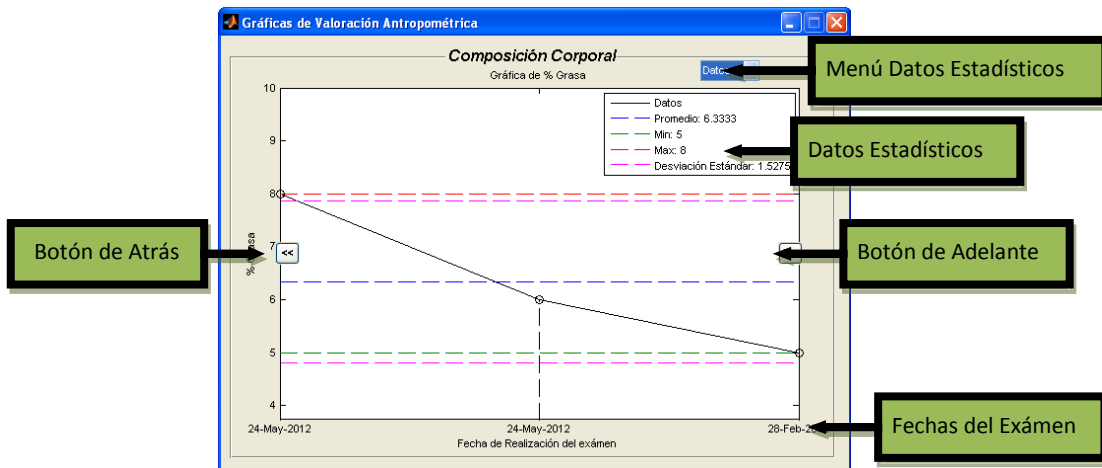
Presionar para entrar al Creador de Redes

No tiene Rutina

En el perfil del usuario el entrenador encontrara un resumen que debe ayudar a seleccionar los ejercicios, pertinentes de acuerdo al usuario.

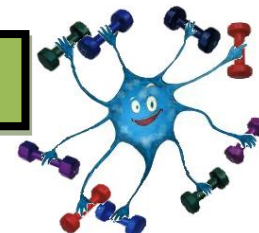
Si este desea conocer más sobre el usuario, puede revisar la anamnesis de este, pulsando en la pestaña de perfil y seleccionando la opción de **Editar**.

Además se brinda la opción de ver el progreso del usuario, a través del tiempo, en la pestaña de valoración antropométrica, así visualizara por ejemplo como ha cambiado su peso o sus bíceps, mediante una grafica. Para visualizar la gráfica basta con tocar la tabla, mostrando lo siguiente:



En la gráfica se pueden apreciar las fechas de la realización del exámen en la absisa y se grafican los datos estadísticos, los cuales pueden activarse/desactivar a través del menú superior datos, y puede avanzarse entre una gráfica y otra a través de los botones de adelante atrás ubicados en los lados de la gráfica.

Botón para guardar, modificar o eliminar.





Lista de Rutinas creadas

Tabla dinámica: Disponibilidad del Gimnasio, Zonas, Recursos y Rutina generada.

Horarios disponibles	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
4 a.m.	0	0	0	0	0	0
5 a.m.	0	1	0	0	0	0
6 a.m.	0	2	0	0	0	0
7 a.m.	0	0	1	0	0	0
8 a.m.	0	0	0	0	0	0
9 a.m.	0	0	0	0	0	0
10 a.m.	0	0	0	0	0	0
11 a.m.	0	0	0	0	0	0
12 a.m.	0	0	0	0	0	0
1 p.m.	0	0	0	0	0	0
2 p.m.	0	0	0	0	0	0
3 p.m.	0	0	0	0	0	0
4 p.m.	0	0	0	0	0	0
5 p.m.	0	0	0	0	0	0

Panel de Selección de Horarios y redes para un ejercicio determinado.

Valores generados por la red o escritos manualmente por el entrenador.

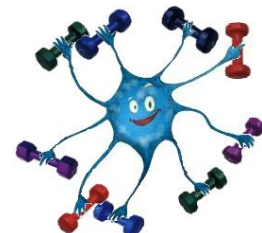
8.1 Agregar Nueva Rutina

Si deseamos agregar una nueva rutina debemos realizar los siguientes pasos:

- 👤 Seleccionar el horario, Seleccionamos el día, la hora y el minuto en el cual se desea asignar el ejercicio, los días disponibles del gimnasio se visualizan en la tabla dinámica, estos fueron los configurados por el administrador.
- 👤 Ahora escogemos los ejercicios, buscamos la **Red**, luego la **Zona**, en la tabla se mostrara la disponibilidad correspondiente para evitar congestión en un equipo deportivo
- 👤 Luego de seleccionar el ejercicio, debemos asignar la cantidad de peso con la cual el usuario trabajará, Si el ejercicio está entrenado se abre una ventana con los Valores de Fuerza Máxima predichos por la red. Por el contrario si aun no está entrenada el entrenador asigna de manera personal el peso, Finalmente para agregar el ejercicio damos clic en el botón **Agregar**.
- 👤 Si deseamos eliminar un ejercicio damos clic en el ejercicio y luego damos clic en el botón multiusos que ahora se convierte en **Eliminar**.

8.2 Modificar Rutina Actual

- 👤 El Gimnasio Inteligente únicamente permite modificar la rutina actual para esto seleccionamos la rutina actual de la lista desplegable, y presionamos el botón **Modificar**.
- 👤 Aparecerá una tabla con los ejercicios programados, para modificar un ejercicio, debemos eliminarlo para luego agregarlo nuevamente.
- 👤 Para eliminar un ejercicio o varios seleccionamos los ejercicios y presionamos **Eliminar**.

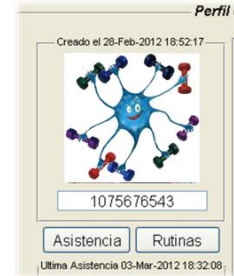




8.3 Asistencia

Una vez el usuario tiene rutina, ahora comienza a contar su asistencia al gimnasio, El botón de asistencia es para controlar la asistencia del gimnasio de los usuarios, para que el usuario marque asistencia deberá:

- Primero que un entrenador haya iniciado sesión, a partir de allí ingresar al perfil del usuario mediante la identificación del usuario:
- Se selecciona la botón **Asistencia** esto marcara una asistencia siempre y cuando sea pulsado en el horario correspondiente con la rutina, y en el perfil de entrenador mostrara sus asistencia así:



- La asistencia también se tendrá en cuenta en la sección de estadísticas, para hacer control de los usuarios que asisten y de los que están inscritos.

9. Informes Estadísticos

Una vez se ha marcado la asistencia del usuario, ahora veamos las estadísticas de los usuarios, para ello desde la sesión de un entrenador, se da clic en el botón de estadísticas y debe abrirse la ventana de estadísticas:

(^_^)	Nombre	Apellidos	Identificación	Celular	Telefono	Enfermedad	Peso (kg)	Talla (m)	IMC	ICC	% Grasa	Somatotipo
1	Jose Felipe	Zolango	1075676543	3001010101	8765543	Enfermedad	1	2	3	4	5	1
2	Allandra	Cumando	4	312 415 1666	325667		3	4	5	6	7	8
3	Nadies	Todos	5	3120987690	8769845	Ninguna	9	56	9	5	3	24
4	oTRO	Menos	6	315679020	7966633		45	6	8	9	8	4
5		AAAAAAAAA	7			Enfermedad	13	1	41	1	1	NaN

9.1 Visualizar Inscritos o asistentes

- En esta sección usted podrá ver estadísticas tanto de los inscritos como de los asistentes, seleccionando cualquiera de estos en la lista **Datos de**.

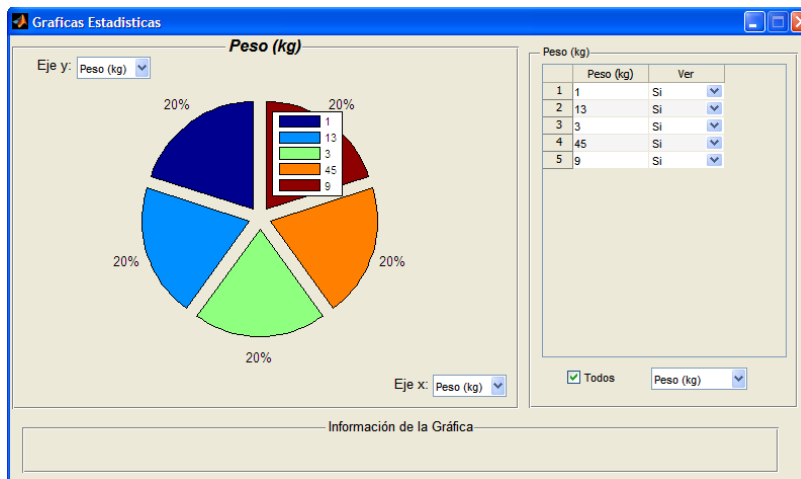




Visualizando relaciones entre los datos, por medio de graficas. Con el fin de poder ver las gráficas y utilizar los filtros debe activarse la opción de filtros y gráficos.

9.2 Filtros

Los filtros son de ayuda para facilitar los informes del rendimiento del gimnasio, por parte de los entrenadores a él administrados (esta es otra de las funciones que los entrenadores tienen), Se permite el uso de varios filtros, que se organizan por cómo se muestra en la siguiente imagen.



10. Información de Referencia

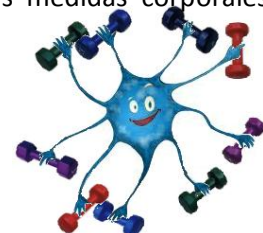
10.1 ANAMNESIS

10.1.1 Historial Deportivo: En esta ventana se establece cual es el objetivo del entrenador y brinda al entrenador el nivel deportivo de la persona para tener una idea de cuánto se puede exigir a la persona.

10.1.2 Historial Médico: En este se escriben las patologías, alergias, lesiones y enfermedades que son vitales para la elaboración de la rutina, ya que ellas limitan los ejercicios y los pesos que puede realizar una persona.

10.1.3 Estilo de Vida: este brinda algunas características cualitativas que sirven también para mejorar el estilo de vida de una persona, mediante recomendaciones de los expertos.

10.1.4 Valoración Antropométrica: Esta información es la que sirve como entrada para el cálculo de la fuerza máxima por las redes neuronales, en ella se contienen las medidas corporales, composición corporal, diámetros óseos, etc.





10.1.5 Valoración postural: Se trata de una evaluación los problemas posturales, donde se revisan el alineamiento, las articulaciones y los músculos.

10.1.6 Valoración Condicional: Esta consiste en una serie de test que evalúan las capacidades de las personas, como los test de velocidad, fuerza, Cooper, etc.

10.2 Grupos de Redes Neuronales Especializados: Debido a que la fuerza máxima se ve afectada por muchas características que tenemos los seres humanos, se han decidido permitir agrupar las redes de tal manera que cada grupo se especialice en algunas características de los usuarios, cada grupo de redes tiene sus zonas musculares, estas a su vez contienen los ejercicios y cada ejercicio puede tener una o más redes que se encargan de calcular el valor de la fuerza máxima. Por ejemplo, se puede hacer un grupo de redes neuronales para las personas sedentarias, deportistas, para hombres y otras para mujeres. Con el fin de no redundar se deben realizar grupos neuronales por características que más afecten la fuerza máxima, es decir, no es necesario hacer una para hombres de apellido Pérez y otro grupo para los Gutiérrez, ya que el apellido no es una característica que no afecta la fuerza máxima.

10.3 Número de Observaciones adecuadas: Es difícil recomendar un número de observaciones sin embargo, este debe ser proporcional a la variación de las observaciones de entrenamiento, es decir por ejemplo si el grupo neuronal está hecho para los deportistas en general, debería tenerse observaciones de deportistas de todas las edades, hombres, mujeres, de todos los deportes, que es una cantidad muy grande. Por ende, para necesitar una menor cantidad, se debería hacer más específico realizando un grupo para hombres entre 20 y 30 años que practican básquetbol. En la tabla de observaciones también se encuentra al lado de cada entrada el tamaño de una muestra sugerido.

